الفصل الثانى

مبادئ التربية بالتهجين والانتخاب

يعنى بالتربية عن طريق التهجين والانتخاب كل طرق التربية التى تعتمد على التهجين بين تراكيب وراثية معينة، ثم الانتخاب فى الأجيال الانعزالية. وقد يجرى التهجين مرة واحدة فى بداية برنامج التربية كما فى طريقتى انتخاب النَسَبْ وانتخاب التجميع، أو قد يتكرر عدة مرات خلال برنامج التربية كما فى طريقة الانتخاب المتكرر.

اختيار الآباء وإجراء التلقيحات

يكون الهدف الأساسى من إجراء التهجين الأولى فى برامج التربية بالتهجين والانتخاب هو محاولة جمع صفات مرغوب فيها – من أصناف أو سلالات مختلفة – فى تركيب وراثى جديد، يكون أساسًا للصنف الجديد الذى يُراد إنتاجه. هذا .. إلاّ أن اعتماد برنامج للتربية – يمكن أن يستمر لعشر سنوات أو أكثر – على تهجين واحد بين صنفين اثنين قد لا يكون أمرًا عمليًّا، حيث قد لا يفرز البرنامج الانعزالات الوراثية المرغوب فيها.

ولذا .. كان الاتجاه نحو تضمين التلقيح الأوّلى أعدادًا كبيرة من الآباء بإحدى طريقتين، كما يلى:

١ – إجراء عديد من التلقيحات الفردية بين آباء متنوعة:

من بين الوسائل التى اتبعت مع طرق تربية المحاصيل الذاتية التلقيح من أجل زيادة فرصة الحصول على انعزالات وراثية تحتوى على الجينات المرغوب فيها إجراء عدد كبير من التلقيحات بين عديد من الآباء. ويلزم فى هذه الحالة زراعة عدد كبير من نباتات العشائر الانعزالية لزيادة فرصة ظهور التركيب الوراثى المرغوب فيه. ولكن نظرًا لأن موارد المربى تكون دائمًا محدودة .. فإن على المربى – عادة – أن يختار بين

زراعة أعداد متوسطة من نباتات عدد كبير من التلقيحات، وبين زراعة عشائر كبيرة لعدد متوسط من التلقيحات، ويكون الاختيار الأول هو المفضل غالبًا.

٢ - إجراء تهجين ثلاثى:

فى محاولة للتوصل إلى أفضل طريقة لتهجين ثلاث سلالات (هى: A، و B، و C) تحتوى كل منها على جين واحد سائد مرغوب فيه يراد تجميعها فى صنف جديد .. قارن Bos (١٩٨٧) - فى مثال نظرى - بين كفاءة ثلاث طرق للتهجين - وهى المبينة فى شكل (٢-١) - لأجل التوصل إلى التركيب الوراثى الأصيل السائد فى الجينات الثلاثة المرغوب فيها فى حالات: الانتخاب أو عدم الانتخاب فى الجيل الثانى، والتلقيح الذاتى فى الجيل الثانى وفى الأجيال التالية، أو التزاوج العشوائى فى الجيل الثانى ثم التلقيح الذاتى فى الأجيال التالية:

طريقة التهجين	الأولى	الثانية	الثالثة					
الموسم الأول	A×B	A×C	B×C	A×B	A×C	B×C	B×A	C×A	C×B
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
الموسم الثانى	AB×C	AC × BC		AB×AC		BC×AB		AC×BC	
	↓	↓		↓		↓		↓	
	F1	F1		F1					

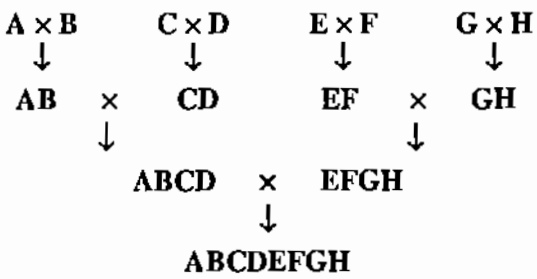
شكل (٢-١): الطرق الممكنة لإنتاج الجيل الأول الناتج من تهجين ثلاث سلالات معًا لبدء برنامج تربية بالتهجين والانتخاب.

