

林木の交配に関する基礎的研究 (VI)

スギの人工受粉の適期の決定ならびに他家、自然および無受粉における結果、結実

橋 詰 隼 人

(鳥取大学農学部造林学研究室)

Fundamental Studies on Mating in Forest Trees (VI)

Determination of Favourable Time for Controlled Pollination in *Cryptomeria japonica* and Cone and Seed Yields in Cross-, Open- and Non-pollinations

Hayato HASHIZUME

(Department of Silviculture, Faculty of Agriculture, Tottori University)

To determine the most favourable time for pollination in *C. japonica*, controlled pollination was carried out according to the process of flowering of female flowers. As a result of the experiment, it was known that the receptive period of female flowers in *C. japonica* is from the stage of exposure of ovules to the stage of starting of flower shutting-about 40 days. However, the development of cones and seeds was better in pollinations during the period from about 10 days before full bloom to the early stage of full bloom. On the other hand, seed fertility was higher in pollinations during the period of each 7~10 days before and after full bloom. From these results, it may be concluded that a period from about 10 days before full bloom (the stage of starting of pollination-drop secretion) to the early stage of full bloom is the most favourable time for controlled pollination in *C. japonica*. Judging from seed fertility, however, a period of about 20 days before and after full bloom seems to be the favourable time for controlled pollination.

In *C. japonica*, parthenocarpy was induced by non-pollination. However, unpollinated cones and seeds were smaller than cross- and open-pollinated cones and seeds. The majority of unpollinated seeds were empty seeds. The development of cones and the production, development and fertility of seeds seemed to be better in cross pollination than in open pollination.

筆者は前報⁹⁾において人工交配の基礎となるスギの開花と受粉の現象について報告したが、その後時期別に人工受粉を行なって受粉の適期を確かめた。さらに人工他家受粉、自然受粉および無受粉における結果、結実の状況を調査したので、これらの結果を報告する。

材 料 と 方 法

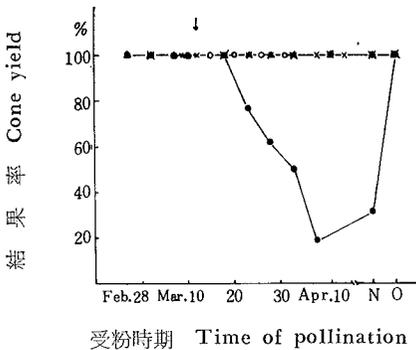
7年生スギ4個体を母樹として1970年2月25~4月13日の期間に、5~7日の間隔で人工受粉を行なった。袋掛は東洋理光器製の交配袋(20×30cm)を用いて、2月25日に行なった。交配に用いた花粉はその年の混合花粉

で、2月14日に数個体から雌花の着生した枝をとり、ビーカーに水を入れて挿付け、20°Cの恒温器に入れて採取した。供試花粉の発芽率は75%であった（1%寒天、5%蔗糖、25°Cで5日培養）。人工受粉は午前9~10時に1回行なった。受粉の方法は、袋内に花粉が残らないようにするために花粉銃を使用せず、シャーレに花粉を入れ、それに雌花をおしつけて受粉させた。除袋は4月10~22日の間に行なった。10月15日に球果を採取して、結果および結実の状況を調査した。

結 果

1. 受粉時期と球果の生産および発育との関係

受粉時期と結果率との関係は第1図の如くである。4



第1図 受粉時期と結果率との関係
Fig. 1. Relation between pollination time and cone yield.

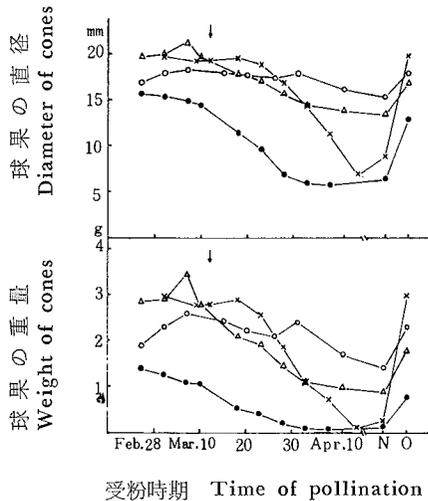
- 7号木 No. 7
- 21号木 No. 21
- ×—× 23号木 No. 23
- △—△ 25号木 No. 25

N 無受粉 Non-pollination
O 自然受粉 Open pollination

矢印は平均満開日を示す
The arrow shows the mean full-bloom day of 4 trees.

