الفصل السابع

العقم الذكرى

يستفيد المربى من عدد من الظواهر النباتية الطبيعية فى تسهيل إنتاج الهجن، وإجراء التلقيحات ومن هذه الظواهر انفصال الجنس، والعقم الذكرى، وعدم التوافق وفى هذا الفصل نتناول بالتفصيل ظاهرة العقم الذكرى، بينما نتناول ظاهرة عدم التوافق فى الفصل الثامن.

مظاهر العقم الذكرى

تؤدى حالة العقم الذكرى male sterility إلى عدم قدرة النبات على أن يكون ملقّحا 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، لا تصلح 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 يدويًا.

ويعنى بالعقم الذكرى – عادة – عقم حبة اللقاح؛ لأنه أكثر مظاهر العقم شيوعا وأيًا كان مظهر العقم فإنه قد يتحكم فيه عوامل وراثية فى النواة، أو فى السيتوبلازم، أو فى كليهما

انتشار ظاهرة العقم الذكرى فى المملكة النباتية

تنتشر ظاهرة العقم الذكرى Male Sterility انتشارًا واسعًا فى المملكة النباتية، لدرجة أنها وجدت فى أى محصول بحث فيه عنها كما تتكرر الظاهرة بأكثر من جين فى المحصول الواحد، فيعرف مثلاً – ٢٤ زوجًا من الجينات غير الآللة، تتحكم فى طفرات مختلفة من العقم الذكرى فى الشعير، ونحو ٦٠ زوجا فى كل من الأرز والذرة، ونحو ٥٠ زوجًا فى الطماطم، و ٩ أزواج فى البسلة (Myers & Gritton ١٩٨٨، و Kempken & Pring ١٩٩٩)

كذلك أمكن – على سبيل المثال – استحداث تسع طفرات بسيطة متنحية غير آلبليه للعقم الذكرى فى البسلة بمعاملة البذور بأى من ethyl methansulfonate. أو diethyl sulfate، أو أشعه جاما فى معاملات منفردة أو مشتركة (Nirmala & Kaul ١٩٩٥)

ويرجع السبب فى كثرة جينات العقم الذكرى فى مختلف الأنواع المحصولية إلى أن حدوث الطفرات فى أى جين تكون له علاقة بعملية تميز وتكوين الجاميطات الذكرية قد يؤدى إلى حالة العقم الذكرى

أنواع العقم الذكرى

تعرف ثلاثة أنواع رئيسية من العقم الذكرى التى تستخدم فى إنتاج الهجن، هى

١ – العقم الذكرى الوراثى

٢ – العقم الذكرى السيتوبلازمى

٣ العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى

العقم الذكرى الوراثى

ينتشر العقم الذكرى الوراثى genetic male sterility فى جميع النباتات التنائية المجموعة الكروموسومية، سواء أكانت برية أم مزروعة

وراثة العقم الذكرى الوراثى

يتحكم فى ظاهرة العقم الذكرى الوراثى – عادة – عامل وراثى واحد مُتنـح. إلا أنـه قـد يتفاعل – أحيانًا – عاملان وراثيان، أو أكثر؛ لإعطاء صفة العقـم، ويرمـز إلى عـامل العقـم الذكـرى بـالرمز ms (وهمـا الحرفـان الأولان لكلمتـى male sterility)، ويكـون التركيب الوراثى ms ms عقيما. بينما يكون التركيبـان الآخـران (Ms Ms، و Ms ms) ذوى خصوبة

وفى حالات قليلة تكون ظاهرة العقم الذكرى سائدة، كما فى القرطم

كما قد تكون تلك الصفة غير حساسـة للعوامـل البيئيـة ولا تتـأثر بـها، وقـد يعتمـد ظهورها على مجال حرارى معين (temperature-sensitive)، أو على فترة ضوئية معينة (photoperiod-sensitive)، كما فى بعض سلالات الأرز.

نقل صفة العقم الذكرى إلى سلالات أمهات الهجن

يمكـن نقـل صفـة العقـم الذكـرى الوراثـى بسـهولة إلى أى صنـف، أو سـلالة، يـراد استعمالها كأم فى الهجن؛ وذلك باتباع طريقة التهجين الرجعى وتستعمل السلالة التى يُراد نقل صفة العقم الذكرى إليها كأب؛ لتلقيح السلالة الحاملة لصفة العقم الذكرى. ثم يُلقح الجيل الأول – ذاتيًا – لعـزل النباتـات الأصيلـة فـى صفـة العقـم، وهـذه تُلقـح – بدورها رجعيًا – مرة أخرى بالصنف المـراد نقـل صفـة العقـم الذكـرى إليـه وباسـتمرار التلقيحات الرجعية المتبوعة بالتلقيح الذاتى . نحصل بعد ٦–٨ تلقيحات رجعيـة علـى سلالة جديدة، تتشابه مع السـلالة الأصلية فى جميع الصفات، فيما عدا احتوائها علـى صفة العقم الذكرى.

إكثار السلالات العقيمة الذكر وراثيًا والمحافظة عليها

تتم المحافظة على السـلالات العقيمة الذكر باتباع إحدى الطرق التالية:

١ – بالتلقيح الذاتى اليدوى للحالات التى تنتج فيها الأزهار حبـوب لقـاح خصبـة، ولكن متوكها تكون غير قادرة على التفتح وتتطلب هذه الطريقة جهدًا خاصًا من المربى؛ لإدامة السلالات العقيمة الذكر

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 تامًّا ومن أمثلة ذلك حالة عقم ذكرى ظهرت فى القطن، كانت فيها النباتات المتنحية الأصيلة خصبة جزئيًا تحت ظروف البيوت المحمية (الصوبات) بينما كانت عقيمة تمامًا 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

استخدام ظاهرة العقم الذكرى الوراثى فى إنتاج الهجن

يؤدى استعمال السلالات العقيمة الذكر وراثيًا – كأم فى التهجينات إلى إنتاج هجن تكون خليطة (Ms ms) وخصبة

تقل الاستفادة من ظاهرة العقم الذكرى الوراثى عند إنتاج الهجن التجارية من المحاصيل الذاتية التلقيح، نظرًا للحاجة إلى وسيلة صناعية لنقل حبوب اللقح من السلالة المستعملة كأب إلى السلالة العقيمة الذكر المستعملة كأم، ولكنها أى الظاهره – 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

وقد استخدمت ظاهرة العقم الذكرى الوراثى فى الإنتاج التجارى لهجن الخروع

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

ولقد أوضحت الدراسات الحديثة نسبيًا أن العقم الذكرى السيتوبلازمى يكون مردة – فى معظم المحاصيل – إلى خلل وراثى فى الميتوكوندريا.

