ويعنى بالعقم الذكرى - عادة - عقم حبة اللقاح؛ لأنه أكثر مظاهر العقم شيوعًا. 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 الآليلة، تتحكم فى طفرات مختلفة من العقم الذكرى فى الشعير، ونحو ٦٠ زوجًا 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 آليلية للعقم الذكرى فى البسلة بمعاملة البذور بأى من: ethyl methansulfonate، أو diethyl sulfate، أو أشعة 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 الثنائية 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 عقيمًا، 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 حساسة للعوامل البيئية ولا تتأثر 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 المراد نقـل صفـة العقـم الذكـرى إليـه. وباسـتمرار التلقيحات الرجعية المتبوعة بالتلقيح الذاتى .. نحصل بعد ٦–٨ تلقيحات رجعيـة علـى سلالة جديدة، تتشابه مع السلالة الأصلية فى جميع الصفات، فيما عدا احتوائها علـى صفة العقم الذكرى.

إكثار السلالات العقيمة الذكر وراثيًا والمحافظة عليها

تتم المحافظة على السلالات 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 تامًا. 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 تمامًا 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 اللقاح 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.

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 كثيرًا 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، وتسمح 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 سهولة 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 للجينات السيتوبلازمية، وقد استخدم فى إنتاج طفرات من هذا النوع فى كل من الـ *Petunia* والشعير وغيرهما (عن Singh ١٩٩٣).

نقل صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى سلالات أمهات الهجن

تنقل 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.

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 أى تغير فى التركيب الوراثى لتشابه أبوى التلقيح وراثيًا. وتستمر المحافظة على السلالة بتكرار نفس التلقيح.

استخدام ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى فى إنتاج الهجن

يؤدى استعمال السلالات العقيمة سيتوبلازميًا كأم فى التهجينات إلى إنتاج هجن تكون عقيمة الذكر. لذا .. فإن استعمال هذا النوع من العقم الذكرى لا يصلح للمحاصيل التى تؤكل ثمارها أو بذورها (لأن نباتات الجيل الأول الهجين تكون عقيمة، ولا تنتج

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؛ نظرًا 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 انتشارًا، 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 مؤقتًا لحالة النباتات التى توجد بها تلك الصفة، 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 دقيقًا (عن Liedl & Anderson ١٩٩٣).

وراثة صفة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى

لا يكون جين استعادة الخصوبة restorer gene مؤثرًا عند وجودة 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 لا يوجد سوى تركيب وراثى واحد عقيم، هو Srr.

وتورث 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:

	النسل			
التلقيح	الأم (عقيمة الذكر)	الأب (خصب الذكر)	التركيب الوراثى	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 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.

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 للسلالة 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 تقريبًا.

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.