

研究報告

マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ採種園の改良

川上 鉄也 大沼 哲夫 小澤 創* 渡邊 次郎**

目 次

要 旨	
I はじめに	2
II 材料と方法	2
1 採種園のクローン構成と成長量調査	2
2 抵抗性調査（マツノザイセンチュウ接種試験）	3
3 球果着果数調査	3
4 雄花着花量調査	3
5 遺伝資源保存園における球果着花数および雄花着花量調査	3
III 結果	5
1 採種園のクローン構成と成長量調査	5
2 抵抗性調査（マツノザイセンチュウ接種試験）	6
3 球果着果数調査	7
4 雄花着花量調査	9
5 遺伝資源保存園における球果着花数および雄花着花量調査	9
IV 考察	11
V おわりに	12
VI 引用文献	12

要 旨

マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ採種園の現況評価を行い、今後の改良方法について明らかにした。園稼働開始前（2008年）から稼働開始年（2011年）までの生産種子による苗木の品質（抵抗性）について検討した結果、年数の経過とともに、品質（抵抗性）の向上が認められた。球果着果数は、園構成16クロンのうち上位7クロンで91%を占め、下位9クロンの球果着果数は僅少だった。雄花着花量は、2015年において園構成16クロンのうち10クロンで指数3～5となり、園内の花粉親としての寄与が、年数の経過とともに向上した。種子生産における各母樹の寄与の均等化を促し、生産量を増加させるために、各クロン数の調整、入れ替え改良の必要性が示された。遺伝資源保存園において、球果着果数および雄花着花量が良好な、東北地方選抜の2クロンが見出された。これらを、現採種園の下位2クロンと入れ替えることにより、現採種園の改良ができる。

受付日 平成28年3月28日

受理日 平成28年10月26日

* 現森林整備課

** 元福島県林業研究センター

課題名 マツノザイセンチュウ抵抗性種子の品質向上技術の開発（県単課題 平成23～27年度）

キーワード：マツノザイセンチュウ、抵抗性クロマツ、採種園

I はじめに

マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ種苗は、東日本大震災で津波被害を受け流失した海岸防災林復旧造成のために、需要が高まっており、本県の気候特性に適した品質の良好な苗木の安定供給体制の整備が求められている。

本県では、2006年から抵抗性クロマツ採種園（クローン採種園）（以下、採種園）の造成に着手し、2011年から採種園産種子の事業生産を開始した（図-1）。

採種園造成後の初期段階においては、採種園の母樹が幼齢で、稼働を開始してしばらくの期間は、特に雄花の着花量が少ないので、高頻度の自殖や、園外花粉による受粉機会の頻度が高く、結果的に抵抗性が低い苗が生じる²⁾ことが知られており、周囲からの花粉汚染を防ぐことの重要性が指摘されている¹⁾。

一方、実用に供される採種園では、同一クローンであっても雌花着花性に年次変動があることや、各クロンの種子生産における寄与の偏りによる生産量の低下、さらに花粉生産に関する寄与の偏りに伴う自家受粉等の発生による品質（抵抗性）の低下を招くことがないように、採種園の体質改善の必要性が指摘されている⁷⁾。

抵抗性母樹の雌花に、抵抗性母樹の花粉が高率で受粉すれば、抵抗性の高い実生苗がより多く得られる。また、すべての母樹が均等に寄与し、多量に種子を生産できれば、種子の遺伝的多様性、および生産量が確保される。