وقد توصل Bos إلى أن طرق التهجين الثلاث تتطلب جهدًا واحدًا لإنتاج كمية البذور اللازمة فى الجيل الأول (يراجع شكل ٢-١)، وأنها تعطى نسبة واحدة هى $^{1}/_{32}$ (أو ٠,٠٣١٣) من النباتات ذات التركيب الوراثى الأصيل السائد المرغوب فيه فى غياب الانتخاب والتزاوج العشوائى بين نباتات الجيل الثانى. أما فى حالة غياب الانتخاب مع وجود التزاوج العشوائى .. فإن طريقة التهجين الثالثة تعطى نباتات من التركيب الوراثى المرغوب فيه بنسبة تزيد بمقدار ٨,٣٪ على الطريقتين الأولى، والثانية للتهجين. وفى وجود الانتخاب مع غياب التزاوج العشوائى بين نباتات الجيل الثانى .. فإن طريقتى التهجين الثانية، والثالثة تزيدان على طريقة التهجين الأولى بمقدار ٢٠٪ فى إعطاء التركيب الوراثى المرغوب فيه فى الأجيال التالية للجيل الثانى. وأخيرًا .. فإنه

فى وجود كل من الانتخاب والتزاوج العشوائى .. تزيد طريقة التهجين الثانية على الأولى بمقدار ٢١٪؛ وتفوق طريقة التهجين الثالثة الأولى بمقدار ٢١٪؛ أى تفضل طريقتا التهجين الثانية والثالثة فى حالة الانتخاب أو التزاوج العشوائى فى الجيل الثانى، أو فى حالة وجودهما معًا.

٣ – إجراء تلقيح مركب متعدد:

يُنتج التلقيح المتعدد multiple cross – الذى يسمى أيضًا convergent cross – بتلقيح أزواج من الآباء، ثم تلقيح أزواج من هجين الجيل الأول .. وهكذا إلى أن تدخل كل الآباء فى نسل واحد، كما يلى:



وبتلك الطريقة يحتمل تواجد عديد من التراكيب الوراثية المرغوب فيها، ولكن يقابل ذلك احتمال ظهور عديد من التراكيب الوراثية غير المرغوب فيها، ولذا .. يتطلب الأمر زراعة أعداد كبيرة جدًا من الهجن الرباعية وهجن المستويات الأعلى لإعطاء الفرصة للتراكيب الوراثية المرغوب فيها لأن تمثل فى تلك العشائر.

الاختبار المبكر للأجيال الانعزالية

يفيد الاختبار المبكر early testing فى تقييم مدى جودة التلقيحات والنباتات المنتخبة منها فى الأجيال الأولى من برنامج التربية؛ فلا تُستهلك طاقة المربى وموارده دونما ضرورة. وبهذه الطريقة يمكن التخلص سريعًا من الانعزالات – أو حتى التلقيحات الكاملة – التى لا تُرجى منها فائدة، ويستبقى فقط على التراكيب الوراثية المتميزة لحين وصولها إلى الأصالة الوراثية. كذلك فإن الانعزالات المتميزة التى يمكن التعرف عليها فى الأجيال المبكرة يمكن استعمالها – فى الحال – كآباء فى تلقيحات جديدة دونما انتظار لتأصيلها وراثيًا؛ وبذا .. تقل مدة دورة كل تلقيح جديد.

تقييم النباتات المفردة

يكون تقييم النباتات على أساس فردى عندما تختلف فى تركيبها الوراثى، مثلما يكون عليه الحال فى عشائر الجيل الثانى. وفى تلك الحالات لا يتكرر التركيب الوراثى الواحد إلاّ إذا أمكن إكثاره خضريًا.

وتقييم النباتات المفردة بإحدى طريقتين، كما يلى:

التصميم الشبكى

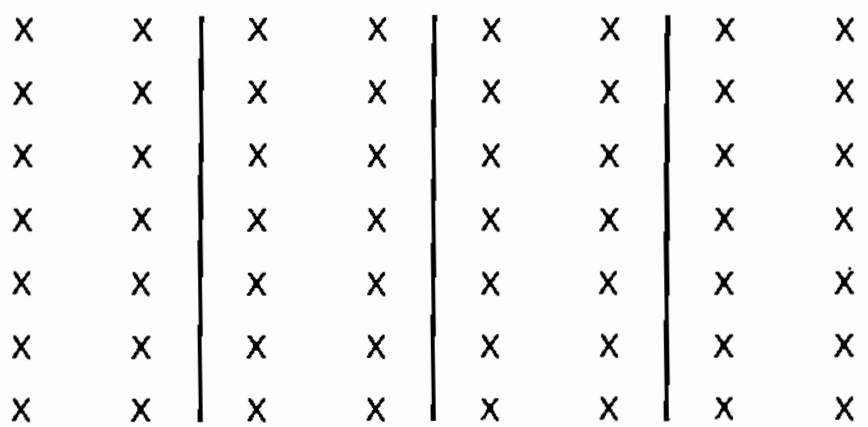
يتم فى التصميم الشبكى للتقييم grid design تقسيم الأرض التى تقيم فيها النباتات الفردية إلى بلوكات شبكية grids ذات مساحة محددة (شكل ٢-٢)، وتتم مقارنة النباتات داخل كل grid مع بعضها البعض وتنتخب المتميزة منها، ولا تقارن نباتات الـ grids المختلفة معًا.