母樹中3本は受粉時期および受粉の有無に関係なく100%結果した。しかし、1本(21号木)は満開日から約10日後の受粉まで100%結果したが、その後は受粉時期がおくれるに従って結果率は低下した。この個体の結果率は最低19%であった。すなわち、スギは大部分が単為結果をする能力を持っているが、受粉しなければ結果が著しく悪くなる個体もあるようである。

受粉時期と球果の発育との関係は第2図の通りである。球果の発育調査では、長さ、直径および重量を測定

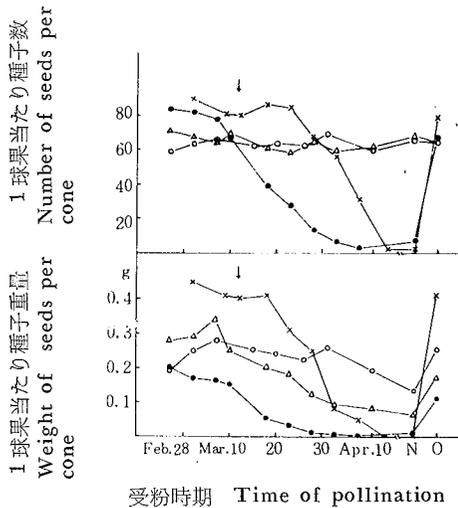


第2図 受粉時期と球果の発育との関係
Fig. 2. Relation between pollination time and cone development.

したが、いずれもほぼ同じ傾向がみられた。球果の発育は、一般に受粉液分泌開始期(満開の約10日前)から満開初期までの受粉がよく、受粉時期がおくれるに従って悪くなった。すなわち、受粉時期が早すぎても遅すぎても発育はよくない。とくに満開後から閉花直前までの受粉では球果の発育が不良である。受粉時期と球果の発育との関係は個体によってかなり異なる。満開期以降受粉時期がおくれるに従って、急激に球果の大きさおよび重量が低下するものと徐々に低下するものがある。無受粉で球果の発育が悪い個体は急激に、無受粉でも比較的良好な発育を示す個体は徐々に低下する。受粉時期の影響は球果の大きさよりも重量に強く現われるようである。自然受粉よりも球果の発育がよい人工受粉の時期は、満開の平均12日前から満開後10日位まで約22日間である。

2. 受粉時期と種子の生産、発育および稔性との関係

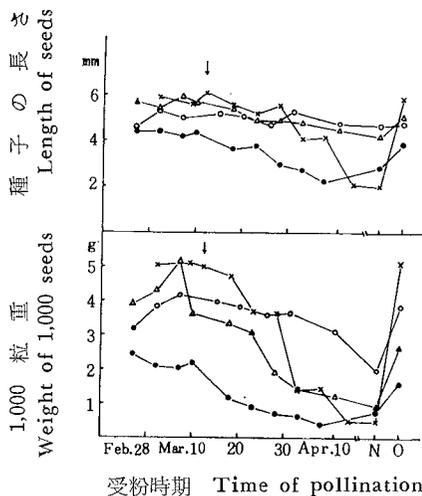
受粉時期と種子の生産との関係は第3図の如くである。1球果当たり種子数についてみると、受粉時期および受粉の有無に関係なくほぼ一定の傾向を示すものと、満開期以降受粉時期がおくれるに従って減少するものの二つのタイプがみられる。1球果当たり種子重量は受粉液分泌開始期(満開の約10日前)から満開期までの受粉が大で、満開期以降は受粉時期がおくれるに従って減少する。満開期以降の減少は個体によって異なり、無受粉



第3図 受粉時期と種子の生産との関係
Fig. 3. Relation between pollination time and seed production.