مصادر العقم الذكرى السيتوبلازمى

إن من أهم مصادر السيتوبلازم العقيم الذكر، ما يلى:

١ – الطفرات الطبيعية، ويعتقد بأنها متوفرة فى جميع المحاصيل، ولكن يلزم البحث عنها بعناية، ومن أمثلتها حالات السيتوبلازم عقيم الذكر cms-C، و cms-S و cms-T فى الذرة.

٢ الهجن النوعية، وهى التى كثيرا ما ينتج عنها انعزالات عقيمة الذكر سيتوبلازميًا، مثل حالات السيتوبلازم عقيم الذكر فى القمح التى حُصل عليها من *Triticum timopheevii*، و *Aegilops caudata*.

٣ دمج البروتوبلاست:

يمكن عن طريق دمج البروتوبلاست نقل خاصية العقم الذكرى السيتوبلازمى من نوع لآخر، الأمر الذى تحقق بالفعل فى كل من الأجناس *Brassica*، و *Cichorium*، و *Lycopersicon* عندما نميت أعداد كبيرة من النباتات بعد عملية دمج البروتوبلاست هذا ويتحكم جينوم الميتوكوندريا فى صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى، وسمح الانعزالات الميتوكوندرية التى تحدث بعد إندماج البروتوبلاست باستبعاد الصفات غير المرغوب فيها التى تنتج عن عدم التوافق بين الجينات النووية والسيتوبلازم بعد التهجين النوعى (Pelletier وآخرون ١٩٩٥).

٤ - مزارع الخلايا.

حصل Wright وآخرون (١٩٩٦) على عديد من النباتات العقيمة الذكر سيتوبلازميًا من مزارع خلايا صنف الجزر Slendero، بما يجعلها طريقة عالية الكفاءة لإنتاج الهجن مع سهوله المحافظة على السلالات العقيمة الذكر لتوفر النباتات الخصبة الذكر من الصنف ذاته

٥ استحداث الطفرات

يمكن استحداث الطفرات بمعاملة البذور بالمركب ethidium bromide، وهو مركب مطفر قوى لتجينات السيتوبلازمية، وقد استخدم فى إنتاج طفرات من هذا النوع فى كل من *Petunia* والسعير وغيرهما (عن Singh ١٩٩٣)

نقل صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى سلالات أمهات الهجن

ينقل صفه العقم الذكرى السيتوبلازمى – بسهولة إلى أى صنف أو سلالة يراد استعمالها كأم فى الهجن، وذلك باتباع طريقة التهجين الرجعى وتستعمل السلالة التى يراد نقل صفه العقم الذكرى بينها كأب لتلقيح السلالة الحاملة لصفه العقم الذكرى السيتوبلازمى وتكون نباتات الجيل الأول الناتجة عقيمة الذكر، لأن السيتوبلازم ينتقل بينها من الأم العقيمة الذكر، المحتوية على عامل العقم الذكرى وتلقح نباتات الجيل الاول رجعيًا - بالسلاله المراد نقل صفة العقم الذكرى اليها، وباستمرار هذه العمليه نحصل بعد ٦-٨ تلقيحات رجعية على سلالة جديدة تشابه مع السلالة الأصلية فى جميع الصفات فيما عدا احتوائها على صفة العقم الذكرى

إكثار السلالات العقيمة الذكر سيتوبلازميًا والمحافظة عليها

تتم 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 لا يحدث بها اى تغير فى التركيب الوراثى لتتشابه أبوى التلقيح وراثيًا وتستمر المحافظة على السلالة بتكرار نفس التلقيح

استخدام ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى فى إنتاج الهجن

يؤدى استعمال السلالات عقيمه سيتوبلازميًا كأم فى الهجينات إلى إنتاج هجن تكون عقيمه الذكر لذ فإن استعمال هذا النوع من العقم الذكرى لا يصلح للمحاصيل التى تؤكل ثمارها او بذورها لأن نباتات الجيل الأول الهجين تكون عقيمه، ولا تسمح

محصولاً من الثمار)، ولكنه يناسب كلاً من نباتات الزينة والمحاصيل الاقتصادية التى تزرع من أجل أجزائها الخضرية كالبصل والبنجر وتعد حالة العقم – فى نباتات الجيل الأول الهجين – أمرًا مرغوبًا فيه فى نباتات الزهور، حيث تحتفظ الأزهار العقيمة بنضارتها لفترة أطول من الأزهار الخصبة، التى تذبل – سريعًا – 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؛ نظرا 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 (أو N) فى سيتوبلازم النباتات غير العقيمة؛ ولكنهما يختلفان فى وجود عامل وراثى آخر سائد فى النواة فى حالة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى. ويطلق على هذا العامل اسم "جين استعادة الخصوبة" Restorer Gene (R، أو Rf)؛ لأن وجوده يؤدى إلى استعادة النباتات التى تحمل عامل العقم S فى سيتوبلازم خلاياها .. استعادتها لحالة الخصوبة.

انتشار ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى

بينما تتوفر صفة العقم الذكرى الوراثى فى معظم المحاصيل الزراعية، فإن صفة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى تعد أقل انتشارا، وهى توجد – على سبيل المثال – فى كل من. البصل، والبنجر، والجزر، والفجل، والبطاطس، والذرة.

ولقد تبين – فى معظم الحالات – أن ما كان يعرف بالعقم الذكرى السيتوبلازمى هو فى حقيقة الأمر عقم ذكرى وراثى سيتوبلازمى، مثلما ظهر فى جميع الأنواع النباتية التى اكتشفت فيها الجينات النووية المسئولة عن إعادة الخصوبة إلى النبات. ولذا .