ومن أهم مميزات النظام الشبكى، ما يلى:

١ - لا يتطلب زراعة النباتات بنظام معين كما فى نظام قرص العسل.

٢ - يمكن التحكم فى شدة الانتخاب بالتحكم فى عدد النباتات فى الـ grid وفى عدد النباتات المنتخبة من كل منها.

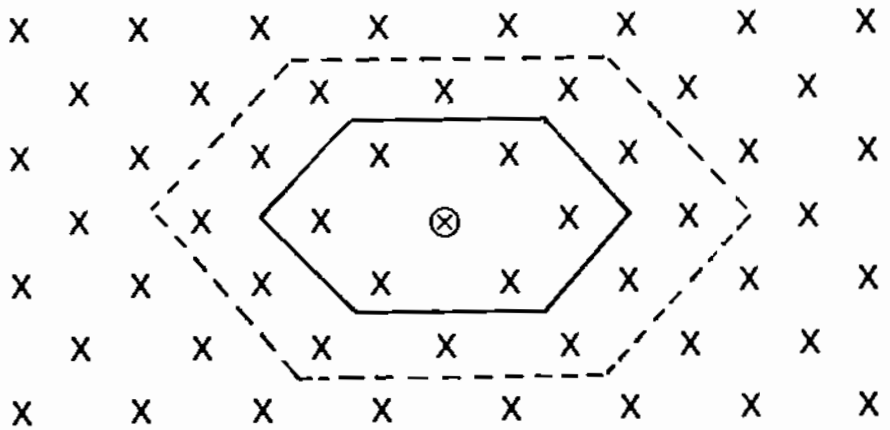
٣ - يفيد استعمال مساحة محددة لكل لوط فى إجراء المقارنات بالمشاهدة العينية لأجل الانتخاب.



شكل (٢-٢): التصميم الشبكى لتقييم النباتات الفردية.

تصميم قرص العسل

يستخدم تصميم "قرص العسل" honeycomb design فى التقييم بمكررات للنباتات الفردية فى السلالات والأصناف، وفيه يتماثل عدد النباتات المقيمة فى السلالة مع عدد المكررات فى التجربة. وتنظم لوطات السلالات فى الاختبار بنظام يسمح بمقارنة نبات من إحدى السلالات مع النباتات المجاورة من السلالات الأخرى (شكل ٢-٣)، إلا أن هذا النظام لم يشع استخدامه من قبل مربى النبات لتطلبه عمالة كثيرة، ولعدم إمكان ميكنة زراعته بسهولة.



شكل (٢-٣): تصميم قرص العسل لتقييم النباتات الفردية. تزداد شدة الانتخاب بزيادة مساحة الشكل السداسى الذى يوجد النبات المقيم فى مركزه. يراجع المتن للتفاصيل.

ومن أهم خصائص تصميم قرص العسل، ما يلى:

١ - تزرع النباتات على مسافات متساوية من بعضها البعض فى أركان شكل سداسى hexagon.

٢ - تكون زراعة النباتات على مسافات أوسع من مسافة الزراعة العادية لتجنب حدوث أى تنافس بينها.

٣ - يمكن زراعة أصناف متجانسة معها للمقارنة.

٤ - تتحدد شدة الانتخاب التى تمارس فى العشيرة بمساحة الشكل السداسى المستخدم فى انتخاب النباتات الفردية.

٥ – يقيم كل نبات فى العشيرة بوضعه فى مركز شكل سداسى، ويتم انتخابه إذا كان متفوقًا على جميع النباتات الأخرى فى الشكل. وبتحريك الشكل السداسى يمكن تقييم كل نبات مع مجموعة أخرى من نباتات العشيرة.

