الفصل السادس

التهجين الرجعى

تعد طريقة التهجين الرجعى Backcross Method هى طريقة التربيـة الوحيـدة التـى تعطى نتائج يمكن التنبـؤ بـهـا. وهـى تستعمل فـى تحسـين كـل مـن النباتـات الذاتيـة التلقيح، والنباتات الخلطية التلقيح، ولكن بشروط خاصـة فـى الحالـة الأخـيرة. وتتبـع طريقة التلقيح الرجعى لتحقيق هدف معين، هو تحسين صنف تجارى ناجح، أو سـلالة أصيلة مرغوبة؛ وذلك بأن يضاف إليها - بطريـق التلقيـح الرجعـى - صفـة واحـدة، أو صفتان أحيانًا، أو ثلاث صفات على الأكثـر، من مصدر آخر تتوافر فيه هـذه الصفـات، ولكنـه لا يكون مرغوبًا من الوجهة الزراعيـة فيما عـدا ذلـك مـن صـفات، وقـد يـكون بـريًا.

وتتلخص التربية بطريقة التهجين الرجعى فى تلقيح الصنف الـذى يُـراد تحسينه - والذى يطلق عليه اسم الأب الرجعى Recurrent Parent - مـع الصنـف الـذى يحتـوى على الصفة التى يُراد نقلها - والذى يطلق عليه اسم الأب المعطـى Donar Parent؛ ثـم تلقيح نباتات الجيل الأول - وكذلك الأجيال التالية التى تحتوى على الصفة التى يُـراد نقلها - مع الأب الرجعى.

يلزم لنجاح التربيـة بطريقـة التـهجين الرجعـى .. أن يكـون الأب الرجعـى ناجحًـا ومرغـوبًا فيه وأن تكون الصفة التى يُراد نقلها ذات درجـة توريـث عاليـة، وأن يجـرى عدد كاف من التلقيحات الرجعية لاستعادة جميع صفات الأب الرجعـى. يكتفـى عـادة بنحو ٥-٦ تلقيحات رجعية، إلا أن العدد قد يصل إلى ١٠ تلقيحات.

ولقد كان Harlan & Pope هما أول من اقترح هذه الطريقة للتربيـة فـى عـام ١٩٢٢. وقد استخدمها Briggs فى السنة نفسها لتحسـين أصنـاف القمـح والشـعير، بإكسـابهما 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 فى الصفة التى يراد نقلها –إلى متنحية أصيلة (aa)، وخليطة (Aa) بنسبة ١:١.

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_1BC_2) التى تكون منعزلة – فى الصفة التى يراد نقلها – إلى منتحية أصيلة (aa)، وخليطة (Aa) بنسبة ١:١.

٤ – يستمر برنامج التهجين الرجعى على النحو السابق إلى حين إنتاج بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى السادس F_1BC_6، التى تكون هى الأخرى منعزلة – فى الصفة التى يُراد نقلها –إلى متنحية أصيلة (aa)، وخليطة (Aa) بنسبة ١:١.

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 – فى الصفة التى يُراد نقلها – إلى متنحية أصيلة (aa)، وخليطة (Aa)، وسائدة أصيلة (AA) – بنسبة ١:٢:١.

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 الأنسال تنعزل نباتاتها بنسبة ٣ تحمل الصفة السائدة: ١ تحمل الصفة المنتحية، وهى التى تنتج من نباتات الجيل الثانى للتهجين الرجعى السادس (F_2BC_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 ذاتيًا لإنتاج بذور الجيل الرابع للتهجين الرجعى السادس F_4BC_6، وهى التى تخلط معًا، 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 لُقح مع الأب المعطى فى بداية برنامج التربية؟ هذا ما نوضحه فى الجزء التالى.

