الفصل السابع

الأصناف الهجين

مقدمة عن الأصناف الهجين

يعرف الصنف الهجين Hybrid Variety بأنه الجيل الأول المستعمل فى الإنتاج التجارى، الذى يحصل عليه بتلقيح سلالتين خضريتين، مع الإكثار الخضرى لأحد النباتات الجيدة الصفات الناتجة (فى المحاصيل الخضرية التكاثر)، أو سلالتين مرباتين تربية داخلية (فى المحاصيل الخلطية التلقيح)، أو سلالتين نقيتين (فى المحاصيل الذاتية التلقيح)، أو صنفين محسنين (فى أى من العشائر التى سبق ذكرها).

وقد حظيت التربية بطريقة إنتاج الأصناف الهجين - أكثر من غيرها - باهتمام المربين فى كافة أرجاء العالم، وتوجد أسباب كثيرة لذلك، سوف يأتى بيانها، ولكن أهم هذه الأسباب - بلاشك - هو الزيادة الكبيرة التى تشاهد فى محصول هذه الأصناف، مقارنة بالأصناف الأخرى.

وقد أجريت معظم الدراسات الأساسية الخاصة بطريقة إنتاج الأصناف الهجين على نبات الذرة؛ ويرجع ذلك إلى أسباب كثيرة تتعلق بهذا المحصول؛ منها ما يلى:

١ - سهولة إجراء التلقيحات، وكثرة كمية البذور التى تنتج من كل تلقيح.

٢ - ينتج النبات الواحد كمية هائلة من حبوب اللقاح، يمكن استخدامها فى إجراء عدة تلقيحات.

٣ - الأهمية الاقتصادية الكبيرة لمحصول الذرة.

٤ - الزيادة الكبيرة فى المحصول التى نتجت من استعمال الأصناف الهجين. لقد ازداد محصول الذرة الشامية بمقدار خمسة أضعاف منذ إدخال الأصناف الهجين فى الزراعة فى ثلاثينيات القرن العشرين؛ فبعد ثبات المحصول لفترة طويلة من ١٨٦٦

حتى حوالى ١٩٣٥ .. أحدث استعمال الهجن المزدوجة فى الزراعة زيادة سنوية فى المحصول قدرت بنحو ٦٥ كجم للهكتار، ثم بعد إدخال الهجن الفردية فى الزراعة فى عام ١٩٦٠ بلغ معدل الزيادة السنوى المستمر فى المحصول حوالى ١٠٧ كجم للهكتار. وعلى الرغم من أن جزءًا من تلك الزيادة كان مرده إلى تحسين طرق الزراعة والخدمة .. إلا أن معظمها كان بسبب التحسين الوراثى للأصناف لمستخدمة فى الزراعة؛ فباستخدام بذور الأصناف القديمة وزراعتها جنبًا إلى جنب مع الأصناف الحديثة – مع اتباع طرق الزراعة الحديثة – تبين أن حوالى ٣٣٪ إلى ٨٩٪ من الزيادة فى المحصول كان مردها إلى التحسن الوراثى، بمتوسط قدره ٧١٪ (Crow ٢٠٠٠).

وقد أدى النجاح الكبير – الذى لقيته الأصناف الهجين فى الذرة – إلى انتشارها فى محاصيل أخرى كثيرة؛ منها معظم محاصيل الخضر. ويعتقد Craig (١٩٦٨) أن إنتاج الأصناف الهجين فى معظم محاصيل الخضر الجنسية التكاثر يعد من أهم التطورات فى تربية المحاصيل البستانية. وربما كانت بداية ذلك محاولات Hayes & Jones لإنتاج الجيل الأول الهجين فى الخيار فى عام ١٩١٦، ثم كان اقتراح Pearson عام ١٩٣٢ بالاستفادة من ظاهرة عدم التوافق الذاتى فى إنتاج هجن الصليبيات. وتلا ذلك .. قيام Jones & Clarke فى عام ١٩٤٣ بوصف الطريقة العملية لإنتاج هجن البصل؛ بالاستفادة من ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى.

وتاريخيًا .. كان الباذنجان أول محاصيل الخضر التى استعملت فيها الأصناف الهجين على النطاق التجارى، وذلك فى عام ١٩٢٤، وأعقب ذلك إنتاج الهجن فى كل من: البطيخ فى ١٩٣٠، والخيار فى ١٩٣٣، والفجل فى ١٩٣٥، والطماطم فى ١٩٤٠، والكرنب فى ١٩٤٢، والكرنب الصينى فى ١٩٤٣ (عن Liedel & Anderson ١٩٩٣).

ولكى يكون برنامج التربية بإنتاج الهجن ناجحًا، يجب أن تتحقق الشروط التالية:

١ – تواجد قدر كبير من التأثيرات غير الإضافية للجينات، وهى تأثيرات السيادة، والسيادة الفائقة، والتفوق.

٢ – توفر إحدى الظواهر التى تسمح بالاستغناء عن إجراء عملية خصى الأزهار المكلفة، مثل العقم الذكرى وانفصال الجنس.

ويتضمن برنامج التربية بإنتاج الهجن ثلاث خطوات رئيسية، هى:

١ – إنتاج السلالات المرباة داخليًا.

٢ – تقييم السلالات المرباة داخليًا المنتجة من حيث قدرتها على التوافق، وصفاتها الاقتصادية الهامة.

٣ – إدخال تلك السلالات – فى توافيق متآلفة – لإنتاج الهجن.

العوامل التى تجعل الأصناف الهجين مرغوبة ومفضلة

إن من أهم العوامل التى تجعل الأصناف الهجين مرغوبة ومفضلة عن الأصناف الأخرى ما يلى:

١ – تتميز الأصناف الهجين بالتجانس مع قوة النمو، وتلك صفتان لا يمكن الحصول عليهما مجتمعتين بأية طريقة أخرى من طرق التربية؛ فالسلالات المتجانسة المرباة تربية داخلية تكون ضعيفة النمو، بينما تكون الأصناف المفتوحة التلقيح القوية النمو غير متجانسة، وتكون الأصناف التركيبية أقل تجانسًا، وأقل فى قوة النمو.

٢ – الزيادة الكبيرة فى محصول الأصناف الهجين، وهى أحد مظاهر قوة الهجين التى تتضمن – أيضًا – كل صفات الجودة، والمقاومة للآفات، والقدرة على تحمل الظروف البيئية القاسية ... إلخ.

٣ – مرونة برنامج التربية بالتهجين، مقارنة بالطرق الأخرى؛ حيث يمكن للمربى جمع الصفات المرغوب فيها فى الهجن بالاختيار الدقيق للآباء.

٤ – لا يمكن الحصول على بعض الصفات المرغوب فيها إلا فى الأصناف الهجين، كما فى البطيخ العديم البذور، والبيتونيا المزدوجة.

٥ – يعد إنتاج الأصناف الهجين أفضل الطرق لحفظ حقوق المربى، وربما كان ذلك أهم الأسباب التى دفعت شركات البذور إلى التوسع فى إنتاج الأصناف الهجين، حيث تستطيع السيطرة على إنتاجها؛ لاحتفاظها بسرية آباء الهجن.

يلاحظ أن قسطًا كبيرًا من المزايا المذكورة آنفًا يعود على المربى وشركات البذور التى تقوم بإنتاج الهجن. كما يستفيد منتج المحصول فى الدول المتقدمة – التى تشيع فيها الميكنة الزراعية – من صفة التجانس فى النمو، وموعد النضج. غير أن ذلك لا يكون

ضروريًا فى الدول النامية، التى تجرى فيها معظم العمليات الزراعية يدويًا، كما لا يكون التجانس فى موعد النضج أمرًا مرغوبًا فيه فى تلك الدول، حيث تكون معظم الأسواق محلية، وحيث لا تتوفر وسائل لحفظ المحصول وتخزينه بشكل جيد، فإذا أضفنا إلى ذلك الارتفاع الكبير فى أسعار بذور الهجن .. فإن هذا يعنى زيادة تكلفة الإنتاج بقدر ربما لا يتناسب مع مستويات المعيشة فى بعض الدول النامية، ولهذه الأسباب .. يرى Riggs (١٩٨٨) أن استعمال هجن بعض الخضر ربما لا يكون ضروريًا أو مرغوبًا فيه فى الدول النامية. وعلى أية حال .. فإن الجوانب الاقتصادية للعملية الإنتاجية هى التى تحكم هذا الأمر فى نهاية المطاف.

العوامل المؤثرة فى أسعار الهجن

ترتفع أسعار هجن بعض المحاصيل بدرجة كبيرة عن أسعار بذور الأصناف التقليدية.

وترجع الزيادة فى تكلفة إنتاج الأصناف الهجين إلى الأسباب التالية:

١ – تكاليف برنامج التربية لإنتاج السلالات المرباة داخليًا، واختبار قدرتها على التآلف.

٢ – تكاليف إكثار سلالات الآباء.

٣ – تكلفة زراعة نسبة من الحقل الإنتاجى بالسلالة المستخدمة كأب، فى حين تحصد البذرة الهجين من السلالة المستخدمة كأم فقط.

٤ – تكلفة الرعاية الخاصة التى تعطى حقول إنتاج البذرة الهجين فى العزل، والزراعة، والحصاد.

٥ – تكاليف عمليتى الخصى والتلقيح (George ١٩٩٩).

ومن أهم العوامل التى تقلل من تكاليف إنتاج البذرة الهجين واستعمالها فى الزراعة التجارية ما يلى:

١ – توفر الظواهر التى تجعل من غير الضرورى خصى الأزهار فى السلالات المستعملة كأمهات فى الهجن، مثل العقم الذكرى، وعدم التوافق، وانفصال الجنس.

وعلى سبيل المثال .. استخدمت ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى إنتاج هجن الذرة، والبصل، ودوار الشمس، والقطن، وبنجر السكر، كما استخدمت ظاهرة العقم الذكرى الوراثى فى إنتاج هجن الخروع، بينما لم ينتشر استخدام ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى – منفردة – فى إنتاج الهجن على نطاق تجارى.

٢ – عندما ينتج من التلقيح الواحد عدد كبير من البذور.

٣ – عندما تقل كمية التقاوى التى تلزم لزراعة وحدة المساحة.

طريقة إنتاج السلالات المرباة تربية داخلية

قد ينتج الصنف الهجين فى المحاصيل الخلطية التلقيح بالتهجين بين صنفين محسنين. تُعْطِى بعض هذه الهجن محصولاً أعلى من محصول أى من أبوى الهجين، إلا أن الأغلب هو استعمال السلالات المرباة تربية داخلية Inbred Lines كآباء لهجن المحاصيل الخلطية التلقيح.

تعرف العشيرة التى تبدأ فيها التربية الداخلية للحصول على السلالات المرباة تربية داخلية باسم عشيرة المصدر source population، وهى تكون – عادة – صنفًا مفتوح التلقيح، أو هجينًا فرديًّا أو زوجيًّا، أو صنفًا تركيبيًّا. وبينما تعرف السلالات التى يتحصل عليها من صنف مفتوح التلقيح (سواء أكان محسنًا، أم لم يسبق تحسينه) باسم سلالات الدورة الأولى first cycle inbreds، فإن السلالات المرباة داخليًّا التى يتحصل عليها من الهجن والأصناف التركيبية تعرف باسم سلالات الدورة الثانية أو الثالثة أو الرابعة تبعًا لعدد دورات التحسين (صفر، و ١، و ٢ على التوالى) التى أخضعت لها السلالات التى دخلت فى إنتاج الهجن أو الصنف التركيبى.

تنتج السلالات المرباة داخليًّا بالتلقيح الذاتى المستمر لنباتات العشيرة الأصلية لخمسة أجيال أو سبعة، ويعد ذلك كافيًا لجعل السلالات تامة التجانس وأصيلة وراثيًّا. وقد يستمر التلقيح الذاتى لعدد آخر من الأجيال؛ للتخلص من الاختلافات البسيطة التى قد تظهر بين نباتات السلالة. ويحافظ على السلالات – بعد ذلك – بجمع حبوب لقاح كل سلالة معًا، واستعمالها فى تلقيح نباتات نفس السلالة.

يلزم – أولاً – انتخاب النباتات التى ستجرى عليها التربية الداخلية. توازى هذه

الخطوة جيلاً واحدًا من الانتخاب الإجمالى، ويمكن تقدير أهميتها بتذكر مدى الجهد الذى سيبذل فى التربية الداخلية لهذه النباتات.

يجرى الانتخاب العينى Visual Selection فى أثناء التربية الداخلية على أساس المظهر العام؛ للتخلص من السلالات التى تظهر بها عيوب واضحة، وتنتخب النباتات التى تتميز بقوة النمو، والصفات المهمة؛ مثل موعد النضج، وطول النبات، ومتانة الساق، وصفات الجودة، والمقاومة للأمراض ... إلخ. كما تعطى بعض الأهمية للقدرة الإنتاجية؛ نظرًا لأن السلالات العالية المحصول تعطى كمية كبيرة من بذور التقاوى - عند استعمالها كآباء فى الهجن - وهو ما يخفض من تكاليف إنتاج الهجن. يزرع - عادة - من ٢٠-٣٠ بذرة من كل نبات منتخب فى خط مستقل، مع توسيع مسافة الزراعة - قليلاً - حتى يمكن دراسة كل نبات على حدة. وتنتخب - سنويًا - أفضل النباتات فى أفضل الأنسال (أفضل الخطوط)، وهى التى تستمر فيها التربية الداخلية.