本報告では、抵抗性クロマツ種子の品質（抵抗性）確保、生産量の向上のために、継続的に採種園の現況を評価して、現採種園の体質改善のための改良方法について検討した。

II 材料と方法

1 採種園のクローン構成と成長量調査

2015年11月現在の採種園構成各クロンの樹高および胸高直径（DBH）を測定した。採種園は16クローンで構成されている（2015年11月現在）。その内訳は、東北地方選抜が7クローンで、福島県選抜が3クローン（小高37、小高203（2012年植栽1本）、いわき27）、宮城県選抜が4クローン（鳴瀬39、亘理56、山元90、山元84（2012年植栽4本））である。また、西日本地域選抜が9クローンで、その内訳は四国地方の愛媛選抜が2クローン（波方ク-73、三崎ク-50）、高知選抜が2クローン（土佐清水ク-63、夜須ク-37（2014年植栽4本））、香川選抜が1クローン（三豊ク-103）、九州地方の福岡選抜が2クローン（志摩ク-64、津屋崎ク-50）、長崎選抜が1クローン（小浜ク-30）、鹿児島選抜が1クローン（日吉ク-1（2012年植栽1本））である（表-1）。採種園は、2006年に抵抗性クロマツ母樹43本を植栽、2008年に193本を植栽、さらに2012年に6本を補植して造成され、2011年8月29日に採種園の指定（指定番号：「福島育一九号」面積：0.29ha）を受け、種子生産を開始した。2015年現在で採種園の母樹齢は概ね7～9年生となっている（図-1）。



図-1 採種園造成の経過

2 抵抗性調査 (マツノザイセンチュウ接種試験)

採種園の構成クローン別に種子を採取し、ポットに播き付け、2年目に苗畑に移植した2年生苗を用いて、毎年7月下旬から8月上旬にかけてマツノザイセンチュウを苗木1本当たり5千頭 (0.05ml/本) 接種し⁸⁾、接種後10週目に針葉色により苗木の生死を判定し生存個体数を計数したのち、生存率を算出した。マツノザイセンチュウ接種個体群は、2011年は「Ka4」、2012年、2013年および2015年は「島原」を使用した。

3 球果着果数調査

調査は、採種園において2011～2015年の5カ年継続観察し、球果が充実し大型化して、判別が容易となる毎年9月中～下旬にかけて実施した。

調査方法は、クロマツ1個体毎に、数え落としの無いように、できる限り丁寧に全球果数を計数した。

特に2015年は、多数の球果の着果が認められたため、計数誤差の検証のため、計数者、計数日を変えてA、Bの2回繰り返しカウントした。計数対象が樹高4m程度、241本、全球果数9,000個程度で、2回の計数誤差は約4%であった (A:9,788個 B:9,419個 A/B=1.039)。

4 雄花着花量調査

調査は、採種園において2011～2015年の5カ年継続観察し、雄花穂の着生が明瞭となる開花直前の毎年4月下旬から5月上旬にかけて実施した。

調査方法は、クロマツ1個体につき、雄花穂数を計数し、雄花穂が見られないものを「1」、雄花穂数が5個以下のものを「2」、5～9個のものを「3」、10～19個のものを「4」、20個以上のものを「5」として指数評価した (表-1)。

5 遺伝資源保存園における球果着花数および雄花着花量調査

遺伝資源保存園には、すでに採種園に導入されている16クローンのうち15クローンと、未導入の抵抗性クロマツ合計38クローンが2～6本ずつ集植保存されている (表-2)。そのうち、採種園には未導入の、植栽後7年経過した13クローンについて、2013～2015年の3カ年、継続観察した。