で1球果当たり種子数が多いものは緩慢, 少ないものは急激である。受粉時期と種子の生産との関係は, 1球果当たり種子数よりも1球果当たり種子重量で顕著に認められる。1球果当たり種子重量が自然受粉よりも大である人工受粉の時期は, 満開の約12日前から, 満開後10日までの約22日間である。

受粉時期と種子の発育との関係についてみると(第4



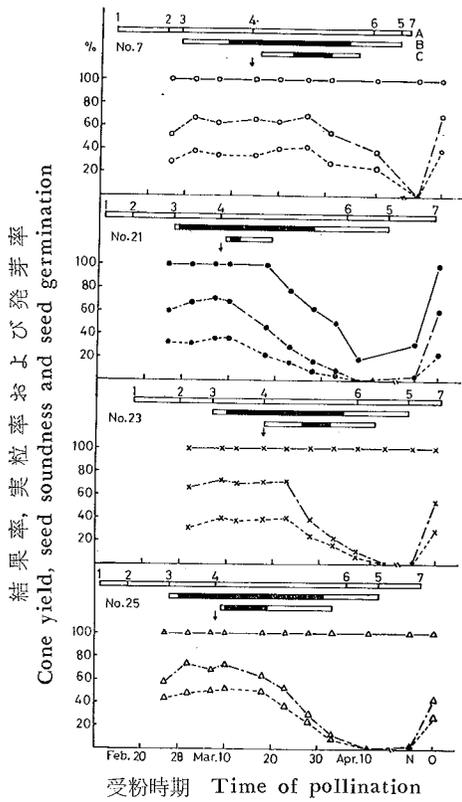
第4図 受粉時期と種子の発育との関係
Fig. 4. Relation between pollination time and seed development.

図), 種子の大きさおよび重量は受粉液分泌開始期(満開の約10日前)から満開初期までの受粉が最も大きくて重い。受粉時期が早すぎても, 遅すぎても種子の発育はよくない。一般に満開期以降は受粉時期がおくれるに従って種子は小さく, かつ軽くなる傾向がみられる。しかし, 受粉時期と種子の発育との関係は個体によって多少異なる。満開期以降受粉時期がおくれるに従って種子の長さおよび1,000粒重が漸減するものと, 急激に減少するものがある。種子の長さよりも1,000粒重が受粉時期の影響を強く受けるようである。受粉時期による種子の長さの変化は1,000粒重の変化よりも少ない。

種子の稔性についてみると(第5図), 胚珠露出期以降の受粉で稔性のある種子が生産される。発芽率, 実粒率は, 満開の7~10日前から満開後7~10日までの間の受粉が最も高く, 満開の中期ころから受粉時期がおくれるに従って漸次低下する。すなわち, 受精可能な人工受粉の時期は胚珠露出期から閉花開始期ころまでで, 満開の約15日前から満開後25日位まで, 約40日間の長い期間にわたっている。しかし, 種子の稔性が自然受粉よりも高い人工受粉の時期は満開の約12日前から満開後約10日までの22日間である。受粉時期と種子の稔性との関係は個体によって多少異なる。

3. 人工受粉の適期

交配試験の結果から, スギの受精可能な人工受粉の時期およびその適期をとりまとめると第1表の通りである。スギの受精可能な人工受粉の時期は胚珠露出期から閉花開始期までで, 満開前が平均14日, 満開後が平均24日, 合計38日間である。球果の発育, 種子の生産, 発育および稔性が自然受粉にまさる人工受粉の時期は, 満開の約12日前から満開後約10日までの22日間である。種子の稔性は, 満開の7~10日前から満開後7~10日までの間の受粉が最も高いが, 球果および種子の発育は, 満開の約10日前から満開初期までの間の受粉がまさる傾向にある。これらのことから, スギの人工受粉は満開の約10日前から満開初期にかけて行なうのが最もよい。しかし, 種子の稔性からみれば満開の前後約20日間が人工受粉の適期といえる。人工受粉の適期は個体によって多少差があるから, それぞれの個体あるいはクローンの開花の習性を十分調査しておく必要がある。受粉液分泌の盛期と人工受粉の適期とは必ずしも一致しない(第5図)。しかし, 普通満開の7~10日前になれば分泌が盛んになるから, 雌花のりん片が大部分開き, 受粉液がほぼ全部のりん片に認められるようになれば人工受粉を行な



第5図 受粉時期と種子の稔性との関係
 Fig. 5. Relation between pollination time and seed fertility.