استرداد صفات الأب الرجعى وتتبعها

نظرًا 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 آليلاته (عوامله الوراثية) من الأب الرجعى، والنصف الآخر من الأب المعطى، ويلاحظ عدم وجود فرصة للانتخاب لصفات الأب الرجعى فى هذا الجيل؛ نظرًا لأن نباتاته تكون متجانسة ولا تظهر بينها أية انعزالات وراثية، أما عند تلقيح نباتات الجيل الأول رجعيًا إلى الأب الرجعى فإن النسل الناتج من هذا التلقيح (وهو F_1BC_1) يكون قد تلقى نصف آليلاته (عوامله الوراثية) من الأب الرجعى والنصف الآخر من الجيل الأول، ونظرًا لأن الجيل الأول كان قد تلقى نصف آليلاته من الأب الرجعى؛ لذا .. فإن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول تتلقى ٧٥٪ من آليلاتها من الأب الرجعى، بينما تحصل على ٢٥٪ فقط من آليلاتها من الأب المعطى، ومع كل تلقيح رجعى .. تقل نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب المعطى بمقدار النصف؛ لتصبح ١٢,٥٪ فى الجيل

الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2، و ٦,٢٥٪ فى الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثالث F_1BC_3 ... وهكذا، وترتفع فى الوقت ذاته نسبة الآليلات المتحصل عليه من الأب الرجعى؛ لتصبح ٨٧,٥٪ فى الـ F_1BC_2، و ٩٣,٧٥٪ 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:

نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب الأصلى المعطى = $(1/2)^{ت+1} \times 100$

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

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

فلو فرض أن أجريت ستة تلقيحات رجعية .. تكون ت = ٦، وتكون نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب المعطى = $(1/2)^{6+1} \times 100 = 0,78$٪، وتكون نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب الرجعى = ١٠٠ - ٠,٧٨٪ = ٩٩,٢٢٪ بعد ستة تلقيحات رجعية، وتصل هذه النسبة إلى ٩٩,٩٥٪ بعد ١٠ تلقيحات رجعية.

ويبين جدول (٦-١) نسبة جينات الأب الرجعى فى مختلف أجيال برنامج للتربية بطريقة التهجين الرجعى، وذلك فى غياب الارتباط. ونتناول الموضوع بالشرح - فى حالة وجود الارتباط - فى موضع لاحق من هذا الفصل.

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 - تلقحين رجعيين. ويكون الانتخاب لصفات الأب الرجعى غير مُجْدٍ - عادة - بعد التلقيح الرجعى الثالث؛ لأن النباتات تكون قد أصبحت متجانسة إلى حد كبير.

جدول (٦-١): نسبة جينات الأب الرجعى فى مختلف أجيال برنامج للتربية بطريقة التهجين الرجعى.

جيل التهجين الرجعى	الجينات المتحصل عليها من الأب الرجعى (٪)
F_1	٥٠
BC_1	٧٥
BC_2	٨٧,٥
BC_3	٩٣,٧٥
BC_4	٩٦,٨٧٥
BC_5	٩٨,٤٣٨
BC_6	٩٩,٢١٨
BC_7	٩٩,٦٠٩
BC_8	٩٩,٨٠٥
BC_9	٩٩,٩٠٢
BC_{10}	٩٩,٩٥١

هذا .. ولا يؤثر التلقيح الذاتى بعد أى تلقيح رجعى على نسبة الآليلات 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.

وعادة .. يتكون الأب الرجعى من خليط من السلالات النقية (فى حالة المحاصيل الذاتية التلقيح)، كما أن تلك السلالات (وكذلك السلالات المرباة داخليًا من المحاصيل الخلطية التلقيح، والتى قد يرغب فى تحسينها بطريقة التهجين الرجعى) تحتوى – غالبًا – على قدر يسير من عدم الأصالة الوراثية، حتى وإن لم تكن ظاهرة؛ مما يستدعى المحافظة على ذلك التباين الوراثى فى برامج التربية بالتهجين الرجعى. ويتحقق ذلك باستعمال عدد كاف من نباتات الأب الرجعى 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 نباتًا.

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 لا يمارس إلاّ على النباتات التى تحمل الصفة المنقولة، أى تحدد – أولاً – 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 – تلقائيًا 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 متعلقًا بنقل صفة بسيطة سائدة بطريقة التهجين الرجعى .. فإنه لا توجد 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 – رجعيًا – فى أى جيل تكون دائمًا خليطة بالنسبة للصفة التى يُراد نقلها؛ أى إنها تحمل الآليل المرغوب.

