الفصل الثامن

الظواهر المستعملة فى إنتاج الهجن : العقم الذكرى وعدم التوافق

يستفيد المربى من عدد من الظواهر النباتية الطبيعية فى تسهيل إنتاج الهجن ، وإجراء التلقيحات . ومن هذه الظواهر انفصال الجنس ، والعقم الذكرى ، وعدم التوافق . وقد سبق تناول ظاهرة انفصال الجنس بالتفصيل فى الفصل الثانى ، وتتناول الظاهرتين الأخريين فى هذا الفصل قبل الدخول فى تفاصيل طرق إنتاج الأصناف الهجين فى الفصل العاشر .

العقم الذكرى

تنتشر ظاهرة العقم الذكرى Male Sterility انتشاراً واسعًا فى المملكة النباتية ، لدرجة أنها وجدت فى أى محصول بحث فيه عنها . كما تتكرر الظاهرة بأكثر من جين فى المحصول الواحد ؛ فيعرف – مثلا – ٢٤ زوجاً من الجينات غير الأليلة ، تتحكم فى طفرات مختلفة من العقم الذكرى فى الشعير ، ونحو ٢٤ زوجًا فى الذرة ، ونحو ٥٠ زوجًا فى الطماطم ، و ٩ أزواج فى البسلة (Myers & Gritton ١٩٨٨) .

مظاهر العقم الذكرى

تؤدى حالة العقم الذكرى إلى عدم قدرة النبات على أن يكون ملقحاً لأزهاره أو لأزهار

أية نباتات أخرى . ويأخذ العقم الذكرى أحد ثلاثة مظاهر ، هى :

١- عقم حبة اللقاح Pollen Sterility :

تخلو المتوك فى هذه الحالة من حبوب اللقاح ، أو تنتج بها حبوب لقاح ضامرة ، لاتصلح للتلقيح .

٢- عقم الأسدية Staminal Sterility :

تتحور أسدية الطلع فى هذه الحالة إلى تراكيب أخرى ، أو قد تختفى كلية ؛ ففى الجزر - مثلاً - توجد سلالات عقيمة الذكر ، تتحور فيها الأسدية إلى تراكيب بتلية مختلفة الأشكال ، ويطلق على الظاهرة فى هذه الحالة اسم Petaloidy (Eisa & Wallace ١٩٦٩) .

٣- عدم تفتح المتوك Positional sterility :

تفشل المتوك فى هذه الحالة فى التفتح ، رغم أنها تكون ممتلئة بحبوب لقاح خصبة ، قادرة على إحداث الإخصاب لو أنها استعملت فى التلقيح يدوياً .

ويُعنى بالعقم الذكرى -عادة- عقم حبة اللقاح ؛ لأنه أكثر مظاهر العقم شيوعاً . وأياً كان مظهر العقم .. فإنه قد يتحكم فيه عوامل وراثية فى النواة ، أو فى السيتوبلازم ، أو فى كليهما .

العقم الذكرى الوراثى

ينتشر العقم الذكرى الوراثى genetic male sterility فى جميع النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية ، سواء أكانت برية أم مزروعة . ويتحكم فى هذا النوع من العقم - عادة - عامل وراثى واحد مُتنَحٍ ، إلا أنه قد يتفاعل -أحياناً- عاملان وراثيان ، أو أكثر ؛ لإعطاء صفة العقم ، ويرمز إلى عامل العقم الذكرى بالرمز ms (وهما الحرفان الأولان لكلمتى male sterility) ، ويكون التركيب الوراثى ms ms عقيماً ، بينما يكون التركيبان الآخران (Ms Ms ، و Ms ms) ذوى خصوبة .