球果着花数および雄花着花量の調査方法、調査時期は、採種園における調査と同様に実施した。

表-1 雄花穂数調査の指数区分

雄花穂数	指数
20～	5
10～19	4
5～9	3
～5	2
着花なし	1

表-2 県保有の抵抗性クロマツ 一覧

番号	クローン名	選抜地	採種園 (本)	保存園 (本)
1	小高37	福島	25	5
2	小高203	福島	1	6
3	いわき27	福島	23	6
4	鳴瀬39	宮城	23	5
5	亘理56	宮城	22	6
6	山元90	宮城	21	6
7	山元84	宮城	4	5
8	波方ク-73	愛媛	18	2
9	三崎ク-90	愛媛	19	6
10	三豊ク-103	香川	13	0
11	夜須ク-37	高知	4	6
12	土佐清水ク-63	高知	18	6
13	志摩ク-64	福岡	19	5
14	津屋崎ク-50	福岡	18	5
15	小浜ク-30	長崎	12	6
16	日吉ク-1	鹿児島	1	4
17	唐津ク-1	佐賀	-	5
18	唐津ク-4	佐賀	-	4
19	唐津ク-7	佐賀	-	5
20	吉田ク-2	愛媛	-	6
21	唐津ク-9	佐賀	-	5
22	波方ク-37	愛媛	-	6
23	吹上ク-25	鹿児島	-	6
24	鳴瀬72	宮城	-	6
25	田辺ク-54	和歌山	-	6
26	川内ク-290	鹿児島	-	5
27	籾姓ク-425	鹿児島	-	6
28	山元82	宮城	-	6
29	大瀬戸ク-12	長崎	-	6
30	唐津ク-11	佐賀	-	2
31	唐津ク-16	佐賀	-	3
32	唐津ク-17	佐賀	-	4
33	河浦ク-8	熊本	-	4
34	河浦ク-13	熊本	-	5
35	天草ク-20	熊本	-	3
36	宮崎ク-20	宮崎	-	5
37	佐土原ク-8	宮崎	-	4
38	佐土原ク-14	宮崎	-	3
39	佐土原ク-15	宮崎	-	3
合計			241	187

注) 抵抗性採種園、遺伝資源保存園2015年4月現在

Ⅲ 結果

1 採種園のクローン構成と成長量調査

2012年に補植した山元84、小高203、日吉ク-1の3クローンを除いた13クローン（計235本）の平均樹高は4.2m、平均胸高直径は9.4cmであった（図-2）。

初期成長が上位のものは、いわき27、小高37、および夜須ク-37であった。一方、三豊ク-103は、九州地方の採種園の事例では、成長量がやや劣るものとされていたが、本県採種園においても、樹高平均3.7m、胸高直径平均6.9cmと初期成長が劣っていた^{3) 4)}。

採種園指定後の種子生産量については、稼働開始3年目の2013年において2.9kgと、事業的な種子生産が可能となった。

また、発芽鑑定を行った結果、稼働開始当年の2011年産種子においては、100粒重1.47g、1g当たりの粒数68粒、発芽率62.3%であり、種子1粒は、やや小粒で、発芽率は、やや低位であった。2012年以降2015年までの4カ年の生産種子では、100粒重1.66~1.92g、1g当たりの粒数52~60粒、発芽率86.7~96.0%であり、種子1粒の重量増加があり、さらに発芽率が90%前後に上昇し安定した（表-3）。

以上の結果から、2012年以降は、抵抗性クロマツ種子の事業的生産に対応できる採種園として成熟期を迎えたことが示された。

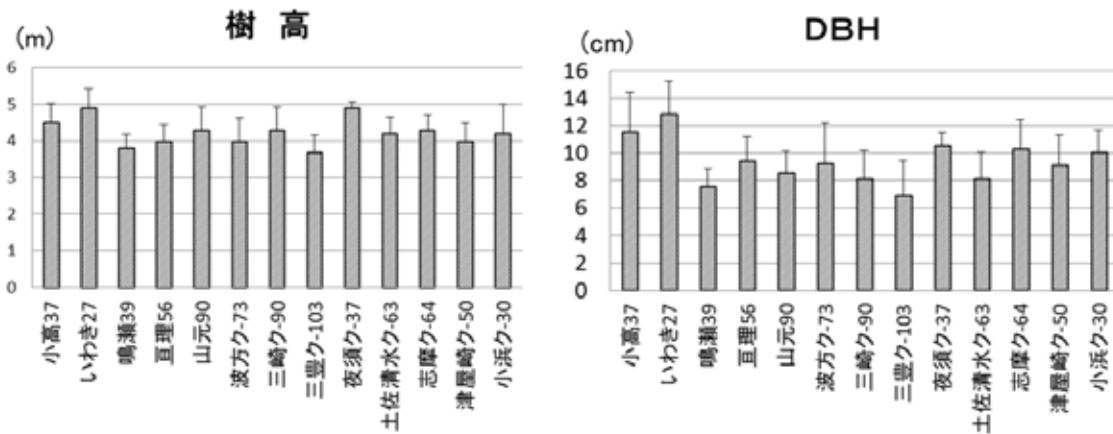


図-2 採種園抵抗性クロマツの樹高および DBH

注) 造成後7~9年目

表－3 採種園種子生産量、種子重、発芽率の推移

年 度	2011	2012	2013	2014	2015
種子生産量(Kg)	1.8	0.2	2.9	1.6	8.5
100粒重(g)	1.47	1.92	1.88	1.86	1.66
1g当たりの粒数	68	52	53	54	60
発芽率(%)	62.3	96.0	90.3	89.9	86.7