يؤدى استمرار التربية الداخلية إلى ازدياد التجانس فى نسل النباتات المنتخبة المُلَقحة ذاتيًا (progeny lines)، ويفقد عدد من السلالات بسبب التدهور الشديد الذى يحدث لها نتيجة للتربية الداخلية، وتستبعد سلالات أخرى لمظهرها غير المقبول. وبعد نحو ٥-٧ أجيال من التلقيح الذاتى .. تكون نباتات كل سلالة على درجة عالية من التجانس، بينما تختلف السلالات - كثيرًا - عن بعضها البعض.

هذا .. ويعادل كل جيل من أجيال التلقيح الذاتى - فى سرعة الوصول إلى الأصالة الوراثية - ثلاثة أجيال من التلقيح بين الأشقاء، وستة أجيال من التلقيح بين أنصاف الأشقاء. وعمومًا .. يلزم ٥-٦ أجيال من التلقيح الذاتى لإنتاج سلالات مرباة داخليًا متجانسة إلى حد كبير. ولقد اقترح أن درجات التربية الداخلية الأقل شدة تعطى فرصة أكبر للانتخاب، إلا أن السلالات المرباة داخليًا عن طريق التزاوجات بين أنصاف الأشقاء لم تكن متفوقة عن تلك التى نتجت عن طريق التلقيح الذاتى.

ويتم عزل سلالات مرباة داخليًا من خلال التلقيح الذاتى، كما يلى:

١ - السنة الأولى:

يتم انتخاب عدد من النباتات ذات أشكال مظهرية مرغوب فيها من عشيرة المصدر، وتلقح ذاتيًا. يجب أن تكون النباتات المنتخبة قوية النمو وخالية من الإصابات المرضية، ويمكن أن يتم انتخابها على أساس تقديرات قدرتها العامة على التآلف، وذلك باختبار سلوك نسلها الناتج من التلقيح مع صنف اختبارى ذات خلفية وراثية عريضة. ويستدل من الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن أن النباتات المفتوحة التلقيح (S_0) فى عشيرة المصدر تختلف فى قدرتها العامة على التآلف، وأن بالإمكان انتخاب النباتات التى تُخضع للتربية الداخلية – بعد ذلك – على أساس تلك القدرة العامة على التآلف.

وبالإضافة إلى ذلك، فإن الانتخاب المظهرى visual selection يجرى بدرجة عالية من الشدة خلال الأجيال من S_1 إلى S_4؛ ونتيجة لذلك لا تصل سوى نحو ٨٪ من أنسال الـ S_1 إلى الـ S_4. ويفيد هذا الانتخاب فى تحسين قوة النمو، وصفات الجودة، والمقاومة للأمراض والآفات، إلاّ أن فائدته فى تحسين المحصول مشكوك فيها.

٢ – السنة الثانية:

يزرع نحو ٣٠–٤٠ بذرة على مسافات واسعة نسبيًا من كل نبات انتخب ولقح ذاتيًا من عشيرة المصدر. تنتخب أفضل النباتات من أفضل الأنسال وتلقح ذاتيًا لإنتاج بذور الـ S_2.

٣ – السنوات الثالثة إلى السادسة:

يكرر فى كل سنة ما سبق عمله فى السنة الثانية، ولكن مع ازدياد عدد أجيال التلقيح الذاتى، تصبح الأنسال أكثر تجانسًا، وحينئذ يبدأ الانتخاب بين الأنسال ذاتها بدلاً من داخل كل نسل منها. وخلال تلك المرحلة يتم استبعاد معظم الأنسال بحيث لا يتبقى سوى المتميز منها.

٤ – السنة السابعة:

تكون السلالات فى تلك المرحلة متجانسة إلى حد بعيد كما تكون أفرادها أصيلة وراثيًا إلى درجة كبيرة، وهنا يتوقف التلقيح الذاتى، ويحافظ على السلالات بالتلقيح بين نباتات السلالة الواحدة (عن Singh ١٩٩٣).

أهمية ممارسة عملية الانتخاب خلال مراحل التربية الداخلية

رغـم اختـلاف نتـائج الدراسـات بشـأن أهميـة الانتخـاب العينـى (بـالنظر) Visual Selection، الذى يعتمـد علـى الملاحظـة والتقديـر الشـخصى للمربـى .. إلا أنـه يسـود الاعتقاد بأنه يؤدى إلى استبعاد عديد من السـلالات غـير المرغـوب فيـها خـلال مراحـل التربية الداخلية.

ويجرى الانتخاب بالنظر على ثلاث مراحل، كما يلى:

١ – انتخاب النباتات التى تبدأ فيها التربية الداخلية مـن الصنـف المفتـوح التلقيـح (نباتات الـ S_0)، وهى خطوة تعادل جيلاً واحدًا من الانتخـاب الإجمـالى. وتكـون لهـذه الخطـوة أهميتـها بالنسـبة للصفـات ذات درجـات التوريـث المرتفعـة، وربمـا بالنسـبة للمحصول أيضًا.

٢ – استمرار الانتخاب خلال مراحل التربية الداخلية، حتى إنتاج السلالات المربـاة داخليًا، وذلك على أساس الشكل المظهرى للسلالات وقدرتها العامة علـى التآلف، مـع استبعاد السلالات الضعيفة والتى توجد بها عيوب ظاهرة.

يفترض الاختبار المبكر للسلالات المرباة داخليًا – قبل وصولها إلى درجـة عاليـة مـن الأصالة الوراثية – (أى على نباتات الـ S_0، والـ S_1 والـ S_2) وجود قدر من القـدرة علـى التآلف بين النباتات المستخدمة فى إنتاج السلالات المرباة داخليًا منـذ البدايـة، وخـلال مراحل إنتاج السلالات، وقد أثبتت الدراسـات صحة ذلك الافتراض، وجدوى الانتخاب فى تلك المرحلة.

ومن بين الاعتراضات التى أثيرت ضد الاختبار المبكر للسلالات أن سلوكها قد يتغـير فى التهجينات كلما أصبحت أكثر أصالة. كذلـك لا يكـون الاختبـار المبكـر مرغوبًـا فيـه عندما تكون السلالات العالية التآلف ذات صفات رديئة تجعـل مـن المفضـل التخلصـص منها أثناء برنامج التربية الداخلية.

٣ – انتخاب السلالات التى تستعمل فى إنتاج الهجن:

رغم أهمية الانتخاب فى المرحلتين: الأولى والثانية .. فإنه لا يهم إلا بقدر يسير فـى تحسين محصول الهجن المنتجة. فدورة واحدة من الانتخاب الإجمـالى .. لا تؤثـر كثـيرًا

فى المحصول، والانتخاب – خلال مراحل التربية الداخلية – لا يفيد سوى فى استبعاد السلالات الضعيفة؛ وعليه .. فإن الزيادة الكبيرة التى تحدث فى محصول الصنف الهجين .. لابد أنها ترجع إلى الانتخاب فى المرحلة الثالثة.

يجرى التقييم الذاتى للسلالات بهدف التعرف على تلك التى يمكن أن تنتج هجنًا متفوقة، ويكون بأحد ثلاث طرق، كما يلى:

أ – تقييم الشكل المظهرى:

حيث تستبعد السلالات الضعيفة وذات الصفات الرديئة، علمًا بوجود ارتباط إيجابى ضعيف (٠,٢) بين محصول السلالات المرباة داخليًّا ومحصول الهجن الناتجة منها.

ب – اختبار التلقيح القمى:

يجرى اختبار التلقيح القمى top cross testing بهدف انتخاب السلالات ذات القدرة العامة على التآلف، ويمكن على أساسه استبعاد ٥٠٪ من السلالات الأقل قدرة على التآلف. هذا .. ولا يجرى هذا الاختبار إلا على السلالات التى تثبت تفوقها فى مختلف الصفات المطلوبة .. على الأقل حتى يكون من الممكن إكثارها. وأفضل التراكيب الوراثية للاستخدام فى اختبار التلقيح القمى هى ما كانت خليطة heterozygous، وغير متجانسة heterogenous وراثيًّا.

جـ – اختبار التلقيحات الفردية:

يجرى هذا الاختبار بهدف تحديد الهجن الفردية المتميزة، ومن ثم .. ما يصلح منها للهجن الزوجية.

وتجدر الإشارة إلى إنه إن لم يجر أى انتخاب – لا قبل التربية الداخلية، ولا أثناءها، ولا بعدها – ثم لقحت كل السلالات المرباة داخليًّا بصورة عشوائية، فإن متوسط سلوكها أو متوسط محصولها يكون مساويًّا لمتوسط سلوك أو محصول عشيرة المصدر؛ ومن هنا تظهر أهمية الانتخاب خلال مختلف مراحل برنامج التربية الداخلية فى إنتاج الهجن المتميزة (عن Singh ١٩٩٣).

القدرة على التآلف بين السلالات المرباة داخليًّا

تتوقف قوة الهجين – التى تظهر فى الجيل الأول الهجين – على مدى قدرة

السلالات المهجنة على التآلف Combining Ability of Inbred Lines؛ حيث تزداد قوة الهجين كلما كانت السلالات المهجنة أكثر تآلفًا؛ أى كلما كانت تراكيبها الوراثية مكملة بعضها بعضًا، وأكثر تأثيرًا فى قوة الهجين عند تواجدها – معًا – فى الفرد الهجين. وتوجد ثلاثة أنواع من القدرة على التآلف، هى: متوسط القدرة على التآلف، والقدرة العامة على التآلف، والقدرة الخاصة على التآلف.

متوسط القدرة على التآلف

يعبر عن متوسط القدرة على التآلف Average Combining Ability لأية سلالة بمتوسط محصول الهجن الفردية التى تدخل فيها هذه السلالة؛ فمثلاً .. إذا وجدت خمس سلالات هى أ، ب، جـ، د، هـ .. فإن متوسط قدرة السلالة (أ) على التآلف يكون هو متوسط محصول الهجن الفردية أ ب، أ جـ، أ د، أ هـ.

وفى بداية العهد بإنتاج الأصناف الهجين .. كانت تختبر كل الهجن الممكنة لكل سلالة لتقدير متوسط قدرة كل منها على التآلف، وكان ذلك يتطلب جهدًا كبيرًا؛ فعلى سبيل المثال .. لو أن لدينا ٣٠ سلالة فقط لتقييم قدرتها على التآلف – وهو رقم متواضع – لكان عدد الهجن الفردية التى يلزم إنتاجها (مع استبعاد الهجن العكسية) هو ٤٣٥ هجينًا. ويمكن حساب هذا العدد من المعادلة التالية:

$$\text{هـ} = \frac{\text{س} (\text{س} - ١)}{٢}$$

حيث تمثل (هـ) عدد الهجن الفردية الممكنة، و (س) عدد السلالات المطلوب تقييمها. ومن الطبيعى أنه يستحيل تقييم عدد كبير من السلالات بهذه الطريقة؛ فلو فرض أن احتاج الأمر إلى تقييم ١٠٠ سلالة .. للزم إنتاج ٤٩٥٠ هجينًا فرديًا وتقييمها. هذا فضلاً على أن التقييم قد يجرى فى مناطق مختلفة، ولعدة سنوات.

القدرة العامة على التآلف

تقارن القدرة العامة على التآلف General Combining Ability – لعدد من السلالات – بمقارنة الهجن الفردية الناتجة من تلقيح كل من هذه السلالات مع صنف اختبارى

Tester Variety. ويستعمل أى صنف تجارى ناجح مفتوح التلقيح، أو هجين زوجى، أو صنف تركيبى كصنف اختبارى. تنتج الهجن بين السلالات المرباة داخليًّا والصنف الاختبارى بواسطة ما يسمى بالتلقيح القمى Top Cross؛ حيث تزرع ٣-٤ خطوط - بمعدل خط من كل سلالة - بالتبادل مع خط من الصنف الاختبارى، وتزال النورات المذكرة (بفرض استعمال الذرة كمثال) من جميع السلالات؛ حتى يكون الصنف الاختبارى هو مصدر حبوب اللقاح لجميع الهجن. أما إذا استعمل الصنف الاختبارى كأم .. فإنه يلزم - فى هذه الحالة - استعمال عشرة نباتات منه - على الأقل - فى التلقيح مع كل سلالة؛ لتمثيل أكبر قدر من الاختلافات الوراثية التى توجد بين نباتاته.

وترجع أهمية القدرة العامة على التآلف إلى أنها تستخدم فى التنبؤ بمتوسط القدرة على التآلف؛ لأن معامل الارتباط بينهما كبير؛ حيث يقدر بنحو ٠,٥٣-٠,٩٠، وهو ما يعنى وجود علاقة مؤكدة بين محصول الهجن الناتجة من التلقيح القمى لعدد من السلالات، وبين متوسط محصول الهجن الفردية التى تدخل فيها كل من هذه السلالات عند تهجينها مع بعض البعض.