فإن مسمى العقم الذكرى السيتوبلازمى يعطى – غالبًا - وصفًا مؤقتا لحالة النباتات التى يوجد بها تلك الصفه، وذلك لحين اكتشاف جينات إعادة الخصوبة فيها ومن المعتقد أن جين استعادة الخصوبة يمكن العثور عليه فى كل حالات العقم الذكرى السيتوبلازمى إذا ما تم البحث عنه بحثًا دقيقا (عن Liedl & Anderson ١٩٩٣)

وراثة صفة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى

لا يكون جين استعادة الخصوبة restorer gene مؤثرا عند وجودة فى الحالة المتنحية الاصيلة، 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 لا يوجد سوى تركيب وراثى واحد عقيم، هو Srr

وتورث صفه 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	خصب
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

نقل صفة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى إلى سلالات أمهات الهجن

يمكن 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 صفه العقم الذكرى السيتوبلازمى وتستعمل السلالة التى يراد نقل صفة العقم الذكرى إليها (التى يكون تركيبها الوراثى Frr) كأب لتلقيح السلاله 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 الأصليه فى جميع الصفات، فيما عدا احتوائها على صفة العقم الذكرى

إكثار السلالات ذات العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى والمحافظة عليها

يمكن إكثار السلالات الحاملة لصفة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى (Srr)، والمحافظة عليها؛ وذلك بتلقيحها بسلالة أخرى من نفس الصنف isogenic line تكون خصبة الذكر، وذات تركيب وراثى Frr وتن النباتات الناتجة من هذا التلقيح عقيمة الذكر؛ لأنها تتلقى السيتوبلازم من الأم العقيمة، كما تكون مماثلة للسلاله التى يراد إكثارها، إذ 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 - مثلاً - فى جميع الأصناف التجارية من البصل تقريب

استخدام ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى إنتاج الهجن

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

مقارنة الحالات المختلفة للعقم الذكرى

يعطى شكل (١٠-١) مقارنة بين مختلف أنواع العقم الذكرى فيما يتعلق بوراثة الصفة. كما يتبين من الشكل - كذلك حالة الخصوبة فى الهجن التى تنتج من مختلف التهجينات، والتى تكون فيها سلالات الأمهات عقيمة ذكريًا (Agrawal ١٩٩٨)

وللاطلاع على التفاصيل المتعلقة بالوراثة الجزيئية لحالات العقم الذكرى المعروفة فى بعض الأنواع المحصولية (البذرة، والذرة، والصليبيات، والجنس *Phaseolus*، والبيتونيا، ودوار الشمس، والقمح، والأرز) يراجع Kempken & Pring (١٩٩٩)

عيوب الاعتماد على العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى إنتاج بذور الهجن

يُعيب الاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى إنتاج بذور الهجن، ما يلى

١ - تأثيرات غير مرغوب فيها للسيتوبلازم

٢ - نجد فى كثير من حالات نظم العقم الذكرى السيتوبلازمى تأثيرات ضارة للسيتوبلازم العقيم، فمثلا نجد فى الذرة أن سيتوبلازم تكساس العقيم cms-T أكثر ضررا للسيتوبلازم المقيم سبوعا واستخداما على النطاق التجارى، ولكنه يعد مثبطا لكل من النمو النباتى (تثبيطا) والمحصول (بنسبة ٢-٤ ٪)، وارتفاع النبات وعدد الأوراق. كما أنه يذكر من ظهور الحريرة بعد مؤخرا من انتشار حبوب اللقاح، ويجعل النبات شديد القابلية للإصابة بلفحة أوراق هلمنثوسبوريم *Helminthosporium* leaf blight ويرجع تلك القابلية للإصابة بالمرض إلى زيادة حساسية بروتوبلازم النباتات ذات الـ cms T تجاه سموم مفرزة الفطر (عن Singh ١٩٩٣)

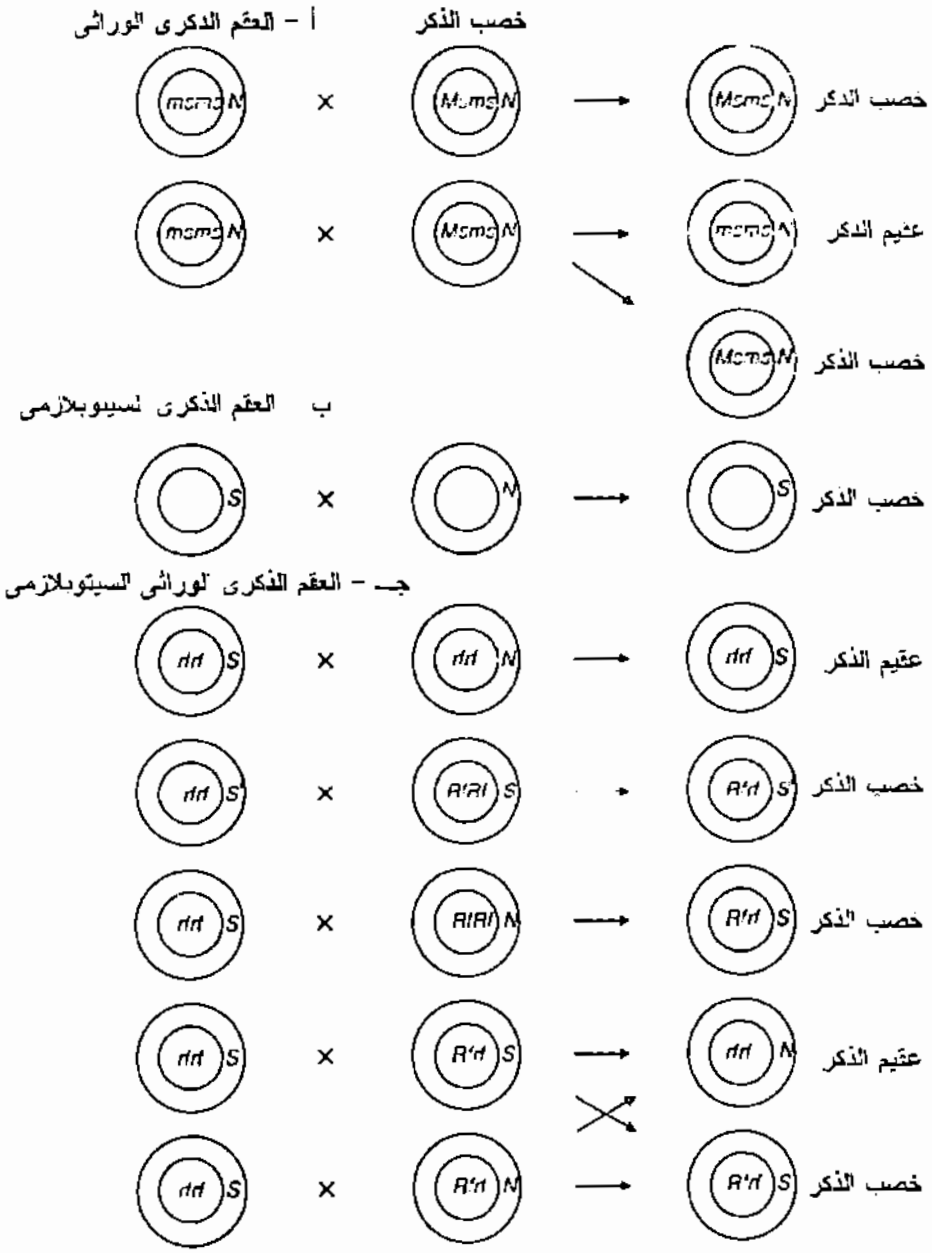
ولقد درس مصدر تكساس للعقم الذكرى السيتوبلازمى Texas cytoplasmic male sterility دراسة مستفيضة منذ اكتشافه فى أربعينيات القرن العشرين ونظرا لشدة تشديد فقد سادت استخدامه فى إنتاج هجن الذرة حتى نهاية السبعينيات، ولكن تبين فى عام ١٩٦٩ شدة قابلية الـ T-cytoplasm الشديدة للإصابة بفطريس، هما *Mycosphaerella zea-maydis* (مسبب مرض لفحة الأوراق الصفراء yellow leaf blight)، والسلالة T من *Cochliobolus heterostrophus* (مسبب مرض لفحة الذرة

