الأبوين ولقحا معًا فى معزل لتكوين الدورة التالية من الانتخاب، فإن c = ١. ويحدث هذا التضاعف فى التقدم فى الانتخاب المُتنبأ به بسبب إجراء الانتخاب على كل من الآباء والأمهات بدلاً من الأمهات فقط.

• وإذا ما أريد حساب قيمة التقدم فى الانتخاب المتنبأ به بعد عدد معين من الأجيال (بغرض إجراء دورة انتخاب واحدة سنويًا)، فإن المعادلة المبسطة تكون كما يلى

$$G_y = [(c)\,(k)\,(\sqrt{VP})\,(h^2)\,/\,y]$$

علمًا بأن:

G_y = التقدم فى الانتخاب / سنة.

y = عدد السنوات التى تلزم لإجراء دورة واحدة من الانتخاب.

هذا ولا يجب أن نتوقع أن انتخاب عدد أقل من النباتات يعطى - دائما تقدمًا أفضل؛ ففى الواقع .. يتعين عند انخفاض درجة التوريث زيادة عدد النباتات المنتخبة للتأكد من أن بعض النباتات التى يتم انتخابها تكون متفوقة بسبب تركيبها الوراثى المتميز وليس لأسباب بيئية فقط. وتوجد خطورة من احتمالات زوال القاعدة الوراثية إذا ما كانت شدة الانتخاب عالية جدًا؛ الأمر الذى يكون له تأثيرات ضارة على فاعلية الانتخاب فى الأجيال التالية. وكقاعدة عامة .. فإن معظم مربى النبات ينتخبون أفضل ١٠٪ من النباتات (عن Poehlman & Sleper ١٩٩٥).

وسائل زيادة التقدم الوراثى السنوى فى برامج التربية بالانتخاب

يسعى المربى - دومًا - إلى تعزيز وزيادة التقدم الوراثى الذى يحرزه سنويًا فى برامج التربية بالانتخاب؛ من خلال التحكم فى مختلف متغيرات المعادلة الخاصة بالتقدم الوراثى، كما يلى:

عدد سنوات كل دورة انتخاب

يتوقف عدد سنوات كل دورة انتخاب على عدد العروات التى يمكن زراعتها كل عام، حيث يمكن زراعة عروتين، أو ثلاث عروات - أحيانًا - من المحصول الواحد فى المناطق ذات المناخ المعتدل أما فى المناطق الشديدة البرودة شتاء، أو الشديدة الحرارة

صيفا فيمكن زراعة عروات إضافية فى البيوت المحمية، أو فى مناطق أخرى من العالم، تسمح فيها الظروف البيئية باستمرار الزراعة

ويستفاد من العروات الإضافية هذه فى إجراء التهجينات، وفى التربية الداخليه، وإكثار البذور، كما قد يستفاد من بعضها فى التقييم والانتخاب. ويتوقف ذلك على الإمكانات المتاحة، والمحصول المزروع، والصفات التى يجرى الانتخاب لها

فالزراعات المحمية وحجرات النمو لا تناسب إلا المحاصيل التى لا تتطلب مساحات كبيرة لنموها، وعمليات التربيه التى لا تتطلب أعدادا كبيرة من النباتات لإنجازها ويعد إجراء التهجينات أكثر عمليات التربية شيوعا فى البيوت المحمية كما يجرى فيها - أحيانًا زراعة مزيد من الأجيال، للوصول الى الأصاله الوراثيه، ويكون ذلك – غالبا - بطريقة التحدّر من البذرة المفردة Single-Seed Descent كما يعد التقييم لمقاومة الآفات أكثر الاختبارات إجراء فى البيوت المحمية وحجرات النمو

وبالمقارنة فإن زراعة العروات الإضافية تحت ظروف الحقل – فى المناطق التى يسودها جو معتدل – تسمح بتقييم أعداد كبيرة من النباتات، وإجراء معظم عمليات التربية التى تجرى فى العروة الرئيسية، ولكن يعاب عليها صعوبة الإشراف الدائم على العمليات الزراعية التى تجرى بها، والتكاليف والجهود الإضافية التى تبذل فى التنقل بين المحطتين، والتأخير الذى قد يحدث فى انتقال البذور والأجزاء الخضرية المستعملة فى الزراعة فى حالة وجود قوانين حجز زراعى خاصة بالمحصول المراد زراعته