يمكن نقل صفة العقم الذكرى الوراثى بسهولة إلى أى صنف ، أو سلالة ، يراد

استعمالها كأم فى الهجن ؛ وذلك باتباع طريقة التهجين الرجعى (يراجع الفصل الثانى عشر للتفاصيل الخاصة بهذه الطريقة) . وتستعمل السلالة التى يُراد نقل صفة العقم الذكرى إليها كأب ؛ لتلقيح السلالة الحاملة لصفة العقم الذكرى ، ثم يُلقح الجيل الأول – ذاتيًا – لعزل النباتات الأصيلة فى صفة العقم ، وهذه تُلقح -بدورها رجعيًا- مرة أخرى بالصنف المراد نقل صفة العقم الذكرى إليه . وباستمرار التلقيحات الرجعية المتبوعة بالتلقيح الذاتى .. تحصل بعد ٦–٨ تلقيحات رجعية على سلالة جديدة ، تتشابه مع السلالة الأصلية فى جميع الصفات ، فيما عدا احتوائها على صفة العقم الذكرى .

وتتم المحافظة على السلالات العقيمة الذكر باتباع إحدى الطرق التالية :

١– بالتلقيح الذاتى اليدوى للحالات التى تنتج فيها الأزهار حبوب لقاح خصبة ، ولكن متوكها تكون غير قادرة على التفتح . وتتطلب هذه الطريقة جهداً خاصًا من المربى ؛ لإدامة السلالات العقيمة الذكر .

٢– بالاستفادة من ظاهرة الخصوبة الجزئية ، التى تظهر على النباتات العقيمة الذكر تحت ظروف معينة بإكثارها فى هذه الظروف ، بينما يمكن استعمالها فى إنتاج الهجن فى الظروف التى يكون فيها العقم تامًا . ومن أمثلة ذلك .. حالة عقم نكرى ظهرت فى القطن ، كانت فيها النباتات المتنحية الأصيلة خصبة جزئيًا ، تحت ظروف البيوت المحمية (الصوبات) بينما كانت عقيما تماماً تحت ظروف الحقل ، وظهرت حالة عقم أخرى فى الجزر ، كانت فيها النباتات خصبة – جزئيًا – فى ولاية وسكنس ، بينما كانت عقيمة تماما فى ولاية كاليفورنيا (Duvick ١٩٦٦) .

٣– بتلقيح السلالة العقيمة الذكر الأصيلة (ms ms) بسلالة أخرى ذات أصول وراثية مماثلة isogenic line ، تكون خصبة الذكر وخليطة (Ms ms) ، ويؤدى التلقيح بينهما إلى إنتاج نسل يتوفر فيه التركيبان الوراثيان ms ms ، و Ms ms لنفس السلالة ، بنسبة ١:١ ، ويمكن بتلقيحهما – معًا – الاستمرار فى المحافظة على السلالة العقيمة الذكر، كلما تطلب الأمر إكثارها .

هذا .. ويؤدى استعمال السلالات العقيمة الذكر وراثيا -كأم فى التهجينات- إلى إنتاج هجن تكون خليطة (Ms ms) وخصبة . وتقل الاستفادة من هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن التجارية من المحاصيل الذاتية التلقيح ؛ نظراً للحاجة إلى وسيلة صناعية لنقل حبوب اللقح

من السلالة المستعملة كأب إلى السلالة العقيمة الذكر المستعملة كأم ، ولكنها – أى الظاهرة – تفيد – على الأقل – فى تجنب الحاجة إلى إجراء عملية خصى أزهار سلالات الأمهات . كما اقترح استعمال العقم الذكرى ؛ كوسيلة لتسهيل عملية الانتخاب المتكرر فى هذه الفئة من النباتات .

العقم الذكرى السيتوبلازمى

يحدث العقم الذكرى السيتوبلازمى Cytoplasmic Male Sterility عندما يوجد فى السيتوبلازم عامل خاص بالعقم ، يرمز له بالرمز S (من العقم Sterility) ؛ بينما يوجد العامل F (من الخصوبة Fertility) فى سيتوبلازم النباتات غير العقيمة .