الجنوبية southern corn leaf blight)، اللذان يحدثان أعراضهما المرضية بإفرازهما لسموم معينة تعرف باسم β-polyketol toxins. وفى عام ١٩٧٠ أدت إصابة محصول الذرة فى مختلف أنحاء العالم وبخاصة فى الولايات المتحدة – بالفطر *C heterostrophus* بصورة وبائية إلى إنهاء الاعتماد على سيتوبلازم تكساس العقيم الذكر فى إنتاج الذرة ولقد أظهر ذلك الوباء قدر الأخطار التى يمكن أن يتعرض لها الإنتاج الزراعى من جراء التجانس الوراثى الشديد فى النظم الزراعية الحديثة

ولقد تبين بعد ذلك أن صفة العقم الذكرى يتحكم فيها الجين ذاته المسئول عن الحساسية لسموم الفطرين، وتبين وجود هذا الجين فى الميتوكوندريا، وأمكن التعرف على هذا الجين وفصله بالاستفادة من خاصية الحساسية للسموم الفطرية بدلاً من الاعتماد على خاصية العقم الذكرى واتضح أن هذا الجين – الذى أعطى فى البداية الرمز T-urf 13 – يتحكم فى إنتاج بروتين (oligomeric protein، هو URF 13) يتواجد فى غشاء الميتوكوندريا الداخلى ويؤدى التحام السموم الفطرية بهذا البروتين إلى تلف غشاء الميتوكوندريا، وبالتالى عدم قيامها بوظائفها ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع يراجع Wise وآخرين (١٩٩٩)

كذلك فإن من أهم مشاكل سيتوبلازم الفجل العقيم الذكر (وهو الذى يعرف باسم Ogura cytoplasm) عد نقله إلى النوع *Brassica* إحداثه لصفات غير مرغوب فيها، ربما قد تكون من تأثيراته المتعددة، أو ربما كانت مرتبطة به بشدة وتحدث تلك التأثيرات الضارة نتيجة لعدم التوافق بين نواة الجنس *Brassica* وسيتوبلازم الفجل ومن أهم تلك التأثيرات فى الكرنب اصفرار الأوراق فى الحرارة المنخفضة، وضعف عقد البذور، وصغر الرؤوس فى الحجم وضعف اندماجها وفى القنبيط تكون الأقراص أقل جودة، وفى الكرنب الصينى تكون الأقراص أقل اندماجًا وأصغر حجما وأكثر تأخيرا عما فى السلالات التى لا تحتوى على الـ ogura cytoplasm (عن Melo & Giordano ١٩٩٤)

هذا . ونادرا ما يوجد سيتوبلازم عقيم ليست له تأثيرات جانبية ضارة، لدرجة أنه لم يمكن استخدام تلك الصفة فى عدد من المحاصيل ومنها التبغ، علمًا بأن جينات استعادة الخصوبة لا تكون قادرة على التخلص من التأثيرات الضارة للسيتوبلازم



شكل ر ٧–١ . وراثة الحالات المختلفة للعقم الذكرى، وحالة الخصوبة فى الهجن التى تنتج من تحلف السلالات التى تكون فيها سلالات الأمهات عقيمة ذكريًا (ms حيث العقم الذكرى. و Rf حيث استعادة الخصوبة، و N السيتوبلازم الطبيعى، و S لسيتوبلازم العقيم ذكريًا)

٢ – عدم كفاءة جينات استعادة الخصوبة أحيانًا، الأمر الذى لا يسمح باستعمال تلك المصادر فى إنتاج الهجن

٣ – تشارك حبة اللقاح أحيانا كمصدر للسيتوبلازم، الأمر الذى يؤدى – على المدى البعيد – إلى فقد خاصية العقم الذكرى.

٤ – عدم كفاية التلقيح

لا يكون التلقيح الخلطى الطبيعى مرضيًا فى بعض الأحيان، باستثناء الحالات التى يكون فيها عن طريق الهواء، كما فى الذرة، الأمر الذى يقلل إنتاج البذرة الهجين، مما يزيد من تكلفة إنتاجها. وقد أدت تلك الظاهرة فى بعض الحالات – مثل جنس الفلفل *Capsicum* – إلى عدم استعمال خاصية العقم الذكرى فى إنتاج بذور الهجن ويعد ضعف التلقيح من أكبر مشاكل إنتاج بذور الهجن فى المحاصيل الذاتية التلقيح ويتم التغلب على تلك المشكلة فى الأرز بهز النورات بانتظام كل صباح باستعمال حبل يمرر فوقها

٥ – وجود الجينات المحورة التى يمكن أن تقلل من كفاءة صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى

٦ – التأثيرات البيئية التى يمكن أن تؤثر – كذلك – سلبيًا – أحيانًا – على كفاءة صفة العقم الذكرى.