أما زراعة العروات الإضافية فى دول أخرى بنصف الكرة الأرضية المقابل فإنها تتطلب اتفاقيات دولية وترتيبات خاصة، لسرعة انتقال الأجزاء النباتيه المستعملة فى الزراعة ولهذه الطريقة مزايا الطريقة السابقة وعيوبها

شدة الانتخاب (k)

تفضل – دائما – زيادة أعداد النباتات أو السلالات التى يجرى تقييمها، لأن ذلك يكون مصاحبًا بزيادة فى قيمة شدة الانتخاب بالوحدات القياسية (أو k)، فبفرض أن المربى يقوم بانتخاب أفضل ٢٠ سلالة فإن ذلك يعنى أن شدة الانتخاب (كنسبة

مئوية) تكون ٢٠٪ فى حالة اختبار ١٠٠ سلالة، و ١٠٪ عند اختبار ٢٠٠ سلالة، و ٥٪ لدى اختبار ٤٠٠ سلالة. وتكون قيمة k المقابلة هى ١.٤، و ١٧٥، و ٢٠٦ – للحالات الثلاث – على التوالى. وحتى لو حافظ المربى على نسبة مئوية ثابتة من السلالات المنتخبة .. فإن زيادة عدد السلالات المختبرة يعنى تقليل التربية الداخلية فى العشيرة، وهو أمر مطلوب. وتعد ميكنة العمليات الزراعية واستخدام الحاسبات الآلية من أهم العوامل التى ساعدت مربى النباتات على زيادة أعداد السلالات التى تختبر فى برامج التربية سنويًا.

تحكم الآباء (c)

يمكن زيادة قيمة (c) من ٠ ٥ إلى ١ ٠ بانتخاب الصفة قبل تلقيح الأمهات بالآباء المنتخبة وغير المنتخبة. ويفضل انتخاب الأمهات والآباء قبل التلقيح؛ حتى تكون الآليلات المورثة للنسل من نباتات منتخبة. ويعنى انتخاب الأمهات فقط أن نصف الآليلات – فقط – هى التى تكون من نباتات منتخبة أما النصف الآخر من الآليلات – وهو الذى يتحصل عليه من الآباء غير المنتخبة – فإنه لا يسهم فى أى تقدم وراثى

كما يمكن زيادة تحكم الآباء من ١,٠ إلى ٢,٠ باستعمال البذور الناتجة من التلقيح الذاتى أو السلالات الخضرية لإجراء التلقيحات بين أنسال أنصاف الأقارب المتفوقة Superior half-sib progenies بدلاً من استعمال البذور المتبقية من أنصاف الأقارب (فى التلقيحات القمية)؛ ذلك لأن الآليلات الموجودة فى البذور الناتجة من التلقيح الذاتى تأتى من الأفراد المنتخبة فقط، بينما تأتى نصف آليلات بذور أنصاف الأقارب من النباتات المنتخبة، ويأتى نصفها الآخر من العشيرة التى تضم أفرادًا غير منتخبة

التباين الوراثى (σ^2_A، و σ^2_g)

يتأثر مقدار التباين الوراثى الإضافى فى العشيرة بالعوامل التالية:

١ – مدى التنوع أو التباعد الوراثى بين الآباء:

تتأثر الاختلافات الوراثية بعدد الآباء التى استعملت فى إنتاج العشيرة، ومدى تقاربها أو تباعدها – وراثيًا – عن بعضها البعض؛ ففى النباتات الثنائية التضاعف ..

يمكن أن تحتوى العشيرة الناتجة من تلقيح فردى single cross على أحد آليلين فقط فى كل موقع جينى، ويزيد هذا الرقم إلى ثلاثة، وأربعة فى العشائر الناتجة من التلقيحات الثلاثية three-way crosses، والمزدوجة (الرباعية) double crosses على التوالى وهكذا، وهو ما يعنى توفر قدر أكبر من الاختلافات الوراثية ولهذا الأمر أهمية خاصة فى برامج التربية التى يكون فيها عدة دورات من الانتخاب المتكرر، نظرا لأن مدى التقدم الذى يمكن تحقيقه بالانتخاب يتوقف على عدد آليلات كل جين فى عشيرة الأساس Base Population التى يبدأ فيها الانتخاب وكلما ازداد عدد الآباء المستعملة فى كل دورة انتخاب ازدادت الاختلافات الوراثية التى تتوفر للانتخاب