2 抵抗性調査 (マツノザイセンチュウ接種試験)

小高37は、2011年調査時の生存率はわずかに2.7%であり、2012年調査時は6.2%、2013年調査時は27.3%、2015年調査時は、やや低下するものの25.0%となった。

いわき27は、2011年調査時は5.7%、2012年調査時は11.2%、2013年調査時はやや低下し5.2%であったが、2015年調査時は28.0%となった。

そのほかに、年次経過とともに生存率が上昇傾向を示すものは、鳴瀬39、亘理56、山元90、波方ク-73、津屋崎ク-90、小浜ク-30であった。

一方、三崎ク-90は、2011年調査時は7.3%、2012年調査時は1.4%、2013年調査時は11.8%と生存率の上昇傾向があまり見られず、三豊ク-103は、2011年調査時は1.5%、2013年調査時は5.3%であり、志摩ク-64は、2011年調査時は8.0%、2012年調査時は1.9%、2013年調査時は4.2%と、生存率が低位なものがあつた(図-3)。

クロマツは受粉時から、種子が成熟して採取可能になるまでに1年6ヶ月を要し、それから2年の養苗後に、接種試験による生存率の調査を実施したもので、本調査で供試した接種検定対象苗の受粉年は2007～2010年であり、いずれも2011年の採種園稼働開始以前の受粉結果をもとに、抵抗性を評価しているものであることに留意する必要がある(2014年は未実施につき、2015年に3年生苗を使用)。

採種園全体としての苗木の平均生存率は、2008年産種子では3.6%、2009年産種子では7.2%、2010年産種子では21.6%、そして稼働開始年の2011年産種子では27.2%であり、採種園産種子による実生苗の平均生存率が年数の経過とともに向上する傾向が認められた。

本調査で供試した接種検定対象苗の受粉時(2007～2010年)の雄花着花量が年数の経過とともに増加し、交配期における抵抗性クロンの園内花粉の空中濃度が、徐々に高まったことを示唆している。

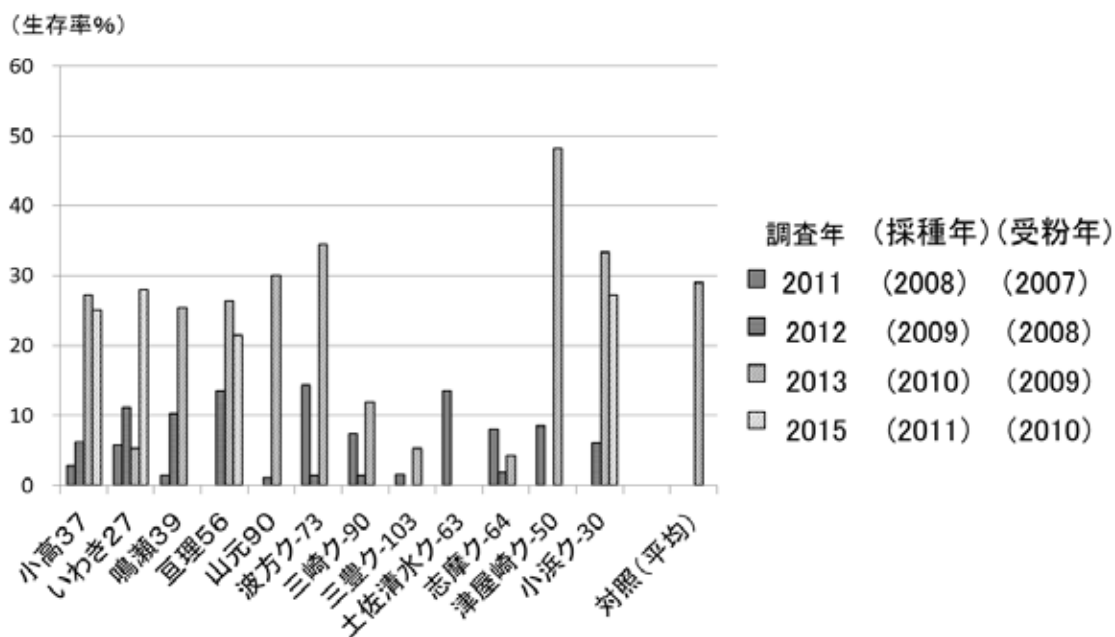


図-3 抵抗性調査結果 (採種園)