ويمكن نقل صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى – بسهولة – إلى أى صنف أو سلالة يراد استعمالها كأم فى الهجن ؛ وذلك باتباع طريقة التهجين الرجعى . وتستعمل السلالة التى يراد نقل صفة العقم الذكرى إليها كأب لتلقيح السلالة الحاملة لصفة العقم الذكرى السيتوبلازمى . وتكون نباتات الجيل الأول الناتجة عقيمة الذكر ، لأن السيتوبلازم ينتقل إليها من الأم العقيمة الذكر ، المحتوية على عامل العقم الذكرى . وتلقح نباتات الجيل الأول – رجعيًا – بالسلالة المراد نقل صفة العقم الذكرى إليها ؛ وباستمرار هذه العملية .. نحصل (بعد ٦–٨ تلقيحات رجعية) على سلالة جديدة ، تتشابه مع السلالة الأصلية فى جميع الصفات فيما عدا احتوائها على صفة العقم الذكرى .

وتتم المحافظة على السلالات الحاملة لعامل العقم الذكرى السيتوبلازمى بسهولة وإكثارها ؛ وذلك بتلقيحها بسلالة أخرى من نفس الصنف isogenic line تكون خصبة الذكر . وتكون النباتات الناتجة من هذا التلقيح عقيمة الذكر ؛ لأنها تتلقى السيتوبلازم من الأم العقيمة ، كما تكون مماثلة للسلالة التى يراد إكثارها ؛ إذ لايحدث بها أى تغير فى التركيب الوراثى لتشابه أبوى التلقيح وراثيًا . وتستمر المحافظة على السلالة بتكرار نفس التلقيح .

ويؤدى استعمال السلالات العقيمة سيتوبلازميًا كأم فى التهجينات إلى إنتاج هجن تكون عقيمة الذكر ؛ لذا .. فإن استعمال هذا النوع من العقم الذكرى لايصلح للمحاصيل التى تؤكل ثمارها أو بذورها (لأن نباتات الجيل الأول الهجين تكون عقيمة ، ولاتنتج

محصولاً من الثمار) ، ولكنه يناسب كلاً من نباتات الزينة والمحاصيل الإقتصادية ، التى تزرع من أجل أجزائها الخضرية ؛ كالبصل والبنجر . وتعد حالة العقم – فى نباتات الجيل الأول الهجين – أمراً مرغوباً فيه فى نباتات الزهور ، حيث تحتفظ الأزهار العقيمة بنضارتها لفترة أطول من الأزهار الخصبة ، التى تذبل – سريعاً – بعد التلقيح والإخصاب .

وكما سبق بيانه بالنسبة لحالة العقم الذكرى الوراثى .. فإن صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى تقل الاستفادة بها فى إنتاج الهجن التجارية من المحاصيل الذاتية التلقيح ؛ كالفلفل ، والطماطم ؛ نظراً للحاجة إلى وسيلة صناعية لنقل حبوب اللقاح من السلالة المستعملة كأب إلى السلالة العقيمة الذكر المستعملة كأم .

العقم الذكرى الوراثى - السيتوبلازمى

يتشابه العقم الذكرى الوراثى – السيتوبلازمى Genetic-Cytoplasmic Male Sterility مع العقم الذكرى السيتوبلازمى فى كونه يرجع إلى وجود عامل خاص بالعقم فى السيتوبلازم ، يرمز إليه بالرمز S ، وعامل الخصوبة F فى سيتوبلازم النباتات غير العقيمة ؛ ولكنهما يختلفان فى وجود عامل وراثى آخر سائد فى النواة فى حالة العقم الذكرى –السيتوبلازمى ، ويطلق على هذا العامل اسم «جين الإرجاع Restorer Gene» لأن وجوده يؤدى إلى إرجاع النباتات التى تحمل عامل العقم S فى سيتوبلازم خلاياها إلى حالة الخصوبة . ولايكون هذا الجين مؤثراً عند وجوده فى الحالة المتنحية الأصيلة ، وعليه .. فإن التراكيب الوراثية الممكنة فى حالة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى تكون كما يلى :

السيتوبلازم	النواه	حالة النبات
S	RR	خصب
S	Rr	خصب
S	rr	عقيم
F	RR	خصب
F	Rr	خصب
F	rr	خصب

أى إنه لايوجد سوى تركيب وراثى واحد عقيم ، هو Srr .