—— 結果率 Cone yield
 - - - 実粒率 seed soundness
 ····· 発芽率 Seed germination

- A 袋掛の場合の雌花の開花経過
 Flowering course of female flowers in bagging.
- 1 開花開始期 Beginning of flower opening
 - 2 胚珠露出期 Exposure of ovules
 - 3 受粉液分泌開始期 Beginning of secretion of pollination drops
 - 4 満開期 Full bloom
 - 5 受粉液分泌停止期 Ending of secretion of pollination drops
 - 6 閉花開始期 Beginning of flower shutting
 - 7 閉花完了期 Ending of flower shutting
- B 受粉液の分泌経過 (黒くぬりつぶした部分は分泌盛期を示す)
 Course of secretion of pollination drops. The black-painted part shows the active period of pollination-drop secretion.
- C 花粉飛散の経過 (黒くぬりつぶした部分は飛散盛期を示す)
 Course of pollen dispersion. The black-painted part shows the active period of pollen dispersion.
- 矢印は満開日を示す Arrows indicate the time of full bloom.

第1表 雌花の受容期間と人工受粉の適期*

Table 1. Receptive period of female flowers and favourable time for controlled pollination.*

母樹 Female parent	雌花の開花過程 Flowering process of female flowers			受容期間 Receptive period of female flowers			人工受粉の適期** Favourable time for controlled pollination				
	胚珠露出期 Exposure of ovules	満開期 Full bloom	閉花開始期 Beginning of flower shutting	月 日 Date	日 数 Days			月 日 Date	日 数 Days		
					満開前 Before full bloom	満開後 After full bloom	計 Total		満開前 Before full bloom	満開後 After full bloom	計 Total
No. 7	Feb. 24	Mar. 14	Apr. 9	Feb. 25 ~ Apr. 10	17	27	44	Mar. 2 ~ Mar. 26	12	12	24
No. 21	Feb. 17	Mar. 3	Apr. 4	Feb. 25 ~ Apr. 2	11	25	36	Feb. 25 ~ Mar. 15	11	7	18
No. 23	Feb. 28	Mar. 18	Apr. 7	Mar. 2 ~ Apr. 7	16	20	36	Mar. 2 ~ Mar. 23	16	5	21
No. 25	Feb. 17	Mar. 8	Apr. 5	Feb. 25 ~ Apr. 2	11	25	36	Feb. 25 ~ Mar. 23	11	15	26
平均 Mean	Feb. 22	Mar. 12	Apr. 6	Feb. 26 ~ Apr. 5	14	24	38	Feb. 28 ~ Mar. 22	12	10	22

* 1970年の実験 An experiment in 1970.

** 種子の稔性が自然受粉にまさる人工受粉の時期 Showed the time of controlled pollination, exceeding open pollination in seed fertility.

えばよい。また花粉の飛散最盛期と人工受粉の適期とは必ずしも一致しない (第5図)。これは袋掛によって雌花の開花が自然状態の場合よりも早く進行するためである。スギの人工交配にあたってはこのことに十分留意する必要がある。

4. 他家、自然および無受粉における結果、結実

実験の結果は第2表の通りである。結果率は、他家受粉、自然受粉が高く、100%結果した。無受粉でもよく結果するが、個体によっては受粉しなければ結果率が著しく低くなる。21号木の無受粉および閉花期の受粉では球花の状態から殆ど发育しないものや发育の途中で枯死するものなどがみられた。球果の大きさおよび重量は他家受粉>自然受粉>無受粉の順で、发育は他家受粉が最もよく、無受粉が最も悪い。すなわち、スギは一般に受粉しなければ球果の发育が悪くなるが、球果の发育の状況は個体によってかなり異なる。無受粉でも比較的良好に发育する個体と、無受粉では極端に发育の悪い個体とがある。受粉の影響は球果の大きさよりも重量に強く現われるようである。無受粉の球果の平均重量は他家受粉のその1/2以下である。

