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 استعمالاً فى الوقت الحاضر.

ولمزيد 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 استعادة الخصوبة، وتلك التى ينخفض فيها كثيرًا معدل ظهور تلك الجينات فى السلالات المتميزة. وهى المحاصيل التى لا يمكن فيها الاعتماد على خاصية العقم الذكرى السيتوبلازمى فى إنتاج بذور الهجين بكفاءة، كما فى القمح، والأرز الـ japonica والبسمتى.

ولقد جرت محاولات لإنتاج هجن تجارية بالاعتماد على صفة العقم الذكرى التى تتأثر بالعوامل البيئية فى كل من الدخن، والصليبيات، والقمح، وذلك فى كل من الصين والفليبين وغيرهما من الدول الآسيوية، ولكن تلك المحاولات مازالت فى بداياتها. أما قصة النجاح الكبيرة فى هذا المجال فإنها كانت على محصول الأرز واكتملت فصولها 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 photothermosensitive.

٤ – حالات تتأثر بنقص بعض 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 (صيفًا)، بينما كانت خصبة الذكر تحت ظرف الزراعات المحمية (شتاءً)، فى الوقت الذى أظهرت فيه تراكيب وراثية أخرى اتجاهًا عكسيًا.

٢ – الكرنب:

وجدت طفرة من الكرنب كانت عقيمة ذكريًا صيفًا، وخصبة الذكر شتاءً.

٣ – الذرة:

وجدت بعض التراكيب الوراثية التى كانت عقيمة ذكريًا تمامًا فى ظروف الحرارة العالية والجفاف، بينما كانت خصبة جزئيًا فى الجو الرطب المعتدل البرودة.

٤ – الطماطم:

ظهرت طفرة فى صنف الطماطم سان مارزانو كانت عقيمة ذكريًا صيفًا. ولكنها أنتجت حبوب لقاح طبيعية وخصبة فى الفصول الأخرى: وتبين أنه يلزمها حرارة لا تقل عن ٣٠°م تحت ظروف الحقل. و ٣٢°م تحت ظروف الصوبة: لكى تظهر بها 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، وخصبة الذكر فى الزراعة المحمية. بينما أظهرت الثانية اتجاهًا معاكسًا. وبدا أن الحرارة كانت هى العامل الرئيسى المؤثر فى الخصوبة أو العقم.

وفى طفرة الطماطم stamnless-2 تنتج النباتات أسدية غير طبيعية وحبوب لقاح عديمة الحيوية فى حرارة ٢٣°م نهارًا مع ١٨°م ليلاً، بينما تكون النباتات طبيعية تمامًا فى حرارة ١٨°م نهارًا مع ١٥°م ليلاً. أما فى حرارة ٢٨°م نهارًا مع ٢٣°م ليلاً فإن النباتات الحاملة للطفرة تنتج تراكيب شبيهة بالمتاع مكان الأسدية، ولا تكون أى حبوب لقاح. ومن ناحية أخرى .. فإن تلك المعاملات الحرارية ليس لها أى تأثير على النباتات غير الحاملة للطفرة.

٥ – القمح:

ظهرت فى القمح طفرات حساسة للفترة الضوئية وأخرى حساسة لدرجة الحرارة. فمثلاً .. وجد أن تعريض نباتات القمح لإضاءة مدتها ١٠ ساعات وقت إنتاج مبادئ الأسدية فى الزهرة الأولى من السنبلة الأولى أدى إلى تحول الأسدية إلى مبايض، حيث تكونت البويضات فى فصوص المتوك. كذلك عثر على عدة طفرات أخرى من القمح كانت حساسة – فى عقمها أو خصوبتها – لدرجة الحرارة.

كذلك أظهرت السلالة Norin 26 (وهى: *Triticum aestivum* مع ستيوبلازم

Aegilops crassica) عقمًا ذكريًا فى النهار الطويل الذى يزيد عن ١٥ ساعة، وخصوبة فى النهار الذى لا يزيد طوله عن ١٤ ½ ساعة. ولكن هذه السلالة لم تتأثر فيها صفة العقم 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 تمامًا فى حرارة تقل عن ١٥°م.

كذلك أمكن التعرف على طفرة عقيمة الذكر من الشعير كانت حساسة للفترة الضوئية وخط العرض؛ حيث كانت عقيمة الذكر تمامًا فى فنلندا (إضاءة حتى ٢٤ ساعة عند خط عرض ٦١° شمالاً)، 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؛ فبنقل 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 ٢١-٢٥,٥°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 تمامًا 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 خصبة 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 ١/٢ 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 Nongkeng 58 (وهو من الطرز المتأخرة من الأرز الـ japonica)، أعطيت الاسم Nongkeng 58S. تميزت النباتات الحاملة لتلك الطفرة بأنها كانت عقيمة الذكر فى النهار الطويل، بينما كانت خصبة الذكر فى النهار القصير. علمًا 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، أعطيا الرمزان $ms_1^{ph}ms_1^{ph}$، و $ms_2^{ph}ms_2^{ph}$. بالإضافة إلى عدد من الجينات الأخرى المحورة المتنحية. وقد تبين أن واحدًا فقط من هذين الجينين هو الذى يميز Nongken 58S بخاصية استجابة صفة العقم الذكرى لطول الفترة الضوئية، بينما يعد الجين الآخر جينًا عاديًا للعقم الذكرى كغيره من تلك الجينات التى عرفت سابقًا فى الأرز.

استجابة سلالات الأرز الحساسة لمختلف العوامل البيئية

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

$$Y = 465.4 - 23.8\ X_1 - 4.2X_2$$

حيث إن:

Y = النسبة المئوية لعقد البذور.

X_1 = طول الفترة الضوئية، متضمنة الفترات التى تسبق الشروق بقليل وتلك التى تعقب الغروب بقليل، والتى تزيد فيها شدة الإضاءة عن ٥٠ لكس.

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 واحدًا 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 – فى حالة زيادة شدة التفاعل – من تعويض عدم كفاية طول الفترة الضوئية فى خطوط العرض الأقرب إلى خط الاستواء؛ كما يمكن كذلك للفترة الضوئية الطويلة أن تعوض جزئيًّا عدم كفاية الارتفاع فى درجة الحرارة فى 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 يلى:

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