ويتميز نظام فرص العمل بما يلى:

١ – إذا ما زرع ١/٧ الحقل بصنف قياسى فإنه يمكن توزيعها بحيث يصبح فى الإمكان مقارنة أى نبات فى الحقل بهذا الصنف القياسى.

٢ – يمكن بسهولة إدخال صنفين قياسيين أو أكثر فى النظام للمقارنة. ولكن ذلك الإجراء يتطلب تخصيص مساحة أكبر من الحقل التجريبى للأصناف القياسية (عن Fehr ١٩٨٧).

الأسس التى تبنى عليها عملية الانتخاب

تبنى عملية الانتخاب على أسس معينة، كما يلى:

الانتخاب المبنى على سلوك الجيل الأول للتلقيح الذاتى

يمكن استخدام نباتات الجيل الأول للتلقيح الذاتى S_1 plants فى تقييم النباتات المنتخبة من عشيرة مفتوحة التلقيح، ويعنى بالـ S_1 نسل تلك النباتات المنتخبة.

وتكون خطوات برنامج التربية، كما يلى:

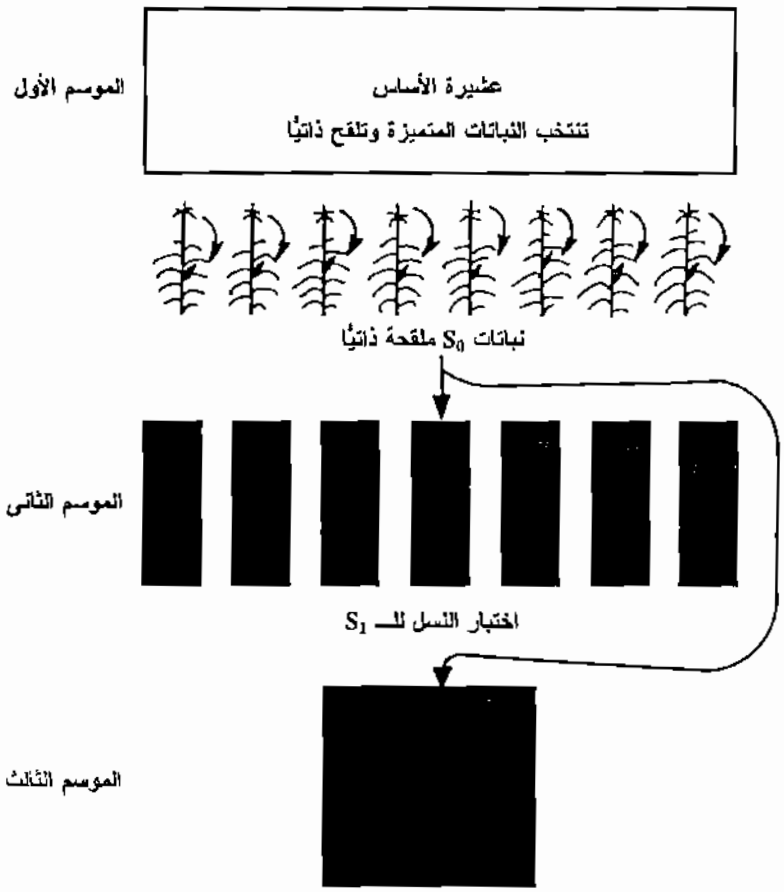
١ – يتم فى فصل النمو الأول انتخاب ٥٠–١٠٠ نبات من العشيرة المفتوحة التلقيح (وهى قد تكون عشيرة الجيل الثانى لهجين ما) قبل الإزهار، وتلقيحها ذاتيًا، وحصاد البذور من نباتات الـ S_0.

٢ – تقييم فى موسم النمو الثانى نباتات الجيل الأول للتلقيح الذاتى S_1 فى مكررات، مع الإبقاء على جزء من بذور كل نسل منها.

٣ – تخلط معًا كميات متساوية من بذور الـ S_1 المتبقية للنباتات التى يظهر تفوقها، وذلك من واقع اختبار النسل الذى أجرى فى الموسم السابق، ويزرع هذا المخلوط فى معزل يسمح بحدوث التلقيح الخلطى العشوائى فيما بينها (شكل ٢–٤).