هذا .. إلا أن التلقيح الذاتى بعد التلقيحات الرجعية يكون أمرًا مرغوبًا فيه فى الحالتين التاليتين:

١ – فى الأنواع التى يصعب إجراء التلقيح الصناعى فيها .. خاصة، حينما لا يعطى

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 بريًّا، أو يحتوى على صفات كثيرة غير مرغوب فيها؛ حيث 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 بيانه .. فإن التلقيح الذاتى يكون ضروريًّا 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 صنفًا تجاريًّا يحتوى على بعض الصفات الأخرى الهامة، التى يُرغب فى الاحتفاظ بها فى الصنف الجديد.

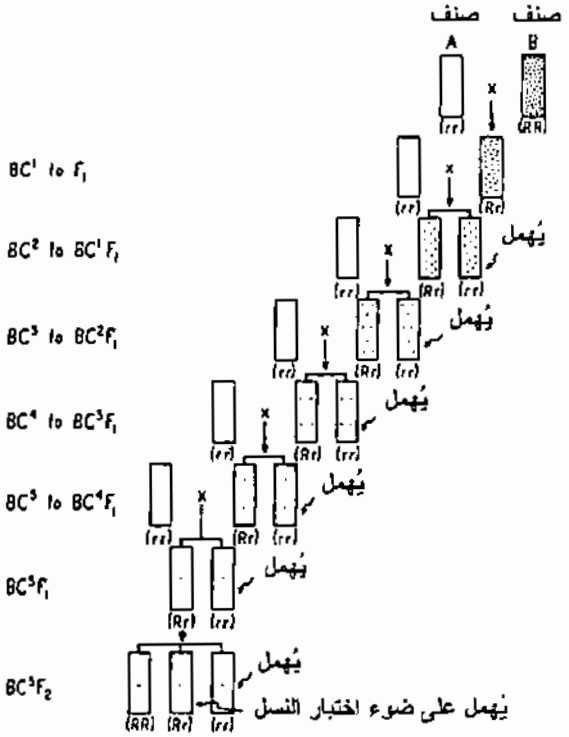
٢ - عندما لا توجد اختلافات كثيرة بين الأب الرجعى والأب المعطى.

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_1BC_3 الذى تكون نباتاته قد تلقت ٩٣,٧٥٪ من آليلاتها (عواملها الوراثية) من الأب الرجعى، ثم يجرى 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 لا يكون تام التشابه مع الأب الرجعى نظرًا لأنه لا يتم 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 تلقيحًا 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 مضافًا إليه رقمًا أو حرفًا، كما يكون ضروريًا كذلك عندما يكون الأب المعطى سلالة غير مزروعة أو نوعًا بريًا يحتوى على صفات كثيرة غير مرغوبة (عن Allard ١٩٦٤، و Briggs & Knowles ١٩٦٧).

هذا .. ويبين شكل (٦-١)، وجدول (٦-٢) مختلف خطوات برنامج التربية لنقل صفة بسيطة سائدة بطريقة التهجين الرجعى، مع بيان بالانعزالات الوراثية المتوقعة والتدرج فى استعادة مختلف صفات الأب الرجعى خلال برنامج التربية.



شكل (٦-١): تخطيط لبرنامج تربية بطريقة التهجين الرجعى، لنقل صفة بسيطة سائدة.

جدول (٦-٢): نقل صفة سائدة بطريقة التهجين الرجعى.