تورث صفة العقم الذكرى الوراثى -السيتوبلازمى كأية صفة مندلية بسيطة ، مع ملاحظة أن السيتوبلازم يورث عن طريق الأم ؛ وعليه .. فإن نسل التلقيحات المختلفة يكون كما يلى :

التلقيح	الأم (عقيمة الذكر)	الأب (خصب الذكر)	النسل: التركيب الوراثى	النسل: الشكل الظاهرى
-١	Srr	Frr	Srr	عقيم
-٢	Srr	Srr	Srr	عقيم
-٣	Srr	FRR	SRr	خصب
-٤	Srr	SRr	Srr 1 : SRr 1	١ خصب : ١ عقيم
-٥	Srr	FRr	Srr 1 : SRr 1	١ خصب : ١ عقيم

ويمكن نقل صفة العقم الذكرى الوراثى -السيتوبلازمى بسهولة إلى أى صنف أو سلالة يراد استعمالها كأم فى الهجن ؛ وذلك باتباع طريقة التهجين الرجعى - كما سبق بيانه - بالنسبة لنقل صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى . وتستعمل السلالة التى يراد نقل صفة العقم الذكرى إليها (التى يكون تركيبها الوراثى Frr) كأب لتلقيح السلالة الحاملة لصفة العقم الذكرى (التى يكون تركيبها الوراثى Srr) . وتكون نباتات الجيل الأول عقيمة الذكر؛ لأن السيتوبلازم ينتقل إليها من الأم العقيمة الذكر . وتلقح نباتات الجيل الأول - رجعيًا - بالسلالة المراد نقل صفة العقم الذكرى إليها ؛ وباستمرار ذلك .. نحصل بعد ٦-٨ تلقيحات رجعية على سلالة جديدة ، تتشابه مع السلالة الأصلية فى جميع الصفات ، فيما عدا احتوائها على صفة العقم الذكرى .

ويمكن إكثار السلالات الحاملة لصفة العقم الذكرى الوراثى - السيتوبلازمى (Srr) ، والمحافظة عليها ؛ وذلك بتلقيحها بسلالة أخرى من نفس الصنف isiogenic line تكون خصبة الذكر ، وذات تركيب وراثى Frr . وتكون النباتات الناتجة من هذا التلقيح عقيمة الذكر ؛ لأنها تتلقى السيتوبلازم من الأم العقيمة ، كما تكون مماثلة للسلالة التى يراد إكثارها ، إذا لم يحدث بها أى تغير فى التركيب الوراثى ؛ لتشابه أبوى التلقيح وراثيًا . وتستمر المحافظة على السلالة بتكرار نفس التلقيح . ولحسن الحظ .. فإن التركيب الوراثى

Frr شائع الوجود ؛ فهو قد وجد – مثلا– فى جميع الأصناف التجارية من البصل تقريبًا .

كان أول تطبيق لاستعمال العقم الذكرى الوراثى – السيتوبلازمى فى إنتاج الهجن فى محصول البصل بواسطة Jones & Davis فى عام ١٩٤٤ . ويلزم لإنتاج البذرة الهجين أن تكون السلالة المستعملة كأم ذات تركيب وراثى Srr ، أما ، سلالة الأب .. فيمكن أن تكون ذات تركيب وراثى FRR ، أو FRr ، أو Frr ، أو SRR ، أو SRr ، وجميعها تراكيب وراثية خصبة . ويتوقف التركيب المناسب على كون الهجين المنتج يزرع لأجل ثماره وبذوره ، أم لأجل أجزائه الخضرية .