ويتفق معظم مربى النبات على أنه يمكن استخدام تقديرات القدرة العامة على التآلف بأمان فى استبعاد نصف السلالات المتوفرة التى يُراد تقييمها، وقصر إنتاج الهجن الفردية وتقييمها على النصف الآخر المتبقى؛ فمثلاً .. لو كان لدينا ٣٠ سلالة .. فإن يلزم إنتاج ٣٠ هجينًا وتقييمها بالتلقيح القمى، ثم يستفاد من نتيجة التقييم فى استبعاد ١٥ سلالة؛ وهو ما يعنى خفض عدد الهجن الفردية التى يلزم إنتاجها وتقييمها من ٤٣٥ هجينًا إلى ١٠٥ هجينًا فقط.

وأفضل الأصناف الاختبارية للاستعمال هى التى يمكن بواسطتها التنبؤ بمحصول الهجن الفردية للسلالات المتوفرة. لكن لا يوجد صنف اختبارى واحد يصلح لجميع الأغراض. فكلما سبق الذكر .. تصلح الهجن الزوجية والأصناف المفتوحة التلقيح الناجحة - خاصة الأصناف التركيبية - لاختبار القدرة العامة على التآلف؛ لأنه يلزم أن يكون الصنف الاختبارى ذا قاعدة وراثية عريضة Broad Genetic Base. أما عندما يُراد البحث عن سلالة تصلح بديلاً لسلالة أخرى فى هجين زوجى معين .. فإن أفضل

صنف اختبارى لهذا الغرض يكون هو الهجين الفردى الآخر (الذى لا تستعمل هذه السلالة فى إنتاجه) فى الهجين الزوجى؛ فمثلاً .. إذا ما رغب فى البحث عن سلالة بديلة لسلالة (أ) فى الهجين الزوجى أ ب × جـ د .. فإن الصنف الاختبارى المناسب يكون هو الهجين الفردى جـ د.

وفى بداية العهد بإنتاج الأصناف الهجين .. كان يتم اختبار القدرة العامة على التآلف بعد ٣-٥ أجيال من التربية الداخلية. وكان Jenkins فى عام ١٩٣٥ هو أول من بينّ أن الاختبار المبكر للقدرة العامة على التآلف فى الذرة يكون فعّالاً بعد الجيل الثانى للتربية الداخلية؛ فقد وجد أنه من بين ١١ سلالة أجريت عليها الدراسة .. لم يختلف محصول التلقيح القمى لتسع من هذه السلالات، عندما أجرى بعد جيلين، أو بعد ستة - أو ثمانية أجيال من التلقيح الذاتى. كما وجد Sprague فى عام ١٩٤٦ أن النباتات التى لم تلقح ذاتيًا بعد (نباتات جيل الـ S_0) ذات القدرة العالية على التآلف .. تنقل هذه الصفة إلى نباتات جيل التلقيح الذاتى الأول (S_1). كذلك وجد Lonnquist فى عام ١٩٥٠ أن نباتات جيل التلقيح الذاتى الأول تنقل صفة القدرة العالية على التآلف - بنفس الدرجة - إلى نباتات جيل التلقيح الذاتى الرابع.

وبرغم أن Richey قد أوضح عام ١٩٤٥ أن الاختبار المبكر للقدرة العامة على التآلف فى الذرة، والانتخاب لهذه الصفة فى جيل التلقيح الذاتى الثانى (S_2) أو الثالث (S_3) .. يؤدى إلى استبعاد بعض السلالات الهامة .. إلا أن الاتجاه الغالب - فى معظم برامج التربية - هو تقدير هذه الصفة فى جيل التلقيح الذاتى الأول (S_1) أو الثانى (S_2)، كما يقوم البعض بتقديرها فى النباتات المنتخبة؛ لإجراء التربية الداخلية عليها (S_0). ويستفاد من هذه الاختبارات المبكرة للقدرة العامة على التآلف فى استبعاد ما يصل إلى نحو ٨٠٪ من النباتات التى يلزم إجراء التربية الداخلية عليها.

ومما يعزز أهمية الاختبار المبكر للقدرة العامة على التآلف .. أن الدراسات المستفيضة قد أوضحت وجود اختلافات حقيقية بين نباتات الـ S_1 وبعضها البعض، وكذلك بين نباتات الـ S_0 وبعضها البعض؛ من حيث قدرتها العامة على التآلف، وأن هذه الاختلافات يمكن معرفتها، برغم المشاكل الناجمة عن حالة الخلط الوراثى فى هذه النباتات، وأنها تورث من جيل لآخر مع استمرار التربية الداخلية.

القدرة الخاصة على التآلف

يقصد بالقدرة الخاصة على التآلف Specific combining Ability قدرة السلالات على التآلف مع السلالات الأخرى فى الهجن الفردية Single Crosses، والهجن الثلاثية Three-way Crosses، والهجن الزوجية (الرباعية) Double Crosses. ويعبر عن هذه القدرة بقوة الهجين التى تظهر فى الهجن.

تقدر القدرة الخاصة على التآلف فى الهجن الفردية بإجراء الاختبار القمى أولاً، لاستبعاد ٥٠٪ من السلالات، وهى التى تكون أقل فى القدرة العامة على التآلف، ثم تجرى كل التلقيحات الممكنة بين السلالات المتبقية؛ لتحديد أفضل الهجن الفردية لكل سلالة.

ويلزم لتقدير القدرة الخاصة على التآلف فى الهجن الزوجية أن تهجن كل الهجن الفردية معًا بكل الطرق الممكنة. فلو فرض وتبقى ١٥ سلالة بعد الاختبار القمى .. فإنه يلزم – أولاً – إجراء $\frac{١٥ \times ١٤}{٢}$ = ١٠٥ هجينًا فرديًا، ثم تهجن الهجن الفردية – معًا – بكل الطرق الممكنة لإنتاج الهجن الزوجية، التى يتحدد عددها بالمعادلة التالية:

$$\text{عدد الهجن الزوجية الممكنة} = \frac{\text{س (س – ١) (س – ٢) (س – ٣)}}{٨}$$

حيث (س) تمثل عدد السلالات المرباة داخليًا؛ ويعنى ذلك أن عدد الهجن الزوجية الممكنة يكون $\frac{١٥ \times ١٤ \times ١٣ \times ١٢}{٨}$ = ٤٠٩٥ هجينًا زوجيًا، بخلاف الهجن العكسية.

ويبين جدول (٧–١) أعداد الهجن الفردية، والثلاثية، والزوجية الممكنة من عدد (n) من السلالات المرباة داخليًا.

ونظرًا لأن عدد الهجن الزوجية التى يلزم إنتاجها وتقييمها يكون كبيرًا، ويزداد – كثيرًا – مع أى زيادة فى عدد السلالات (فهو يصبح – مثلاً – ١٤٥٣٥ هجينًا زوجيًا عند زيادة عدد السلالات إلى ٢٠)؛ لذا فقد حاول العلماء التوصل إلى وسائل، يمكن بواسطتها التنبؤ بمحصول الهجن الزوجية قبل إجرائها، وكانت دراسات Jenkins فى عام ١٩٣٤ من أبرز ما قدم فى هذا المجال.

جدول (٧-١): أعداد الهجن الفردية، والثلاثية، والزوجية الممكنة من عدد (n) من السلالات المرباة داخليًا.

عدد الآباء	عدد الهجن الفردية الممكنة	عدد الهجن الثلاثية الممكنة	عدد الهجن الزوجية الممكنة
٢	١	صفر	صفر
٣	٣	٣	صفر
٤	٦	١٢	٣
٥	١٠	٣٠	١٥
٦	١٥	٦٠	٤٥
١٠	٤٥	٣٦٠	٦٣٠
١٥	١٠٥	١٣٦٥	٤٠٩٥
٣٠	٤٣٥	١٢١٨٠	٨٢٢١٥
n	n(n-1)/2	n(n-1)(n-2)/2	n(n-1)(n-2)(n-3)/8

ولقد قام Jenkins بدراسة الارتباط بين محصول الهجن الزوجية وبين متوسط محصول كل مما يلي:

١ – الهجن الستة الفردية الممكنة بين السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى؛ فمثلاً .. تكون الهجن الستة الفردية الممكنة فى حالة الهجين الزوجى أ ب × جـ د هى: أ ب، أ جـ، أ د، ب د، جـ د.

٢ – الهجن الأربعة الفردية الممكنة بين السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى غير الهجينين الفرديين المهجنين معًا لإنتاج الهجين الزوجى؛ فمثلاً .. تكون الهجن الأربعة الفردية الممكنة فى حالة الهجين الزوجى أ ب × جـ د هى: أ جـ، أ د، ب جـ، ب د.

٣ – كل الهجن الفردية الممكنة بين كل من السلالات الأربع الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى وبين عشر سلالات أخرى؛ فمثلاً .. تكون الهجن اللازمة فى حالة الهجين الزوجى أ ب × جـ د هى التى بين كل من السلالات أ، ب، جـ، د وعشر سلالات أخرى؛ أى يؤخذ متوسط ٤٠ هجينًا فرديًا.

٤ – الهجن الفردية الممكنة بين كل من السلالات الأربع الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى وبين صنف اختبارى؛ أى يؤخذ متوسط أربعة هجن فردية.

وقد قدر Jenkins الارتباط بين المحصول الفعلى والمحصول المتوقع لاثنين وأربعين هجينًا زوجيًا باستعمال الطرق الأربع السابقة، ووجد أن معامل الارتباط كان ٠,٧٥، و ٠,٧٦، و ٠,٧٣، و ٠,٦١ للطرق الأربع على التوالى.

وبناء على نتائج هذه الدراسة ودراسات أخرى كثيرة .. فقد أصبح عاديًا أن يتنبأ المربى بمحصول الهجن الزوجية من متوسط محصول الهجن الأربعة الفردية الممكنة بين السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى غير الهجينين الفرديين المهجنين معًا لإنتاج الهجين الزوجى. ويكفى فى هذه الحالة - إنتاج وتقييم كل الهجن الفردية الممكنة بين السلالات المتوفرة؛ للتنبؤ بمحصول أى هجين زوجى بين هذه الهجن الفردية. ولكن ينبغى أن تقيم الهجن الفردية فى عدة مواقع، وعلى مدى عدة سنوات؛ ليمكن التوصل إلى نتائج يمكن الاعتماد عليها. ويبين جدول (٧-٢) مثالاً لتطبيق القاعدة السابقة فى التنبؤ بمحصول الهجن الزوجية الممكنة بين خمس سلالات من الذرة (Anderson عن Briggs & Knowles ١٩٦٧).

طرق تحسين السلالات المرباة داخليًا

يتجه كثير من الباحثين نحو محاولة تحسين السلالات المتوفرة المرباة داخليًا، التى أثبتت قدرة عالية على التآلف، بدلاً من محاولة إنتاج سلالات جديدة؛ بسبب ندرة السلالات الممتازة، وصعوبة إنتاج ما هو أفضل منها. وتبعًا لـ T. A. Kiesselbach (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) .. فإن عدد سلالات الذرة المرباة داخليًا التى أنتجت حتى عام ١٩٥١ قدر بنحو ١٠٠ ألف سلالة. ولم يتفوق منها سوى ٦٠ سلالة، وهى التى كان لها دور فى إنتاج أصناف الذرة الهجين.

ويحاول المربون تحسين السلالات المرباة فى الجوانب التالية:

١ - زيادة إنتاجية السلالات ذاتها؛ بغرض زيادة كمية البذرة الهجين من نفس التلقيح؛ فتنخفض بذلك تكاليف إنتاجها.

٢ - تحسين السلالات فى صفات خاصة تعوزها؛ مثل مقاومة الأمراض الهامة.

٣ - تحسين قدرة السلالات على التآلف؛ وهو ما يعنى زيادة قوة الهجين فى الهجن التى تدخل فيها.

جدول (٧-٢): المحصول الحقيقى المتحصل عليه من الهجن الفردية والزوجية لخمس سلالات مربـاة تربية داخلية من الذرة (هى أرقام ٢٣، و ٢٤، و ٢٦، و ٢٧، و ٢٨) والمحصول المتوقع للـهجن الزوجية بينها.