الموسم والعشيرة	التراكيب الوراثية (أ)		العشيرة المنتجة		النسبة المئوية
المزروعة	الأب	الأم	الجيل	التراكيب الوراثية	لجينات الأب المتكرر
١ - التلقيح الأولى	Rr × RR		F_1	Rr	٥٠
٢ - F_1	Rr × rr		BC_1	1Rr : 1rr	٧٥
٣ - BC_1	Rr × rr		BC_2	1Rr : 1rr	٨٧,٥٠
٤ - BC_2	Rr × rr		BC_3	1Rr : 1rr	٩٣,٧٥
٥ - BC_3	Rr × rr		BC_4	1Rr : 1rr	٩٦,٨٧
٦ - BC_4	Rr × rr		BC_5	1Rr : 1rr	٩٨,٤٤
٧ - BC_5	Rr × rr		BC_6	1Rr : 1rr	٩٩,٢٢
٨ - BC_6	تلقيح ذاتى لـ Rr		F_2BC_6	1rr:2Rr:1rr	ينتخب RR، و Rr
٩ - F_2BC_6	تلقيح ذاتى لكل من:		F_3BC_6		
	RR			RR	ينتخب وتخلط البذور
	و Rr			1RR:2Rr:1rr	تستبعد كل الأنسال المنعزلة

(أ) الأب المتكرر (الرجعى rr)، والأب المعطى RR. تنتخب للاستعمال كأمهات أكثر الأفراد قربًا فى صفاتها مع صفات الأب المتكرر.

أعداد النباتات التى تلزم زراعتها خلال برنامج التربية

يتوقف احتمال الحصول على نباتات تحتوى على الجينات المرغوب فيها أثناء التهجين الرجعى على النسبة المتوقعة للأفراد التى تحمل تلك الجينات وعلى عدد الأفراد المزروعة والمتاحة للتقييم، ويمكن حساب تلك النسب، كما يمكن الحصول عليها من جدول (٦-٣).

وبالنسبة للحالات التى لا يشملها جدول (٦-٣)، فإنه يمكن الحصول على العدد المناسب من النباتات التى يتعين زراعتها بالمعادلة التالية:

$$n = \left\{ [\, 2(r - 0.5) + z^2(1 - q)] + z\, [z^2(1-q)^2 + 4(1 - q)\,(r - 0.5)\,]^{1/2} \right\} / 2q$$

حيث إن:

n = العدد الكلى من النباتات التى تلزم زراعتها.

r = العدد المطلوب من النباتات التى تحمل الجينات المرغوب فيها.

q = نسبة النباتات التى تحمل الجينات المرغوب فيها.

p = احتمال ظهور العدد المطلوب من النباتات التى تحمل الجينات المرغوب فيها.

z = قيمة هى دالة للاحتمال p.

وتكون قيمة z، هى: ١,٦٤٥ عند p = ٠,٩٥، و ٢,٣٢٦ عند p = ٠.٩٩ (عـن Fehr ١٩٨٧).

جدول (٦-٣): العدد الكلى للنباتات التى تلزم زراعتها للحصول على العدد المرغوب من النباتـات التى تحتوى على الجينات المرغوب فيها (عن Fchr ١٩٨٧).

		r (عدد النباتات المطلوبة التى تحتوى على الجينات المرغوب فيها)								
p	q	١	٢	٣	٤	٥	٦	٨	١٠	١٥
٠,٩٥	١/٢	٥	٨	١١	١٣	١٦	١٨	٢٣	٢٨	٤٠
	١/٣	٨	١٣	١٧	٢١	٢٥	٢٩	٣٧	٤٤	٦٢
	١/٤	١١	١٨	٢٣	٢٩	٣٤	٤٠	٥٠	٦٠	٨٤
	١/٨	٢٣	٣٧	٤٩	٦٠	٧١	٨٢	١٠٣	١٢٣	١٧٢
	١/١١	٤٧	٧٥	٩٩	١٢٢	١٤٤	١٦٦	٢٠٨	٢٤٨	٣٤٧
	١/٢٢	٩٥	١٥٠	٢٠٠	٢٤٦	٢٩١	٣٣٤	٤١٨	٥٠٠	٦٩٧
	١/١١	١٩١	٣٠٢	٤٠١	٤٩٤	٥٨٤	٦٧١	٨٣٩	١٠٠٢	١٣٩٧
٠,٩٩	١/٢	٧	١١	١٤	١٧	١٩	٢٢	٢٧	٣٢	٤٥
	١/٣	١٢	١٧	٢٢	٢٧	٣١	٣٥	٤٤	٥٢	٧١
	١/٤	١٧	٢٤	٣١	٣٧	٤٣	٤٩	٦٠	٧٠	٩٦
	١/٨	٣٥	٥١	٦٤	٧٧	٨٩	١٠١	١٢٤	١٤٦	١٩٨
	١/١١	٧٢	١٠٤	١٣٢	١٥٨	١٨٢	٢٠٦	٢٥٢	٢٩٦	٤٠٢
	١/٢٢	١٤٦	٢١٠	٢٦٦	٢١٦	٢٩٨	٣١٦	٥٠٨	٥٩٧	٨٠٩
	١/١١	٢٩٣	٤٢٣	٥٣٥	٦٤٠	٧٣٩	٨٣٥	١٠٢٠	١١٩٨	١٦٢٣

