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 .