٧ – عدم توفر سلالات مناسبة لاستعادة الخصوبة فى بعض الأحيان، أو صعوبة إنتاجها بسبب ارتباط الـ R genes بجينات أخرى ضارة (عن Singh ١٩٩٣)

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 المُعلِّم 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 جينا معلمًا – أيضًا – 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

ومن بين حالات التأثير المتعدد لجينات العقم الذكرى أو ارتباطها الشديد بجينات أخرى، ما يلى (عن Bar & Frankel ١٩٩٣):

النوع النباتى	الصفة الملازمة للعقم الذكرى
Arachis hypogaea	قصر السيقان، وضعف خصوبة الأعضاء الأنثوية
Chionachne koenigii	قصر النباتات، والإزهار المكر
Citrullus vulgaris	انغلاق الأزهار المذكرة cleistogamy، وخلو النباتات من الشعيرات (أى تكون النباتات ملساء)
Corochorus capsularis	تكون الأوراق شريطية، والأزهار صغيرة، وتتأخر الياسم فى الاستعداد لاستقبال حبوب اللقاح

ويوجد فى الخس ثلاثة جينات متنحية (ms_1، و ms_2، و ms_3)، يؤدى وجودها مجتمعة بحاله أصيلة – إلى جعل النبات عقيم الذكر، وذا أوراق ضيقة، قمتها حادة، ويمكن تمييزها وفى هذه الحالة تكون النباتات الخصبة الذكر ذات أوراق طبيعية، بحيث يمكن تمييزها بسهولة، وإزالتها من خطوط الأمهات

وفيما يتعلق بهذا الأمر فإن التأثيرات المتعددة لجينات العقم الذكرى أو ارتباطها بشده بجينات أخرى قد لا يكون دائما مفيدا وكمثال على ذلك درس Bar & Frankel (١٩٩٣) الاختلافات بين هجن الطماطم الناتجة من التلقيح بين سلالات ذات أصول وراثية متشابهة، تختلف فيما بينها فى احتواء كل منها على جين واحد مختلف من سبع جينات للعقم الذكرى، حيث وجدا اختلافات بين مجموعات: الهجن التى استخدمت فيها جينات العقم الذكرى sm-14، و ms-17، و ms-18 فى المحصول المبكر الصالح للتسويق، والهجن التى استخدمت فيها الجينات ms-17، و ms-31، و ms-47 فى متوسط وزن الثمرة، والهجن التى استخدمت فيها الجينات ms-14، و ms-17، و ms-33 فى المحصول الكلى الصالح للتسويق، كما أثرت جينات العقم الذكرى على

القدرة العامة على التآلف لسلالات الأمهات. وقد أرجع الباحثان تلك الاختلافات إما إلى تأثيرات متعددة لجينات العقم الذكرى، وإما إلى ارتباطها بشدة بجينات أخرى تتحكم فى الصفات المذكورة .

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 (المُعلِّم) بحالة خليطة، وبذا يمكن تمييز الهجن عن النباتات التى تنتج من التلقيح الذاتى لسلالات الأمهات.

العقم الذكرى المُحدَث صناعيًّا

وُجدَ أن بعض المركبات الكيميائية تحدث عقمًا ذكريًّا فى النباتات التى تعامل بها، وقد أطلق عليها اسم "مبيدات الجاميطات" gametocides

تعرف حالة العقم الذكرى التى تنتج عن المعاملة بالمركبات الكيميائية باسم chemically-induced male sterility، وتعرف تلك المركبات باسم chemical hybridizing agents، وتعرف عملية الخصى الكيميائى تلك باسم chemical emasculation.

استعمالات مبيدات الجاميطات

تتميز مبيدات الجاميطات التى تُحدثُ عقما ذكريًّا – 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، وما يصاحب 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

أنواع مبيدات الجاميطات

من بين المركبات التى استخدمت فى تعقيم النباتات ذكريًّا ما يلى (عن Nickell ١٩٨٢، و Singh ١٩٩٣):

المركب	المحاصيل التى استخدم فيها
لابيفون	لتفاح، والتعنب، والتربيكين، وبنجر السكر، والفراولة، والدخن، والأرز
مندوكس Mendox (FW450)	لمرسيم الحجازى، والقطن، والتبوفان، وفول الصوب، وبنجر السكر، والطماطم، والتفاح، والفول السودانى

المركب	المحاصيل التى استخدم فيها
نابثيل حمض خليك	الدراق، والعنب، والتفاح، والطماطم، والتفاح، والفراولة، والبصل
حامض الجبريلليك	كرنب بروكسل، والكرنب، والقنبيط، والذرة، والكيل، والخس، والفول المتسلق، والتفاح، والبصل، والأرز
IIBA	العنب، والطماطم، والتفاح
بورالكيبات	الفراولة
ملح حامض الخليك	الفراولة
Sodium methyl arsenate	الأرز
Zinc methyl arsenate	الأرز

وعلى سبيل المثال أمكن احداث العقم الذكرى فى القمح برش النباتات بالايثفون Ethephon بتركيز ١٠٠٠ - ٢٠٠٠ جزء فى المليون، وفى البصل بالرش مرتين بمحلول الجبريللين بتركيز ٢٠ جزء فى بداية مرحلة نمو السماريخ الزهرية وقد كان التأثير فى الحالة الأخيرة مؤقتا، وتظهر فى بداية مرحلة الإزهار فقط (Van der Meer & Van der Bennekom ١٩٧٣)

والمركب المندوكس Mendox (أو FW450) القدرة على منع أزهار الفراولة من التفتح برغم اكتمال تكوينها وهو لا يعد من مبيدات الجاميطات، لان حبوب اللقاح والبويضات تكون بصورة طبيعية وقد اقترحت لمعاملة به كبديل لعملية على الأزهار أو تكييس قبل اجراء التلقيحات، وهى العملية الضرورية لمنع وصول حبوب اللقاح غير المرغوبة إليها عن طريق الحشرات

الشروط التى يجب توفرها فى مبيدات الجاميطات

ينبغى أن تتوفر فى مبيدات الجاميطات المثالية الشروط التالية

١ - أن تحدث عقمًا ذكريًا، ولا تحدث عقمًا 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 . ولا يتوفر – إلى الآن – مبيد جاميطات واحد، تتوفر فيه كل الشروط السابقة، أو معظمها. ويعتبر الماليك هيدرازيد، وحامض الجبريلليك، والإثيفون، والمندوكس أكثرها استعمالا فى الوقت الحاضر.

ولزيد من التفاصيل عن مبيدات الجاميطات يراجع Duvick (١٩٦٦)، و Craig (١٩٦٨)، و Pearson (١٩٨١)، و Nickell (١٩٨٢).