الهجين الفردى أو الزوجى	المحصول (بوشـل/فـدان) الحقيقى	المتوقع	الهجين الفردى أو الزوجى	المحصول (بوشـل/فـدان) الحقيقى	المتوقع
الهجن الفردية					
٢٣ × ٢٤	٤١,٧		٢٤ × ٢٧	٧٢,١	
٢٣ × ٢٦	٦٢,٦		٢٤ × ٢٨	٦٩,٣	
٢٣ × ٢٧	٧٠,٨		٢٦ × ٢٧	٦٤,٢	
٢٣ × ٢٨	٦٤,٤		٢٦ × ٢٨	٦٠,٤	
٢٤ × ٢٦	٦٥,٦		٢٧ × ٢٨	٥٩,٦	
الهجن الزوجية					
السلالات ٢٣، ٢٤، ٢٦، ٢٧:			السلالات ٢٣، ٢٦، ٢٧، ٢٨:		
(٢٣×٢٤)(٢٦×٢٧)	٦٨,٨	٦٧,٨	(٢٣×٢٦)(٢٧×٢٨)	٦٨,٢	٦٥,٠
(٢٣×٢٦)(٢٤×٢٧)	٦٢,٤	٦٠,٦	(٢٣×٢٧)(٢٦×٢٨)	٦٥,٠	٦٢,٧
(٢٣×٢٧)(٢٤×٢٦)	٦٢,٠	٦٠,٢	(٢٣×٢٨)(٢٦×٢٧)	٦٥,٧	٦٣,٤
السلالات ٢٣، ٢٤، ٢٦، ٢٨:			السلالات ٢٤، ٢٦، ٢٧، ٢٨:		
(٢٣×٢٤)(٢٦×٢٨)	٦٥,٠	٦٥,٥	(٢٤×٢٦)(٢٧×٢٨)	٧٠,٢	٦٦,٥
(٢٣×٢٦)(٢٤×٢٨)	٥٩,٨	٥٨,٠	(٢٤×٢٧)(٢٦×٢٨)	٦٢,٠	٤٧,٧
(٢٣×٢٨)(٢٤×٢٦)	٥٦,٠	٥٨,٥	(٢٤×٢٨)(٢٦×٢٧)	٦٢,٧	٦٤,٤
السلالات ٢٣، ٢٤، ٢٧، ٢٨:					
(٢٣×٢٤)(٢٧×٢٨)	٧١,١	٦٩,٢			
(٢٣×٢٧)(٢٤×٢٨)	٥٨,١	٥٩,٤			
(٢٣×٢٨)(٢٤×٢٧)	٥٨,٠	٦٠,٤			

هذا .. وتعامل السلالات المرباة تربية داخلية معاملة النباتات الذاتية التلقيح عند تحسينها؛ ذلك لأنها تكثر بالتلقيح الذاتى، كما أن نباتات كل سلالة تكون متجانسة homogenous، وأصيلة وراثيًا homozygous؛ مثلها فى ذلك مثل العشائر المُحَسنَة الثابتة وراثيًا من المحاصيل الذاتية التلقيح.

ومن أهم الطرق التقليدية المستخدمة فى تحسين السلالات المرباة داخليًا ما يلى:

١ – طريقة انتخاب النسب:

تجرى التربية يتتبع النسل الناتج من هجين فردى ناجح بين سلالتين مرباتين تربية داخلية، وإجراء الانتخاب مع استمرار التربية الداخلية للنباتات المنتخبة جيلاً بعد جيل (تراجع لذلك التربية بطريقة انتخاب النسب).

٢ – طريقة التهجين الرجعى:

تعد تلك أنسب طرق التربية عند الرغبة فى تحسين السلالات المرباة داخليًا فى صفات معينة؛ مثل صفة العقم الذكرى (لاستعمالها كأمهات فى الهجن)، والمقاومة للأمراض الهامة (تراجع لذلك التربية بطريقة التهجين الرجعى).

٣ – طريقة التحسين التجمعى Convergent Improvement:

اقترح Richey هذه الطريقة فى عام ١٩٢٧، وتجرى بتلقيح أحد الهجن الفردية الناجحة رجعيًا إلى إلى كل من أبوية على انفراد؛ فيلقح الهجين أ ب – مثلاً – رجعيًا مع كل من السلالتين (أ)، و (ب) مع الانتخاب للصفات المهمة؛ مثل قوة النمو والمقاومة للأمراض؛ وبذا .. تحسن كلتا السلالتين.

٤ – طريقة انتخاب الجاميطات Gametc Selection:

اقترح Stadler هذه الطريقة فى عام ١٩٤٤، وتجرى بتلقيح سلالة جيدة بحبوب لقاح أحد الأصناف الناجحة المفتوحة التلقيح. وتختلف النباتات التى تنتج من هذا التلقيح عن بعضها البعض – وراثيًا – بدرجة كبيرة. يُلقّح كل نبات منها – ذاتيًا – كما يلقح أيضًا مع صنف اختبارى. ويُحتفظُ بالبذور الناتجة من التلقيح الذاتى لحين تقييم البذور الناتجة من التلقيح الاختبارى. ويعنى تفوق نسل أى تلقيح اختبارى أن النبات الذى استخدم فى هذا التلقيح كان قد تلقى جينات مرغوبًا فيها من الصنف المفتوح التلقيح، الذى كان قد لُقح مع السلالة المراد تحسينها. وتزرع البذور الناتجة من التلقيح الذاتى لهذه النباتات فى الموسم التالى لبدء برنامج جديد من التربية الداخلية عليها. وترجع أهمية هذه الطريقة – كما بين Stadler – إلى أنه إذا وجدت التراكيب الوراثية المرغوب فيها فى الصنف المفتوح التلقيح بنسبة q^2 .. فإنها توجد فى

جاميطات هذا الصنف بنسبة q، وهى أعلى بكثير (يراجع لذلك قانون هاردى-فينبرج).

ومن الطرق الأخرى الحديثة التى استخدمت فى تحسين السلالات المرباة داخليًا، ما يلى:

١ - التهجين الجسمى somatic hybridization:

يفيد التهجين الجسمى فى إنتاج cybrids تحتوى على سيتوبلازم من مصدر آخر كأن تكون سلالات عقيمة الذكر سيتوبلازميًا.

٢ - الحصول على تباينات وراثية جديدة من مزارع الأنسجة والخلايا للسلالات المرباة داخليًا.

٣ - الهندسة الوراثية:

استخدمت تقنيات الهندسة الوراثية فى نقل الجين cry من البكتيريا *Bacillus thuringiensis* إلى بعض سلالات الذرة، التى استخدمت - بدورها - فى إنتاج هجن من الذرة مقاومة ليرقات حرشفية الأجنحة. ويبدو أن تلك الطريقة سيكون لها مستقبل كبير فى تحسين السلالات المرباة داخليًا (عن Singh ١٩٩٣).

إنتاج السلالات الأصيلة من النباتات الأحادية

نظرًا لأن إنتاج السلالات الأصيلة المرباة داخليًا يتطلب جهدًا كبيرًا، ويستغرق عدة سنوات؛ لذا .. فقد اتجه تفكير بعض الباحثين نحو محاولة استخدام النباتات الأحادية (١ن) فى إنتاج نباتات ثنائية أصيلة (٢ن)؛ بمضاعفتها بالكولشيسين. وكان Chase - فى عام ١٩٤٩ - هو أول من نادى بهذه الطريقة وطبقها فى الذرة، وهو محصول تظهر فيه النباتات الأحادية طبيعيًا بطريقة التوالد البكرى parthenogensis بمعدل ٠,١٪، وينتج نحو ٩٩٪ من تلك النباتات الأحادية من النمو البكرى لخلية أحادية من الطور الجاميطى الأنثوى.

ويمكن معرفة النباتات الأحادية بسهولة إذا ما زرعت نباتات أحد الأصناف المرغوب فيها المفتوحة التلقيح بالتبادل مع صنف آخر به جين سائد مُعلِّم marker gene لا يوجد فى الصنف المفتوح التلقيح، وتُزال جميع النورات المذكرة من الصنف المفتوح التلقيح،

لكى يُلقَّح بالصنف الآخر، ثم تحصد بذوره، وتزرع؛ وبذا .. يمكن معرفة النباتات الأحادية الناتجة بطريق التوالد البكرى، وهى التى لا تكون حاملة للصفة السائدة. وقد استخدم Chase لذلك صفة لون النبات القرمزى، وهى صفة سائدة تظهر فى طور الباردة.

ويمكن مضاعفة النباتات الأحادية بسهولة بالكولشيسين؛ لإنتاج نباتات ثنائية أصيلة. كما أن نباتات الذرة الأحادية تميل بطبيعتها للارتداد إلى الحالة الثنائية، لدرجة أن ١٠٪ من النباتات الأحادية غالبًا ما تنتج بذورًا ثنائية عند تلقيحها ذاتيًا. وقد استخدمت السلالات الأصيلة المنتجة بهذه الطريقة فى إنتاج بعض الهجن (عن Burnham ١٩٦٦)، إلا أن استعمالها لا يزال محدود الانتشار إلى الآن.

مصادر النباتات الأحادية

يمكن الحصول على النباتات الأحادية من المصادر التالية:

١ – من حالات التوالد البكرى لإحدى الخلايا الأحادية التى توجد فى الكيس الجنينى، وهى التى سبقت الإشارة إلى أنها تحدث طبيعيًّا فى الذرة بنسبة تصل إلى ٠,١٪.

٢ – من النباتات الأحادية التى تنشأ بطريقة التوالد البكرى الذكرى Androgensis، وهى الحالات التى تفشل فيها النواة الذكرية فى الاتحاد مع نواة البيضة، وإنما تنمو النواة الذكرية إلى جنين أحادى مباشرة، ويكون سيتوبلازم الخلايا الأحادية هو سيتوبلازم الجاميطة المؤنثة. تحدث هذه الظاهرة بنسبة منخفضة فى الطبيعة. وقد اقترح Chase الاستفادة منها فى نقل صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى السلالات المرباة داخليًا الأصيلة الخصبة.

وللحصول على سلالات ثنائية أصيلة وراثيًّا وذات صفات مرغوب فيها زراعيًّا. يفضل الحصول على النباتات الأحادية من صنف تجارى ناجح كأن يكون هجن جيل أول أو عشيرة منعزلة محسنة. وليمكن الاستفادة من النباتات الأحادية التى تظهر طبيعيًّا – وهى التى تكون نسبتها شديدة الانخفاض – فإنه يتعين التعرف عليها وتمييزها عن النباتات الثنائية. ويفضل لتحقيق ذلك أن تستخدم جينات معلمة يكون فيها الأب

المستخدم فى تلقيح العشيرة التى يراد فيها الانتخاب للنباتات الأحادية – سائدًا أصيلاً، بينما تكون عشيرة الأم متنحية أصيلة؛ حيث تظهر الصفة المتنحية على جميع النباتات الأحادية المتكونة، والتى تكون hemizygous فى تلك الصفة.

٣ – فى حالات تعدد الأجنة الأحادية polyembryony التى تكون مصاحبة للإخصاب، وتكوين الجنين الثنائى الجنسى فى بذور بعض الأنواع النباتية. وتحدث هذه الظاهرة بنسبة أقل من ٠,١٪ فى عدد من الأنواع النباتية. إلا أنها وجدت بنسبة تزيد على ١٠٪ فى الكتان، وهو الذى يستفاد فيه من تلك الظاهرة فى إنتاج السلالات الثنائية الأصيلة.

٤ – تظهر النباتات الأحادية طبيعيًا فى نسل الهجن النوعية والهجن الجنسية. وقد أمكن الاستفادة بهذه الظاهرة فى إنتاج أصناف جديدة؛ بمضاعفة النباتات الأحادية التى ظهرت فى النسل الناتج من التلقيح بين الشعير المزروع *Hordeum vulgare*، والشعير البرى *H. bulbosum*. وتعرف الطريقة المتبعة لإنتاج النباتات الثنائية الأصيلة من هذا التهجين باسم طريقة بلبوزم Bulbosum method.

٥ – يمكن إنتاج النباتات الأحادية بشكل روتينى بواسطة مزارع المتوك وحبوب اللقاح، وهى التى استخدمت لأول مرة مع نوع الداتورة *Datura innoxia*.

مزايا السلالات الثنائية الأصيلة المضاعفة وعيوبها

المزايا

يمكن تلخيص مزايا النباتات الثنائية الأصيلة الناتجة من مضاعفة النباتات الأحادية فيما يلى:

١ – يتم الوصول إلى الإصالة الوراثية بمجرد مضاعفة النباتات الأحادية؛ الأمر الذى يقلل من الوقت اللازم لإنتاج سلالات أصيلة.

٢ – يمكن أن تكون عملية الانتخاب (المفاضلة) بين الأنسال المتجانسة للأفراد الأحادية المتضاعفة أكثر كفاءة من الانتخاب بين أنسال النباتات المرباة داخليًا، أو بين نباتات كل نسل منها فى برامج التربية الداخلية.

٣ – قد تكون النباتات الأحادية المتضاعفة ذاتها أصنافًا جديدة، يمكن إكثارها مباشرة.

٤ – سهولة الانتخاب للصفات السائدة فى النباتات الأحادية؛ حيث لا توجد بها مشكلة التمييز بين الأفراد السائدة الأصيلة، والسائدة الخليطة.