وتعد هذه الطريقة مناسبة لتحسين النباتات الخلطية التلقيح التى تنتج كميات من

البذور تكفى لإجراء اختبار النسل فى مكررات مع تبقى جزء من البذور – من كل نبات منتخب لُقِّحَ ذاتيًّا – لإكمال دورة الانتخاب، ولكنها لا تناسب النباتات غير المتوافقة ذاتيًّا.



شكل (٢–٤): الانتخاب المبنى على سلوك الجيل الأول للتلقيح الذاتى.

اختبار النسل مقابل اختبار القدرة على التوافق

نجد فى النباتات الذاتية التلقيح أن اختبار النسل progeny test يعطى نتائج محددة عن النباتات التى اختبر نسلها لأنها تكون أصيلة وراثيًّا. وفى المقابل .. نجد فى النباتات الخلطية التلقيح التى تكون خليطة وراثيًّا أن اختبار النسل يعطى تقييمًا لسلوك

مجموعة عشوائية من من جاميطات الأمهات التى تزاوجت مع مجموعة أخرى عشوائية من جاميطات آباء مجهولة الهوية. ولذا .. يفضل فى حالة النباتات الخلطية التلقيح تلقيح الأمهات المعنية بمجموعة غير متجانسة من حبوب لقاح ذات أصل معروف، ويمكن بعد ذلك إجراء مقارنة لسلوك أنسال النباتات التى لقحت بحبوب اللقاح المعروفة المصدر. ولزيادة دقة الاختبار يفضل أن يكون مصدر اللقاح سلالة مرباة داخليًا (أى أصيلة وراثيًا)؛ ففى تلك الحالة تكون كل حبوب اللقاح متماثلة، وتكون الاختلافات بين الأنسال نتيجة للاختلافات بين نباتات الأمهات. يعرف هذا الاختبار باسم التلقيح الاختبارى test cross، وهو يعطى تقييمًا لقدرة نباتات الأمهات المختبرة على التآلف مع السلالة المستعملة كمصدر للقاح. ويطلق على متوسط سلوك سلالة الأم فى سلسلة من التلقيحات مع عدد من السلالات الاختبارية اسم القدرة العامة على التآلف general combining ability، بينما يطلق على سلوك سلالة ما فى تلقيح معين – مقارنة بتلقيحات أخرى لتلك السلالة – اسم القدرة الخاصة على التآلف specific combining ability.

الانتخاب بين أنصاف الأشقاء المبنى على اختبار النسل

تعرف أنصاف الأشقاء half-sibs بأنها عائلة من النباتات استخدم فى إنتاجها أمهات مختلفة لقحت بمصدر واحد لحبوب اللقاح.

تجرى فى برنامج التربية للانتخاب بين أنصاف الأشقاء المبنى على اختبار النسل الخطوات التالية:

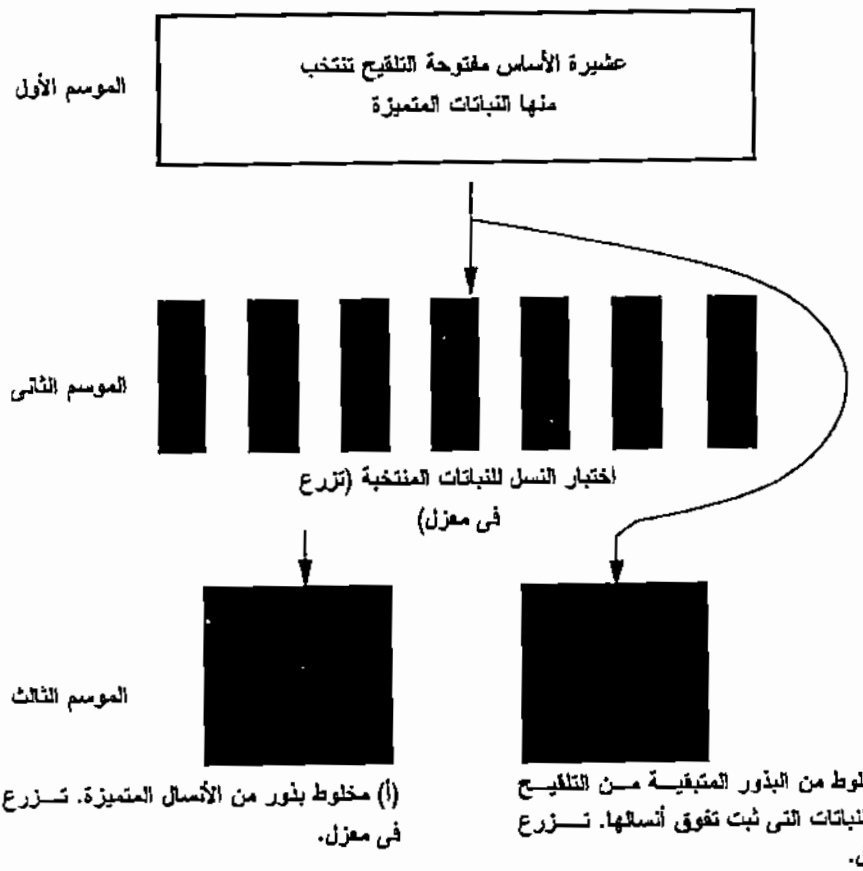
١ – انتخاب ٥٠–١٠٠ نبات من عشيرة مفتوحة التلقيح على أساس الصفات المورفولوجية المرغوب فيها، مع حصاد بذور كل نبات على انفراد، حيث يشكل كل نسل سلالة مختلفة.