الجينات المُعلِّمة

الجينات المُعلِّمة Marker genes هى جينات تتحكم فى صفات بسيطة فى وراثتها ، ويمكن تمييزها بسهولة ، ويفضل إمكان التعرف عليها فى طور البادرة ، ويستفاد منها فى أحد الأمرين التاليين ، وكلاهما يتعلق بظاهرة العقم الذكرى فى إنتاج الهجن :

١– إذا كان الجين المُعلِم شديد الارتباط بالجين الخاص بالعقم الذكرى ، أو إذا كان جين العقم الذكرى ذاته ذا تأثير واضح فى صفة أخرى يمكن تمييزها بسهولة (أى حينما يمكن اعتبار جين العقم الذكرى جيناً معلماً –أيضاً – ذا تأثير متعدد Pleotropic gene) .. فإنه يمكن تمييز النباتات العقيمة الذكر بسهولة عن النباتات الخصبة الذكر ، ويمكن – بالتالى – إزالة النباتات الخصبة الذكر من خطوط الأمهات عند إنتاج الهجن ؛ فعلى سبيل المثال .. يوجد فى البطيخ جين مُتنحٍ ، يجعل النبات عقيماً ، وذا أوراق ملساء ، كما يوجد فى الخس ثلاثة جينات متنحية (ms_1 ، و ms_2 ، و ms_3) ، يؤدى وجودها – مجتمعة بحالة أصيلة – إلى جعل النبات عقيم الذكر ، وذا أوراق ضيقة ، قمتها حادة ، ويمكن تمييزها . وفى كلتا الحالتين السابقتين .. تكون النباتات الخصبة الذكر ذات أوراق طبيعية، بحيث يمكن تمييزها بسهولة ، وإزالتها من خطوط الأمهات .

٢– إذا تحكم الجين المعلم فى صفة بسيطة ، وكان يوجد بحالة متنحية أصيلة فى سلالات الأمهات العقيمة الذكر ، وبحالة سائدة أصيلة فى سلالات الآباء الخصبة الذكر .. فإن الهجن الناتجة تكون حاملة للجين السائد (المُعلم) بحالة خليطة ؛ وبذا .. يمكن تمييز الهجن عن النباتات التى تنتج من التلقيح الذاتى لسلالات الأمهات .

العقم الذكرى المُحدَث صناعيًا

وُجِدَ أن بعض المركبات الكيميائية تحدث عقما ذكريًا فى النباتات التى تعامل بها ، وقد أطلقَ عليها اسم «مبيدات الجاميطات gametocides » . ويذكر Craig (١٩٦٨) أن استعمال مبيدات الجاميطات لقتل حبوب اللقاح قد يكون مرغوباً فى بعض الحالات ، إلا أن المتوفر منها حاليًا لايمكن الاعتماد عليه . ومن أمثلة ذلك إحداث العقم الذكرى فى القمح ؛ برش النباتات بالإيثيفون Ethephon بتركيز ١٠٠٠-٢٠٠٠ جزء فى المليون ، وفى البصل .. بالرش مرتين بمحلول الجبريللين بتركيز ٢٪ فى بداية مرحلة نمو الشماريخ الزهرية . وقد كان التأثير فى الحالة الأخيرة مؤقتا ، وظهر فى بداية مرحلة الإزهار فقط (Van der Meer & Van der Bennekom ١٩٧٣) .

ولمركب المندوكس Mendox (أو FW450) القدرة على منع أزهار القرعيات من التفتح برغم اكتمال تكوينها . وهو لا يعد من مبيدات الجاميطات ؛ لأن حبوب اللقاح والبويضات تتكون بصورة طبيعية . وقد اقترحت المعاملة به كبديل لعملية غلق الأزهار أو تكييسها قبل إجراء التلقيحات ، وهى العملية الضرورية لمنع وصول حبوب اللقاح غير المرغوبة إليها عن طريق الحشرات .

