

العقم وعدم التوافق الذاتي Sterility and Incompatibility

اولا - العقم Sterility :

عرف العالمان Crane و Lawrence العقم بصورة عامة بانها الحالة التي يكون فيها عدم تكوين البذور راجعا الى عدم قدرة حبوب اللقاح او البويضات اي الكميات المؤنثة والكميات المؤنثة من القيام بوظائفها في عملية الاخصاب بسبب عدم حيويتها، لان اي نقص في تكوين اي عضو من الاعضاء التناسلية قد يسبب حالة العقم. وقد يحدث العقم ايضا عند اجراء التهجين بين الانواع او الاجناس فنجد ان السبب هنا هو اختلاف اعداد الكروموسومات بين الانواع او الاجناس المستخدمة في التهجين حيث ان الكروموسومات لايمكنها الازدواج اثناء الانقسام الاختزالي.

العقم الذكري : Male Sterility

وسببه ان الخلايا التناسلية الذكرية (الكميات الذكرية) تكون غير فعالة Non-functional اي عديمة الفاعلية مما ينتج عن ذلك عدم استطاعة النباتات العقيمة من انتاج البذور من دون استعمال ملحقات خارجية Pollinizer، والعقم الذكري صفة وراثية ذات قيمة اقتصادية كبيرة، حيث يمكن لمربي النبات ان يستغل هذه الظاهرة في انتاج هجن الجيل الاول بسهولة ويسر لانه يوفر عليه مشقة عملية الخصي Emasculation والتي تعني ازالة اعضاء التذكير (المتوك) من الزهرة المراد تلقيحها وجعلها ام في عملية التهجين، وكذلك يقلل من تكاليف انتاج الهجن. وبصورة عامة يمكن اعتبار العقم الذكري عملية خصي وراثي طبيعي للنبات.

هناك ثلاثة حالات من العقم الذكري :

1- العقم الذكري الوراثي (النوي) Genetic male sterility

وهي الحالة التي تكون فيها حبوب اللقاح عقيمة بسبب سيطرة زوج واحد من الجينات المتنحية على هذه الصفة (صفة العقم الذكري)، ولظهور هذه الحالة يجب ان يكون كلا الاليلين متنحيين اي بصورة نقية اي Homozygous recessive، وقد استعمل الرمز (ms) للإشارة الى الاليل المتنحي العقيم و (Ms) للإشارة للاليل السائد الخصب الذي لا يسبب العقم وعليه فان التركيب الوراثي للنبات العقيم ذكريا يكون (ms ms)، والخصب ذكريا يرمز له بالرموز (Ms Ms) للنقي السائد اي خصب اصيل و (Ms ms) للخصب الهجين.

ان صفة العقم الذكري النووي يكون المسؤول عنه جينات واقعة في النواة لذلك سمي بالعقم الذكري النووي. وهذه الحالة موجودة في نباتات الخضر وخاصة في نباتات فاصوليا ليما Lima beans.

وللمحافظة على السلالات العقيمة اي استمرار انتاجها يجب تضريبها مع سلالات معروفة خصبة هجينة اي ان تركيبها الوراثي يكون بصيغة (Ms ms) وفي هذه الحالة تكون نصف الابناء الناتجة عقيمة والنصف الاخر تكون هجينة خصبة، وكما موضح في التضريب التالي :

سلالة عقيمة $P: Ms\ ms \times ms\ ms$ سلالة خصبة هجينة



الكاميتات $G: (Ms) + (ms) \quad (ms)$

$F1:$ $Ms\ ms$ $ms\ ms$
 50% سلالة هجينة خصبة ذكرا 50% سلالة عقيمة ذكرا

2- العقم الذكري الساييتوبلازمي : Cytoplasmic male sterility

وهي الحالة التي تكون حبوب اللقاح عقيمة (غير فعالة) بسبب وجود عوامل وراثية في الساييتوبلازم وليس في النواة. والنباتات التي تحمل صفة العقم الذكري الساييتوبلازمي لا يمكن ان تلقح نفسها ذاتيا او ان تكون البذور، الا اذا لقحت بحبوب لقاح حيوية من اصناف اخرى. وفي هذه حالة، اي عند تلقيح نبات عقيم (عقم ذكري ساييتوبلازمي) وجعله ام، مع نبات اخر اعتيادي أب سيكون النسل الناتج كله عقيم، والسبب في ذلك ان البيضة (الكمية الموثقة) تحمل معظم الساييتوبلازم، اما حبة اللقاح فتكاد تخلو من الساييتوبلازم، لذلك فالجينات الموجودة في ساييتوبلازم الام هي المحددة لحالة العقم الذكري الساييتوبلازمي وكما موضح في المثال التالي:

سلالة عقيمة ساييتوبلازميا (أب) \times سلالة عقيمة ساييتوبلازميا (أم)

النسل الناتج 100% عقيم

اي ان النسل الناتج يحمل ساييتوبلازم الام الذي بدوره يحمل جينات العقم الذكري لذلك فهو عقيم كما موضح في الشكل المرفق. ان حالات العقم هذه مهمة جدا في نباتات الزينة المزهرة، لانه في حالة عدم حدوث التلقيح والاختصاص وعدم تكوين البذور يطيل من عمر الازهار ويجعلها محتفظة بجماليتها وجاذبيتها لفترة اطول.

3- العقم الذكري الوراثي - الساييتوبلازمي Genetic-Cytoplasmic male Sterility

في هذه الحالة يسيطر على صفة العقم الذكري نظام متداخل يشمل الجينات الواقعة في النواة (والذي سبق الكلام عنه في العقم الوراثي النووي، ويرمز لها بالرمز Ms و ms وحسب حالة السيادة والتنحي) مع الجينات الموجودة في الساييتوبلازم وسنرمز للساييتوبلازم الذي يحمل جينات العقم بالرمز S (Sterility) والساييتوبلازم الخصب إي الطبيعي (Normal) الذي لا يحمل جينات العقم يرمز له بالرمز N وكما موضح في المخططات المرفقة. وجد هذا النظام في العديد من المحاصيل الزراعية كالبصل وقصب السكر والذرة الصفراء والبيضاء والحنطة. وفي هذا النوع من العقم الذكري ليس بإمكان العوامل الساييتوبلازمية العقيمة لوحدها او الجينات المتنحية الموجودة في النواة لوحدها من انتاج او اظهار حالات العقم. ففي البصل مثلا تعود ظاهرة العقم فيه الى وجود زوج واحد من الجينات النووية وهو Ms وهو مسؤول

عن صفة الخصوبة **Fertility** وأليله الممتحي **ms** مسؤول عن العقم، إضافة الى وجود نوعين من الساييتوبلازم حسب نوع العوامل الوراثية الموجودة فهو اما سايتوبلازم عقيم (**S**) اي يحمل جينات العقم (**S**) او سايتوبلازم طبيعي (**N**). ويمتاز البصل ايضا بان ظهور حالات العقم فيه، وان استعادة الخصوبة لانتاثر بالعوامل البيئية ولا تخضع لتاثير جينات اخرى مقارنة بالمحاصيل الباقية، وكذلك يمتاز البصل بسهولة تشخيص النباتات العقيمة في الجيل الاول. لقد اثبتت الدراسات ان عملية الانقسام المايوزي تحصل بشكل طبيعي في النباتات العقيمة ذكريا، ولكن سبب حصول العقم قد يرجع الى زيادة او نقصان حوامض امينية في متوك النباتات العقيمة .

حالات العقم الذكري الوراثي - الساييتوبلازمي :

في الامثلة التالية وكذلك في المخططات المرفقة سوف تمثل الام السلالة العقيمة، وعليه فالتركيب الوراثي لجينات العقم الوراثي في النواة سيكون **ms ms**، وفي الساييتوبلازم العقيم بالرمز **S**. اما الاب الخصب فاحتمال تركيبه الوراثي سيكون ضمن احد الاحتمالات الخمسة الاتية:

1. الاب خصب (العوامل الوراثية في النواة خصبة اصيلة **Ms Ms** و الساييتوبلازم طبيعي **N**) وعند تضريبه مع الام العقيمة نوويا و سايتوبلازميا ستكون النتيجة كالاتي : الجيل 100% خصب كما موضح أدناه :

اب خصب سائد نوويا (Ms Ms) وخصب سايتوبلازميا (N)	x	ام عقيمة نوويا (ms ms) وعقيمة سايتوبلازميا (s)
↓		
النسل الناتج 100% خصب (النواة Ms ms و الساييتوبلازم s)		

2. الاب خصب (العوامل الوراثية في النواة خصبة هجينة اي **Ms ms** و الساييتوبلازم طبيعي اي خصب **N**) . فتكون نتيجة التضريب مع الام العقيمة نوويا و سايتوبلازميا كالاتي :