العيوب

إن أهم عيوب النباتات الثنائية الأصيلة الناتجة من مضاعفة النباتات الأحادية، ما يلى:

١ – يتطلب تقييم السلالات الثنائية الأصيلة وقتًا طويلاً نسبيًا؛ حيث لا توجد أية فرصة لعملية التقييم على أساس الشكل الظاهرى خلال مراحل إنتاج النباتات الأصيلة المضاعفة. هذا .. بينما يتمكن المربى من ملاحظة سلوك السلالات فى الحقل فى كل جيل من أجيال التربية الداخلية. وحينما يحين وقت إنتاجها .. فإن المربى يكون قد كوّن فكرة جيدة عنها؛ فلا يتطلب الأمر تقييمًا كثيرًا لها بعد ذلك؛ مثلما تكون عليها الحال فى السلالات الأصيلة المضاعفة من النباتات الأحادية.

٢ – قد يتطلب إنتاج السلالات الأصيلة المضاعفة توفر أجهزة معينة، وخبرة خاصة فى بعض التقنيات الحديثة.

٣ – قد يكون من الصعب التنبؤ بمعدل ظهور الأفراد الأحادية فى العشيرة.

٤ – ربما لا تفوق السلالات الأصيلة المنتجة بمضاعفة النباتات الأحادية السلالات المرباة تربية داخلية.

ولمزيد من التفاصيل عن إنتاج السلالات الأصيلة من النباتات الأحادية .. يراجع Fehr (١٩٨٧).

أنواع الهجن

توجد ثلاثة أنواع رئيسية من الهجن، هى: الهجن الفردية، والهجن الثلاثية، والهجن المزدوجة أو الرباعية.

الهجن الفردية

كان Shull – فى عام ١٩٠٩ – أول من أقترح إنتاج الهجن الفردية Single Crosses فى الذرة؛ وذلك بتهجين سلالتين معًا، على أن يكونا على درجة عالية من القدرة

الخاصة على التآلف. وتنتج الهجن الفردية للذرة بزراعة خطين من السلالة المستعملة كأم بالتبادل، مع خط من السلالة المستعملة كأب، مع إزالة النورات من نباتات السلالة المستعملة كأم، وهى التى تكون أعلاهما محصولاً.

تتميز الهجن الفردية بما يلى:

١ – تظهر بها قوة الهجين بدرجة عالية.

٢ – تكون على درجة عالية من التجانس؛ لأن السلالات المستخدمة فى إنتاجها تكون أصيلة وراثيًا، ولا تحدث بها أية انعزالات وراثية عند إنتاج الجاميطات.

ومن أهم عيوب الهجن الفردية ما يلى:

١ – تكون أسعار تقاويها مرتفعة، ويرجع ذلك إلى الأسباب التالية:

(أ) ضعف محصول السلالات المرباة داخليًا؛ فتقل بذلك كمية البذرة الهجين التى يمكن إنتاجها من وحدة المساحة.

(ب) يفقد ثلث الحقل الإنتاجى فى زراعة السلالة المستخدمة كأب، ويعد ذلك أمرًا ضروريًا، نظرًا لضعف قدرة السلالات المرباة داخليًا على إنتاج حبوب اللقاح، بما لا يسمح بنقص نسبتها عن الثلث فى حقل إنتاج البذور.

تنطبق هذه العيوب – خاصة – على الهجن الفردية فى الذرة الشامية؛ لذا .. فإنها لم تعد مستخدمة فى هذا المحصول، ولكنها تنتج على نطاق واسع فى عديد من المحاصيل الأخرى، مثل البصل، والخيار، والكوسة، والكرنب، والجزر، والبنجر. كما تنتج الهجن الفردية كذلك فى الذرة السكرية، التى تباع تقاويها بأسعار أكثر ارتفاعًا مما فى الذرة الشامية، ولأن التجانس التام فى النمو – وكذلك موعد الحصاد – يعد شرطًا غاية فى الأهمية بالنسبة لعملية الحصاد الآلى فى هذا المحصول، وهو أمر لا يتوفر إلا فى الهجن الفردية.

الهجن الثلاثية

ينتج الهجين الثلاثى Three-way cross بتلقيح هجين فردى بحبوب لقاح من سلالة مرباة داخليًا، ويُزْرَعُ لذلك خطان من الهجين الفردى – الذى تُزال نوراته المذكرة – بالتبادل مع خط من السلالة المستعملة كأب.

وتتميز الهجن الثلاثية بالانخفاض النسبى لأسعار تقاويها؛ لأنها تنتج على هجن فردية قوية النمو. كما تتميز بذورها بأنها كبيرة الحجم ومنتظمة الشكل – لنفس السبب السابق – وهى – بذلك – تصلح للزراعة الآلية. لكن يعيبها أن ثلث الحقل الإنتاجى يفقد فى زراعة السلالة المستخدمة كأب، وهو أمر ضرورى لضعف قدرتها على إنتاج حبوب اللقاح، بما لا يسمح بنقص نسبتها عن الثلث فى حقل إنتاج البذور.

هذا .. وقد أنتجت الهجن الثلاثية فى الذرة، إلا أن استعمالها كان محدودًا، ولايزال كذلك.

الهجن الزوجية (الرباعية)

اقترح Jones فى عام ١٩١٨ إنتاج الهجن الزوجية Double Crosses فى الذرة، بتلقيح هجينين فرديين معًا، واستعمال البذور الناتجة كصنف تجارى. وتلزم لإنتاج الهجن الزوجية زراعة أربعة خطوط من الهجين الفردى المستعمل كأم بالتبادل، مع خط من الهجين الفردى المستعمل كأب، مع إزالة النورات المذكرة من خطوط الأمهات (شكل ٧–١).

تتميز الهجن الزوجية بانخفاض أسعارها؛ للأسباب التالية:

١ – تنتج تقاويها على هجن فردية قوية النمو وعالية المحصول.

٢ – يستغل ٨٠٪ من الحقل فى إنتاج البذور؛ لأن الهجين الفردى المستعمل يكون قوى النمو، وينتج حبوب لقاح بوفرة، تسمح بقصر زراعته فى خُمس الحقل الإنتاجى فقط.

وأهم عيوب الهجن الزوجية ما يلى:

١ – تقل درجة التجانس بين نباتات الهجين الزوجى؛ لكثرة ما به من انعزالات وراثية؛ نظرًا لأنه ينشأ بتهجين هجينين فرديين. ويمكن الحد من حالة عدم التجانس هذه بالاختيار الدقيق للسلالات الأربع التى تستخدم فى إنتاج الهجين، بما لا يسمح بحدوث انعزالات فى الصفات الاقتصادية والمورفولوجية الهامة.

٢ – يقل محصول الهجن الزوجية عن الهجن الثلاثية، أو الفردية. ولكن يمكن

الارتفاع بمحصول الهجن الزوجية إلى مستوى يقارب الهجن الفردية بالاختيار الدقيق للسلالات الداخلة فى إنتاجها؛ فقد أوضحت الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن أن محصول الهجين الزوجى يزداد بازدياد التباعد الوراثى بين السلالات الداخلة فى إنتاجه. ويحسن - فى حالة اشتراك بعض السلالات فى أصل واحد - أن تستعمل السلالات القريبة من بعضها البعض وراثيًّا فى إنتاج الهجن الفردية؛ بحيث تكون الهجن الفردية المستعملة فى إنتاج الهجين الزوجى بعيدة وراثيًّا عن بعضها البعض. فمثلاً: لو أن السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى هى أ، ب، جـ، د، وكانت أ ، ب تربطهما صلة قرابة، وكذلك جـ، د فإن الهجين الزوجى يجب أن ينتج بتهجين الهجين الفردى أ ب مع الهجين الفردى جـ د.

هذا .. وينتشر استعمال الهجن الزوجية فى الذرة الشامية على نطاق واسع فى جميع أنحاء العالم، وتستعمل على نطاق ضيق فى الذرة السكرية، وبعض الصليبيات، إلا أنها قلما تستعمل فى المحاصيل الأخرى.

أصناف الهجن المتعددة السلالات

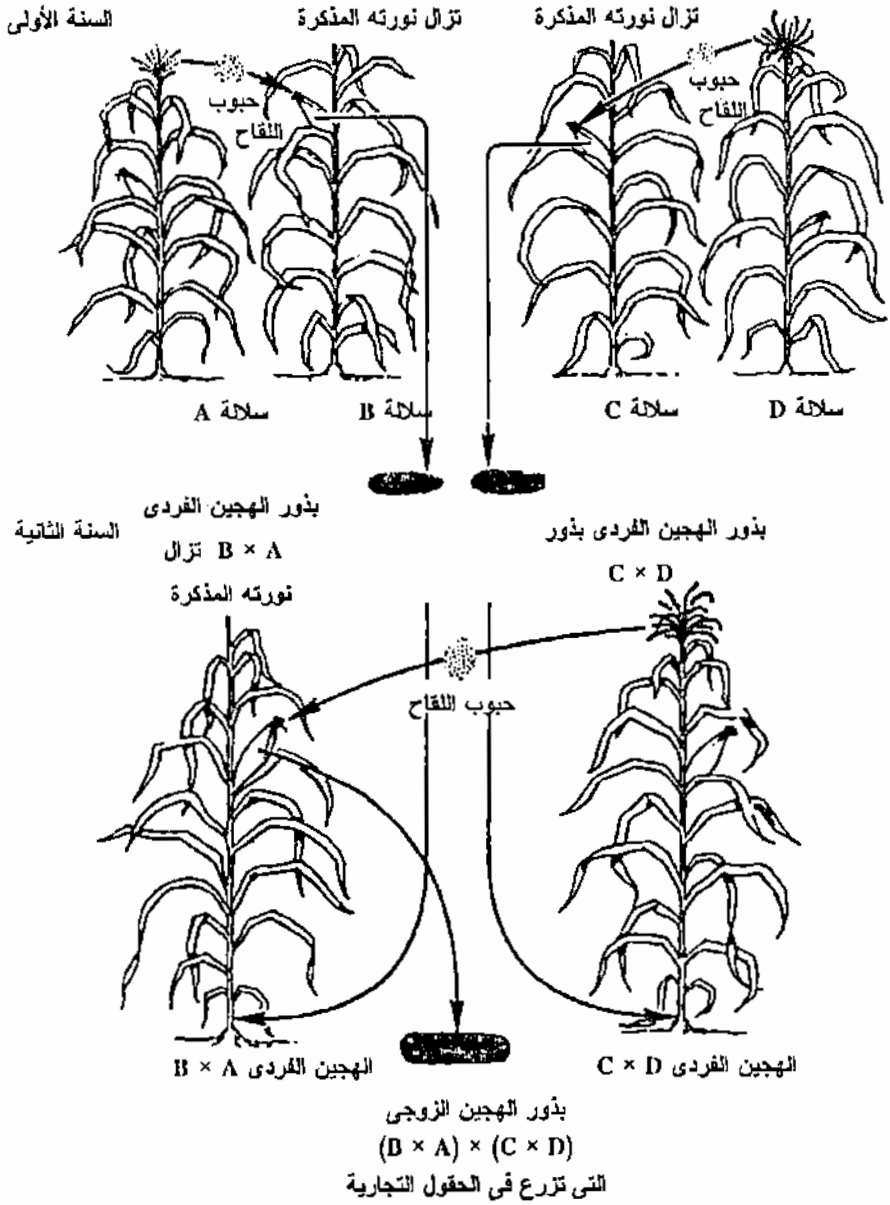
تُعَرَّف أصناف الهجن المتعددة السلالات Composite Varieties بأنها: الأصناف التى تنتج من تهجينات مركبة بدرجة أكبر من الهجن الزوجية (الرباعية) مثل: تهجين هجين زوجى مع هجين فردى؛ أو هجين زوجى مع هجين زوجى آخر، أو هجين سداسى أو ثُمانى مع هجين فردى، أو زوجى، أو سداسى، أو ثمانى؛ فإذا استخدمت ثمانى سلالات فى إنتاج الصنف .. فإن تكوين الصنف قد يكون على النحو التالى:

[(أ × ب) × (جـ × د)] × [(هـ × و) × (ز × ح)]

يشترط فى هذه السلالات أن تكون على درجة عالية من التوافق، ولا يستعمل الهجين المتعدد السلالات نفسه فى الزراعة التجارية، بل يكثر بالتلقيح المفتوح، ثم يستعمل لعدة أجيال فى الزراعة، قبل إعادة تكوينه من جديد.

وقد تستعمل مثل هذه الهجن المتعددة السلالات لبدء برنامج تربية بطريقة انتخاب النسب، أو انتخاب التجميع. ولا تلزم - فى هذه الحالة - أن تكون السلالات متوافقة

معًا، وإنما يشترط أن تكمل بعضها بعضًا فيما يتعلق بالصفات التى ينبغى توفرها فى الصنف الذى يراد إنتاجه.



شكل (٧-١): طريقة إنتاج الهجن الزوجية فى الذرة.

وسائل الاستفادة من الجيل الثانى للهجن

لا ينصح باستعمال الجيل الثانى للهجن فى الزراعة؛ للأسباب التالية:

١ – يحتوى الجيل الثانى – نظريًّا – على نصف قوة الهجين التى توجد فى الجيل الأول. وقد قدر النقص فى المحصول – عمليًّا – بنحو ٢٦٪ فى الهجن الزوجية، و ٣٦٪ للهجن الثلاثية، و ٤٨٪ للهجن الفردية. وتجدر الإشارة إلى أن عشائر الجيل الثانى لهذه الهجن ليست سوى أصناف تركيبية، تعتمد – فى تكوينها – على عدد من السلالات أقل مما يوصى به.