3 球果着果数調査

採種園を構成する16クローンのうち、小高203、山元84、日吉ク-1は2012年植栽であり樹体も小さく、本数は小高203、日吉ク-1は1本、山元84は4本と少なく、母樹としての機能は、まだ十分ではない。したがって、現時点における本採種園の主要な構成クローンは、13クローンとなっている(表-2)。

この主要な構成13クローンが種子生産に均等に寄与するものと仮定すると、1クローンあたり7.7%の寄与率が期待される。

採種園において、調査期間5カ年で計数された球果の総数は、20,333個となった。球果着果数における各クローンの寄与率は、いわき27は25%、小高37は19%、鳴瀬39は14%、山元90は11%、志摩ク-64は8%、亘理56は9%、波方ク-73は5%であり、これら上位7クローンで、球果数の91%を占めていた。これ以外で残り9%を占め、三崎ク-90は3.8%、三豊ク-103は2.2%、小浜ク-30は1.2%、津屋崎ク-50は1%であった(図-4)。

一方、夜須ク-37、および土佐清水ク-63の2クローンは、2008年に植栽され、2クローン合わせて22本の植栽があるが、調査期間中での球果着果総数がわずかに64個で、1本当たり球果数は0~2個/本と低位であった。

特に2015年は種子生産量が8.5kgと増加しており、1本当たりの球果数を見ても、上位7クローンでは15~83個/本となり、中位4クローンでは5~20個/本となった。一方、下位2クローンは、わずかに1個/本の球果着果にとどまった(図-5)。

本県選抜の抵抗性クロマツである小高203は、2012年に1本のみ採種園に導入されている。2013年までは球果着果は無かったが、2014年では19個/本、2015年には17個/本の着果があった。また雄花着花は2012年では着花が無かったが、2013年では指数3、2014年では指数4、さらに2015年には指数5となり、多量の雄花着花があった。小高203は、本県選抜のクローンであり、今後の推移を観察しながら、採種園の構成クローンとして、構成数を増加させるべきものである。

採種園の構成クローンのうち日吉ク-1を除く8クローンは、西日本選抜の抵抗性クロマツであり、その諸特性については多数の報告がある^{2) 3) 4) 6) 7)}。

それらによると、志摩ク-64、波方ク-73は、いずれも西日本地域において、種子生産量が最上位とされていたクローンであるが⁴⁾、本採種園では、福島県および宮城県の東北地方から選抜された、いわき27、小高37、鳴瀬39、山元90、亶理56の5クローンが、さらに上位を占めた。