وتتميز مبيدات الجاميطات – التى تُحدِثُ عقماً ذكريًا – بإمكان استخدامها فى إحداث العقم الذكرى فى سلالة يرغب فى استخدامها كأم فى الهجن ، وتفيد فى تجنب ضرورة الاعتماد على تركيب وراثى معين ؛ كمصدر للعقم الذكرى السيتوبلازمى ، ومايصاحب ذلك من أخطار الاعتماد على مصدر واحد للسيتوبلازم ، وهو الذى أدى فى محصول مثل الذرة إلى سرعة انتشار مرض لفحة الأوراق بحالة وبائية فى الولايات المتحدة الأمريكية .

وتنبغى أن تتوفر فى مبيدات الجاميطات المثالية الشروط التالية :

١- أن تحدث عقماً ذكريًا ، ولاتحدث عقماً أنثويًا .
٢- أن تثبط تكوين حبوب اللقاح بصورة تامة .
٣- ألا يتأثر فعلها بالعوامل البيئية .
٤- ألا يتأثر فعلها باختلاف التركيب الوراثى للنبات .
٥- أن تكون فعالة فى المراحل المختلفة للنمو النباتى .

٦- ألا يكون لها تأثيرات ضارة فى النبات ، أو البيئة .
٧- أن يكون استعمالها اقتصاديًا .

هذا .. ولايتوفر - إلى الآن - مبيد جاميطات واحد ، تتوفر فيه كل الشروط السابقة ، أو معظمها . ويعتبر الماليك هيدرازيد ، وحامض الجبريلليك ، والإيثيفون ، والمنوكس أكثرها استعمالاً فى الوقت الحاضر . ولمزيد من التفاصيل عن مبيدات الجاميطات .. يراجع Duvick (١٩٦٦) ، و Pearson (١٩٨١) ، و Nickell (١٩٨٢) .

عدم التوافق

تنتشر ظاهرة عدم التوافق Incompatibility فى المملكة النباتية ؛ حيث إنها وجدت فى أكثر من ٣٠٠٠ نوع نباتى ، تمثل عدداً كبيراً من العائلات النباتية . وينتج النبات عديم التوافق حبوب لقاح خصبة وطبيعية إلا أنه لايمكن تلقيحه ذاتيا ، كما لايمكن تلقيحه مع أى نبات آخر ، يحمل نفس عوامل عدم التوافق . ويطلق على الظاهرة - فى الحالة الأولى- اسم عدم التوافق الذاتى Self Incompatibility بينما تعرف فى الحالة الثانية باسم Cross Incompatibility .

يستفاد من ظاهرة عدم التوافق فى إنتاج الهجن التجارية ؛ حيث تنقل للسلالات المستخدمة فى إنتاج الهجن أليلات مختلفة لعدم التوافق ؛ وبذا .. تُصبح كل سلالة غير متوافقة ذاتيًا ، ولكنها متوافقة - خلطيًا - مع السلالة الأخرى . وتؤدى زراعتهما فى خطوط متبادلة إلى أن يُلقح كل منهما الآخر ؛ لاستحالة حدوث التلقيح الذاتى فى أى منهما . وتكون البذور التى تنتجها كلتا السلالتين - فى هذه الحالة - بذور هجين .

وعلى خلاف ظاهرة العقم الذكرى .. فإن ظاهرة عدم التوافق يمكن الاستفادة منها فى إنتاج هجن النباتات الذاتية التلقيح ، التى قد تزورها الحشرات لجمع حبوب اللقاح ؛ ذلك لأن النباتات غير المتوافقة - ذاتيًا - تنتج حبوب اللقاح بصورة طبيعية . ويحدث ذلك فى الطماطم التى قد تزورها الحشرات -أحياناً- لجمع حبوب اللقاح -وليس الرحيق- لذا .. لاتفيد معها ظاهرة العقم الذكرى ، بينما قد تفيد ظاهرة عدم التوافق (Sneep & Hendriksen ١٩٧٩) .