p = احتمال الحصول على عدد r من النباتات التى تحمل الجينات المرغوب فيها.

q = نسبة النباتات التى تحمل الجينات المرغوب فيها.

وعند الرغبة فى ألا تزيد احتمالات الخطأ عن ٠,٠٠١٪، فإن أعداد النباتات التى تجب زراعتها فى كل جيل من برنامج التربية – عند الرغبة فى نقل صفة بسيطة سائدة (AA) إلى الأب الرجعى – تكون على النحو التالى (عن Allard ١٩٦٤):

٥٣ نباتًا من كل تلقيح رجعى (BC_n).

٩٦ نباتًا من كل جيل ثان بعد أى تلقيح رجعى (F_2BC_n).

٦٨ عائلة من الجيل الثالث لأى تلقيح رجعى (F_3BC_n)، بكل منها ٢٤ نباتًا.

تعنى زراعة هذه الأعداد من النباتات احتمال قدره ٠,٩٩٩ 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.

هذا .. ويجب أن تؤخذ نسبة إنبات البذور فى الحسبان عند تحديد عدد البذور التى يتعين زراعتها، حيث تحسب كما يلى:

عدد البذور التى يتعين زراعتها = عدد النباتات المطلوبة/نسبة الإنبات (عن Fehr ١٩٨٧).

تأثير التلقيح الرجعى فى الأصالة الوراثية

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

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

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 تستخدم فى حساب نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة مع التلقيح الذاتى. وهى تطبق فى هذا المقام، لأن التلقيح الرجعى لا يختلف من حيث تأثيره فى الأصالة الوراثية – عن التلقيح الذاتى. ويعنى ذلك أن الجيل الرابع للتلقيح الرجعى السادس (F6BC ١) – الذى تم التوصل إليه فى برنامج التربية المشروح آنفًا 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، نظرا لأن الأبوين: الرجعى، والمعطى يختلفان – عادة – فى عدد كبير – غير معلوم – من العوامل الوراثية. وبذا .. تكون (ن) غير معلومة القيمة.

ويبين جدول (٦–٤) نسبة الأفراد التى تكون أصيلة فى آليلات الأب المتكرر خلال برنامج التربية عند اختلافه عن الأب المعطى فى عدد معلوم من الجينات.

جدول (٦–٤): نسبة الأفراد التى تكون أصيلة فى آليلات الأب المتكرر خلال مراحل برنامج التربية بالتهجين الرجعى (عن Fehr ١٩٨٧).

عدد الجينات التى يختلف فيها الأبوين	جيل التهجين الرجعى					
	١	٢	٣	٤	٥	٦
١	٥٠	٧٥	٨٨	٩٤	٩٧	٩٨
٢	٢٥	٥٦	٧٧	٨٨	٩٤	٩٧
٥	٣	٢٤	٥١	٧٢	٨٥	٩٢
١٠	٠.١	٦	٢٦	٥٢	٧٣	٨٥

المحافظة على الصفات الوراثية التى تنتقل عن طريق السيتوبلازم

نظرا لأن السيتوبلازم فى الخلايا النباتية ينتقل عن طريق الجاميطة المؤنثة، لذا نجد أن السيتوبلازم فى السلالات الناتجة من برامج التربية بطريقة التهجين الرجعى يكون مماثلاً لسيتوبلازم النباتات التى تستعمل كأمهات فى التلقيح الأول (الأصلى) وفى التلقيحات الرجعية التالية له. ولذلك أهمية كبيرة بصفة خاصة عند استعمال العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى إنتاج بذور الهجن. فالسلالات الخصبة الذكر ذات السيتوبلازم الطبيعى والتى تخلو من جين استعادة الخصوبة (سلالات B) يمكن تحويلها

إلى سلالات ذات سيتوبلازم عقيم (سلالات A)، ومن ثم يمكن استعمالها كأمهات عقيمة الذكر فى التلقيحات.

