الفصل الثانى عشر

التهجين الرجعى

تعد طريقة التهجين الرجعى Backcross Method هى طريقة التربية الوحيدة التى تعطى نتائج يمكن التنبؤ بها . وهى تستعمل فى تحسين كل من النباتات الذاتية التلقيح ، والنباتات الخلطية التلقيح ، ولكن بشروط خاصة فى الحالة الأخيرة . وتتبع طريقة التلقيح الرجعى لتحقيق هدف معين ، هو تحسين صنف تجارى ناجح ، أو سلالة أصيلة مرغوبة ؛ وذلك بأن يضاف إليها – بطريق التلقيح الرجعى – صفة واحدة ، أو صفتان أحياناً ، أو ثلاث صفات على الأكثر ، من مصدر آخر تتوافر فيه هذه الصفات ، ولكنه لايكون مرغوباً من الوجهة الزراعية فيما عدا ذلك من صفات ، وقد يكون بريًا .

وتتلخص التربية بطريقة التهجين الرجعى فى تلقيح الصنف الذى يُراد تحسينه – والذى يطلق عليه اسم الأب الرجعى Recurrent Parent – مع الصنف الذى يحتوى على الصفة التى يُراد نقلها – والذى يطلق عليه اسم الأب المعطى Donar Parent ، ثم تلقيح نباتات الجيل الأول – وكذلك الأجيال التالية التى تحتوى على الصفة التى يُراد نلقها – مع الأب الرجعى .

يلزم لنجاح التربية بطريقة التهجين الرجعى .. أن يكون الأب الرجعى ناجحاً ومرغوباً ، وأن تكون الصفة التى يُراد نقلها ذات درجة توريث عالية ، وأن يجرى عدد كاف من

التلقيحات الرجعية ؛ لاستعادة جميع صفات الأب الرجعى . يكتفى عادة بنحو ٥ – ٦ تلقيحات رجعية ، إلاّ أن العدد قد يصل إلى ١٠ تلقيحات .

ولقد كان Harlan & Pope مما أول من اقترح هذه الطريقة للتربية فى عام ١٩٢٢ . وقد استخدمها Briggs فى السنة نفسها لتحسين أصناف القمح والشعير ، بإكسابهما صفات المقاومة لبعض الأمراض الهامة .

برنامج التهجين الرجعى لنقل صفة بسيطة سائدة

خطوات برنامج التربية

تكون خطوات برنامج التربية لنقل جين سائد (وليكن A) من الأب المعطى (الذى يكون تركيبه الوراثى AA) إلى الأب الرجعى (الذى يكون تركيبه الوراثى aa) كما يلى :

١– يلقح الأب الرجعى مع الأب المعطى لإنتاج نباتات الجيل الأول (F_1) التى يكون تركيبها الوراثى Aa .

٢– تلقح نباتات الجيل الأول – رجعيًا – إلى الأب الرجعى ؛ لإنتاج بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى الأول (F_1BC_1) ، التى تكون منعزلة إلى متنحية أصيلة (aa) ، وخليطة (Aa) – بنسبة ١ : ١ – فى الصفة التى يراد نقلها .

٣– تلقح نباتات الجيل الأول للتهجين الرجعى الأول الحاملة للصفة (أى التى يكون تركيبها الوراثى Aa) رجعيًا إلى الأب الرجعى لإنتاج بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى الثانى ($F_1\ BC_2$) التى تكون منعزلة إلى متنحية أصيلة (aa) ، وخليطة (Aa) – بنسبة ١ : ١ – فى الصفة التى يراد نقلها .

٤– يستمر برنامج التهجين الرجعى على النحو السابق إلى حين إنتاج بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى السادس $F_1\ BC_6$ ، التى تكون هى الأخرى منعزلة إلى متنحية أصيلة (aa) ، وخليطة (Aa) – بنسبة ١ : ١ – فى الصفة التى يُراد نقلها .

٥– تزرع بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى السادس ، وتستبعد النباتات الحاملة للصفة المتنحية غير المرغوب فيها ، وتلقح النباتات الحاملة للصفة السائدة ذاتيًا ؛ لإنتاج بذور الجيل الثانى للتهجين الرجعى السادس F_2BC_6 التى تكون منعزلة إلى متنحية أصيلة (aa) ، وخليطة (Aa) ، وأصيلة (AA) – بنسبة ١:٢ :١– فى الصفة التى يُراد نقلها.

٦- تزرع بذور الجيل الثانى للتهجين الرجعى السادس ، وتستبعد النباتات التى تكون حاملة للصفة المتنحية غير المرغوبة ، وتلقح النباتات الحاملة للصفة السائدة ذاتيًا ؛ لإنتاج بذور الجيل الثالث للتهجين الرجعى السادس F_3BC_6 .

٧- تزرع بذور الجيل الثالث للتهجين الرجعى السادس (وهى أنسال النباتات الفردية الحاملة للصفة المرغوب فيها من الجيل الثانى للتلقيح الرجعى السادس) . يلاحظ أن ثلثى الانسال تنعزل نباتاتها بنسبة ٣ تحمل الصفة السائدة : ١ تحمل الصفة المتنحية ، وهى التى تنتج من نباتات الجيل الثانى للتهجين الرجعى السادس ($F_2 BC_6$) التى كان تركيبها الوراثى Aa ، وتستبعد جميع هذه الأنسال التى تظهر بها انعزالات فى الصفة التى يُراد نقلها ، أما الثلث المتبقى من الأنسال .. فإن جميع نباتاته تكون حاملة للصفة السائدة ، ويكون تركيبها الوراثى AA ، وتلقح هذه الأنسال - ذاتياً - لإنتاج بذور الجيل الرابع للتهجين الرجعى السادس $F_4 BC_6$ ، وهى التى تخلط معاً ، وتشكل بذور المربى Breeder Seed للصنف الجديد ، الذى يكون مماثلاً للأب الرجعى فى جميع الصفات ، فيما عدا احتوائه على الصفة السائدة المرغوب فيها بحالة أصيلة .