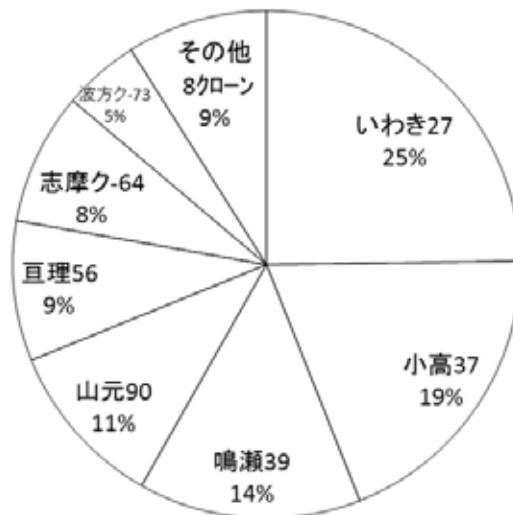


図-4 採種園各母樹の球果数の構成割合

注) 2011~2015年 総計

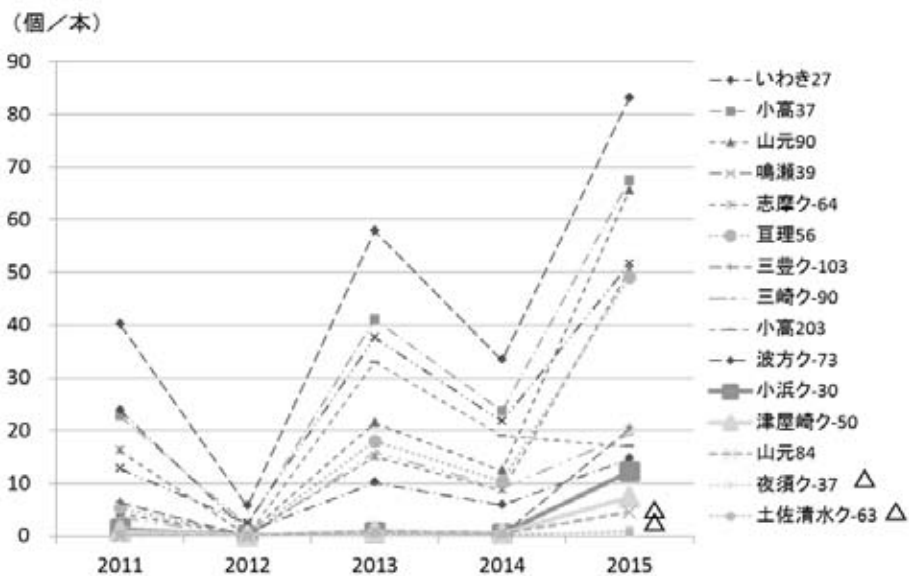


図-5 球果着果数の推移 (採種園構成母樹別)

注1) △: 球果着果数が低位なクローン

注2) 2013は種子生産量からの推定値

4 雄花着花量調査

2012年には、指数2を示すものが2クローン、指数3を示すものが3クローンで、構成15クローン（2012年植栽の日吉ク-1を除く）のうち雄花着花があったものは、わずか5クローンであった。

2013年には、指数2が9クローンに増加し、指数3が1クローン、指数4が2クローン、指数5を示すものが1クローンとなり、構成15クローンのうち13クローンで雄花着花が認められた。

2014年には、指数2が6クローン、指数3が2クローン、指数4が3クローン、そして指数5が2クローンと13クローンで雄花着花があり、さらに指数4が1クローン増加、指数5は1クローン増加し、年数の経過とともに、雄花着花量が増加傾向を示した。一方、雄花着花が無かったものは、小高203（2012年植栽）と三豊ク-103であった。

2015年には、指数2が3クローン、指数3が2クローン、指数4が3クローン、指数5が5クローンと、合計13クローンに雄花着花が認められた。さらに、指数5となったものが3クローン増加し、園内構成クローンによる雄花着花量が年数の経過とともに増加傾向を示した。一方、雄花着花が無かったものは、山元84と三豊ク-103であった。

2014年に雄花着果が無かった小高203（2012年植栽）は、2015年には、雄花着果の指数5となり、雄花着花が認められた。また、三豊ク-103は、2012年から2015年にわたって雄花着花は無かった（表-4）。なお、三豊ク-103は、西日本地域での評価では、球果着花は多くはないとされる報告が多い^{3) 4) 6)}が、2015年には、20個/本と、構成クローン中では、中位程度の球果着果が認められた（図-4）。

表-4 雄花着花量の推移（採種園構成クローン別）

クローン名	2012	2013	2014	2015
小高37	3	2	3	4
小高203	1	3	1	5
いわき27	2	4	4	5
鳴瀬39	3	5	5	5
亘理56	1	2	4	4
山元90	1	2	3	4
山元84	1	2	2	1
波方ク-73	3	4	5	5
三崎ク-90	2	2	2	3
三豊ク-103	1	1	1	1
夜須ク-37	1	1	2	2
土佐清水ク-63	1	2	2	2
志摩ク-64	1	2	2	2
津屋崎ク-50	1	2	4	5
小浜ク-30	1	2	2	3

