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