ولكن كيف تُسترد جميع صفات الأب الرجعى بعد أن كان قد أُقحم مع الأب المعطى فى بداية برنامج التربية ؟ هذا ما نوضحه فى الجزء التالى .

استرداد صفات الأب الرجعى وتتبعها

نظراً لأن الغرض من برنامج التربية هو إنتاج صنف جديد يماثل الصنف الأصلى (الأب الرجعى) فى جميع الصفات ، ولكن مع إضافة الصفة المطلوبة من الأب المعطى ؛ لذا .. يكون من المهم تتبع صفات الأب الرجعى خلال أجيال التربية ، ويؤدى التلقيح الأول بين الأب الرجعى ، والأب المعطى إلى إنتاج جيل ، يكون قد تلقى نصف أليلاته (عوامله الوراثية) من الأب الرجعى ، والنصف الآخر من الأب المعطى ويلاحظ عدم وجود فرصة للانتخاب لصفات الأب الرجعى فى هذا الجيل ؛ نظراً لأن نباتاته تكون متجانسة ولاتظهر بينها أية انعزالات وراثية ، أما عند تلقيح نباتات الجيل الأول رجعيا إلى الأب الرجعى فإن النسل الناتج من هذا التلقيح (وهو F_1BC_1) يكون قد تلقى نصف أليلاته (عواملة الوراثية) من الأب الرجعى والنصف الآخر من الجيل الأول ، ونظرا لأن الجيل الأول كان قد تلقى نصف أليلاته من الأب الرجعى ؛ لذا .. فإن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى

الأول تتلقى ٧٥٪ من أليلاتها من الأب الرجعى ، بينما تحصل على ٢٥٪ فقط من أليلاتها من الأب المعطى ، ومع كل تلقيح رجعى .. تقل نسبة الأليلات المتحصل عليها من الأب المعطى بمقدار النصف ؛ لتصبح ٥ر١٢٪ فى الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2 ، و ٢٥ر٦٪ فى الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثالث F_1BC_3 ... وهكذا ، وترتفع فى الوقت نفسه نسبة الأليلات المتحصل عليه من الأب الرجعى ؛ لتصبح ٥ر٨٧٪ فى الـ F_1BC_2 ، و٧٥ر٩٣٪ فى الـ F_1BC_3 ... وهكذا . والمعادلة العامة لذلك – فى غياب الانتخاب لصفات الأب الرجعى ، والارتباط بين الصفة التى يراد نقلها ، وصفات أخرى غير مرغوبة – هى كما يلى :

$$\text{نسبة الأليلات المتحصل عليها من الأب المعطى} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\text{ت}+1} \times 100$$

حيث تمثل (ت) عدد التلقيحات الرجعية (فمثلا .. ت = صفر للتلقيح الأصلى بين الأب الرجعى والأب المعطى ، و ١ للتلقيح الرجعى الأول ... وهكذا) .

أما نسبة الأليلات المتحصل عليه من الأب الرجعى .. فيحصل عليها بطرح نسبة الأليلات المتحصل عليها من الأب المعطى من مئة .

فلو فرض أن أجريت ستة تلقيحات رجعية .. تكون ت = ٦ ، وتكون نسبة الأليلات المتحصل عليها من الأب المعطى = $\left(\frac{1}{2}\right)^{6+1} \times 100$ = ٧٨ر٠٪ ، وتكون نسبة الأليلات المتحصل عليها من الأب الرجعى = ١٠٠ – ٧٨و٠٪ = ٢٢ر٩٩٪ بعد ستة تلقيحات رجعية، وتصل هذه النسبة إلى ٩٥ ,٩٩٪ بعد ١٠ تلحقيات رجعية .

يتضح مما تقدم بيانه أن التلقيحات الرجعية تؤدى فى نهاية الأمر إلى استرداد جميع صفات الأب الرجعى . ومع ذلك .. فإنه يمكن الإسراع فى استرجاع هذه الصفات ، بانتخاب النباتات التى تكون أقرب فى صفاتها إلى الأب الرجعى خلال الأجيال الأولى من برنامج التربية . ومن المعتقد أن كل دورة من الانتخاب لصفات الأب الرجعى تعادل – فى فاعليتها – تلقيحين رجعيين ، ويكون الانتخاب لصفات الأب الرجعى غير مُجْدٍ – عادة – بعد التلقيح الرجعى الثالث ؛ لأن النباتات تكون قد أصبحت متجانسة إلى حد كبير .

هذا .. ولايؤثر التلقيح الذاتى بعد أى تلقيح رجعى على نسبة الأليلات المتحصل عليها

من الأب الرجعى ؛ حيث تبقى كما هى ، إلاّ إذا أخضع النسل الناتج من التلقيح الذاتى للانتخاب ، ويكون للانتخاب لصفات الأب الرجعى - فى هذه الحالة - نفس التأثير الذى سبق بيانه .

ونظراً لأن الأب الرجعى يتكون - عادة - من خليط من السلالات النقية (فى حالة المحاصيل الذاتية التلقيح) ؛ لذا .. كان من الضرورى استعمال عدد كاف من نباتاته فى كل تلقيح رجعى لكى تمثل ما يوجد به من اختلافات ، ولكى يمكن استعادة جميع صفاته ، ولذلك أهمية خاصة فى التلقيح الرجعى الأخير ؛ حيث يجب ألا يقل عدد نباتات الصنف الرجعى التى تستخدم فى هذا التلقيح عن ٣٠ نباتاً .