5 遺伝資源保存園における球果着花数および雄花着花量調査

2015年には、1本当たりの平均球果着果数が上位のものは、山元82（宮城県選抜）が90個/本、鳴瀬72（宮城県選抜）が63個/本の2クローンであった。中位のものは、田辺ク-54（和歌山）が32個/本、川内ク-290（鹿児島）が27個/本、大瀬戸ク-12（長崎）

が24個／本、波方ク-37（愛媛）が23個／本の4クローンであった。

一方、唐津ク-1（佐賀）、唐津ク-4（佐賀）、唐津ク-9（佐賀）および吹上ク-25（鹿児島）の4クローンは、球果はまったく付かなかった。これらの傾向は、上記の順位は入れ替わるが、2013年、2014年でも、ほぼ同様な推移であった（図-6）。

雄花着花量について見ると、2013年には、指数2を示すものがわずかに1クローン（鳴瀬72）で、他に雄花着花は無かった。

2014年には、鳴瀬72が指数3、唐津ク-7、唐津ク-9、波方ク-37、田辺ク-54、川内ク-290、山元82、大瀬戸ク-12の7クローンが指数2であり、他に雄花着花は無かった。

2015年には、鳴瀬72が指数5、山元82が指数4、大瀬戸ク-12が指数3であり、波方ク-37、田辺ク-54、川内ク-290が指数2であり、唐津ク-1、唐津ク-4、唐津ク-7、唐津ク-9、吉田ク-2、吹上ク-25、および穎娃ク-425の7クローンは雄花着花は無かった（表-5）。

以上の結果から、球果着果および雄花着花が優れた宮城県選抜の山元82および鳴瀬72の2クローンは、本県においては連年の球果着果および雄花着花性が良く、現時点における採種園の改良のための入れ替え候補クローンと考えられる。

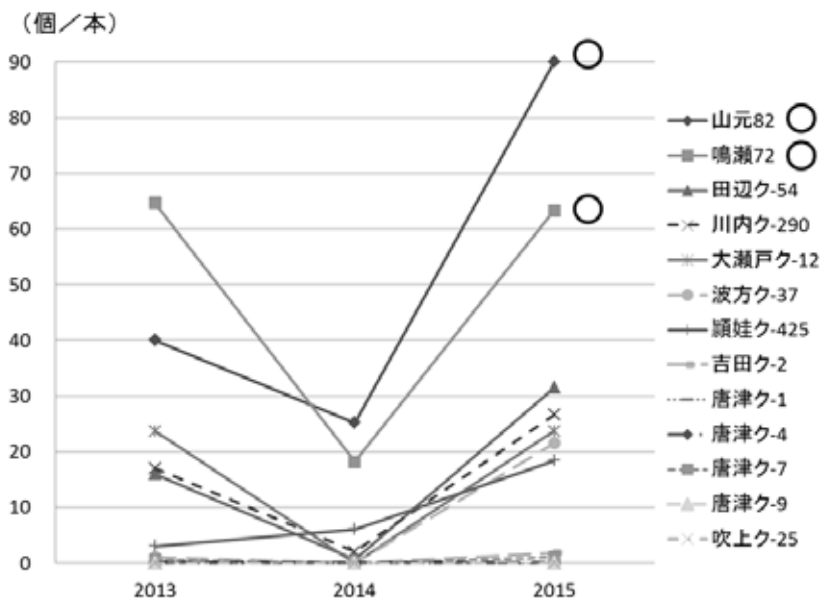


図-6 球果着果数の推移 (遺伝資源保存園 集殖クローン別)

注1) ○: 球果着果数が上位のクローン

注2) 採種園には未導入

表-5 雄花着花量の推移 (遺伝資源保存園 集殖クローン別)

クローン名	2013	2014	2015
唐津ク-1	1	1	1
唐津ク-4	1	1	1
唐津ク-7	1	2	1
吉田ク-2	1	1	1
唐津ク-9	1	2	1
波方ク-37	1	2	2
吹上ク-25	1	1	1
鳴瀬72	2	3	5
田辺ク-54	1	2	2
川内ク-290	1	2	2
顚娃ク-425	1	1	1
山元82	1	2	4
大瀬戸ク-12	1	2	3