وكلما كانت الآباء المستعملة فى إنتاج عشيرة الأساس متباعدة عن بضعها البعض وراثيًا (أى مختلفة فى أنسابها) ازدادت فرصة متاركتها بالآليلات مختلفة فى مختلف المواقع الجينية كما يعمد المربى إلى الحد من النقص فى الاختلافات الوراثية - الذى يحدث نتيجة للتربية الداخلية أثناء إجراء برنامج التربية – بانتخاب سلالات لدورات الانتخاب، تنتمى (أو تنتسب) إلى تلقيحات أصلية مختلفة

هذا ولا تعنى المناقشة السابقة أن يعمد المربى إلى إدخال آباء غريبة exotic parents (وهى الأصناف أو السلالات التى لا تكون منتجة، أو مزروعة فى المنطقة التى تنتج لأجلها الأصناف الجديدة) لمجرد زيادة الاختلافات الوراثية فى عشيرة الأساس، لأن هذه الزيادة تكون مصاحبة بانخفاض عام فى متوسط العشيرة. ولا ينصح بإدخال مثل هذه الآباء إلا فى برامج الانتخاب المتكرر الطويلة المدى.

٢ – المدى الذى وصلت إليه التربية الداخلية فى العشيرة قبل التقييم والانتخاب

ترتبط التباينات الوراثية الإضافية إيجابيًا بنسبة المواقع الجينية الأصيلة فى عشيرة من الأفراد وتؤثر التربية الداخلية F على مقدار σ^2_A حسب المعادلات المبينة فى جدول (١٤–٣) ويجب أن يؤخذ فى تقدير الزيادة فى مقدار σ^2_A بالتربية الداخلية الوقت الذى يستلزمه الحصول على مزيد من التراكيب الوراثية الأصيلة، حيث أن التقدم الذى قد يتحقق مع كل دورة انتخاب قد يزداد بالاختيار المناسب لطريقة التربيه، ولكن قد تزداد فى المقابل عدد السنوات/دورة، مما قد يقلل من التقدم/سنة

٣ – عدد أجيال الانعزال بين الدورات:

ترتبط درجة التباينات الوراثية في العشيرة بعدد المرات التي يتاح فيها تكون تراكيب وراثية جديدة نتيجة للتزاوج بين أفراد العشيرة، علمًا بأن فرصة ظهور انعزالات جديدة - بحدوث العبور ين الجينات المرتبطة – لا تتأتى إلاّ عندما يكون الفرد في حالة خلط ورثي (AaBb)، لأن العبور بين الجينات في التراكيب الوراثية الأصيلة (AABB أو aabb) لا ينتج عنه أي انعزالات جديدة. وتزداد احتمالات الانعزال بين الجينات المرتبطة مع كل جيل جديد من التلقيح الخلطي العشوائي في العشيرة. وتؤخذ تلك الحقيقة في الاعتبار عند تحديد عدد أجيال التزاوجات بين الأفراد المنتخبة خلال برنامج التربية

ويمكن أن يؤثر عدد أجيال التزاوجات على التقدم الوراثي/سنة بزيادته لعدد المواسم التي تلزم لإكمال دورة الانتخاب؛ علمًا بأن تلك الزيادة يمكن تحقيقها -- دونما تأثير على عدد السنوات لكل دورة بإجراء تلك التزاوجات في مواقع أخرى تناسب زراعة المحصول، وإن كانت لا تناسب تقييمه.

جدول (١٤–٣): التباينات الوراثية بين عائلات ذات تربية داخلية (F) عندما يكون التفوق صغيرًا إلى درجة إمكان إهماله (F = صفر لساتات الـ F_2 أو الـ S_0).

العائلات	التباين الوراثي
أنصاف الأشقاء half-sib	$[¼ (1 + F)] \sigma^2_A$
الأشقاء full-sib	$[½ (1 + F)] \sigma^2_A + [½ (1 + F)]^2 \sigma^2_D$
الملقحة ذاتيًا selfed	$(1 + F) \sigma^2_{A'} + ½ (1 - F) (1 + F) \sigma^2_D$

σ^2_A = التباين الوارثي الإضافي.

σ^2_D = تباين السيادة.

$\sigma^2_{A'}$ = التباين الوراثي الإضافي + مكون آخر يكون دالة على درجة السيادة.

التباينات داخل الوحدات التجريبية (σ^2_u، و σ^2_{wg}، و σ^2_w)

إن التباينات داخل الوحدات التجريبية (σ^2_w) تتحدد بكل من التأثيرات البيئية (σ^2_u). والانعزال الوراثي (σ^2_{wg})، ويكون تأثيرهما دالة لعدد النباتات التي يؤخذ متوسطها كمتوسط للـ plot.