وجدير بالذكر .. أن الصفات التى تورث عن طريق السيتوبلازم لاتورث إلاّ عن طريق جاميطات الأم ؛ لذا .. فإنه يلزم - حينما يحتوى الأب الرجعى على صفات تورث عن طريق السيتوبلازم - أن يستعمل هذا الصنف كأم عند تلقيحه مع الأب المعطى فى بداية برنامج التربية ، ثم فى كل تلقيح رجعى بعد ذلك .

أهمية تتبع الصفات المنقولة

إن الهدف من برنامج التربية كله هو نقل صفة معينة مرغوب فيها إلى صنف جيد تنقصه هذه الصفة ؛ لذا .. فإن تتبع هذه الصفة يجب أن يكون هو الهدف الأول للمربى فى جميع مراحل التربية ، فيجب توخى الحرص التام على أن تكون النباتات المنتخبة لتلقيحها - رجعيًا - تحتوى - فعلاً - على الصفة التى يُراد نقلها ، وبالتركيز الذى توجد عليه فى الأب المعطى . ويؤدى الفشل فى انتخاب هذه النباتات فى أية مرحلة من مراحل برنامج التربية إلى ضياع كل الجهود السابقة لتلك المرحلة ، إن لم يوجد لدى المربى احتياطى من البذور فى كل جيل ، لإعادة التقييم ، والانتخاب - عند الضرورة - للصفة التى يراد نقلها .

وتجدر الإشارة إلى أن الانتخاب لصفات الأب الرجعى لايمارس إلاّ على النباتات التى تحمل الصفة المنقولة ، أى تحدد - أولا - النباتات التى تحمل الصفة التى يراد نقلها فى كل جيل ، ثم تنتخب من بينها النباتات التى تكون أقرب فى صفاتها إلى الأب الرجعى ؛ وذلك لأن جميع صفات الأب الرجعى يمكن أن تسترجع - تلقائياً بالتلقيح الرجعى - دون

أى انتخاب بينما يمكن أن تفقد الصفة التى يراد نقلها - بسهولة - إن لم يجر التقييم بعناية ؛ لمعرفة النباتات الحاملة لها لتلقيحها رجعيًا .

مدى الحاجة إلى التلقيح الذاتى بعد كل جيل من أجيال التلقيح الرجعى

عندما يكون الأمر متعلقاً بنقل صفة بسيطة سائدة بطريقة التهجين الرجعى .. فإنه لاتوجد حاجة إلى إجراء التلقيح الذاتى ، بعد أى من التلقيحات الرجعية ، باستثناء التهجين الرجعى الأخير كما سبق بيانه . ويرجع ذلك إلى أن جميع النباتات التى تهجن - رجعياً - فى أى جيل تكون دائمًا خليطة بالنسبة للصفة التى يُراد نقلها ؛ أى إنها تحمل الأليل المرغوب .

هذا ..إلاّ أن التلقيح الذاتى بعد التلقيحات الرجعية يكون أمراً مرغوباً فى الحالتين التاليتين :

١- فى الأنواع التى يصعب إجراء التلقيح الصناعى فيها .. خاصة ، حينما لايعطى التلقيح سوى بذرة واحدة أو عدد قليل من البذور ؛ حيث يوصى - فى هذه الحالة - بإنتاج الجيلين الثانى والثالث بعد كل تلقيح رجعى ؛ لإتاحة الفرصة لانتخاب نباتات تحتوى على الصفة التى يُراد نقلها مع أكبر قدر ممكن من صفات الأب الرجعى .

٢- فى الحالات التى يكون فيها الأب المعطى بريًا ، أو يحتوى على صفات كثيرة غير مرغوبة ؛ يوصى - فى هذه الحالة - بإنتاج الجيلين الثانى والثالث بعد كل من التلقيح الرجعى الأول ، والثالث ، والسادس لإتاحة فرصة أكبر لانتخاب صفات الأب الرجعى .

وبالإضافة إلى ما تقدم .. فإن التلقيح الذاتى يكون ضروريًا فى حالات نقل الصفات المتنحية ، والكمية ، وذات درجات التوريث المنخفضة كما سيأتى بيانه فيما بعد .

عدد التلقيحات الرجعية اللازمة

يختلف عدد التلقيحات الرجعية التى تجرى - عادة - من ثلاثة إلى عشرة ، ويكتفى بالعدد القليل من التلقيحات الرجعية فى الحالات التالية

١- عندما يكون الأب المعطى صنفا تجاريًا يحتوى على بعض الصفات الأخرى

الهامة ، التى يُرغب فى الاحتفاظ بها فى الصنف الجديد .

٢ عندما لاتوجد اختلافات كثيرة بين الأب الرجعى والأب المعطى .

٣- عندما تكون الصفة التى يُراد نقلها مرتبطة بصفات أخرى غير مرغوب فيها ؛ حيث يفضل فى هذه الحالة الاكتفاء بثلاثة تلقيحات رجعية لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثالث $F_1 BC_3$ الذى تكون نباتاته قد تلقت ٩٣,٧٥٪ من آليلاتها(عواملها الوراثية)من الأب الرجعى ، ثم تجرى عليها التلقيح الذاتى لعدة أجيال بعد ذلك ؛ لإعطاء فرصة لحدوث عبور يؤدى إلى كسر الارتباط بين الآليل الذى يتحكم فى الصفة التى يراد نقلها ، والآليلات التى تتحكم فى الصفات الأخرى غير المرغوبة .

ونجد فى الحالات السابقة أن الصنف الجديد لايكون تام التشابه مع الأب الرجعى نظراً لأنه لايتم استعادة كل صفاته ، إما عن قصد كما فى الحالتين الأولى والثانية ، وإما لكسر ارتباط غير مرغوب فيه كما فى الحالة الثالثة .