وإذا ما رُغِبَ فى استعادة سيتوبلازم الأب المعطى (غير المتكرر) – حتى ولو لم يكن لذلك علاقة بالعقم الذكرى السيتوبلازمى – فإن الأب المعطى يجب أن يستعمل كأم فى التهجين الأولى، مع استعمال الأب المتكرر (الرجعى) كأب فى جميع التلقيحات الرجعية التى تلى ذلك.

أما الحصول على سيتوبلازم الأب المتكرر فى السلالات النهائية فيمكن تحقيقه باستعمال هذا الصنف كأم فى التهجين الأولى أو فى أى واحد من التلقيحات الرجعية التالية لذلك (عن Fehr ١٩٨٧).

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. ولا يختلف برنامج التربية بالتهجين الرجعى لنقل أية صفة أخرى – فى جوهره – عما سبق بيانه بالنسبة للصفة البسيطة السائدة، وتنحصر أوجه الاختلاف – دائمًا – فيما يجب عمله لمعرفة النباتات التى تحمل الصفة المرغوب فيها خلال أجيال التربية.

نقل صفة بسيطة ذات سيادة غير تامة

عندا تكون الصفة المراد نقلها بسيطة، وذات سيادة غير تامة (Incomplete Dominance) – أى حينما يكون الفرد الخليط (Aa) متميزًا فى شكله المظهرى عن الفردين: السائد الأصيل (AA)، والمتنحى الأصيل (aa) – فإن تمييز النباتات الحاملة للتركيب الوراثى المرغوب يكون أسهل لغياب السيادة. ولا يوجد – 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) تلقيحًا ذاتيًا لإنتاج الجيل الثانى للتلقيح الرجعى السادس (F_2BC_6)، الذى تنعزل فيه النباتات إلى متنحية أصيلة (aa) وخليطة (Aa)، وسائدة أصيلة (AA) بنسبة ١:٢:١، وتستعمل 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 المتنحية فى كل جيل – لتلقيحها رجعيًا – آليلاً واحدًا على الأقل للصفة المتنحية التى يراد نقلها؛ أى إن هذه النباتات إما أن تكون خليطة Aa، وإما متنحية أصيلة aa. ونظرًا لأن نباتات الجيل الأول (التى تنشأ من تلقيح الأب المعطى aa مع الأب الرجعى AA) تكون خليطة (Aa)؛ لذا .. فإنها تلقح رجعيًا 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 مظهريًا.

وهنا يتعين على المربى أن يتبع إحدى ثلاث طرق لضمان استمرار وجود الآليل 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 المتنحية 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 ٣:١، 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 ذاته مع بقية التلقيحات الرجعية. ويفضل اتباع هذه الطريقة، عندما لا توجد حاجة ملحة إلى العجلة فى برنامج التربية (جدول (٦–٥).

ويبين جدول (٦–٥) نختلف خطوات برنامج التربية لنقل صفة بسيطة متنحية بطريقة التهجين الرجعى، مع بيان بالانعزالات الوراثية المتوقعة والتدرج فى استعادة مختلف صفات الأب الرجعى خلال برنامج التربية.

جدول (٦–٥): نقل صفة متنحية بطريقة التهجين الرجعى.