種子の生産および发育についてみると、1球果当たり種子数、1球果当たり種子重量、種子の長さ、1,000粒重はいずれも他家受粉>自然受粉>無受粉の順で、他家受粉で種子の生産量が最も多く、また发育が最もよい。

無受粉でも種子はできるが、生産量が少なく发育も悪い。種子の生産や发育の状況はやはり個体によってかなり異なる。無受粉で、1球果当たり種子数および種子の大きさが他家受粉、自然受粉と殆ど変わらないものと、無受粉では種子が殆どできない個体とがある。受粉の影響は種子数、種子の大きさよりも種子の収量、重量に強く現われるようである。

種子の稔性についてみると、他家受粉>自然受粉>無受粉の順に稔性は低下した。他家受粉の発芽率および実粒率は自然受粉よりも10%以上増加した。無受粉でも個体によって稔性のある種子が若干えられたが、これは単為生殖によるものか、有性生殖によるものか不明である。実験上の間違いによるものかも知れない。

考 察

針葉樹の人工受粉の適期を調査した研究は比較的少ない。Pawsey¹¹⁾ は *Pinus radiata* の交配試験で、雌花の受容期間は約2週間であり、受粉の適期は雌花が完全に開いてから1週間以内が最もよいことを認めている。Ehrenberg³⁾ らは *Pinus silvestris* で雌花の发育の段階を7期に分けて人工受粉を行なった結果、3b期(雌花の先端が芽鱗の上に現われる時期)から4期(雌花が完全に開いた時期)の受粉でよい結果をえている。Barner¹⁻²⁾ らは *Larix* と *Pseudotsuga* で時期別に人工

第2表 他家、自然および無受粉における球果ならびに種子の生産
Table 2. Cone and seed yields in cross-, open-and non-pollinations of *C. japonica*.

受粉の型 Type of pollination	母 樹 Female parent	雌花数 No. of female flowers	結果率 Cone set per- centage (%)	球果の大きさ Size of cones		球果の重量 Average cone weight (g)	1球果当 たり種子 数 No. of seeds per cone	1球果当 たり種子 重量 Weight of seeds per cone (mg)	種子の長さ Length of seeds (mm)	1,000粒重 Weight of 1,000 seeds (g)	発芽率 (21日間) Germination percentage of seeds for 21 days (%)	実粒率 Percentage of full seeds (%)
				長 さ Length (mm)	直 径 Diameter (mm)							
他家受粉 Cross- pollination	No. 7	22	100	16.6	18.2	2.52	63.9	260	5.1	4.07	40.7	67.4
	No. 21	35	100	13.4	15.2	1.20	77.5	169	4.4	2.18	34.6	68.8
	No. 23	32	100	17.5	19.5	2.86	84.2	418	5.8	4.96	38.5	70.8
	No. 25	28	100	16.5	20.8	3.18	66.1	316	5.8	4.78	49.8	71.8
	Mean	—	100	16.0	18.4	2.44	72.9	291	5.3	4.00	40.9	70.0
自然受粉 Open- pollination	No. 7	8	100	15.7	18.2	2.30	64.6	249	4.8	3.85	39.3	69.5
	No. 21	18	100	11.4	13.1	0.77	67.1	110	3.9	1.58	23.0	60.8
	No. 23	20	100	17.9	20.1	3.05	79.6	409	5.9	5.15	28.3	54.0
	No. 25	10	100	14.2	16.9	1.80	64.5	172	5.1	2.66	27.0	42.5
	Mean	—	100	14.8	17.1	1.98	69.0	235	4.9	3.31	29.4	56.7
無受粉 Non- pollination	No. 7	13	100	14.2	15.4	1.43	65.3	128	4.7	1.96	0	0
	No. 21	19	32	6.1	6.5	0.14	7.0	5	2.9	0.76	4.1	4.1
	No. 23	10	100	8.1	9.0	0.26	2.0	1	2.1	0.50	0	0
	No. 25	16	100	11.0	13.5	0.88	67.0	61	4.2	0.90	3.0	3.0
	Mean	—	83	9.9	11.1	0.68	35.3	49	3.5	1.03	1.8	1.8