وتتحدد تلك العلاقة بالمعادلة التالية:

$$\sigma^2_{\bar{y}} / n = (\sigma^2_{e} + \sigma^2_{(p)}) / n$$

حيث إن n هى عدد النباتات بالوحدة التجريبية plot

تكون قيمة n واحدًا صحيحا عندما يكون الانتخاب على أساس النباتات الفردية فى العشيرة مثلما يكون عليه الحال فى الانتخاب المتكرر للشكل المظهرى وفى حالة تقييم السلالات أو العائلات، فإن قيمة n تتحدد بكل من حجم الوحدة التجريبية والعشيرة النباتية المستعملة، معبرًا عنها بعدد النباتات/plot. ويمكن تقدير تأثير زيادة عدد النباتات/plot بإبقاء σ^2_{e} ثابتة (٧٠٠ مثلاً)، وزيادة أعداد النباتات، حيث تكون قيمة $\sqrt{\sigma^2_{\bar{y}} / n}$، كما يلى:

N	$\sqrt{\sigma^2_{\bar{y}} / n}$
١	٢٦,٥
٢	١٨,٧
٣	١٥,٣
٤	١٣,٢
٥	١١,٨
١٠	٨,٤
٢٠	٥,٩
٣٠	٤,٨
٤٠	٤,٢
٥٠	٣,٧
٦٠	٣,٤
١٠٠	٢,٦

يلاحظ أن أهمية أو قيمة زيادة أعداد النباتات بالوحدة التجريبية plot تقل بزيادة قيمة n، وأن الفرق بين نبات واحد، و ١٠ نباتات بالوحدة التجريبية فى مثالنا كان ٢٦,٥ - ٨,٤ = ١٨,١ وحدة، هذا بينما كان الفرق بين ٦٠، و ١٠٠ نبات/plot هو ٠,٨ وحدة فقط ويمكن للمربى أن يحدد العدد الأمثل من النباتات/plot بالنسبة لكل من الصفات التى يرغب فى تقييمها

التباينات من وحدة تجريبية لأخرى (σ^2)

يرتبط تقدير σ^2 بالاختلافات البيئية من قطعة تجريبية لأخرى، ويتأثر ذلك بمدى تجانس الوحدات التجريبية داخل المكررة الواحدة وفى التجارب الحقلية تزداد فرصة زيادة σ^2 بزيادة مساحة المكررة الواحدة ويمكن خفض قيمة σ^2 بخفض عدد الوحدات التجريبية/مكررة، وبخفض حجم الوحدة التجريبية ذاتها

وعندما يكون الانتخاب على أساس النباتات الفردية لا يصبح التباين من plot لأخرى ذا أهمية إذا ما قورنت النباتات داخل الـ plot أو الـ grid مع بعضها بدلاً من مقارنة النباتات بين الـ plots المختلفة.

الخطأ التجريبى (σ^2_e)

إن خفض قيمة σ^2_u، و σ^2_{we}، و σ^2 يسبب خفضا فى قيمة σ^2_e لأن:

$$\sigma^2_e = (\sigma^2_u + \sigma^2_{we}) / n + (\sigma^2)$$

ويتأثر – كذلك – مدى أهمية σ^2_eبعدد المكررات (r) والبيئات (t) التى يجرى فيها الاختبار، كما يتضح من التعبير (σ^2_e/rt).

تفاعل التركيب الوراثى مع البيئة (σ^2_{ge})

يمكن خفض تأثير التفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة بإجراء التقييم فى عدة بيئات (t)، حيث يعبر عنه كـ (σ^2_{ge} / t)، وعلى المربى أن يختار العلاقة بين عدد المكررات والبيئات التى تعطى أفضل قدر من التقدم الوراثى بأقل تكلفة ممكنة

ويمكن تقدير تأثير الأعداد المختلفة للمكررات والبيئات من التعبير:

$$(\sigma^2_e / rt) + (\sigma^2_{ge} / t)$$

يلاحظ من التعبير السابق أن زيادة عدد البيئات يكون أكثر تأثيرًا عن زيادة عدد المكررات، ذلك لأن t تعد مقسومًا عليه لكل من σ^2_e، و σ^2_{ge}.