اب خصب هجين نوويا (Ms ms) وخصب سايتوبلازميا (N)	x	ام عقيمة نوويا (ms ms) وعقيمة سايتوبلازميا (s)
↓		
النسل الناتج : 50% خصب (النواة Ms ms و الساييتوبلازم s)		
+		
50% عقيم (النواة ms ms و الساييتوبلازم s)		

3. الاب خصب (العوامل الوراثية في النواة خصبة هجينة (Ms ms) والساييتوبلازم فيه جينات العقم اي غير طبيعي (S) وكما في موضح أدناه :

اب خصب هجين نوويا (Ms ms) وعقيم ساييتوبلازميا (s)	x	ام عقيمة نوويا (ms ms) وعقيمة ساييتوبلازميا (s)
	↓	
النسل الناتج : 50% خصب (النواة Ms ms والساييتوبلازم s)		
+		
50% عقيم (النواة ms ms والساييتوبلازم s)		

4. الاب خصب (العوامل الوراثية في النواة خصبة اصيلة (Ms Ms) لكنه عقيم ساييتوبلازميا اي (S). فتكون نتيجة التضرير مع الام العقيمة نوويا وساييتوبلازميا كالاتي :

اب خصب هجين نوويا (Ms Ms) و عقيم ساييتوبلازميا (S)	x	ام عقيمة نوويا (ms ms) وعقيمة ساييتوبلازميا (s)
	↓	
النسل الناتج : 100% خصب (النواة Ms ms والساييتوبلازم s)		

5. الاب خصب (مع انه عقيم وراثيا اي الجينات في النواة تكون متنحية اي (ms ms)، ولكن الساييتوبلازم فيه يكون طبيعي اي خصب (N) فتكون نتيجة التضرير مع الام العقيمة وراثيا و ساييتوبلازميا كالاتي :

اب عقيم نوويا (ms ms) و عقيم ساييتوبلازميا (S)	x	ام عقيمة نوويا (ms ms) وعقيمة ساييتوبلازميا (s)
	↓	
النسل الناتج : 100% عقيم (النواة ms ms والساييتوبلازم s)		

ثانيا : عدم التوافق الجنسي الذاتي Self – incompatibility

تطلق كلمة **Incompatibility** اي عدم التوافق الجنسي على الحالة التي نكون فيها جميع الاعضاء التناسلية تامة التكوين وسليمة وحبوب اللقاح والبويضات لها القدرة التامة على الاخصاب، ولكن عملية الاخصاب لاتتم بسبب مانع فسيولوجي يمنع او يببطى من نمو الانبوبة اللقاحية داخل قلم الزهرة الملقحة ويعيق الانبوبة اللقاحية من الوصول الى البويضة في الوقت المناسب لاخصابها.

وظاهرة عدم التوافق الجنسي الذاتي موجودة في كثير من المحاصيل الاقتصادية للخضر والفاكهة ونباتات الزينة، هذه الظاهرة في نباتات الجنس **prunus** الذي يضم الفاكهة ذات النواة الحجرية وجينس **Malus** الذي ينتمي له التفاح. وقد وجد ذلك كل من العالمين **Grane و Lawrence** سنة 1932 م واليهما يعود الفضل في التفريق بين حالات العقم وحالات عدم التوافق الجنسي، وفسرا هذه الظاهرة بوجود عوامل وراثية خاصة تسيطر على ظهورها.

ان العديد من الانواع النباتية تمتلك نظاما طبيعيا لعدم التوافق مسيطرا عليه من قبل الجينات والذي يمنع او يعيق التربية الداخلية **Inbreeding** عن طريق الاخصاب الذاتي لنفس النبات او الاخصاب بين نباتات اخوية. ان انظمة كهذه قد تتطور عن طريق الانتخاب الطبيعي وذلك لان التربية الداخلية عديمة الفائدة للانواع البرية لكونها تقود الى خفض قوة النمو في النبات واظهار العديد من الصفات الغير مرغوبة فيها.

هناك نظامين لعدم التوافق الذاتي:

اولا : نظام ال **Homomorphic** وهو النظام الذي تكون فيه الاجزاء الزهرية متشابهة من الناحية المورفولوجية او بتعبير اخر متجانسة فيما يتعلق باطوال الاعضاء الذكرية والانثوية وهذه الحالة توجد في الازهار الخنثى **Hermaphrodite** . وينقسم الى قسمين :

1: نظام عدم التوافق الكاميئي The Gametophytic incomparability system

في هذا النظام تتم السيطرة على طبيعة سلوك حبة اللقاح عن طريق تداخل جينات من نوع (S) الموجودة في حبة اللقاح نفسها مع تلك الموجودة في مدقة النبات الذي يجري تلقيحه كما في الشكل (2) المرفق. ان غلق طريق الاخصاب يحدث من خلال النمو البطيئ جدا للانبوب اللقحي وتوقفه كليا عن النمو قبل وصوله الى الكيس الجنيني. ان هذا النوع من عدم التوافق مشخص في نباتات العائلة البقولية والعائلة **Onagraceae** ونباتات **papaver** و **Nemesia** والعائلة الخشخاشية والعائلة الوردية والعائلة الزنبقية وفي عدد من النباتات البستنة مثل التفاح والكمثرى والكرز والطماطة والبيتونيا والليليوم.