٢ – تزيد الاختلافات الوراثية بين أفراد الجيل الثانى بدرجة كبيرة لا يتحقق معها التجانس المطلوب فى الأصناف المحسنة.

هذا .. إلا أن الجيل الثانى يستعمل تجاريًّا فى الحالات التى ترتفع فيها أسعار الهجن بدرجة كبيرة حيث تقترب أسعار تقاوى الجيل الثانى من أسعار تقاوى الأصناف العادية، بينما تحتفظ النباتات بنصف قوة الهجين. ولا يمكن – فى هذه الحالة – إكثار الصنف بمزيد من التلقيح الذاتى. ومن أمثلة الهجن التى يستعمل فيها الجيل الثانى – تجاريًّا – صنف الطماطم Foremost، والقاوون Market Pride، والبتونيا Violet Blue، والبانسية Seven-Eleven.

كما يستخدم الجيل الثانى فى أغراض التربية؛ حيث يمكن أن يبدأ منه برنامج للتربية الداخلية لإنتاج سلالات جديدة فائقة مرباة داخليًّا. كذلك .. قام بعض الباحثين بإنتاج الجيلين الثانى والثالث من الهجن الفردية، ثم إنتاج هجن زوجية بتلقيح نباتات من أى من هذين الجيلين. ومن الطبيعى أن تكون هذه النباتات (آباء الهجن الزوجية) خليطة؛ وبذا .. لا يمكن المحافظة عليها وتكرار إنتاج الهجن للاستعمال التجارى. ونظريًّا .. فإن هذه الهجن يجب أن تتساوى – فى غياب الانتخاب لآبائها – مع الهجن الزوجية الناتجة من تلقيح هجن فردية. وقد تأكد ذلك – عمليًّا – بعدد من الدراسات (عن Allard ١٩٦٤).

أما محاولات إنتاج الجيل الثانى والأجيال التالية – بالتربية الداخلية – بهدف التوصل إلى آباء الهجن؛ لإعادة إنتاجها؛ فهى محاولات مقضى عليها بالفشل، ولا يمكن أن يفكر فيها شخص ملم بمبادئ التربية؛ فمن المتوقع أن يظهر فى الجيل الثانى

للهجن ٣ تركيب وراثى مختلف؛ حيث (ن) هى عدد العوامل الوراثية الخليطة فى الجيل الأول الهجين. وعليه .. فإن عدد التراكيب الوراثية التى يمكن ظهورها فى الجيل الثانى يكون كبيرًا للغاية؛ فلو كانت (ن) تساوى ٣٠ – وهو تقدير متواضع للغاية – فإن عدد التراكيب الوراثية التى يحتمل ظهورها يصبح ٢,٠٥٨٩ × ١٠^{١٤}. ولن يمكن معرفة التراكيب المرغوب فيها منها – للجهل بها ابتداءً – فضلاً على استحالة زراعة هذا العدد من النباتات، أو إخضاع بعضها للتربية الداخلية لعزل سلالتى الآباء بحالة أصيلة.

الظواهر التى يستفاد بها فى إنتاج الأصناف الهجين

يستفيد المربى ببعض الظواهر النباتية؛ مثل العقم الذكرى، وعدم التوافق، وانفصال الجنس فى إنتاج الهجن. ونتناول بالشرح – فيما يلى – كيفية الاستفادة بهذه الظواهر – وغيرها – فى عملية إنتاج البذرة الهجين.

العقم الذكرى الوراثى

يستفاد من ظاهرة العقم الذكرى الوراثى فى إنتاج الهجن، باستعمال سلالات أمهات، تكون أصيلة فى صفة العقم الذكرى (msms)، بينما تكون سلالات الآباء خصبة أصيلة (MsMs)؛ وبذا .. تكون البذرة الهجين – وهى التى تحصد من سلالات الأمهات – خليطة وخصبة (Msms). تنتج هذه الهجن دونما حاجة إلى خصى الأزهار المذكرة، أو إزالة النوارت المذكرة من نباتات الأمهات.

وقد استخدمت ظاهرة العقم الذكرى الوراثى فى إنتاج الهجن الفردية فى كثير من المحاصيل، إلا أنها لا تصلح لإنتاج الهجن الزوجية؛ لأن كلا الهجينين الفرديين المستعملين فى إنتاج الهجين الزوجى يكون كل منهما خصب الذكر، فى حين يلزم أن يكون أحدهما عقيم الذكر حتى يمكن إنتاج الهجين الزوجى.

ولكى تكون الاستفادة بظاهرة العقم الذكرى الوراثى تامة .. فإنه تلزم توفر وسيلة فعالة لنقل حبوب اللقاح من السلالة الخصبة الذكر إلى السلالة العقيمة الذكر المستعملة كأم، وإلا تطلب الأمر إجراء عملية التلقيح يدويًّا؛ ولهذا السبب .. فإنه لم يمكن

الاستفادة – حتى الآن – من صفة العقم الذكرى فى بعض المحاصيل الذاتية التلقيح مثل الطماطم. فعلى الرغم من توفر عديد من جينات العقم الذكرى فى هذا المحصول .. إلا أن جميع الأصناف الهجين المتداولة تجاريًا تنتج بذورها بالتلقيح اليدوى. ويرجع ذلك إلى قلة النشاط الحشرى فى الطماطم، وضعف قدرة زهرة الطماطم على إنتاج حبوب اللقاح – مقارنة بالمحاصيل الخلطية التلقيح – كما أن برامج مكافحة الآفات المتبعة فى حقول الطماطم تتعارض مع إمكان استخدام الحشرات فى التلقيح.

كذلك توجد محاصيل خلطية التلقيح – كالقرعيات – تتوفر فيها جينات العقم الذكرى، إلا أن جميع أصنافها الهجين المتداولة تجاريًا تنتج بذورها بالتلقيح اليدوى.

ومن أهم الأسباب التى جعلت مربى النبات يعزفون عن الاستفادة من ظاهرة العقم الذكرى – عوضًا عن عملية الخصى فى بعض المحاصيل الذاتية التلقيح كالطماطم، أو عوضًا عن عمليتى الخصى والتلقيح فى بعض المحاصيل الخليطة التلقيح كالقرعيات – ما يلى:

١ – تتميز هذه المحاصيل بإنتاجها أعدادًا كبيرة من البذور من كل تلقيح، مع عدم حاجتها إلى كميات كبيرة من التقاوى لزراعة وحدة المساحة.

٢ – سهولة إجراء التلقيحات اليدوية فيها.

فإذا أضفنا إلى ذلك ضرورة إدخال صفة العقم الذكرى فى سلالات الأمهات، والجهود التى تبذل للتخلص من النباتات الخصبة الذكر التى تظهر فى خطوطها .. لوجدنا أن التلقيح اليدوى يعد أفضل لإنتاج الهجن فى مثل هذه المحاصيل.

ويتطلب الاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى الوراثى – فى إنتاج الهجن التجارية – نقل صفة العقم الذكرى لسلالات الآباء. ونظرًا لأن السلالات العقيمة الذكر لا يمكن إكثارها – للمحافظة عليها – بالتلقيح الذاتى؛ لذا .. فإنها تكثر بتلقيحها مع نباتات خصبة خليطة فى صفة العقم الذكرى (Msms)؛ حيث تكون نصف نباتات النسل الناتج عقيمة الذكر أصيلة (msms)، ونصفها الآخر خصبة الذكر خليطة (Msms). ويتطلب الإنتاج التجارى للهجن ضرورة التخلص من هذه النباتات الخصبة فى مرحلة مبكرة من النمو، لأن وجودها يعنى حدوث التلقيح الذاتى.

ويجرى ذلك باتباع إحدى الوسائل التالية:

١ - بإزالة النباتات الخصبة الذكر بمجرد ملاحظتها عند الإزهار. وتتطلب هذه الطريقة أيدى عاملة كثيرة؛ الأمر الذى يقلل من مزايا الاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى فى إنتاج الهجن.

٢ - بربط جين الخصوبة - إن أمكن - مع جين يتحكم فى الحساسية لأحد المركبات الكيميائية، ثم التخلص من النباتات الخصبة، بمعاملتها بهذا المركب. وقد اقتُرِحَ - فى هذا المجال - ربط جين الخصوبة فى الشعير بالجين المسئول عن الحساسية لمركب الـ د. د. ت.

٣ - بإدخال جينات معلمة، ترتبط ارتباطًا قويًّا بصفة العقم الذكرى فى السلالات العقيمة الذكر؛ حتى يمكن تمييز النباتات الخصبة الذكر. ومن أمثلة ذلك جين يتحكم فى لون الأليرون فى حبة الذرة؛ مما يسمح بفرز البذور أليكترونيا قبل زراعتها.

٤ - باستعمال جينات معلمة تكون ذات تأثير متعدد؛ بحيث يسهل تمييز النباتات العقيمة الذكر من النباتات الخصبة. ومن أمثلة ذلك .. ظهور صفة الأوراق الملساء الخالية من الشعيرات فى إحدى سلالات البطيخ العقيمة الذكر، وكذلك ظهور صفة الأوراق الضيقة فى الخس، عند وجود صفة العقم الذكرى، التى يتحكم فيها ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية المتنحية.

٥ - بربط جين العقم الذكرى بإحدى حالات الكروموسومات غير العادية، التى قد تؤثر فى صفة ظاهرة كحجم البذرة على سبيل المثال. وقد أمكن ربط صفة خصوبة الذكر فى الذرة بكروموسوم يوجد به نقص مزدوج duplicate-deficient (Dp-Df) ولا ينتقل خلال الجاميطة المذكرة، حيث تحصد البذور التى تحمل جين العقم الذكرى بحالة أصيلة من الهجين:

الأب Msms Dp-Df × msms الأم

وتكثر السلالة ذات النقص الكروموسومى المزدوج بالانتخاب فى نسل السلالة المستخدمة كأب (عن Duvick ١٩٦٦، و Welsh ١٩٨١).

يتبين مما تقدم ضرورة أن يتوفر من كل صنف يستخدم كأم عند إنتاج الهجن

بالاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى الوراثى ثلاث سلالات تختلف فى عوامل العقم الذكرى، كما يلى:

١ – السلالة العقيمة الذكر msms، وهى التى تأخذ الرمز A.

٢ – سلالة خصبة الذكر وخليطة فى عامل العقم الذكرى Msms، وهى التى تأخذ الرمز B، وتستعمل فى إكثار السلالة العقيمة الذكر، ولذا .. فإنها تعرف باسم maintainer line.

٣ – يتحصل على السلالة الخصبة الذكر الخليطة بالتلقيح بين السلالة A وسلالة خصبة الذكر أصيلة MsMs (السلالة الثالثة المطلوبة من الصنف ذاته)؛ وجميعها سلالات ذات أصول وراثية متشابهة.

العقم الذكرى السيتوبلازمى

يستفاد من ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى فى إنتاج هجن بعض المحاصيل مثل البصل، وبنجر السكر؛ حيث تكون سلالات الأمهات عقيمة الذكر (S) وتصل إليها حبوب اللقاح من سلالات الآباء الخصبة الذكر (F). هنا .. لابد أيضًا من وسيلة طبيعية لنقل حبوب اللقاح، ويتم ذلك إما بواسطة الحشرات كما فى البصل وإما بواسطة الهواء كما فى البنجر.

يكون الهجين الناتج – فى حالة استعمال ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى – عقيم الذكر، لأنه يتلقى السيتوبلازم من الأم التى تحمل العامل (S)؛ ولذا .. فإن استعمال هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن مقصور على المحاصيل التى تزرع لأجل أجزائها الخضرية، أو أزهارها؛ مثل البصل، والبنجر، ونباتات الزينة. ولا يمكن الاعتماد على هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن الفردية من المحاصيل التى تزرع لأجل بذورها، أو ثمارها. إلا إذا خلطت البذرة الهجين الناتجة (وهى التى تحمل العامل S) مع بذور أخرى من الهجين ذاته، يكون قد استعمل التلقيح اليدوى فى إنتاجها؛ حيث تشكل الأخيرة مصدرًا لحبوب اللقاح فى المزارع التجارية لهذا الهجين؛ لأنها تكون خصبة الذكر. ويطلق على هذه الطريقة اسم الخلط Blending.