注) 採種園には未導入

IV 考察

採種園の理想的な5条件⁵⁾として、①大量の種子を安定して供給できること、②園外からの花粉の汚染が無視できる程度であること、③採種園を構成する全てのクローンが次代の種子の生産に均等に寄与すること、④設計に基づく正確な植栽と管理がなされていること、⑤自殖の防止、がある。そのうち、①～③の条件を勘案し、今後の採種園の改良方法について整理する。

1 「大量の種子を安定して供給できること」について

(1) 現採種園の球果着果の不良な2クローン(夜須ク-37、土佐清水ク-63)を採種園から除去し、保存園(採種園には未導入)の球果着果の良好な2クローン(山元82、鳴瀬72)を採種園に導入し改善を図る。

2 「園外からの花粉の混入が無視できる程度であること」について

(1) 採種園の雄花着花が、年次を経る毎に構成クローンの雄花着花が増加傾向を示していることから、今後の増減傾向を観察検討する。

(2) 採種園での雄花着花の低位な2クローン(夜須ク-37、土佐清水ク-63)を採種園から除外し、雄花着花の比較的良好な2クローン(山元82、鳴瀬72)を採種園に導入し改善をはかる。

(3) 採種園の近隣に生育する支障木(アカマツ)をできる限り除去する。

(4) 補完的人工受粉(SMP)を実施し、抵抗性花粉の受粉を補完する。

3 「採種園を構成する全てのクローンが次代の種子の生産に均等に寄与すること」について

(1) 現採種園に1本導入されている球果着果性、雄花着花性ともに良好な1クローン(小高203)を、構成クローン数の均等化のため16本程度に増加させる。

マツノザイセンチュウ被害の北上とともに、東北地方においても抵抗性クロマツ採種園の造成がなされているが、現在、本採種園では、西日本地域で選抜された抵抗性クロマツ

を6割程度、補完的に構成クローンとして活用している。今後、地域の立地、気候に適合した抵抗性クロマツ選抜の進捗とともに、東北地方選抜の抵抗性クロマツとの入れ替えも考えられる。

V おわりに

採種園において、抵抗性種子を生産するには、理想的には、園外からの花粉污染がなく、全母樹が、受粉適期に花粉の空中濃度を上げ、母樹に抵抗性の花粉を高率で受粉させれば、抵抗性種子が高率で生産される。

今後の抵抗性花粉の管理は、園外からの花粉污染を、なるべく抑制し、より高率に抵抗性花粉の受粉を促すために、補完的人工受粉（SMP）の実施が採種園の運営上、現実的で有効な対策となり得る。

VI 引用文献

- 1) 後藤 晋・宮原文彦・井出雄二（2002）クロマツ種苗のマツ材線虫抵抗性に対する花粉親の寄与. 日林誌84：45-49
- 2) 半田孝俊・加藤一隆・植木忠二ら（1995）非抵抗性花粉の飛来によるアカマツマツノザイセンチュウ抵抗性クローンの子供苗の抵抗性低下. 日林論106：295-296
- 3) 川内博文（1998）マツノザイセンチュウ抵抗性マツの特性. 鹿児島県林業技術研究成果集No.5【育種】：1-2
- 4) 川内博文（2000）マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツの諸特性－鹿児島県マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ採種園の種子生産性と家系特性. 林木の育種特別号2000：30-33
- 5) 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. 日林誌87（2）：161-169
- 6) 落合年史（2001）熊本県舞の原クロマツ採種園におけるマツノザイセンチュウ抵抗性クロマツのクローン特性. 日林九州支論No.54：49-50
- 7) 戸田忠雄・加藤一隆（1999）精英樹など育成品種の特性（4）－西日本におけるマツノザイセンチュウ抵抗性品種－. 林木の育種No.192：35-41
- 8) 戸田忠雄（2000）抵抗性マツを生産するための材線虫の培養技術と接種技術. 林木育種センター九州育種場年報第28号：56