ان هذا النوع من انظمة عدم التوافق الذي يسيطر عليه وكما قلنا اعلاه جين يسمى (S) ويوجد (15) اليل لهذا الجين تسمى $S_1, S_2, S_3, \dots, S_{15}$ فاذا كانت حبة اللقاح تحتوي على أليلات

من النوع S مشابهة للآليات الموجودة في انسجة القلم للزهرة المراد تلقيحها سوف تحدث حالة عدم التوافق الذاتي، وهناك عدة حالات لعدم التوافق الذاتي :-

أ. حالة عدم التوافق الذاتي التامة :- Full incommutability

وكما موضح في الشكل (2) الجزء العلوي من الصورة رقم 1، حيث ان حبوب اللقاح التي تسقط على ميسم الزهرة المراد تلقيحها والتي يكون تركيبها الوراثي S_1 و S_2 والتركيب الوراثي لميسم الزهرة الملقحة أي S_1 و S_2 فان الانبوب اللقحي سوف لن ينمو بل تحدث حالة عدم توافق تامة، وذلك لتشابه كلا الاليلين الموجودين في حبوب اللقاح مع نضيريتهما في نسيج القلم .

ب - حالة عدم التوافق غير التام Half in computability

وهو موضح في الشكل (2) الجزء العلوي رقم 2، فاذا كان التركيب الوراثي لحبة اللقاح الساقطة على ميسم الزهرة S_1 و S_2 وتركيب الميسم الوراثي يحمل الاليلات S_2 و S_3 ، فان حبة اللقاح التي تحمل التركيب الوراثي S_1 هي التي تنمو فقط وتكون الأنبوب اللقحي. اما حبة اللقاح من نوع S_2 فانها لا تستطيع ان تكون انبوب لقاحي لوجود الاليل المشابه لها في قلم الزهرة الملقحة .

ج - الموافقة التامة : Full commutability

كما موضح في الشكل (2) الجزء العلوي رقم 3 حيث التركيب الوراثي لحبة اللقاح يحمل الاليلين S_1 و S_2 ، بينما نسيج القلم فان تركيبه الوراثي يحمل الاليلين S_3 و S_4 . لذلك فان كلا الكميتين الذكريين وهما S_1 و S_2 سوف تنموان و يكونان انبوبان لقاحيان يتمكنان من اخصاب البيوض و تكوين البذور لعدم تشابه أليلات حبة اللقاح مع أليلات نسيج قلم الزهرة الملقحة.

2 : نظام عدم التوافق السبوري Saprophytic incompatibility

يشابه هذا النظام من عدم التوافق نظام عدم التوافق الكاميتي من حيث ان السيطرة الوراثية على حالة عدم التوافق والتي تتم من قبل موقع جيني واحد (S) مكون من سلسلة من الاليلات المتعددة، ولكن الاختلاف هنا ان سلوك حبة اللقاح مسيطر عليه من قبل الاليلات نوع (S) للتركيب الوراثي للنبات الذي انتج حبوب اللقاح، وليس من قبل الاليلات نوع (S) لحبة اللقاح نفسها لذا فان جميع حبوب اللقاح الناتجة عن نبات معين يكون لها نفس السلوك من حيث طبيعة عدم موافقتها وكما موضح في الشكل (2) الجزء الاسفل فنلاحظ وجود ثلاث حالات لعدم التوافق السبوري :

الاولى : حبوب اللقاح الناتجة من نبات تركيبه الوراثي S_1 و S_2 لا تنمو في نسيج قلم الزهرة الذي تركيبه الوراثي S_1 و S_2 .

ثانيا : حبوب اللقاح الناتجة من نبات تركيبه الوراثي S_1 و S_2 لا تنمو في نسيج قلم الزهرة تركيبه الوراثي S_2 و S_3 وذلك لوجود S_2 حيث ان سلوك حبتي اللقاح متشابه باتجاه S_2 ولذلك تحصل حالة عدم التوافق كما في الحالة الاولى ايضا .

