

育種種苗を保証するための次代検定

畠 山 末 吉

はじめに

林木育種の基本は精英樹の選抜である。選抜は林木の表現型をもとに行われ、選抜個体の大多数は遺伝的にも優れたものと考えられている。しかし、次代検定を経るまで確かではない。将来、表現型から直接、遺伝的評価ができる方法が開発されるかも知れないが、現在、最も信頼できる遺伝的評価の方法は次代検定しかないといえる。

林木育種のような長期の事業計画では、当初から事業の最終結果を正確に予測するのは難しいが、林業や造林対象の育種種子については、“優秀である、改良されている、適応性が高い”等の保証が必要である。保証にさいしては、どの形質か どれだけ優良か 適応性はどうかなど、形質も特定しなければならないと考える。

この保証のために、どのような材料を、どのような場所で、どのように実施し、結果の整理どのようにすべきかについて述べることにした。

次代検定に供する材料

一般に、林木は他家受粉であるから、1母樹、1球果内の種子1粒ずつの花粉親が不特定で、時には一球果内の全種子が別々の花粉親と受精しているかも知れない。したがって、採種園産種子の次代検定では、採種園内の各クローンが一定の着花をしたとき採種した種子、もしくは各クローンに混合受粉（Polymix）した人工交配種子が用いられる。

また、選抜個体の後代を客観的に評価するためには、必ずあとで述べるコントロールが必要である。コントロールがない次代検定では育種種子の保証ができない。ただし、種間雑種等の検定の場合は雑種 F_1 の両親種が含まれるから、一般の次代検定におけるコントロールを欠いても支障がない。

以上を要約すると、検定材料は、

- 1) 採種園以外の花粉源からある程度隔離されている採種園内各クローン間の他家受粉種子
- 2) 10 個体程度の異なったクローンの花粉を等量に混合したクローン別人工交配種子
(Polymix)
- 3) 特定の親同士的人工交配種子など

となる。

次代検定の主目的は

- ア 採種園を構成している全クローンまたは各個体の選抜による遺伝獲得量（改良量）を明らかにすること

イ どのクローンが改良に寄与し、どのクローンが改良に寄与していないかをきめることであるから、必要以上に複雑な交配計画や統計的方法はできるだけ簡略にし、能率的な方法を採用すべきである。

最も理想的な材料は全クローンの総あたり交配、すなわち完全ダイアレル交配の種子である。それに準ずるものは、異なる数クローンを花粉親とし各クローンに人工交配した不完全ダイアレル交配の種子がある。この場合、最小限、4クローンの花粉親が必要である。4系統の異なる花粉親を用いた人工交配家系であれば特定組合せ能力 (Specific combining ability) が推定できる。これは、1クローンの雌親に対し、最低4系統の花粉親を別々に交配するか、逆に、4系統の雌親を検定親として、それに各クローンの花粉を別々に受粉させる方法である (図)。この交配計画による林木の次代検定は、アメリカの International Paper Company の育種計画で実施されている。

採種園のクローン配植は、全クローンが無作為交配するように設計されているが、採種園造成の初期には各クローンの着花量も少なく、しかも全クローンが着花していないことが多いよこのような時は、花粉親が特定のクローンに偏るから花粉の人工的な補給が必要になる。それは採種園内の各クローンの混合花粉を人工受粉することであるが、最低10クローン程度の混合花粉である。この方法では、一般組合せ能力 (General combining ability) は推定できる。すなわち、雌親のみの遺伝的能力の情報となるが、この推定値は採種園から生産される育種種苗の平均値とほぼ同じものである。

一方、採種園内の各クローンの着花が量的にも十分になれば、採種園内のクローン間の自然受粉種子による検定が最も直接的で、しかも有効である。これは将来、事業ベースで生産される採種園産種子の真の代表値である。したがって、理想としては、自然受粉と混合花粉を人工受粉種子の二つを併用した次代検定が望ましいといえる。

♀ ♂	1	2	3	4	5	6	n
A	●	●	●	●	●	●	●
B	●	●	●	●	●	●	●
C	●	●	●	●	●	●	●
D	●	●	●	●	●	●	●

4 クローンの雌親に各クローンの花粉親を人工交配する交配組合せ

♀ ♂	1	2	3	4	5	6	n
A	●	●	●	●	●	●	●
B	●	●	●	●	●	●	●
C	●	●	●	●	●	●	●
D	●	●	●	●	●	●	●