受粉を行ない、タネの発芽試験と開花の形態学的調査から受容期間を調べている。*Larix* の雌花の受容期間は2～3週間と推定されるが、人工受粉の最適期間は比較的短く、10日以下のものである。受容期間および人工受粉の適期は年度およびクローンによってかなり異なるようである。*Pseudotsuga* では、受容期間は12～14日、受粉の最適期間は5～6日と推定される。受粉の始まりは雌花の苞りんの裂開と一致し、終わりは苞りんの形、柱頭状小片体の崩壊によって決めることができると述べている。我が国の樹種では、渡辺¹²⁾ら、中井⁹⁾らがマツで調べている。渡辺¹²⁾らは、アカマツ、クロマツの雌花の受容期間は約2週間で、交配の最適時期は開花開始後5日目後後と思われると述べている。中井⁹⁾らがクロマツで実験したところによると、受容期間は約10日間であるが、最適交配期間は比較的短く、2～3日にすぎないという。筆者⁴⁾がヒノキで行なった実験によると、受精可能な人工受粉の時期は胚珠露出期から受粉液分泌停止期まで約20日間である。しかし、人工受粉の適期は満開の約5日前(受粉液分泌開始期)から満開後5日目までの約10日間である。本研究によると、スギの雌花の受容期間は胚珠露出期から閉花開始期まで約40日間、人工受粉の適期は満開の前後約20日間で、これまでに報告されている他の樹種に比べて著しく長い。これは前報⁹⁾で報告した通り、スギの雌花の開花期間が非常に長いためであると思われる。受容期間および人工受粉の適期は年度やクローンによって多少異なる。したがって、人工交配に際してはその年の開花の状況や個々のクローンの開花の習性などを十分調査しておく必要がある。

針葉樹の受粉の現象は、前報⁹⁾で述べた通り花粉粒が珠孔頂部に着生して、それが珠孔内部あるいは花粉室に移送されるまでの現象であると解することができる。したがって、雌花のりん片の開閉および珠孔の開閉の状況が受粉を左右することになる。スギでは、珠孔は未開花のときから開口しているから、雌花のりん片が開いて胚珠が外部に露出するようになれば受粉が可能である。珠孔は受粉後珠孔溝に閉鎖組織ができて閉じる。スギの花粉の直径は30μ前後であるから、珠孔溝の幅が花粉粒の大きさよりも大であれば花粉は珠孔を通して花粉室に達することができる。前報⁹⁾の調査では、袋掛の場合珠孔の開口期間は約50日、珠孔溝の幅が30μ以上の期間は平均35日である。本研究の結果によると、雌花の花粉受容期間は平均38日、前報の形態学的調査結果と大体一致する。人工受粉に際してもう一つ留意しなければならないことは、受粉液の分泌の状況である。珠孔から分泌

される受粉液は花粉をとらえそれを珠孔内部に運搬する役目を演じている。したがって、受粉液の分泌の状況をよく調べ、適期に受粉することが大切である。

針葉樹には、単為結果をするものとならないものがある。Ehrenberg,³⁾ 中井¹⁰⁾らおよび勝田⁶⁾の報告をみると、マツは単為結果をするが、この性質はマツ類の中でも樹種により、また同一樹種内でも個体によって異なるようである。筆者⁴⁾の研究によるとヒノキは単為結果をしないようである。中井¹⁰⁾らおよび勝田⁶⁾の研究によると、アカマツ、クロマツでは無受粉のとき他家受粉に比べて一般に落果が多く、球果の発育が悪い。無受粉でも種子はできるが、その量はきわめて少なく大部分はシイナである。河村⁷⁾ら、小林⁸⁾ら、および本研究の結果によると、スギは単為結果をするが、無受粉では一般に球果の発育が悪く、種子は小さくて殆どが不稔である。