٢ – إجراء اختبار النسل على جزء من بذور كل نبات تم انتخابه فى الجيل السابق.

٣ – إعادة تشكيل العشيرة بخلط كميات متساوية من البذور تكون إما من الكميات المتبقية من بذور أفضل ٥–١٠ نباتات ثبت تفوق نسلها، وإما من بذور أفضل ٥–١٠ أنسال. تزرع العشيرة الجديدة فى معزل يسمح لها بالتلقيح العشوائى فيما بينها.

٤ -- تستعمل بذور الجيل الثالث إما كصنف جديد بعد إكثارها، وإما كبداية لدورة جديدة من الانتخاب، كما قد تستعمل كجيرمبلازم تعزل منه سلالات جديدة مرباة داخليًا لاستعمالها فى برامج إنتاج الهجن (شكل ٢-٥).

تفيد هذه الطريقة فى تربية النباتات الخطية التلقيح التى تعطى بذورًا بكميات كبيرة تسمح بتقييم الأنسال فى مكررات.



شكل (٢-٥): الانتخاب بين أنصاف الأشقاء المبنى على اختبار النسل.

الانتخاب بين أنصاف الأشقاء المبنى على نتائج التلقيح الاختبارى

يعتمد الانتخاب بين أنصاف الأشقاء فى هذه الطريقة على سلوك التلقيح الاختبارى كبديل لاختبار النسل.

وتجرى تلك الطريقة تبعًا للخطوات التالية:

١ – يتم فى موسم النمو الأول – وقبل الإزهار – انتخاب ٥٠–١٠٠ نبات تحمل الصفات المرغوب فيها من العشيرة المفتوحة التلقيح، ثم إما: (أ) تلقيح سلالة اختبارية بحبوب لقاح من كل واحد من النباتات المنتخبة، مع حصاد بذور كل تلقيح، وكذلك البذور الناتجة من التلقيح المفتوح من كل نبات منتخب مع بقائها منفردة، وإما (ب) تلقيح سلالة اختبارية بحبوب لقاح من كل واحد من النباتات المنتخبة. وكذلك تلقيح كل نبات منتخب ذاتيًا، مع حصاد بذور كل تلقيح، وكذلك البذور الناتجة من التلقيح الذاتى من كل نبات منتخب مع بقائها منفردة.