4 クローンの花粉親を各クローンに人工交配する交配組合せ

図 不完全ダイアレル交配の組合せ

コントロール（育種種苗を評価する尺度）

次代検定においては、選抜による育種効果を測定する尺度が必要である。それは各選抜個体の後代を公平に評価する共通の尺度であり、コントロールとよばれている。コントロールとして適切な材料は各地方で、事業ベースで造林されている種苗である。これは検定しようとするクローンの後代と共に検定林に植栽される。

コントロールとして用いる種苗は、いくつかの採種源の種子を混合したもの、あるいは、一つの採種源からのものなどである。時には、特定のクローンの人工交配種子や自然受粉種子を用いることもある。

特定クローンの人工交配や自然受粉の種苗は上述の種苗と比較し、遺伝的変異幅が小さく、生長や他の表現形質が均一と考えられるから、これだけを単用するのは好ましくない。このような場合は、複数のコントロールを用いることになる。

コントロールについてまとめると、

ア 事業用のコントロール；これは現在、造林事業に供されている数箇所採種源からの種子の単用、もしくは混合種子

イ 均質なコントロール；各検定林に共通して用いる特定の採種源産種子

ウ 特定の人工交配種子または単一クローンの自然受粉種子

となる。

コントロールとして不適当な材料は

ア 病虫害抵抗性が高い特定の産地系統

イ 極めて優良な林分産種子

ウ 除間伐の対象となるような不良木の種子

エ 着花木が少なく自家受粉が多いと考えられる年の種子

などである。

特定形質の検定に必要な条件

次代検定の実験計画は、特定の形質を含む多数形質を評価できるものとしなければならない。そして、全測定値や観測値は簡単に理解できる形に整理し、結果を要約する必要がある。

検定に必要な詳細な項目や検定の目標形質などは、検定地の環境によっても異なるが、次の三つのカテゴリーに大別して考えられる。

- 1 病虫害，その他被害抵抗性
- 2 樹形，材質その他の質的形質
- 3 生長の優位性

検定においては個別形質ごとに評価することになるが、さきに述べたカテゴリーごとに簡単に補足すると

1 病虫害，その他被害抵抗性

一般の次代検定において，病虫害等の抵抗性は検定の主目的ではない。抵抗性を検定するためには，抵抗性の検定に適した立地条件を選択しなければならない。すなわち，各家系および各家系内の個体は病虫害に均等にさらされるような立地である。つまり，病虫害，気象害等の抵抗性の検定はその被害が多発する自然環境下か，病害等は人工接種処理等によって検定する必要がある。

2 樹形，材質その他の質的形質

立地条件の差異が大きく影響する形質は，単一環境下での検定では不偏的な値が得られ難いから，立地条件が異なるいくつかの環境下で検定する必要がある。

また，長期にわたる時間の経過にともなって累積される形質や，各林齢や生育段階にともなって発現される形質もあり，多数形質の検定は長期を要することになる。

質的形質の検定には1家系あたり100個体程度の標本が望ましい。しかし，本来，検定に必要な決定的な所要本数はない。例えば，単純に遺伝的変異のみの比較であれば1プロットあたり2本以上，もしくは各家系あたり2本以上で十分である。どれだけの本数が必要かは変異係数の大きさに関係する。変異係数が小さければ，少ない本数でよい。しかし，変異係数の大小は，検定する形質，遺伝的変異性の大小，検定地の立地環境の均一性，実験計画などがかかわっている。

3 生長の優位性

一般的には広い地域に適応する系統や品種の開発が望まれる。そのためには広く異なる立地環境下での検定が必要であり，年を変えたり立地条件を変えて繰り返すこともある。必要な繰り返しとしては最低3回以上と考えられる。例えば，同一年に立地環境が異なる2個所で検定し，第3の検定はその翌年にすでに造成したどちらかと類似の立地条件で検定することもある。

理想的には広域適応品種の育成であるが，実用的には育種地帯区分をして，それぞれの地帯に最も良く適応し，しかも生長が優位な品種を育成する方法が効率的である。このため，トドマツ，アカエゾマツの育種種子については，生態的環境を考え，あらかじめ道内を9地帯に区分し，それぞれに検定林を造成している。いずれにしても，検定に際しては検定の立地環境をできるだけ多く，かつ多様にすることが望ましい。