وإذا أجريت ستة تلقيحات رجعية ، مع الانتخاب الشديد لصفات الأب الرجعى فى الأجيال الأولى من برنامج التربية .. فإن ذلك يكون كافيًا لاستعادة كل صفات الأب الرجعى تقريبًا ؛ لأن كل دورة من الانتخاب لصفات الأب الرجعى تعادل تلقيحاً أو تلقحين رجعيين ، أما عند إجراء عشرة تلقيحات رجعية .. فإن الصنف الجديد يكون مماثلاً للصنف الأصلى ، فيما عدا الصفة التى نقلت إليه ، ويعدّ ذلك ضروريًا عندما يكون فى النية إعطاء الصنف الجديد اسم الصنف السابق نفسه مضافاً إليه رقماً أو حرفاً ، كما يكون ضروريًا كذلك عندما يكون الأب المعطى سلالة غير مزروعة أو نوعاً بريًا يحتوى على صفات كثيرة غير مرغوبة .

أعداد النباتات التى تلزم زراعتها خلال برنامج التربية

يعطى Allard (١٩٦٤) أعداد النباتات التى تجب زراعتها فى كل جيل من برنامج التربية عند الرغبة فى نقل صفة بسيطة سائدة (AA) إلى الأب الرجعى على النحو التالى :

٥٣ نباتاً من كل تلقيح رجعى (BC_n) .

٩٦ نباتاً من كل جيل ثان بعد أى تلقيح رجعى ($F_2 BC_n$) .

٦٨ عائلة من الجيل الثالث لأى تلقيح رجعى ($F_3 BC_n$) . بكل منها ٢٤ نباتاً .

تعنى زراعة هذه الأعداد من النباتات احتمال قدره ٩٩٩ر٠ لظهور نبات واحد على الأقل تركيبه الوراثى Aa بعد كل تلقيح رجعى ، أو نبات واحد على الأقل تركيبه الوراثى (AA) فى الجيل الثالث لأى تلقيح رجعى ، كما تتيح زراعة هذه الأعداد من النباتات فرصة أكبر لانتخاب صفات الأب الرجعى .

ولمزيد من التفاصيل عن أعداد النباتات التى تلزم زراعتها للحصول على عدد معين من النباتات التى تحمل الصفة التى يُراد نقلها عند اختلاف نسب ظهور هذه النباتات ، وعند اختلاف احتمالات الفشل فى العثور على هذه النباتات .. يراجع جدول (٣ – ٤) .

تأثير التلقيح فى الأصالة الوراثية

كما أن التلقيح الرجعى يؤدى إلى استرجاع جميع صفات الأب الرجعى .. فإنه يؤدى كذلك إلى زيادة نسبة الأصالة الوراثية – تدريجيا – فى حالة إجراء البرنامج على النباتات الذاتية التلقيح . ويمكن الاستدلال على درجة الأصالة الوراثية فى أى جيل من المعادلة التالية :

$$\text{نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة} = \left(\frac{م^{٢} - ١}{م^{٢}}\right)^{ن} \times ١٠٠$$

حيث تمثل (م) مجموع عدد التلقيحات الرجعية والذاتية التى سبقت الوصول إلى الجيل الذى يُراد حساب نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة فيه ، و (ن) عدد أزواج العوامل الوراثية التى يختلف فيها الأب الرجعى عن الأب المعطى . وتلك هى نفس المعادلة التى سبق ذكرها فى الفصل التاسع . وهى تطبق فى هذا المقام ؛ لأن التلقيح الرجعى لايختلف من حيث تأثيره فى الأصالة الوراثية – عن التلقيح الذاتى . ويعنى ذلك أن الجيل الرابع للتلقيح الرجعى السادس (F_4BC_6) – الذى تم التوصل إليه فى برنامج التربية المشروح آنفاً لنقل صفة بسيطة سائدة – تكون فيه م = ٦ (تلقيحات رجعية) + ٣ (تلقيحات ذاتية) = ٩ . هذا .. ويكون من غير الممكن تطبيق هذه المعادلة فى معظم برامج التربية بالتهجين الرجعى ؛ نظراً لأن الأبوين : الرجعى ، والمعطى يختلفان – عادة فى عدد كبير – غير معلوم – من العوامل الوراثية ، وبذا .. تكون (ن) غير معلومة القيمة .

برنامج التهجين الرجعى لنقل الصفات فى الحالات الأخرى

كانت حالة نقل صفة بسيطة سائدة التى سبق شرحها أبسط الحالات التى يجرى فيها برنامج التربية بالتهجين الرجعى ؛ لسهولة تمييز النباتات التى تحمل الصفة التى يُراد نقلها بعد كل تلقيح رجعى مباشرة . ولايختلف برنامج التربية بالتهجين الرجعى لنقل أية صفة أخرى – فى جوهره – عما سبق بيانه بالنسبة للصفة البسيطة السائدة ، وتنحصر أوجه الاختلاف – دائماً – فيما يجب عمله لمعرفة النباتات التى تحمل الصفة المرغوبة خلال أجيال التربية .