وقد اتبعت طريقة الخلط هذه – على نطاق واسع – فى إنتاج الهجن الزوجية من

الذرة قبل اكتشاف ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى. وكان ذلك يجرى بإدخال صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى إحدى السلالات الأربع التى تدخل فى تكوين الهجين الزوجى؛ فلو فرض أن كان الهجين الزوجى المراد إنتاجه هو أ ب × جـ د، وأدخلت صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى السلالة أ .. فإن هذه السلالة تستعمل كأم فى إنتاج الهجين الفردى أ ب، الذى يكون عقيم الذكر؛ لأنه يتلقى عامل العقم (S) من سيتوبلازم الأم. أما الهجين الفردى جـ د .. فإنه ينتج بطريقة التلقيح اليدوى، ويكون خصب الذكر. ويستعمل الهجين الفردى العقيم أ ب كأم فى إنتاج الهجين الزوجى أ ب × جـ د الذى يكون عقيم الذكر؛ لأنه يتلقى عامل العقم (S) من الأم العقيمة التى هى الهجين الفردى أ ب. وبخلط بذرة الهجين الزوجى أ ب × جـ د المنتجة بهذه الطريقة (وهى التى تحمل العامل S) مع بذور أخرى من الهجين نفسه يكون قد استعمل التلقيح اليدوى فى إنتاجها .. فإن المخلوط الناتج (blend) يمكن زراعته كصنف هجين؛ حيث تشكل البذور الناتجة من التلقيح اليدوى مصدرًا لحبوب اللقاح لأنها تكون خصبة الذكر.

العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى

يستفاد من ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى إنتاج هجن المحاصيل، التى تزرع لأجل بذورها أو ثمارها؛ مثل الذرة، وذرة المكانس (السرغوم). ويكون التركيب الوراثى للسلالة العقيمة الذكر المستعملة كأم هو Srr، بينما يكون التركيب الوراثى للسلالة الخصبة الذكر المستعملة كأب إما FRR، أو SRR. ويكون الهجين الناتج – فى أى من الحالتين – خصب الذكر، وذا تركيب وراثى SRr.

كما يستفاد من هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن الزوجية أيضًا؛ فو كان الهجين الزوجى المطلوب هو أ ب × جـ د فإن الأمر يتطلب – أولاً – إدخال صفة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى إلى إحدى سلالتى كل هجين فردى؛ ليصبح تركيبها الوراثى Srr. أما التركيب الوراثى للسلالة الأخرى – لكل هجين فردى – فيكون FRR فى أحد الهجينين الفرديين، و Frr فى الهجن الآخر.

وتكون التراكيب الوراثية للسلالات والهجن الفردية كما يلى:

السلالة	التركيب الوراثى	الشكل الظاهرى	استعمالها
أ	Srr	عقيمة الذكر	أم فى الهجين الفردى أ ب
ب	FRR	خصبة الذكر	أب فى الهجين الفردى أ ب
جـ	Srr	عقيمة الذكر	أم فى الهجين الفردى جـ د
د	Frr	خصبة الذكر	أب فى الهجين الفردى جـ د

وبذا .. فإن الهجين الفردى أ ب يكون خصب الذكر، وذا تركيب وراثى SRr، أما الهجين الفردى جـ د .. فإنه يكون عقيم الذكر، وذا تركيب وراثى Srr. وباستعمال الهجين الفردى جـ د كأم مع الهجين الفردى أ ب الذى يستعمل كأب .. فإن نصف نباتات الهجين الزوجى أ ب × جـ د تكون خصبة الذكر، وذا تركيب وراثى SRr، بينما تكون نباتات نصفه الآخر عقيمة الذكر، وذات تركيب وراثى Srr، ويقوم النصف الخصب بإمداد جميع النباتات فى الحقل بحبوب اللقاح اللازمة.

وتتميز هذه الطريقة بعدم الحاجة إلى إزالة النورات المذكرة من السلالات، أو الهجن الفردية المستعملة كأمهات فى جميع مراحل إنتاج الهجين الزوجى. ولكن يعاب عليها صعوبة إدخال الجين R إلى السلالات المستعملة كآباء؛ لأن الجين لا يمكن تتبعه إلا باختبار النسل.

كذلك .. يستفاد من ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى إنتاج الهجن الفردية التجارية من البصل؛ حيث تلزم ثلاث سلالات لإنتاج كل هجين، وهى كما يلى:

السلالة	التركيب الوراثى	الشكل الظاهرى
أ أو A	Srr	عقيمة الذكر
ب أو B	Frr	خصبة الذكر
جـ أو C	FRR	خصبة الذكر

تعرف السلالة B – كذلك – باسم maintainer line، كما تعرف السلالة C – أيضًا – بالاسمين R-line، و restorer line (Allard ١٩٦٤).

تتماثل السلالتان (أ، ب) تمامًا فى كل صفاتها فيما عدا صفة العقم الذكرى. أما

السلالة (جـ) .. فتسمى القرين المفضل good combiner، وتكون ذات قدرة عالية على التوافق مع السلالة (أ)؛ لتعطى الهجين المرغوب فيه وتزرع السلالتان (أ،ب) فى خطوط بالتبادل، وتحصد بذور كل سلالة على حدة؛ فتكون البذور الناتجة من السلالة (أ) نسلاً للسلالة (أ)، والبذور الناتجة من السلالة (ب) نسلاً للسلالة (ب)، علمًا بأن حبوب لقاح السلالة (ب) تلقح كلاً من السلالتين (أ، ب). أما السلالة (جـ) .. فإنها تزرع فى قطعة أرض منعزلة؛ لإكثارها، والمحافظة عليها بالتلقيح الخلطى الطبيعى بين نباتاتها.

ولإنتاج بذرة الهجين التجارى .. تزرع السلالتان (أ، جـ) معًا فى قطعة أرض معزولة، بمعدل خط من السلالة (جـ) لكل ٤-٦ خطوط من السلالة (أ)، أو بمعدل خطين من السلالة (جـ) لكل ثمانية خطوط من السلالة (أ). ولمزيد من التفاصيل عن إنتاج هجن البصل .. يراجع Pike (١٩٨٦).

عدم التوافق

كان O. H. Pearson فى عام ١٩٣٢ هو أول من اقترح الاستفادة من ظاهرة عدم التوافق فى إنتاج الهجن التجارية. كما ذكر Attia & Munger (عن Wallace & Nasrallah ١٩٦٨) أن هذه الظاهرة تتسبب فى حدوث التلقيح الخلطى فى الكرنب بنسبة ٩٠-١٠٠٪، وأن هذه النسبة تعد جيدة لإنتاج البذرة الهجين. وتشيع - حاليًا - (عن Lidel & Anderson ١٩٩٣) الاستفادة من هذه الظاهرة فى إنتاج هجن عديد من المحاصيل، خاصة النباتات الصليبية؛ مثل الكرنب، والقنبيط، وكرنب بروكسل، والكيل، والكرنب الصينى التى توجد فيها ظاهرة عدم التوافق الاسبوروفيتى. ويشترط لإنتاج الهجين أن تكون سلالتا الأبوين غير متوافقتين ذاتيًا، بينما تكونان متوافقتين خلطيًا مع بعضهما؛ أى إن كلاً منهما تكون ملقحة للأخرى؛ وبذا .. تحصد البذرة الهجين من كلتا السلالتين فى حقل إنتاج البذور.

ومن أهم المشاكل التى تواجه إنتاج هجن الصليبيات - بالاعتماد على ظاهرة عدم التوافق - ما يلى:

١ - يلزم دراسة نوع التفاعل الأليلى، الذى يوجد بكل سلالة قبل البدء فى إنتاج البذرة الهجين.

٢ – لا تكون صفة عدم التوافق ثابتة فى كل الظروف البيئية.

٣ – ضعف السلالات المرباة داخليًا.

ويستفاد من ظاهرة عدم التوافق فى إنتاج الهجن الفردية، والثلاثية، والزوجية (الرباعية). وتنتج الهجن الثلاثية بالتلقيح بين هجين فردى غير متوافق ذاتيًا كأم، وسلالة مرباة داخليًا كأب، بينما تنتج الهجن الزوجية بالتلقيح بين هجينين فرديين. على أن يكون الهجين الفردى المستعمل كأم غير متوافق ذاتيًا. ويمكن حصاد البذرة الهجين من كلا الأبوين – أيًا كان نوع الهجين – إذا كان الأبوان غير متوافقين ذاتيًا، فحينئذ .. يصبح كل منهما ملقحًا للآخر، وتكون البذرة الهجين الناتجة من كليهما متماثلة فى تركيبها الوراثى، إلا إذا وجدت صفات معينة تتأثر بالأم، أو تورث عن طريقها.

هذا .. إلا أن كثيرًا من هجن الصليبيات التى تنتج فى الولايات المتحدة هى من نوع التلقيحات القمية Topcrosses؛ حيث يستخدم صنف تجارى ناجح مفتوح التلقيح كملقح لسلالة عديمة التوافق ذاتيًا تستخدم كأم. كما تنتج – أيضًا – تلقيحات قمية ثلاثية باستخدام صنف تجارى مفتوح التلقيح كملقح لهجين فردى غير متوافق ذاتيًا (Dickson & Wallace ١٩٨٦).

انفصال الجنس

يستفاد من حالات انفصال الجنس فى إنتاج الهجن على النحو التالى:

أولاً: حالات النباتات الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن Monoecious

عندما يكون النبات وحيد الجنس وحيد المسكن (أى عندما يحمل أزهارًا مذكرة وأخرى مؤنثة) .. فإن إنتاج الهجين يكون أمرًا ميسورًا؛ حيث لا يلزم سوى إزالة الأزهار المذكرة – أولاً بأول – من السلالة المستعملة كأم. ويستفاد من هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن التجارية من الذرة، وذلك بإزالة النورة المذكرة detasseling من خطوط سلالات الأمهات قبل تفتح أزهارها. وتتطلب هذه العملية كثيرًا من الأيدى العاملة، إلا أنها تجرى آليًا. وتحصد البذرة الهجين من النباتات التى أزيلت نوراتها المذكرة.

ومن أهم متطلبات هذه الطريقة توفير عزل جيد لحقل إنتاج البذور حتى لا تصله حبوب لقاح من مصادر أخرى خارج الحقل. ويتم العزل إما بتوفير مسافة كبيرة خالية

من نباتات الذرة حول حقل إنتاج البذور، وإما بزراعة المنطقة المحيطة بحقل إنتاج التقاوى بالسلالة المستخدمة كأب؛ لضمان تواجد كثافة عالية من حبوب لقاح الأب المرغوب فيه. كذلك .. تجب العناية بإزالة النورات المذكرة بحيث لا تتسبب فى حدوث أضرار للنباتات. وتجرى هذه العملية على مراحل لأن النباتات لا تزهر كلها فى وقت واحد. ورغم إمكان إجراء هذه العملية آليًا، إلا أنه يجب أن تؤخذ فى الحسبان احتمالات إجرائها - يدويًا - فى حالة سقوط الأمطار فى وقت حرج؛ حيث يستحيل - حينئذ - مرور الآلات فى الحقل.

ويزرع حقل إنتاج البذور - عادة - بستة خطوط من سلالة الأم، بالتبادل مع خطين من سلالة الأب. ويمكن بهذه الطريقة حصاد الآباء منفردة مع المحافظة على نقاوة البذرة الهجين. ويُتَخلص - أحيانًا - من نباتات سلالة الأب؛ بحرثها فى الأرض، أو تكسير سيقانها بعد التلقيح (عن Welsh ١٩٨١).

ثانيًا: حالات النباتات الوحيدة الجنس الثنائية المسكن Dioecious

عندما يكون النبات وحيد الجنس ثنائى المسكن (أى عندما توجد نباتات مذكرة وأخرى مؤنثة) .. فإن إنتاج البذرة الهجين يتم بزراعة سلالات الآباء فى خطوط متبادلة، ثم إزالة النباتات المذكرة من خطوط السلالة المستعملة كأم، قبل انتثار حبوب اللقاح منها. وتتبع هذه الطريقة فى إنتاج هجن السبانخ التى يكون التلقيح فيها - خلطيًا - بالهواء.

ثالثًا: حالات النباتات المؤنثة

تستعمل السلالات المؤنثة gynoecious فى إنتاج هجن الخيار، حيث تزرع كأمهات فى خطوط متبادلة مع سلالات الآباء، ويترك الحقل للتلقيح الخلطى الطبيعى بالحشرات. ونظرًا لأن حالة الأنوثة صفة بسيطة؛ لذا .. فإنها تظهر فى الجيل الأول الهجين، الذى لا يحمل - بدوره - سوى أزهار مؤنثة فقط.

ويتطلب عقد الثمار - فى الحقول التجارية للأصناف الهجين الأنثوية - توفر أحد الشروط التالية:

١ – أن يكون الصنف قادرًا على العقد البكرى للثمار parthenocarpic، وتتوفر هذه الصفة فى معظم أصناف الخيار الأنثوية.

٢ – أن تخلط البذرة الهجين ببذور أحد الأصناف الشبيهة الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن؛ حتى تكون مصدرًا لحبوب اللقاح. وتقوم شركات البذور – عادة – بخلط بذور الملقحات – هذه – بنسبة ١٢–١٥٪ مع الهجن الأنثوية.

٣ – ألا يكون الصنف تام الأنوثة؛ حيث لا تظهر صفة الأنوثة كاملة وهى بحالة خليطة فى بعض الخلفيات الوراثية. ويمكن بالاختيار الدقيق للسلالة المستعملة كأب إنتاج هجن لا تكون تامة الأنوثة، بل تحمل عددًا قليلاً – نسبيًّا – من الأزهار المذكرة التى تنتج حبوب اللقاح اللازمة للتلقيح (عن Duvick ١٩٦٦).