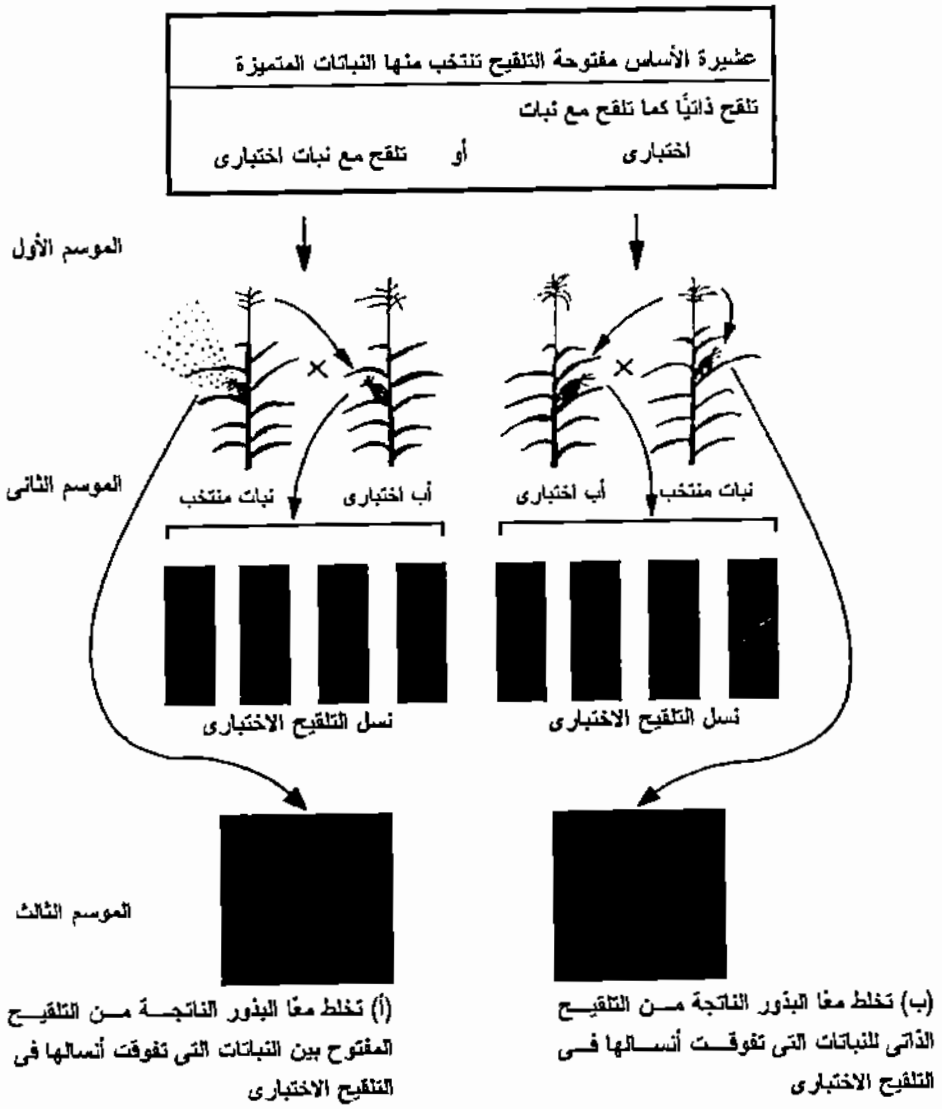
٢ – تزرع فى موسم النمو الثانى أنسال التلقيحات الاختبارية.

٣ – يُعاد فى موسم النمو الثالث تشكيل العشيرة إما: (أ) بخلط كميات متساوية من البذور الناتجة من التلقيح الخلطى العشوائى لأفضل ٥–١٠ نباتات ثبت تفوق أنسالها فى التلقيح الاختبارى، وإما (ب) بخلط كميات متساوية من البذور الناتجة من التلقيح الذاتى لأفضل ٥–١٠ نباتات ثبت تفوق أنسالها فى التلقيح الاختبارى. يزرع التشكيل الجديد للعشيرة فى معزل يسمح بحدوث تلقيح خلطى عشوائى فيما بين أفرادها لأجل الحصول على انعزالات وراثية جديدة (شكل ٢–٦).

تعد هذه الطريقة مقياسًا أفضل لمدى جودة التراكيب الوراثية المنتخبة مقارنة بما يحدث فى طريقة الاعتماد على اختبار النسل للنباتات أنصاف الأشقاء. وإذا ما كانت السلالة الاختبارية مرباة داخليًا فإنها تكون أصيلة وراثيًا وتنتج نوعًا واحدًا من الجاميطات؛ مما يزيد من دقة المقارنات.

هذا .. وتعد الطريقة (ب) أعلاه أفضل من الطريقة (أ) التى تكون فيها مصادر حبوب اللقاح – التى استعملت فى إنتاج أنسال النباتات المنتخبة، والتى تتشكل منها العشيرة الجديدة – مجهولة الهوية.

تصلح هذه الطريقة لتربية المحاصيل الخلطية التلقيح التى تنتج بذورًا بكميات تكفى لاختبار أنسالها فى تجربة بمكررات، إلاّ أن الطريقة (ب) لا تناسب النباتات الخلطية التلقيح التى تنتشر فيها ظاهرة عدم التوافق الذاتى.



شكل (٢-٦): الانتخاب بين أنصاف الأشقاء المبنى على التلقيح الاختبارى.