نقل صفة بسيطة ذات سيادة غير تامة

عندما تكون الصفة المراد نقلها بسيطة ، وذات سيادة غير تامة Incomplete Dominance – أى حينما يكون الفرد الخليط (Aa) متميزاً فى شكله المظهرى عن الفردين : السائد الأصيل (AA) ، والمتنحى الأصيل (aa) – فإن تمييز النباتات الحاملة للتركيب الوراثى المرغوب يكون أسهل لغياب السيادة . ولايوجد – فى هذه الحالة – أى داع للتلقيح الذاتى بعد أى تلقيح رجعى ، سوى بعد التلقيح الرجعى الأخير – وليكن السادس F_1BC_6 الذى تظهر فيه نباتات متنحية أصيلة (aa) وخليطة (Aa) بنسبة ١ : ١ فإذا كانت الصفة المرغوبة هى المتنحية .. تستعمل النباتات الحاملة لهذه الصفة مباشرة ، كبذور مربى لإكثار الصنف الجديد . أما إذا كانت الصفة المرغوبة هى السائدة .. فإنه يلزم فى هذه الحالة تلقيح النباتات التى تحمل الصفة بحالة خليطة (Aa) تلقيحاً ذاتيًا لإنتاج الجيل الثانى للتلقيح الرجعى السادس (F2BC6) ، الذى تنعزل فيه النباتات إلى متنحية أصيلة (aa) وخليطة (Aa) ، وسائدة أصيلة (AA) بنسبة ١ : ٢ : ١ ، و تستعمل الفئة الأخيرة من النباتات (وهى السائدة الأصيلة) كبذور مربٍّ ، حيث يمكن تمييزها عن النباتات الخليطة لغياب السيادة .

نقل صفة بسيطة متنحية

تُتبع فى نقل الصفة البسيطة المتنحية نفس الخطوات التى سبق بيانها بالنسبة للصفة البسيطة السائدة ، مع مراعاة أن تحمل النباتات المنتخبة فى كل جيل – لتلقيحها رجعيًا – أليلاً واحداً على الأقل للصفة المتنحية التى يراد نقلها ؛ أى إن هذه النباتات إما أن تكون

خليطة Aa ، وإما متنحية أصيلة aa . ونظراً لأن نباتات الجيل الأول (التى تنشأ من تلقيح الأب المعطى aa مع الأب الرجعى AA) تكون خليطة (Aa) ؛ لذا .. فإنها تلقح رجعيا مباشرة لإنتاج نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 ، وهى التى تنعزل إلى خليطة (Aa) ، وسائدة أصيلة (AA) بنسبة ١ : ١ ، ولكنها تكون جميعها متشابهة مظهريا . وهنا يتعين على المربى أن يتبع إحدى ثلاث طرق لضمان استمرار وجود الأليل المتنحى (a) فى النباتات التى تلقح رجعيًا ، وهى كما يلى :

١- تلقيح كل نبات من نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 ذاتيًا ؛ لإنتاج بذور الجيل الثانى للتلقيح الرجعى الأول F_2BC_1 : تنقسم الأنسال المنتجة إلى فئتين متساويتين : فئة تظهر بجميع نباتاتها الصفة السائدة ، وهى التى تنتج من التلقيح الذاتى للنباتات السائدة الأصيلة ، ويتم استبعادها ، وفئة ينعزل فيها النسل إلى نباتات متنحية وأخرى سائدة ، بنسبة ١ : ٣ ، وهى التى تنتج من التلقيح الذاتى للنباتات الخليطة . وتنتخب النباتات الحاملة للصفة المتنحية - لأنها تكون أصيلة (aa) - وتلقح رجعيًا لإنتاج بذور الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى ، F_1BC_2 ، ويستمر اتباع الأسلوب نفسه مع بقية التلقيحات الرجعية . ويفضل اتباع هذه الطريقة ، عندما لاتوجد حاجة ملحة إلى العجلة فى برنامج التربية .

٢- اتباع نفس الطريقة السابقة - أى تلقيح نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 ذاتياً - ولكن مع تلقيح كل نبات منه - كذلك - فى نفس الوقت - رجعيًا إلى الأب الرجعى ، لإنتاج بذور الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2 . وبناء على نتائج الانعزالات المشاهدة فى الجيل الثانى للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_2 .. يستمر برنامج التربية مع نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2 التى استخدم فى إنتاجها نباتات ظهر فى نسلها - الناتج من التلقيح الذاتى - أى فى الجيل الثانى للتلقيح الرجعى الأول F_2BC_1 - انعزالات متنحية (يكون تركيبها الوراثى aa) ، وسائدة (يكون تركيبها الوراثى Aa ، و AA) بنسبة ١ : ٣ ؛ ويعنى ذلك أن هذه النباتات التى ظهرت الانعزالات فى نسلها عند تلقيحها ذاتياً كانت خليطة Aa . وقد لقحت هذه النباتات ذاتها - وهى من الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 - رجعياً إلى الأب الرجعى AA ، وهو ما يعنى أن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى - التى استخدمت هذه النباتات

الخليطة Aa فى إنتاجها – تنعزل إلى خليطة Aa وسائدة أصيلة بنسبة ١ : ١ . يستمر برنامج التربية مع هذه النباتات ، ويتبع نفس الأسلوب مع بقية التلقيحات الرجعية .

يؤدى اتباع هذه الطريقة إلى تقصير المدة اللازمة لإجراء التلقيحات الرجعية إلى النصف ، ولكنها تتطلب جهداً إضافياً فى إنتاج الجيل الثانى بعد كل تلقيح رجعى مع زيادة عدد التلقيحات التى ينبغى إجراؤها عند كل تهجين رجعى ، وزيادة أعداد النباتات التى تلزم زراعتها . ويوصى – عند اتباع هذه الطريقة – بالعدول عنها إلى الطريقة الأولى بعد كل تلقيحين رجعيين ، لانتخاب نباتات متنحية أصيلة aa ، هى التى يستمر معها برنامج التربية لكى تشاهد النباتات الحاملة للصفة التى يراد نقلها – على فترات – خلال برنامج التربية .