التقارن التفضيلى الكامل

يحدث – أحيانًا – عند إجراء تهجين بين صنفين، ثم مضاعفة كروموسومات الجيل الأول أن تفضل الكروموسومات الآتية – من كل صنف – الاقتران مع بعضها البعض عند الانقسام. وتعرف هذه الظاهرة باسم التقارن التفضيلى الكامل Complete Preferential Pairing. وإذا حدثت الظاهرة بشكل تام .. فإنه لا تحدث أية انعزالات فى نسل الجيل الأول الهجين؛ وبذا .. يمكن المحافظة عليه وإكثاره، دونما حاجة إلى إعادة التهجين سنويًّا.

النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة

تحتوى النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة Tertiary Trisomics على كروموسوم واحد زائد، يتكون من جزأين من كروموسومين غير متماثلين، وهى حالة نادرة الوجود فى الطبيعة. وقد اقترح الاستفادة من هذه الظاهرة فى إكثار سلالات الأمهات العقيمة الذكر؛ لأنها لا تسمح بظهور نباتات خصبة الذكر فى خطوط الأمهات، وهى النباتات التى يلزم التخلص منها – عند اتباع طريقة الإكثار العادية للنباتات العقيمة الذكر – بذل جهد كبير، وقد بدأ تطبيقها فى الشعير.

يعتمد تطبيق هذه الظاهرة – فى إكثار السلالات العقيمة الذكر – على أساس أن

التراكيب الكروموسومية غير الطبيعية، لا تنتقل – عادة – عن طريق حبوب اللقاح؛ حيث تكون جميع حبوب اللقاح الخصبة طبيعية. ويؤدى التلقيح الذاتى للنباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة إلى إنتاج بذور طبيعية، وأخرى بها الظاهرة. وتكون البذور الأخيرة فى الشعير صغيرة ومتغضنة (مجعدة)، ويسهل فصلها – آليًا – عن البذور الطبيعية.

يتطلب الأمر بعض الهندسة الكروموسومية لوضع الآليل السائد للخصوبة (Ms) بالقرب من موقع الالتحام بين جزأى الكروموسومين غير المتماثلين فى الكروموسوم الزائد، بينما يكون آليل العقم الذكرى المتنحى (ms) فى الكروموسوم الطبيعى. ونظرًا لأن العبور يقل بشدة فى أجزاء الكروموسوم الزائد القريبة من منطقة الالتحام، لذا .. فإنه يتكون نوعان فقط من الجاميطات، يكون أحدهما طبيعيًا والآخر يحتوى على الكروموسوم الزائد. وكما سبق الذكر .. فإن حبوب اللقاح التى تحتوى على الكروموسوم الزائد لا تكون خصبة، ولا تشارك فى تكوين النسل؛ وينتج عن ذلك .. أن تكون نصف البذور الناتجة من التلقيح الذاتى لهذا النبات (الثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة) طبيعية، وتحمل جين العقم الذكرى بحالة أصيلة، بينما يحمل نصفها الآخر الكروموسوم الزائد – المحتوى على آليل الخصوبة السائد – وتكون صغيرة ومتغضنة (شكل ٧–٢)، ويسهل فصلها – آليًا – قبل الزراعة. وبهذه الطريقة يسهل إكثار السلالات العقيمة الذكر بطريق التلقيح الذاتى.

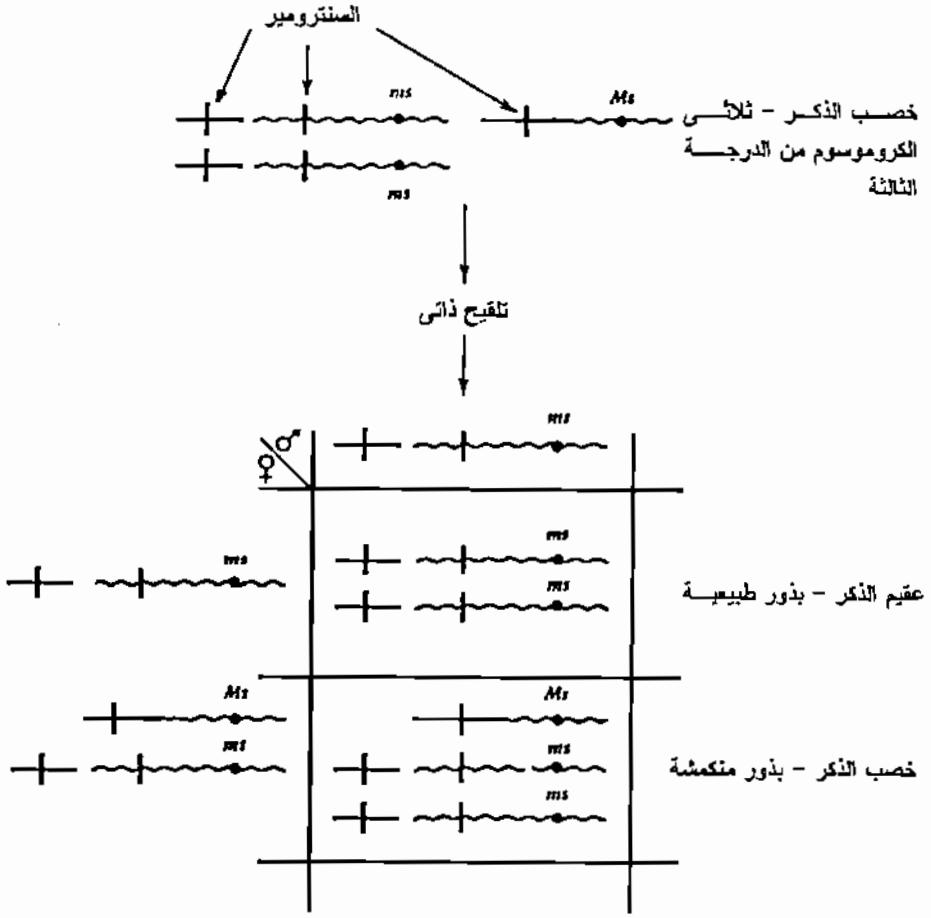
التكاثر اللاإخصابى

تنتشر ظاهرة التكاثر اللاإخصابى فى كثير من الأنواع النباتية، وقد اقترح البعض الاستفادة بها؛ كوسيلة لإكثار الصنف الهجين بعد إنتاجه؛ ذلك لأن الأجنة اللاإخصابية تكون مشابهة للأم تمامًا فى تركيبها الوراثى. ويذكر Sprague (١٩٦٧) أن ظاهرة التكاثر اللاإخصابى تستخدم فى إنتاج بذور هجن النوع المحصول Argentina Bahia Grass.

استخدام مبيدات الجاميطات فى إنتاج الهجن

يستعمل مصطلح مبيدات الجاميطات gametocides فى وصف المركبات الكيميائية

التى تُحدث المعاملة بها عقمًا ذكريًا، دون أن يكون لها تأثير فى خصوبة البويضة. وإذا كانت هذه المركبات على درجة عالية من الكفاءة .. فإنها يمكن أن تحدث عقمًا ذكريًا فى أية سلالة تربية يراد استخدامها كأم فى الهجن، وهو ما يلغى الحاجة إلى الهجن الرجعية التى تلزم لإدخال صفة العقم الذكرى فى هذه السلالات.



شكل (٧-٢): تخطيط يبين كيفية استعمال النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة tertiary trisomics فى إكثار السلالات العقيمة الذكر.

ولكى تكون هذه المركبات نافعة حقًا .. فإنها يجب أن تكون مؤثرة فى حبوب اللقاح، دون أن يكون لها تأثير فى البويضات، وألا يكون لها تأثير مُطفر، وأن يكون استعمالها اقتصاديًا وسهلاً، وألا يكون لها تأثيرات جانبية ضارة. ونظرًا لأن الإزهار

يمتد فترة طويلة فى عديد من المحاصيل؛ لذا .. فإنه يفضل أن تكون هذه المركبات جهازية، أو أن تربى سلالات من النباتات يتركز فيها الإزهار خلال فترة قصيرة نسبيًا. وإلا فإنه قد تلزم المعاملة عدة مرات بالمركب (Riggs ١٩٨٨).

يقتصر استعمال مبيدات الجاميطات - فى الوقت الحاضر - على إنتاج هجن بعض محاصيل الحبوب.

وفى محاصيل الخضر .. اختبر ١٥ مركبًا كمبيدات جاميطات، ووجد أن المالييك هيدرازيد - بتركيز ١٠٠-٥٠٠ جزء فى المليون - كان أكثرها فاعلية؛ حيث أحدث نسبة عالية من العقم فى حبوب اللقاح فى الباذنجان، والفلفل، والطماطم، دون أن يؤثر - سلبيًا - فى الأعضاء الزهرية الأنثوية، وكانت أفضل المعاملات هى رش النموات الخضرية قبل تفتح الأزهار بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون فى الباذنجان والبصل، و ١٠٠-١٥٠ جزء فى المليون فى الطماطم، و ٤٠٠-٥٠٠ جزء فى المليون فى الباميا والفلفل.

كما أفاد - أيضًا - استعمال مركب 2,3-dichloroisobutyrate (الذى يعرف باسم Mendox) مع الطماطم؛ حيث أحدث نسبة عالية من العقم فى حبوب اللقاح، إلا أنه كان له تأثير سلبى فى النمو النباتى وعقد الثمار (George ١٩٩٩).

واستُخدم - أيضًا - كل من GA_3، و GA_{4+7} مع كل من الخس والطماطم.

كما استعملت منظمات النمو - مثل الإثيفون - فى تثبيط إنتاج الأزهار المذكرة فى سلالات الأمهات من القرعيات.

العوامل المؤثرة فى كفاءة عملية التلقيح بين سلالات آباء الهجن

تتأثر كفاءة عملية التلقيح - بين سلالات آباء الهجن - بعدد من العوامل، لعل من أبرزها ضرورة توافق موعد الإزهار فى سلالتى الآباء، وهو ما يعرف باسم nicking. هذا .. علمًا بأن توافق الإزهار فى موسم معين، وفى منطقة معينة لا يعنى بالضرورة أن يستمر التوافق فى مواسم أو مناطق أخرى، ويستدل على ذلك بالخبرة. ويمكن تعديل موعد زراعة إحدى السلالتين؛ بحيث تزهر فى موعد إزهار السلالة الأخرى.

وتحدث معظم المشاكل حينما يُعتمد على الحشرات فى عملية التلقيح؛ فالنحل الذى يجمع حبوب اللقاح يميل إلى الإكثار من زيارة السلالات الخصبة الذكر، بينما يقضى وقتًا أقل مع السلالات العقيمة الذكر، وحتى حينما تكون سلالتا الآباء خصبتين - كما فى حالة الاعتماد على ظاهرة عدم التوافق فى إنتاج الهجن - فإن النحل قد يفضل إحدى السلالتين على الأخرى لأسباب قد ترجع إلى لون البتلات، أو تركيز الرحيق بها، أو ارتفاع النبات. كما يميل النحل - أحيانًا - إلى البقاء على السلالة التى بدأ بها فى أول زيارته للحقل بدلاً من التحرك بطريقة عشوائية.

كذلك لا يفيد النحل فى التلقيح داخل أقفاص العزل السلكية، أو المصنوعة من الشاش، أو القماش (Cages)، بل على العكس .. فإنه يضر فيها الأزهار؛ نظرًا لأنه لا يميل إلى البقاء داخل الأماكن الصغيرة المغلقة. وقد أوضحت الدراسات - التى أجريت فى هذا المجال - أن النحل يحدث أضرارًا بمياسم أزهار البصل، ويتسبب فى نقص محصول البذور. وأفضل الحشرات للتلقيح داخل الأماكن الضيقة كهذه .. الذبابة السَّروُء Blowfly، وهى ذبابة تضع بيضها على اللحم.

هذا .. إلا أنه يمكن استخدام النحل فى التلقيح عند إنتاج التقاوى فى البيوت المحمية؛ فقد أنتج Dowker وآخرون (١٩٨٥) تقاوى هجن البصل فى بيوت بلاستيكية، أبعادها ٥ × ١٦م. وكان محصول البذرة الهجين ومحصول بذرة السلالة الخصبة الذكر المستعملة كأب أعلى - عندما استخدم النحل فى التلقيح - عما كانت عليه الحال عندما استخدمت الذبابة السروء. وقد بدا واضحًا فى هذه الدراسة أن النحل كان أكثر نشاطًا فى الجو الصحو. وأن الذبابة كانت أقل نشاطًا عند ارتفاع درجة الحرارة داخل الأنفاق. وتتعارض هذه النتائج مع نتائج دراسة مماثلة، أجريت على إنتاج بذور الكرنب بروكسل الهجين داخل الأنفاق، والتى كانت فيها الذبابة السروء أفضل كثيرًا من النحل، الذى كان يميل إلى زيارة أزهار إحدى سلالتى الآباء فقط، ولا يتحرك بينهما لإتمام التلقيح.