針葉樹の結果、結実に対しては、受粉の有無ばかりでなくその程度も影響するようである。河村⁷⁾らはスギの人工交配における受粉の回数と時刻について研究している。その結果によると、雌花の開花最盛期に受粉すると1回の受粉で2回、3回受粉に劣らない結果率、球果、種子、発芽率がえられた。しかし、彼らの研究結果を検討すると、球果の大きさ、種子の重量、発芽率はいずれも無受粉、自然受粉、他家受粉の順に大である。無受粉の発芽率は0であるが、3回受粉の発芽率は自然受粉よりも約20%増加している。本研究においても同様の結果がえられた。スギの球果の発育、種子の生産、発育および稔性の程度は他家受粉>自然受粉>無受粉の順であった。他家受粉では種子の稔性が自然受粉よりも10%以上増加した。前報⁹⁾の形態学的調査によると、人工受粉によって胚珠の受粉率および花粉室内の花粉粒の数が著しく増加する。自然受粉よりも他家受粉の結果、結実がよいのはこのような理由によるものと思われる。しかし、既往の研究をみると、他家受粉が常に自然受粉よりもよい成績を示すとは限らないようである。中井¹⁰⁾らがクロマツで行なった実験によると、自然受粉と他家受粉の間に球果および種子の大きさについては殆ど差がない。しかし、充実率は他家受粉が大である。渡辺¹²⁾らの実験では、アカマツ、クロマツともに充実率は自然受粉と他家受粉の間に差がない。しかし、1球果当たり充実種子数は自然受粉の方が多い。小林⁸⁾らのスギ精英樹交雑試験によると、精英樹間の交雑による球果は自然交雑球果よりも大きさおよび重量が劣るという。また精英樹間交雑種子の稔性は1クローンを除き自然交雑種子より

も劣る傾向にある。人工他家受粉の場合は母樹間の交雑親和性のちがい、袋掛の影響、受粉技術の巧拙などにより、また自然受粉の場合はその林分の花粉密度や気象条件のちがいなどによって結果、結実の状況がちがってくるものと思われる。受粉された花粉は二つの大きい働きをすると考えられている。第一は花粉管をだしてそれを珠心に侵入させ、受精をとげさせることである。第二は花粉ホルモンを珠心に働かせて、その刺激によって珠心や珠皮におけるホルモンの分泌を促し、胚珠および球果を發育させることである。針葉樹の結果、結実に対する花粉(受粉)の役割は生理学的に殆ど研究されていない。

摘 要

1. スギの受精可能な人工受粉の時期は胚珠露出期から閉花開始期まで、約40日間であった。球果および種子の發育は満開の約10日前から満開初期までの間の受粉が最もよかった。種子の稔性は、満開の7~10日前から満開後7~10日までの間の受粉が最も高かった。これらのことから、人工受粉は雌花の満開の約10日前(受粉液分泌開始期)から満開初期にかけて行なうのが最もよい。しかし、種子の稔性からみれば、満開の前後約20日間が適期と思われる。

2. スギは単為結果をするが、無受粉では球果および種子の發育が他家受粉および自然受粉に較べて悪く、種

子は殆どが不稔であった。球果の發育、種子の生産、發育および稔性は自然受粉よりも人工他家受粉でよい傾向が認められた。

文 献

- 1) Barner, H. and Christiansen, H.: *Silvae Gen.*, **9**, 1~11 (1960)
- 2) Barner, H. and Christiansen, H.: *Silvae Gen.*, **11**, 89~102 (1962)
- 3) Ehrenberg, C.E. and Simak, M.: *Medd. Stat. Skogsforskningsinst.*, **46** (12), 1~27 (1956)
- 4) 橋詰隼人: 日林関西支部講集, **22**, 99~100 (1971)
- 5) 橋詰隼人: 鳥大農学部研究報告, **25**, 81~96 (1973)
- 6) 勝田 証: 東大演報, **65**, 87~106 (1971)
- 7) 河村嘉一郎・山田二郎: 81回日林講集, 147~148 (1970)
- 8) 小林隆ら: 新潟県林試研報, **8**, 1~21 (1962)
- 9) 中井 勇ら: 林業技術, **299**, 25~27 (1967)
- 10) 中井 勇ら: 京大演報, **39**, 125~143 (1967)
- 11) Pawsey, C. K.: *Leaflet, For. Timb. Bur. Aust.*, **78**, 1~13 (1961)
- 12) 渡辺 操・岩川盈夫: 林試研報, **224**, 125~146 (1969)