٣- يمكن الاستمرار فى برنامج التربية كما لو كانت الصفة سائدة ، ولكن مع إجراء التلقيح الذاتى لإنتاج الجيل الثانى بعد كل تلقيحين رجعيين ، فيلقح الأب المعطى (aa) مع الأب الرجعى Aa ، ثم يلقح الجيل الأول Aa رجعياً إلى الأب الرجعى لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 الذى ينعزل إلى نباتات خليطة Aa وسائدة أصيلة AA بنسبة ١ :١ ، وتبدو جميعها – مظهرياً – سائدة بالنسبة للصفة التى يُراد نقلها . يلقح عدد كبير من نباتات هذ الجيل – رجعياً – إلى الأب الرجعى لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الثانى F_1BC_2 . تبدو جميع نباتات هذا الجيل – مظهرياً – سائدة بالنسبة للصفة التى يراد نقلها ولكن تركيبها الوراثى يتوقف على النبات الذى استخدم فى التلقيح الرجعى الثانى ؛ فالنباتات السائدة الأصيلة AA تعطى عند تلقيحها رجعيًا نباتات سائدة أصيلة أيضاً ، أما النباتات الخليطة Aa فإنها تعطى عند تلقيحها رجعيا نباتات تنعزل إلى خليطة Aa ، وسائدة أصيلة ، بنسبة ١ : ١ ؛ أى إن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2 تنعزل – عملياً – إلى خليطة Aa وسائدة أصيلة بنسبة ١ : ٣ . يلقح عدد كبير من نباتات هذا الجيل ذاتياً ؛ لإنتاج الجيل الثانى للتهجين الرجعى الثانى F_2BC_2 ، وتستبعد جميع الأنسال التى تبدو سائدة بالنسبة للصفة التى يراد نقلها ، سواء أكانت خليطة Aa ، أم أصيلة AA ، ويحتفظ فقط بالنباتات التى تحمل الصفة التى يراد نقلها ، والتى تكون متنحية أصيلة aa وتلقح هذه النباتات – رجعيًا – إلى الأب الرجعى ؛ لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثالث F_2BC_3 ... وهكذا .. يستمر برنامج التربية على هذا النحو ، بإنتاج الجيل الثانى بعد كل تلقيحين رجعيين .

ويتعين – فى جميع الحالات – إجراء التلقيح الذاتى بعد التلقيح الرجعى الأخير ؛ لعزل النباتات التى تحمل الصفة المرغوب فيها بحالة أصيلة ؛ فلو كان التلقيح الرجعى الأخير هو السابع .. فإن نباتاته تلقح ذاتيًا لإنتاج الجيل الثانى F_2BC_7 الذى تنتخب منه النباتات الحاملة للصفة المتنحية بحالة أصيلة aa ، وتلقح ذاتيًا لإنتاج بذور الجيل الثالث F_3BC_7 التى تعد بذور المربى .

نقل صفة كمية

يتطلب نقل الصفات الكمية إنتاج الجيلين الثانى والثالث ، بعد كل تلقيح رجعى ؛ ليمكن تأصيل الصفة التى يُراد نقلها فى النباتات التى تلقح رجعياً ؛ فتلقح النباتات الناتجة من أى تلقيح رجعى ذاتيًا ؛ لإنتاج الجيل الثانى الذى تنتخب منه أكثر النباتات إظهاراً للصفة التى يراد نقلها ، وهى التى تلقح ذاتيًا لإنتاج الجيل الثالث ؛ لتحقيق هدفين ، هما : اختبار نسل النباتات المنتخبة للتأكد من حملها للصفة ، وانتخاب نباتات أصيلة فى جميع الجينات التى تتحكم فى الصفة التى يُراد نقلها لتلقيحها رجعيا ، ويتكرر هذا الإجراء بعد جميع التلقيحات الرجعية ، بما فى ذلك التلقيح الرجعى الأخير – وليكن السابع – ثم تلقح النباتات المنتخبة من التلقيح الرجعى الأخير (أى F_3BC_7) ذاتياً لإنتاج بذور الجيل الرابع (F_4BC_7) ، التى تعد بمثابة بذور المربى .

يتبع نفس الأسلوب السابق عند الرغبة فى نقل الصفات الكمية ذات درجات التوريث المنخفضة ، ولكن يلزم – فى هذه الحالة – زراعة أعداد كبيرة من نباتات الجيلين الثانى والثالث بعد كل تلقيح رجعى ؛ لأن درجة التوريث المنخفضة تؤدى إلى صعوبة معرفة التراكيب الوراثية المرغوب فيها . وقد يتطلب الأمر إنتاج الجيل الرابع بعد كل تلقيح رجعى للتأكد من تواجد الصفة بحالة أصيلة فى النباتات المنتخبة قبل تلقيحها رجعيًا .

وجدير بالذكر أن درجة توريث الصفة تعد أكثر أهمية من كونها بسيطة ، أو كمية ؛ إذ يكون من الأسهل تتبع صفة كمية ذات درجة توريث مرتفعة عن صفة بسيطة ذات درجة توريث منخفضة .

نقل صفتين أو أكثر إلى صنف واحد

إذا احتوى الصنف المعطى على صفتين هامتين أو أكثر ، ورغب المربى فى نقلها معًا

إلى الصنف الرجعى .. فإنه يسلك فى سبيل تحقيق ذلك إحدى طريقتين ؛ هما :

١- نقل الصفات معًا فى برنامج تربية واحد :

يلزم فى هذه الحالة زراعة أعداد كبيرة من نباتات كل جيل رجعى ، وكذلك عند إنتاج الجيلين الثانى أو الثالث بعد كل تلقيح رجعى ؛ لإتاحة الفرصة لظهور انعزالات تجمع الصفات المراد نقلها معًا ، ويراعى - عند نقلها - كل ما سبق بيانه بالنسبة لنوعيات الصفات المختلفة .