以上を要約すると

1) 病虫害抵抗性等の検定は，検定目的である病虫害等が多発する場所に次代検定林を設定すること

その場合，病虫害以外の他の形質についての検定はあまり期待できない

2) 各母樹についてはその後代の樹形，質的形質およびその他の特定形質について検定もすること

3) 各後代の検定のために望ましいのは環境の異なる3個所に検定林を造成し、そのいずれかの1検定林では樹形や品質を、その他の検定林では生長や材積について検定することとなる。

実験計画と統計的方法

検定林の立地は、それぞれの地帯を代表する最も典型的なところとし、しかも、検定林内の立地条件が均一な場所を選ぶ必要がある。育種効果は早期に評価する必要があるから、採種園の全クローンの着果まで待つのは時間の浪費である。また、全クローンの後代を同一検定林で検定しようとする、広大な検定林となり、検定林内の立地環境が不均一になる。したがって、実際は、採種園内の約30%以上のクローンが着果し、検定が可能となった段階で速やかに実施することであろう。

次代検定の基本は、検定する各家系を反復して植栽し、各家系の配置は無作為とすることである。これは検定の際の誤差項を評価するために必要、不可欠な条件である。つまり、各家系平均の値はこの誤差をもちいて検定するからである。

各家系の配置を無作為化する方法には、簡単なつり合い格子法やラテン方格法がある。しかし、より単純な実験計画や統計的泳法を用いると効率的である。

しかし、死亡率とか罹病率のようなパーセントで表されるデータは²(カイ自乗)検定が望ましい。とくに、分散分析等を行いF検定やt検定をするためには逆正弦等などの数値変換が必要になる。

実験計画は乱塊法が一般的である。共通の実験計画法を採用すればデータの収集、野帳の様式、保管、解析等のいずれにも好都合である。林木育種のように次代検定に長期を要する場合は、あるプロットがなにかの原因で消失することが多いが、簡単な実験計画であればプロットデータの補完が容易にできる。

プロット内の誤差分散を最小にするためには単木植栽のプロット(Single tree plot)がよいが、競争力(Competitive ability)などについての検定には各家系、1列植えのプロットが有効である。

プロット平均を比較する場合には、プロットあたり最低6個体程度の標本が必要である。生長や材質が検定主目的である場合、後代が混合花粉の受粉や採種園内での自然受粉によるものでは各家系100個体程度が望ましい。

一方、各雌親に4系統の花粉親をそれぞれ交配して育成された家系の場合、各雌親は1反復区内で4回繰返されるから反復区は4回で十分である。プロットの形(列状、方形など)は検定期間の長さや検定の精度、家系内の個体数などによって変わるから決定的なものはない。しかし、いずれにしても各反復区内にそれぞれ異なるコントロールを数プロットずつ配植する必要がある。

検定に要する期間

検定する形質によって検定期間が異なるから，検定期間に一定の基準は設けられない。

例えば，

- 1) 耐寒性，耐病性などは5～6年以内に評価できる
- 2) しかし，材質，材積などは商品価値を示す一定の大きさが必要であるから，それに至るまでの一定の期間が必要である。
- 3) 林木相互間の競争力，樹冠閉鎖後に発生する病害などは植栽後20年も経なければならない。
- 4) 5年生時，10年生時に検定できる形質もあるが，最終的には30年は必要であろう
このように，検定に要する期間は形質によって異なり，それぞれの形質を最もよく観測できる林齢がある。したがって，形質が最も良く発現される林齢の時に検定することが効果的である。

検定結果と報告のまとめ

次代検定における報告には最低以下の記述が必要であろう。

- 1) 次代検定に用いた材料が品種か，系統か，あるいはその他のものか
- 2) 次代検定に供されている材料が将来的にも代表として適当か否か
- 3) 次代検定地の環境の記載（苗畑および造林地の所在地，施業，気候条件など）
- 4) 実験の規模と実験計画の詳細
- 5) 造成年月日
- 6) 測定形質，林齢または測定地の林況
- 7) 次代検定に供試したコントロールの記載
- 8) 各測定時ごと，各測定形質についてコントロール材料と検定される各家系との量的な対比
- 9) 各測定形質についてコントロール材料と統計的有意差があるのか，各家系間の統計的有意差があるかを示すこと。そして各形質ごとに好ましい家系と好ましくない家系を示すこと
- 10) もし，コントロールが2～3ある場合，各検定家系とそれぞれのコントロールとの比較
- 11) 各家系とコントロールとの差，および家系間の差異のそれぞれの測定単位にしたがった表示。同時に，統計的有意性を表すこと（標準誤差）。また，コントロールの平均と検定家系群の平均値の対比

などである

（副 場 長）