الموسم والعشيرة المزروعة	التراكيب الوراثية[أ] الأب	الأم	العشيرة المنتجة الجيل	التراكيب الوراثية	النسبة المئوية لجينات الأب المتكرر
١ – التلقيح الأول	RR × rr		F_1	Rr	٥٠
	(الأب المعطى)	(الأب المتكرر)			
٢ – F_1	Rr × RR		BC_1	1RR: 1Rr	٧٥
٣ – BC_1	تلقيح ذاتى لكل من:		F_2BC_1		
	RR			RR	يستبعد
	و RR			1RR:2Rr:1rr	ينتخب rr
٤ – F_2BC_1	rr × RR		BC_2	Rr	٨٧,٥
٥ – BC_2	Rr × RR		BC_3	1RR:1Rr	٩٣,٧٥
٦ – BC3	تلقيح ذاتى لكل من:		F_2BC_3		
	RR			RR	يستبعد
	و rr			1RR:2Rr:1rr	ينتخب rr
٧ – F_2BC_3	rr × RR		BC_4	Rr	٩٦,٨٧
٨ – BC_4	Rr × RR		BC_5	1RR:1Rr	٩٨,٤٤
٩ – BC_5	تلقيح ذاتى لكل من:		F_2BC_5		
	RR			RR	يستبعد
	و Rr			1RR:2Rr:1rr	ينتخب rr
١٠ – F_2BC_5	rr × RR		BC_6	Rr	٩٩,٢٢
١١ – BC_6	تلقيح ذاتى لكل من:		F_2BC_6		
	RR			RR	يستبعد
	و Rr			1RR:2Rr:1rr	ينتخب rr
١٢ – F_2BC_6	rr (تلقيح ذاتى)		F_3BC_6	rr	

أ – تنتخب دائمًا النباتات الأكثر تشابهًا فى صفاتها مع صفات الأب الرجعى، سواء أكان ذلك بغرض تلقيحها مع الأب الرجعى، أم لأجل تلقيحها ذاتيًا.

٢ – اتباع نفس الطريقة السابقة – أى تلقيح نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 ذاتيًا – 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 ذاتيًا كانت خليطة Aa. وقد لقحت هذه النباتات ذاتها – وهى من الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 – رجعيًا إلى الأب الرجعى AA، وهو ما يعنى أن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى – التى استخدمت هذه النباتات الخيطة 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 جهدًا إضافيًا 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 رجعيًا 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 – مظهريًا – سائدة بالنسبة للصفة التى يُراد نقلها.

يلقح عدد كبير من نباتات هذا الجيل – رجعيًّا – إلى الأب الرجعى لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2. تبدو نباتات هذا الجيل – مظهريًّا – 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 رجعيًّا نباتات سائدة أصيلة أيضًا، أما النباتات الخليطة Aa فإنها تعطى عند تلقيحها رجعيًّا نباتات تنعزل إلى خليطة Aa، وسائدة أصيلة AA، بنسبة ١:١؛ أى إن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2 تنعزل – عمليًّا – إلى خليطة Aa وسائدة أصيلة بنسبة ٣:١. يلقح عدد كبير من نباتات هذا الجيل ذاتيًّا؛ 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 – رجعيًّا – إلى الأب الرجعى؛ لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثالث F_2BC_3 ... وهكذا .. يستمر برنامج التربية على هذا النحو، بإنتاج الجيل الثانى بعد كل تلقحين 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 ذاتيًّا لإنتاج الجيل الثانى F_2BC_7 الذى تنتخب منه النباتات الحاملة للصفة المتنحية بحالة أصيلة aa، وتلقح ذاتيًّا 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 رجعيًّا؛ فتلقح النباتات الناتجة من أى تلقيح رجعى ذاتيًّا لإنتاج الجيل الثانى الذى تنتخب منه أكثر النباتات إظهارًا للصفة التى يراد نقلها، وهى التى تلقح ذاتيًّا 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 رجعيًا، 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) ذاتيًا 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 الرجعي. 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 فيه ؛ فعلى سبيل المثال .. تلزم زراعة ٧٢ نباتًا 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 نباتًا 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. وغالبًا ما تكون هذه الصفات غير مرغوب فيها، خاصة أن طريقة التهجين الرجعى تستخدم فى نقل بعض الصفات من الأنواع البرية القريبة إلى الأنواع المزروعة، بينما تحتوى الأنواع البرية على صفات كثيرة غير مرغوب فيها قد تكون مرتبطة بالصفات التى يُراد نقلها. وبالرغم من ذلك .. فإن فرصة التخلص من الصفات غير المرغوب فيها تكون كبيرة، ويتوقف ذلك على نسبة العبور بين هذه الجينات والجين المرغوب فيه، وعدد التلقيحات الرجعية؛ فبافتراض قصر الانتخاب عل 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 (٦-٦) 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 المرغوب فيها عن التلقيح الذاتى. أما عندما يجرى الانتخاب ضد الصفات غير المرغوب فيها أيضًا .. 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 لا يحدث العبور – فى حالة التلقيح الرجعى – سوى فى الأب الرجعى فقط.