٢- نقل الصفات فى برامج تربية مستقلة ومتوازية :

تعامل كل صفة مستقلة فى برنامج تهجين رجعى منفصل ، وفى نهاية البرامج .. نحصل على أصناف جديدة ، لا تختلف عن الأب الرجعى إلا فى احتواء كل منها على صفة جديدة من الصفات المراد نقلها . وبتلقيح هذه الأصناف معًا ، ثم إنتاج الجيل الثانى .. نحصل على انعزالات وراثية ، تجمع الصفات المرغوبة معًا بحالة أصيلة بالإضافة إلى بقية صفات الأب الرجعى . هذا .. ويفضل اتباع هذه الطريقة على الطريقة الأولى ؛ لأنه قد يصعب تقييم النباتات فى كل الصفات التى يراد نقلها فى آن واحد ، ولأنها - أى الطريقة الأولى - تحتاج إلى زراعة أعداد كبيرة من النباتات بعد كل تلقيح رجعى للحصول على نبات واحد على الأقل من التركيب الوراثى المرغوب ؛ فعلى سبيل المثال .. تلزم زراعة ٧٢ نباتاً على الأقل بعد كل تلقيح رجعى للعثور على نبات واحد - على الأقل - خليط فى أربعة عوامل وراثية - مع احتمال فشل ١٪ - عند الرغبة فى نقل أربع صفات بسيطة سائدة - معًا - مرة واحدة .. بينما تلزم زراعة ٧ نباتات فقط بعد كل تلقيح رجعى للعثور على نبات واحد على الأقل خليط فى إحدى هذه الصفات - مع احتمال فشل ١٪ عند الرغبة فى نقلها فى برامج تربية مستقلة ومتوازية ؛ فيكون - بالتالى - عدد النباتات التى تلزم زراعتها فى البرامج الأربعة هو ٧ × ٤ = ٢٨ نباتاً فقط .

تأثير الارتباط بين الصفة المنقولة وغيرها من الصفات على برنامج التربية

تنتقل الصفات المرتبطة بالصفة التى يُراد نقلها بالتلقيح الرجعى - تلقائيًا - مع الصفة المطلوبة جيلاً بعد جيل . وغالباً ماتكون هذه الصفات غير مرغوب فيها ، خاصة أن طريقة

التهجين الرجعى تستخدم فى نقل بعض الصفات من الأنواع البرية القريبة إلى الأنواع المزروعة ، بينما تحتوى الانواع البرية على صفات كثيرة غير مرغوب فيها قد تكون مرتبطة بالصفات التى يُراد نقلها . وبالرغم من ذلك .. فإن فرصة التخلص من الصفات غير المرغوبة تكون كبيرة ، ويتوقف ذلك على نسبة العبور بين هذه الجينات والجين المرغوب فيه ، وعدد التلقيحات الرجعية ؛ فبافتراض قصر الانتخاب على الصفة التى يُراد نقلها فقط (أى عدم إجراء أى انتخاب ضد الصفات غير المرغوب فيها) .. فإن احتمال التخلص من الصفات المرغوبة = ١ - (١ - ع) $^{ت+١}$ ؛ حيث تمثل (ع) نسبة العبور ، و (ت) عدد التلقيحات الرجعية .

يبين جدول (١٢-١) احتمالات التخلص من الجينات غير المرغوب فيها فى حالتى التلقيح الرجعى لخمسة أجيال ، والتلقيح الذاتى بفرض حدوث عبور بنسب تتراوح من ٠,٠٠١ إلى ٠,٥ ، مع الانتخاب للصفة المرغوبة فقط . ويتبين من الجدول أن التهجين الرجعى يزيد من فرصة التخلص من الصفات غير المرغوبة عن التلقيح الذاتى . أما عندما يجرى الانتخاب ضد الصفات غير المرغوب فيها أيضاً .. فإن التلقيح الذاتى يزيد من فرصة التخلص منها ؛ لأن العبور يمكن أن يحدث - فى هذه الحالة - بين الصفة المرغوبة وغير المرغوبة فى كلا الأبوين ، بينما لايحدث العبور - فى حالة التلقيح الرجعى - سوى فى الأب الرجعى فقط .

جدول (١٢-١) : احتمال التخلص من الجينات غير المرغوبة المرتبطة مع الجين الذي يُراد نقله فى حالتى التلقيح الرجعى لخمسة أجيال ، والتلقيح الذاتى مع الانتخاب للصفة المرغوبة فقط (عن Allard ١٩٦٠)

نسبة العبور	احتمال التخلص من الجينات غير المرغوبة	
	عند إجراء خمسة تلقيحات رجعية	فى حالة التلقيح الذاتى
٠,٥٠	٠,٩٨	٠,٥٠
٠,٢٠	٠,٧٤	٠,٢٠
٠,١٠	٠,٤٧	٠,١٠
٠,٠٢	٠,١١	٠,٠٢
٠,٠١	٠,٠٦	٠,٠١
٠,٠٠١	٠,٠٠٦	٠,٠٠١

برنامج التهجين الرجعى مع مختلف العشائر النباتية

عشائر النباتات الذاتية التلقيح

ينطبق كل ما سبق بيانه عن التربية بالتهجين الرجعى على عشائر النباتات الذاتية التلقيح ، ويراعى - عندما تتكون العشيرة من عدد من السلالات النقية - وهو ما يحدث غالباً - أن يستعمل عدد من نباتات الأب الرجعى فى كل تلقيح رجعى ، للإبقاء على أكبر قدر من التباينات التى قد توجد فيه .

عشائر النباتات الخلطية التلقيح

تستخدم طريقة التهجين الرجعى فى تحسين السلالات المرباة تربية داخلية من عشائر النباتات الخلطية التلقيح ، وتكون طريقة التربية - فى هذه الحالة - مماثلة تماماً للطريقة التى تتبع مع النباتات الذاتية التلقيح . أما عند تحسين عشائر النباتات الخلطية التلقيح بطريقة التهجين الرجعى .. فإنه تلزم مراعاة أمرين ؛ هما :

١- تكون عشائر النباتات الخلطية التلقيح على درجة عالية من عدم التجانس الوراثى highly heterogenous ؛ لذا .. يجب استخدام عدد كبير من نباتات الصنف الذى يُراد تحسينه ؛ لتمثيل ما توجد به من اختلافات وراثية ، وللمحافظة على نسب الأليلات allelic frequencies للمواقع الجينية المختلفة فى العشيرة .