العقم الذكرى الحساس للعوامل البيئية وأهميته فى إنتاج الهجن التجارية

تشيع فى المملكة النباتية حالات العقم الذكرى الوراثى التى يتأثر ظهورها من عدمه وكذلك شدة ظهورها – ببعض العوامل البيئية، وهى الحالات التى تعرف باسم environment-sensitive genic male sterility ويعنى ذلك إمكان استعمال النباتات التى توجد بها تلك الصفات كأمهات فى الهجن فى بعض الظروف البيئية (حيث تكون عقيمة الذكر)، بينما يمكن إكثارها بالتلقيح الذاتى فى الظروف البيئية التى تكون فيها النباتات خصبة الذكر وبذا . لا تحتاج إلى سلالة إكثار maintainer line (أو B line) عند الاستعانة بتلك الظاهرة فى إنتاج الهجن ولهذا السبب يعرف استخدام تلك السلالات فى إنتاج الهجن باسم نظام السلالتين two-line system، وذلك فى مقابل نظام الثلاث سلالات three-line system العادى الذى تستخدم فيه السلالة العقيمة الذكر سيتوبلازمًا (A)، وسلالة إكثار السلالة العقيمة الذكر (B)، وسلالة استعادة الخصوبة restorer line (أو R).

إن الاعتماد على صفة العقم الذكرى الحساس للعوامل البيئية هو النظام الوحيد

الممكن لإنتاج الهجن فى المحاصيل التى ينعدم فيها وجود جينات استعاده الخصوبة، وتلك التى ينخفض فيها كثيرا معدل ظهور تلك الجينات فى السلالات المتميزة. وهى محاصيل التى لا يمكن فيها الاعتماد على خاصيه العقم الذكرى السيتوبلازمى فى إنتاج بذور الهجين بكفاءة، كما فى القمح، والأرز الـ japonica والبسلة

ولقد جرت محاولات لإنتاج هجن تجاريه بالاعتماد على صفة العقم الذكرى التى تتأثر بالعوامل البيئيه فى كل من الدخن، والبطاطس، والقمح. وذلك فى كل من الصين والفلبين وغيرهما من الدول الاستوائيه، ولكن تلك المحاولات مازالت فى بدايتها ورغم النجاح الكبيرة فى هذا المجال فإنها كانت على محصول الارز وأكملت فصوله فى الصين

تقسيم حالات العقم الذكرى التى تتأثر بالعوامل البيئية

تقسم حالات العقم الذكرى التى تتأثر بالعوامل البيئية إلى أربع فئات، كما يلى

١ حالات حساسة لدرجة الحرارة thermosensitive

٢ - حالات حساسة للفترة الضوئية photosensitive

٣ حالات حساسة لكل من درجة الحرارة والفترة الضوئية photothermo ensitive

٤ حالات تتأثر ببعض العناصر الدقيقة (عن Virmani & Ilyas-Ahmed ٢٠٠١)

أمثلة لبعض حالات العقم الذكرى التى تتأثر بالعوامل البيئية

إن من أهم حالات العقم الذكرى الوراثى التى تتأثر بالظروف البيئية، ما يلى

١ الفلفل

ظهرت فى الفلفل بعض التراكيب الوراثية التى كانت عقيمة ذكريًا تحت ظروف الحقل (صيفا)، بينما كانت خصبة الذكر تحت ظرف الزراعات المحمية (شتاء)، فى الوقت الذى أظهرت فيه تراكيب وراثية اخرى اتجاها عكسيًا

٢ - الكرنب

وجدت طفرة من الكرنب كانت عقيمة ذكريًا صيفًا، وخصبة الذكر شتاء

٣ -- الذرة

وجدت بعض التراكيب الوراثيه التى كانت عقيمة ذكريًا تمامـا فـى ظـروف الحـرارة العالية والجفاف، بينما كانت خصبة جزئيًا فى الجو الرطب المعتدل البرودة

٤ – الطماطم

ظهرت طفرة فى صنف الطمـاطم سـان مـارزانو كـانت عقيمـة ذكريًـا صيفـا، ولكنـها أنتجت حبوب لقاح طبيعية وخصبة فى الفصول الأخرى، وتبـين أنـه يلزمـها حـرارة لا تقل عن ٣٠°م تحت ظـروف الحـقل، و ٣٢°م تحت ظـروف الصوبـة؛ لكـى تظـهر بـها خاصية العقم الذكرى، التى وجد أنه يتحكم فيها جين واحد متنح، أعطى الرمز vms.

كذلك وجدت استجابتين مختلفتين للظروف البيئية فى طفرتين أخريين من الطماطم، كانت إحداهما عقيمة الذكر تحت ظروف الحقل، وخصبه الذكر فى الزراعـة المحميـة. بينما أظهرت الثانية اتجاهًا معاكسًا، وبدا أن الحرارة كانت هى العامل الرئيسـى المؤثـر فى الخصوبة أو العقم

وفى طفرة الطماطم stamnless-2 تنتج النباتـات أسـدية غـير طبيعيـة وحبـوب لقـاح عديمة الحيوية فى حرارة ٢٣°م نهارًا مع ١٨°م ليلاً، بينما تكون النباتات طبيعية تمامًـا فى حرارة ١٨°م نهارًا مع ١٥°م ليلاً، أمـا فـى حـرارة ٢٨°م نـهارا مـع ٢٣°م ليـلاً فـإن النباتات الحـاملة للطفـرة تنتـج تراكيـب شـبيهة بالمتـاع مكـان الأسـدية، ولا تكـون أى حبوب لقاح ومن ناحية أخرى .. فإن تلك المعاملات الحرارية ليس لها أى تأثير علـى النباتات غير الحاملة للطفرة

٥ – القمح

ظهرت فى القمح طفرات حساسة للفترة الضوئية وأخـرى حساسـة لدرجـة الحـرارة فمثلاً . وجد أن تعريض نباتات القمح لإضاءة مدتـها ١٠ سـاعات وقـت إنتـاج مبـادئ الأسدية فى الزهرة الأولى من السنبلة الأولى أدى إلى تحول الأسـدية إلى مبـايض، حيـث تكونت البويضات فى فصوص المتوك. كذلك عـثر علـى عـدة طفـرات أخـرى مـن القمـح كانت حساسة – فى عقمها أو خصوبتها – لدرجة الحرارة.