ثالثا : حبوب اللقاح الناتجة من النبات تركيبية الوراثي S_1 و S_2 وتنمو في نسيج قلم الزهرة الذي تركيبية الوراثي S_3 و S_4 . وهنا لا تحدث حالة عدم التوافق. ان هذا النظام يحدث في نباتات العائلة المركبة والصليبية مثل اللهانة والعائلة الشفوية.

ثانيا :

نظام الـ Heteromorphic :

وتكون الاجزاء الزهرية المذكرة والمؤنثة غير متجانسة او مختلفة من الناحية المورفولوجية كما في زهرة الربيع *Primula* وهي من الازهار الكاملة، تكون المدقات طويلة (اعضاء التانيث) والاسدية (اعضاء التذكير) قصيرة، الحالة الاولى تسمى *pin* والحالة الثانية تسمى *Thrum*. ففي هذه الحالة يرجع سبب عدم التوافق الذاتي الى الاختلاف المورفولوجي لكل من الاعضاء الزهرية الذكرية و الانثوية حيث يوجد شكلين لهذه الازهار :

أ - اما ان تكون الاسدية طويلة والقلم قصير وتسمى هذه الحالة *Thrum*. هذه النباتات المجموعة تحتوي على الاليل السائد *S* وعادة تكون هجينة اي *Ss*.
ب - او الاسدية قصيرة والقلم طويل وتسمى بـ *Pin* نباتات هذه المجموعة تحتوي على الاليل المتنحي *s* ويجب ان تكون نقية للاليلين لانها متنحية اي *ss*.
ان التلقيح الذاتي بين نباتين من نفس المجموعة اي ازهارها من نوع *Thrum* او من نوع *Pin* ينتج عنة حالة عدم توافق اي لا تتكون بذور وكما موضح :

الانبوب اللقحي لا ينمو (عقيم) ← $pin \times pin$
الانبوب اللقحي لا ينمو (عقيم) ← $Thrum \times Thrum$

اما الحالات التي يتم فيها نجاح التلقيح والاصحاب وتكوين البذور، فهي عندما تكون الازهار مختلفة اي الازهار الذكرية من نوع *pin* والازهار الانثوية من نوع *Thrum* او بالعكس وكما موضح :

الانبوب اللقحي ينمو (توافق) ← $Thrum \times pin$
 $Ss \quad ss$

الانبوب اللقحي ينمو (توافق) ← $pin \times Thrum$
 $ss \quad Ss$

تأثيرات درجة الحرارة على ظاهرة عدم التوافق الذاتي :

ان لدرجة الحرارة تأثير شديد على ظاهرة عدم التوافق الذاتي فدرجة الحرارة المرتفعة لها تأثير بالغ في تقليل تكوين البذور كما اتضح ذلك في نبات اللهانة، ولذلك النتائج التي توصل لها كل من *Nall* و *Odland* توضح اهمية اختيار درجات الحرارة الباردة نوعا عند اكثر السلالات او الاصناف التي توجد بها ظاهرة عدم التوافق الذاتي.

وسائل التغلب على ظاهرة عدم التوافق الجنسي الذاتي :-

1- التلقيح في الطور البرعمي :

وهو عبارة عن تلقيح البراعم الزهرية الصغيرة غير المنفتحة بحبوب لقاح من ازهار متفتحة وموجودة على النبات، وهي طريقة فعالة للتغلب على حالة عدم التوافق الذاتي في بعض محاصيل الخضر كما في اللهانة، وبواسطة هذه الطريقة تنهياً ظروف ملائمة لانبات حبة اللقاح وذلك قبل افراز المادة المانعة في مبيض الزهرة. والجدير ذكره ان من تفسيرات حالات عدم التوافق هو وجود مواد على سطح الميسم تمنع حبة اللقاح من النمو وتكوين الانبوبة اللقاحية .

2- اضافة صفة الخصب الذاتي للنبات عن طريق التهجين .

3- التلقيح قرب نهاية موسم التزهير .

4- التلقيح في درجات حرارة منخفضة .

5- استحداث الطفرات صناعية للحصول على نباتات متوافقة .

6- معاملة مياسم الازهار بمعاملة مختلفة قبل وضع حبوب اللقاح عليه، فقد ذكر Allard ان ازالة سطح الميسم قبل وضع حبوب اللقاح عليه قد ساعد على اتمام الاخصاب في الشلغم واللهانة والفجل.