وإذا ما كان عدد الوحدات التجريبية التى بالإمكان زراعتها ثابتًا، ولم تكن التكلفة بذى أهمية، وكانت σ^2_{ge} هامة، فإن أقصى تقدم وراثى يمكن تحقيقه، بزراعة مكررة

واحدة فى كثير من البيئات، إلاّ أن ذلك الأمر لا يحدث فى أغلب الأحيان لأن تكلفة الزراعة فى عدة مواقع تكون أكثر من تكلفة زراعة مكررات إضافية فى موقع واحد وتؤدى زراعة أى موقع إضافى أو مكررة إضافية إلى خفض تباين الشكل المظهرى، إلاّ أن مدى هذا الخفض يقل كلما ازدادت قيمتا r، و t مثلما كان عليه الحال عندما أوضحنا تأثير الزيادة فى أعداد النباتات/plot على خفض الـ σ^2_w.

الانتخاب غير المباشر

يعنى بالانتخاب غير المباشر الانتخاب للصفات التى ترتبط جيدا مع الصفة المعنية، التى يراد تحسينها.

وتتحدد أهمية الانتخاب غير المباشر لصفة ما - تـورث كميًّـا - بالمعادلـة التالية:

$$CR_x / R_x = r_A (i_y h_y / i_x h_x)$$

حيث إن.

CR_x = مقدار التحسن فى الصفة الأولية primary character (مثل صفة المحصول)، الذى يحصل عليه بالانتخاب غير المباشر للصفة الثانوية secondary character (مثل صفة معدل البناء الضوئى)

R_x – مقدار التحسن فى الصفة الأولية، الذى يحصل عليه بالانتخاب المباشر فيها

r_A = الارتباط الوراثى بين الصفة الأولية (x)، والصفة الثانوية (y)

i_y = شدة الانتخاب للصفة الثانوية (نسبة عدد التراكيب الوراثية المنتخبة إلى عدد التركيب المقيمة).

i_x = شدة الانتخاب للصفة الأولية

h_y = الجذر التربيعى لدرجة التوريث على النطاق الضيق للصفة الثانوية

h_x = الجذر التربيعى لدرجة التوريث على النطاق الضيق للصفة الأولية

ومن الواضح أن الانتخاب غير المباشر تزداد قيمته وجدواه كلما ازدادت قيمة r_A، وعندما يمكن إجراء الانتخاب غير المباشر بعدد أقل من النباتات عما فى حالة الانتخاب

المباشر. وكذلك عندما تكون درجة توريث الصفة الثانوية على النطاق الضيق أكثر من نظيرتها للصفة الأولية. وقد يكون مرد درجة التوريث الأعلى للصفة الثانوية هو قلة تأثرها بالعوامل البيئية، أو قلة تفاعل التركيب الوراثي مع البيئة، أو قلة التباين الوراثي غير الإضافي فيها ونظرا لاعتماد فاعلية الانتخاب غير المباشر على الجذر التربيعي لدرجات التوريث، فإن درجة توريث الصفة الثانوية يجب أن تزيد كثيرا من نظيرتها للصفة الأولية لكي تزداد النسبة زيادة كبيرة (عن Fehr ١٩٨٧)

مثال على التقدم الوراثي بالانتخاب

يوضح شكل (١٤-١) مثالا افتراضيًا على التقدم الوراثي الذي يمكن إحرازه بعد دورة واحدة من دورات الانتخاب (عن Simmonds & Smartt ١٩٩٩) ويتبين من الشكل أن انتخاب الأفراد الموزعة في الجزء المظلل من عشيرة الأساس (الرسم العلوي) يؤدي إلى إنتاج العشيرة المحسنة (الرسم السفلي) هذا علما بأن شدة الانتخاب (k) في هذا المثال الافتراضي هي ١٧٦، والنسبة المئوية للنباتات المنتخبة ١٠٪. ويتضح - لدى مقارنة القيم الإحصائية في عشيرة الأساس، وفي نسل النباتات المنتخبة - ما يلي:

القيمة الإحصائية	عشيرة الأساس	نسل النباتات المنتخبة
المتوسط العام للعشيرة	١٠,٠٠	١١.٧٦
تباين الشكل المظهري (V_P)	٤,٠	١,٧٣
التباين الإضافي (V_A)	٢,٠	٣,٠
التباين البيئي (V_E)	٢,٠	٢,٠
درجة التوريث (h^2)	٠,٥	٠,٣٣

وقد تحقق في هذا المثال تقدمًا قدره ١.٧٦ وحدة من الصفة المنتخبة بعد دورة واحدة من الانتخاب

يلاحظ من شكل (١٤-١) أنه بسبب أن التباين بين أفراد العشيرة الأصلية - على أساس الشكل المظهري - يرجع إلى أسباب وراثية وأخرى بيئية، فإن النسل الناتج منها يتراجع متوسطه نحو متوسط العشيرة التي انتخب منها.