كذلـك أظـهرت السـلالة Norin 26 (وهـى: *Triticum aestivum* مـع سـتيوبلازم

Aegilops crassica) عقمًا ذكريًا فى النهار الطويل الذى يزيد عن ١٥ ساعة، وخصوبة فى النهار الذى لا يزيد طوله عن ١٤½ ساعة، ولكن هذه السلالة لم تتأثر فيها صفة لعقم الذكرى بدرجة الحرارة

٦ - الشعير

ظهرت ثلاث طفرات من الشعير كانت حساسة لدرجة الحرارة، حيث كانت عقيمة الذكر تمامًا فى حرارة تزيد عن ٣٠°م، وخصبة الذكر تماما فى حرارة تقل عن ١٥°م

كذلك أمكن التعرف على طفرة عقيمة الذكر من الشعير كانت حساسة للفترة الضوئيه وخط العرض، حيث كانت عقيمة الذكر تمامًا فى فنلندا (إضاءة حتى ٢٤ ساعة عند خط عرض ٦١° شمالا)، بينما كانت خصبة الذكر جزئيًا فى بوزيمان Bozeman بولاية مونتانا الأمريكية (إضاءة حتى ١٥-١٦ ساعة عند خط عرض ٤٦° شمالاً)

٧ - الفول

تؤثر كل من الفترة الضوئية وشدة الإضاءة على صفة العقم الذكرى فى بعض طفرات الفول، فينقل النباتات الحاملة لتلك الطفرات - وقت الانقسام الاختزالى للخلايا الأمية لحبوب اللقاح - من ٩ ساعات إضاءة شدتها ٨٠٠٠ لكس إلى ١٦ ساعة إضاءة شدتها ٢٥٠٠٠ لكس زادت خصوبة حبوب اللقاح إلى ٨٠٪ فى ٦٠٪ من النباتات المعاملة

٨ - فول الصويا

أمكن التعرف على طفرات عقيمة الذكر من فول الصويا كان بعضها حساسًا لدرجة الحرارة وبعضها الآخر حساسًا للفترة الضوئية

٩ - لفت الزيت

عرفت فى لفت الزيت طفرة عقيمة الذكر كانت حساسة لدرجة الحرارة

١٠ - البصل

لا تنتج حبوب اللقاح فى إحدى سلالات البصل فى حرارة تقل عن ٢١°م، ويكون إنتاج حبوب اللقاح الخصبة جزئيًا فى حرارة ٢١-٥ ٢٥°م

وفى طفرة أخرى ظهرت استجابة عكسية لدرجة الحرارة، حيث كانت النباتات عقيمة الذكر فى حرارة ١٤°م، وخصبة جزئيًا فى ٢١-٢٣°م، وخصبة تماما فى درجات الحرارة الأعلى.

١١ - القطن:

يكون ظهور العقم الذكرى فى *Gossypium hirsutum* عاليًا فى حرارة ٣٢°م، وكاملاً فى حرارة ٣٨°م

كما ظهرت فى النوع *G anomalum* طفرة عقم ذكرى كانت مرتبطة سلبيًا بكل من درجة الحرارة وشدة الإضاءة، وذلك فى الأسابيع الثلاثة التى تسبق تفتح الأزهار.

١٢ - الدخن

أصبحت النباتات العقيمة الذكر خصبة عندما عرضت لحرارة تزيد عن ٤٠°م قبل مرحلة الانقسام الاختزالى.

وفى طفرة أخرى كانت النباتات عقيمة الذكر فى حرارة ليل ١٣°م أو أقل خلال مرحلة الانقسام الاختزالى.

١٣ - السمسم.

ظهرت طفرة من السمسم كانت عقيمة الذكر تحت ظروف الحقل، بينما كانت خصبه الذكر فى الزراعة المحمية.

١٤ - الأرز

ظهرت فى الأرز طفرات عقيمة الذكر حساسة للفترة الضوئية، وأخرى حساسة لدرجة الحرارة، وبدا أن الفترة الضوئية الطويلة التى تزيد عن ١٤ ساعة أو الحرارة العالية تسببت فى ظهور حالة العقم الذكرى، بينما كانت تلك الطفرة خصبة الذكر فى إضاءة لا تزيد عن ١٣ 1/2 ساعة مع حرارة منخفضة، ولكن ظهر فى طفرات أخرى اتجاهًا عكسيًا فى الاستجابة لدرجة الحرارة (عن Virmani & Ilyas-Ahmed ٢٠٠١)

يُعد الاعتماد على طفرات العقم الذكرى الحساسة للعوامل البيئية من قصص النجاح الهامة فى تربية النبات، وهى القصة التى اكتملت فصولها فى الصين، والتى نتناول تفاصيلها بالشرح تحت العنوان التالى.

الاعتماد على صفة العقم الذكرى الحساس للعوامل البيئية فى إنتاج هجن الأرز

اكتشفت فى عام ١٩٧٣ طفرة خاصة بالعقم الذكرى كانت حساسة للفترة الضوئية فى صنف الأرز Nongken 58 (وهو من الطرز المتأخرة من الأرز الـ japonica)، أعطيت لاسم Nongken 58S حيث النباتات الحاملة لتلك الطفرة بأنها كانت عقيمة الذكر فى النهار الطويل، بينما كانت خصبة الذكر فى النهار القصير. علما بأن الأرز من نباتات النهار القصير وقد تبين فيما بعد أن هذه الطفرة ذاتها كانت حساسة كذلك لدرجة الحرارة (عن Yan & Wallace ١٩٩٥)

وراثة الصفة

يتحكم فى وراثة صفة العقم الذكرى الحساس للفترة الضوئية فى صنف الأرز Nongken 58S زوجين من الجينات المتنحية، أعطيت الرمزان ms¹ ms¹، و ms² ms²، بالإضافة إلى عدد من الجينات الأخرى المحورة المتنحية وقد تبين أن واحد فقط من هذين الجينين هو الذى يمير Nongken 58S بخاصية استجابة صفة العقم الذكرى لطول الفترة الضوئية، بينما يعد الجين الآخر جينًا عاديًا للعقم الذكرى كغيره من تلك الجينات التى عرفت سابقا فى الأرز

استجابة سلالات الأرز الحساسة لمختلف العوامل البيئية

توصل العلماء الصينيون إلى علاقة كمية تربط بين نسبة عقد البذور فى الأرز وكلا من الضوء والحرارة فى حدود المدى الحرارى للحساسية للفترة الضوئية كما يلى

$$Y = 46.5.4 - 23.8 X_1 - 4.2X_2$$

حيث إن

Y = النسبة المئوية لعقد البذور

X_1 = طول الفترة الضوئية، متضمنة الفترات التى تسبق السروق بقليل وتلك التى تعقب الغروب بقليل، والتى تزيد فيها مدة الإضاءة عن ١٠ ساعات

X_2 = متوسط درجة الحرارة خلال الفترة الحساسة

وقد قدرت درجات الحرارة الخاصة بصنف الأرز Nongken 58S – فيما يتعلق باستجابته للفترة الضوئية – كما يلى

- الحد الأدنى البيولوجى ٢٠°م
- الحد الأقصى البيولوجى ٣٤°م
- درجة الخصوبة الحرجة critical fertility point: ٢٤°م.
- درجة العقم الحرجة critical sterility point. ٣٢°م.
- المدى الحرارى للحساسية للفترة الضوئية temperature range for photoperiod sensitivity ٢٤ -٣٢°م.