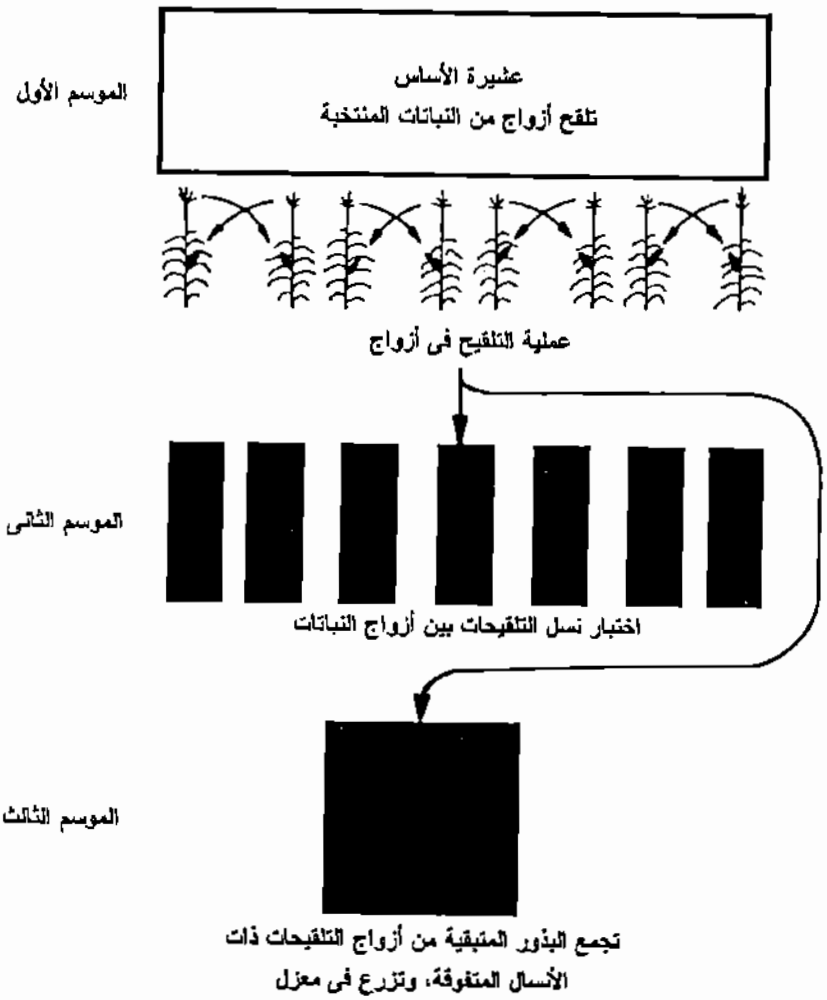
الانتخاب بين الأشقاء

يتم فى حالة التربية بطريقة الانتخاب بين الأشقاء full-sib selection إجراء تلقيحات بين أزواج مختلفة من النباتات المنتخبة من العشيرة الأصلية، مع استعمال البذور الناتجة من هذه التلقيحات لاختيار أفضلها، وهى التى تتكون منها العشيرة الجديدة.

وتكون خطوات الانتخاب بين الأشقاء، كما يلى (شكل ٢-٧):

١ - يتم فى موسم النمو الأول تلقيح ١٥٠-٢٠٠ زوج من النباتات المنتخبة من العشيرة الأصلية، مع جواز إجراء التلقيحات العكسية لأجل الحصول على أكبر كمية من البذور من كل تهجين بين نباتين.

٢ - يجرى فى موسم النمو الثانى اختبارًا لنسل التهجينات فى مكررات مع الاحتفاظ بكمية من بذور كل تلقيح.



شكل (٢-٧): الانتخاب بين الأشقاء المبنى على سلوك النسل فى تلقيحات فردية بين أزواج مختلفة من النباتات المنتخبة من العشيرة الأصلية.

٣ – يعاد فى موسم النمو الثالث تشكيل العشيرة بخلط كميات متساوية من البذور المتبقية لأفضل ١٥–٢٠ هجينًا ثبت تفوقها من اختبار الموسم السابق، ويسمح لها بالتلقيح الخلطى العشوائى فيما بينها للحصول على تراكيب وراثية جديدة.

تصلح هذه الطريقة لعديد من النباتات الخلطية التلقيح، بما فى ذلك غير المتوافقة ذاتيًا منها (عن Poehham & Sleper ١٩٩٥).