جدول (٦–٦): احتمال التخلص من الجينات غير المرغوب فيها والمرتبطة مع الجين الذى يُراد نقله فى حالتى التلقيح الرجعى لخمسة أجيال والتلقيح الذاتى مع الانتخاب للصفة المرغوبة فقط (عن Allard ١٩٦٤).

نسبة العبور	احتمال التخلص من الجينات غير المرغوب فيها	
	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 غالبًا – 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 الخطية التلقيح. وتكون طريقة التربية – فى هذه الحالة – مماثلة تماما 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 الاختلافات وراثية. وللمحافظة على نسب الآليلات 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 – مثلا – 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 بيانه فى هذا الفصل – لنقل صفة من صنف غير مرغوب فيه إلى صنف مرغوب فيه، يكثر – تجريبيًا – بطرق التكاثر الخضرى، ذلك لأن مثل هذه النباتات تكون خليطة (غير متماثلة) Heterozygous بدرجة عالية، ويؤدى اللجوء إلى التكاثر الجنسى – كما هو متوقع عند التربية بطريقة التهجين الرجعى – إلى ظهور انعزالات وراثية كثيرة، يصل عددها إلى 3^n، 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 كُليته. كما يؤدى التلقيح الرجعى (وهو بين نباتات متنحية خليطة والأب الرجعى، وهو خليط أيضًا) 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 مماثلاً 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 برنلمج التربية - بعد ذلك - كالعادة، وإذا حدث تدهور فى قوة النمو يستخدم صنف محسن جديد من نفس النوع المحصول فى كل تهجين رجعى. وتؤدى الطريقة فى كلتا الحالتين إلى إدخال الصفة المرغوبة فى تراكيب وراثية جديدة كثيرة محسنة، يمكن انتخاب أفضلها، وإكثاره خضريًا ليصبح صنفًا جديدًا، ولكن هذا الصنف الجديد لا يكون 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 عددًا 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 الرجعي في ظروف مخالفة للظروف التي يزرع فيها المحصول؛ كأن يجرى في البيوت المحمية، أو في مناطق أخرى غير مناطق إنتاج المحصول.

٥ – تجعل هذه الطريقة إجراء اختبارات الجودة على صفات الأب الرجعي غير ضرورية بعد الانتهاء من برنامج التربية، كما لا تتطلب إجراء تقييم موسع للصنف الجديد، قبل نشر زراعته، لأنه يكون ذا مواصفات معروفة مقدمًا.

٦ – يستفاد من طريقة التهجين الرجعي – كذلك – في إكساب الجيرمبلازم صفات معينة تجعل من الممكن زراعته والاستفادة مما يتوفر فيه من صفات مرغوب فيها، ومن أمثلة ذلك حالات الجيرمبلازم الذي يكون حساسًا للفترة الضوئية؛ وهو الذي لا يزهر ولا يمكن الاستفادة منه في البيئات التي لا تتوفر فيها الفترة الضوئية التي تناسب إزهاره؛ ولكن يمكن بطريقة التهجين الرجعي إكساب هذا الجيرمبلازم صفة عدم الحساسية للفترة الضوئية؛ مما يجعل بالإمكان الاستفادة منه في برامج التربية في أي مكان، وتعرف تلك العملية باسم germplasm conversion (عن Singh ١٩٩٣).

ومن أهم عيوب التربية بطريقة التهجين الرجعي أنها لا تمكن المربي من الحصول على تراكيب وراثية جديدة غير عادية؛ لأن الغرض منها محدد منذ البداية.