وعلى الرغم من أن سلالات الأرز عقيمة الذكر الحساسة لكل من الفترة الضوئية ودرجة الحرارة – والمعروفة حاليًا فى الصين – تنحدر جميعها من السلالة Nongken 58S، وتتبع نظامًا واحدا فى التعبير عن الخصوبة أو العقم .. فإنها تختلف فى كل من نقطتى الخصوبة والعقم الحرجتين، وفى المدى الحرارى للحساسية للفترة الضوئية، وذلك بسبب اختلافها فى الخلفيات الوراثية

وعمومًا فإن درجة العقم الحرجة هى أهم العوامل المسببة لظهور تباينات فى العقم تحت ظروف الفترة الضوئية الطويلة، فإن لم تكن تلك الدرجة منخفضة بقدر كافٍ فى سلالة ما، فإن استعمالها فى إنتاج البذرة الهجين يعد مخاطرة، لأن أى انخفاض فى درجة الحرارة عن درجة العقم الحرجة يمكن أن يجعل السلالة العقيمة الذكر خصبة جزئيًا أيًا كانت الفترة الضوئية.

وبالمقارنة فإن درجة الخصوبة الحرجة هى أهم العوامل التى قد تجعل إكثار تلك السلالات غير اقتصادى فى ظروف النهار القصير إن لم تكن درجة الخصوبة الحرجة عالية بقدر كافٍ. ففى تلك الحالات قد يؤدى التعرض لحرارة عالية إلى العقم وضعف إنتاج البذور فى حقول إنتاج تلك السلالات.

وتعد كل من فترة الإضاءة الحرجة وشدة التفاعل بين الفترة الضوئية ودرجة الحرارة أهم العوامل المتحكمة فى تأقلم السلالات الحساسة لدرجة الحرارة والفترة الضوئية على مختلف خطوط العرض، حيث تؤثر فترة الإضاءة الحرجة مباشرة فى هذا الشأن، بينما

تزداد قدرة السلالة على التأقلم على خطوط العرض المختلفة كلما ازدادت شدة التفاعل بين الفترة الضوئية ودرجة الحرارة، لأن الحرارة العالية يمكنها في حالة زيادة شدة التفاعل من تعويض عدم كفاية طول الفترة الضوئية في خطوط العرض الأقرب إلى خط الاستواء، كما يمكن كذلك للفترة الضوئية الطويلة أن تعوض جزئيًا عدم كفاية الارتفاع في درجة الحرارة في خطوط العرض الأبعد عن خط الاستواء (عن Virmani & Ilyas-Ahmed ٢٠٠١)

وتقسم سلالات الأرز عقيمة الذكر الحساسة لكل من الفترة الضوئية ودرجة الحرارة إلى أربع فئات، كما يلي:

١ - سلالات ذات خصوبة حرجة منخفضة، ودرجة عقم حرجة عالية مثل Nongken 58S

٢ - سلالات ذات درجة خصوبة حرجة منخفضة، ودرجة عقم حرجة منخفضة مثل Pei'ai 64

٣ سلالات ذات درجة خصوبه حرجة عالية، ودرجة عقم حرجة عالية مثل 8902S

٤ - سلالات ذات درجة خصوبة حرجة عالية، ودرجة عقم حرجة منخفضة مثل W6154S

إنتاج الهجن التجارية بالاعتماد على السلالات الحساسة للعوامل البيئية

لقد طور في الصين - إلى درجة كبيرة - إنتاج هجن الأرز الـ japonica والأرز البسمتي ذو الجودة العالية، ووضعت الشروط التي يتعين توفرها في السلالات العقيمة الذكر التي تستعمل كأمهات، وطرق التعرف على تلك السلالات وإكثارها، وتفاصيل برامج التربية المتبعة للاستفادة منها في إنتاج الهجن وقد نشرت غالبية الأبحاث المتعلقة بهذا الموضوع باللغة الصينية، ولكن تم تناولها بالتحليل الدقيق في المقال المرجعي لكل من Virmai & Alyas-Ahmed (٢٠٠١)، الذي يذكران فيه أن مساحة هجن الأرز التي أنتجت بتلك الطريقة بلغت ١,٢٨ مليون هكتار في الصين في عام ١٩٩٩

العقم الذكرى الحساس لمعاملات خاصة

أمكن أحيانًا التحكم فى ظهور صفة العقم الذكرى من عدمه بمعاملات خاصة، مثل معاملات منظمات النمو، ونقص بعض العناصر الدقيقة، وتلك حالات يمكن الاستفادة منها – كذلك – فى إنتاج الهجن التجارية، إلا أنها لم تطور بعد لهذا الغرض

معاملات منظمات النمو

أمكن دفع نباتات البيتونيا ذات العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى إنتاج أزهار شبه طبيعية بحقن الجزء السفلى من ساق النبات بحامض الجبريلليك (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨)

معاملات التعريض لنقص فى العناصر الدقيقة

عرفت فى بعض المحاصيل حالات عقم ذكرى ظهرت عند نقص بعض العناصر الدقيقة، كتلك التى أحداثها نقص النحاس والبورون فى القمح، ونقص النحاس فى كل من الذرة، والشعير، والشوفان، ودوار الشمس، ونقص البورون فى الأرز (عن Virmani & Alyas-Ahmed ٢٠٠١).

بسبب نقص البورون نقصًا فى عقد الحبوب فى القمح، ويتفاوت جيرمبلازم القمح فى تلك الخاصية ما بين الشديد الحساسية لنقص البورون والمتحمل له. وفى التركيزات الشديدة الانخفاض من البورون تكون السلالات الشديدة الحساسية والحساسة عقيمة الذكر تمامًا، ولا يعقد بها سوى القليل جدًّا من الحبوب، وقد لا تعقد بها الحبوب مطلقًا، بينما تعقد الحبوب فى السلالات المتحملة للبورون بصورة طبيعية (Rerkasem & Jamjod ١٩٩٧)