٢- تفقد بعض المحاصيل الخلطية التلقيح قوة نموها بسرعة شديدة بالتربية الداخلية ، وتصعب - فى هذه الحالات - نقل الصفات الكمية ، والصفات ذات درجات التوريث المنخفضة ، وهى التى تتطلب إجراء التلقيح الذاتى لإنتاج الجيل الثالث - وربما الرابع - بعد كل تلقيح رجعى ؛ ذلك لأن التربية الداخلية تؤدى إلى تدهور النباتات ، مع صعوبة تمييز التراكيب الوراثية المرغوبة .

وقد اتبعت طريقة التهجين الرجعى فى تحسين عديد من النباتات الخلطية التلقيح ، مثل القرعيات (القرع ، والخيار ، والشمام ، والبطيخ) ، والبرسيم الحجازى ، لإدخال صفات مهمة إليها ، خاصة صفات المقاومة للآفات ؛ فأمكن فى البرسيم الحجازى - مثلاً - إدخال صفات المقاومة لأمراض الذبول البكتيرى ، والبياض ، وتبقع الأوراق إلى الصنف

كاليفردى Caliverde ، وقد استخدم فى هذا البرنامج أكثر من ٢٠٠ نبات من الأب الرجعى فى كل تهجين رجعى .

عشائر النباتات الخضرية التكاثر

يستحيل إجراء التربية بطريقة التهجين الرجعى – كما سبق بيانها فى هذا الفصل – لنقل صفة من صنف غير مرغوب فيه إلى صنف مرغوب فيه ، يكثر – تجارياً – بطرق التكاثر الخضرى ؛ ذلك لأن مثل هذه النباتات تكون خليطة (غير متماثلة) Heterozygous بدرجة عالية (يراجع لذلك الفصل الثالث) ، ويؤدى اللجوء إلى التكاثر الجنسى – كما هو متوقع عند التربية بطريقة التهجين الرجعى – إلى ظهور انعزالات وراثية كثيرة ، يصل عددها إلى ٣ ن ؛ حيث تمثل (ن) عدد المواقع الجينية الخليطة فى الأب الرجعى ، وهى التى يمكن أن تزيد على مئة جين ، ويتبين من ذلك .. استحالة العثور على التركيب الوراثى المماثل للأب الرجعى بعد التلقيح الرجعى ، فضلاً على عدم العلم أصلاً بهذا التركيب الوراثى فى كُليّته . كما يؤدى التلقيح الرجعى (وهو بين نباتات منتخبة خليطة والأب الرجعى ، وهو خليط أيضاً) إلى ظهور بعض الانعزالات الوراثية الأصيلة ، مما يؤدى إلى ضعف قوة النمو .

وخلاصة القول إنه يستحيل إنتاج صنف جديد من محصول خضرى التكاثر – بطريقة التهجين الرجعى – يكون مماثلا للصنف الأصلى (الرجعى) فى جميع الصفات ما عدا الصفة التى يُراد نقلها إليه .

هذا .. إلا أن طريقة التهجين الرجعى تستخدم مع المحاصيل الخضرية التكاثر لنقل صفات مرغوبة من الأنواع البرية ، أو من أصناف غير محسنة إلى جيرمبلازم محسن ، فيلقح الصنف التجارى (الأب الرجعى) مع السلالة المحتوية على الصفة التى يراد نقلها (الأب المعطى) ويستمر برنامج التربية – بعد ذلك – كالعادة ، وإذا حدث تدهور فى قوة النمو يستخدم صنف محسن جديد من نفس النوع المحصولى فى كل تهجين رجعى . وتؤدى الطريقة فى كلتا الحالتين إلى إدخال الصفة المرغوبة فى تراكيب وراثية جديدة كثيرة محسنة ، يمكن انتخاب أفضلها ، وإكثاره خضريا ليصبح صنفاً جديداً . ولكن هذا الصنف الجديد لايكون مماثلاً للصنف الأصلى (الرجعى) ، وقد اتبعت هذه الطريقة فى تحسين بعض المحاصيل التى تتكاثر خضريًا مثل البرتقال والجريب فروت .

مزايا التربية بطريقة التهجين الرجعى وعيوبها

توفر طريقة التهجين الرجعى المزايا التالية :

١- تعطى نتائج يمكن التنبؤ بها وتكرارها .

٢- تعد طريقة سريعة للتربية ؛ حيث تتطلب عدداً أقل من الأجيال ، مع زراعة عدد أقل من النباتات فى كل جيل ، عما فى طرق التربية الأخرى .

٣- تفيد هذه الطريقة فى إضافة صفات جيدة باستمرار إلى صنف ناجح ، كما تفيد - بالتالى - فى خفض عدد الأصناف المتداولة من المحصول .

٤- يمكن تنفيذ برنامج التربية بالتهجين الرجعى فى ظروف مخالفة للظروف التى يزرع فيها المحصول ؛ كأن يجرى فى البيوت المحمية ، أو فى مناطق أخرى غير مناطق إنتاج المحصول .

٥- تجعل هذه الطريقة إجراء اختبارات الجودة على صفات الأب الرجعى غير ضرورية ، بعد الانتهاء من برنامج التربية ، كما لاتتطلب إجراء تقييم موسع للصنف الجديد ، قبل نشر زراعته ، لأنه يكون ذا مواصفات معروفة مقدماً .

ومن أهم عيوب هذه الطريقة أنها لاتمكن المربى من الحصول على تراكيب وراثية جديدة غير عادية ؛ لأن الغرض منها محدد منذ البداية .