الفصل الرابع عشر

الهجن النوعية

مقدمة

يلجأ المربى إلى التهجين بين أنواع نباتية مختلفة Interspecific Hybridization عندما يتعذر عليه العثور على الصفات المرغوب فيها داخل النوع الذى ينتمى إليه المحصول الذى يقوم بتحسينه. وقد يكون التهجين مع نوع نباتى آخر من نفس الجنس، أو من جنس آخر من نفس العائلة. ويستعان بمثل هذه الهجن النوعية لنقل جين واحد، أو مجموعة من الجينات المرغوب فيها من نوع إلى آخر، أو للتوصل إلى صفات جديدة ليست موجودة فى أى من النوعين منفردًا. كما تجرى الهجن النوعية فى كثير من الأحيان، لمجرد تجربة ما يمكن أن تسفر عنه هذه الهجن.

وبرغم وجود أمثلة عديدة لهجن نوعية ناجحة .. إلا أنه توجد حالات يستحيل فيها إجراء الهجن النوعية، وقد يمكن إنتاج الهجين النوعى (الجيل الأول) ولكنه يكون عقيمًا، أو قد يبدأ التدهور والعقم فى الجيل الثانى. وقد توصل مربو النبات إلى طرق فعالة للتغلب على كثير من مشاكل إنتاج الهجن النوعية فى حالات خاصة.

وغنى عن البيان أن لا يمكن دراسة الهجن النوعية Interspecific Hybrids بمعزل عن التضاعف الهجينى Alloploidy؛ وذلك لأن التضاعف الهجينى يستلزم حدوث هجن نوعية ابتداء. كما أن كثيرًا من أمثلة الهجن النوعية الناجحة التى يأتى بيانها فى هذا الفصل هى لأنواع (هجن نوعية) متعددة المجموعة الكروموسومية شبيهة بالثنائية Amphidiploids.

إن معظم الهجن النوعية التى يجريها مربى النبات تكون بين المحاصيل الزراعية وأنواع أخرى برية قريبة منها؛ بغرض الحصول على جينات مرغوب فيها من الأخيرة. ومن الطبيعى أن يتلقى الجيل الأول الهجين نصف جيناته من الأب البرى؛ لذا .. فإنه

لا يصلح للزراعة التجارية. ويتطلب الأمر إجراء عديد من التلقيحات الرجعية إلى النوع المحصولى، مع محاولات لكسر الارتباطات غير المرغوب فيها – إن وجدت – ليمكن إنتاج سلالة تربية من النوع المحصولى تحتوى على الجين المرغوب فيه من النوع البرى لاستخدامها – بعد ذلك – فى برامج التربية لتحسين المحصول بالطرق الأخرى. ويعرف برنامج التربية الذى يتمخض عنه سلالات كهذه باسم التربية السابقة pre-breeding، أو تربية سلالات الآباء parent-line breeding.

هذا .. إلا أن الأنواع المحصولية والأنواع البرية ربما لا تختلف كثيرًا – وراثيًا – عن بعضها، بسبب ما يكون قد حدث بينها من تبادل جينى فى الطبيعة فى أزمنة سابقة. وبرغم أن الهجن النوعية لا تكون صعبة فى حالات كهذه، إلا أنها لا تكون ضرورية أيضًا؛ نظرًا لأن الجينات المرغوب فيها غالبًا ما تكون قد انتقلت – بالفعل – من النوع البرى إلى النوع المحصولى فيما يعرف باسم Introgerssion.

ويمكن إيجاز أهم الأهداف التى يسعى إليها المربى من إجرائه للهجن النوعية، فيما يلى:

١ – نقل جينات مرغوب فيها من نوع نباتى لآخر، مثل تلك المسئولة عن المقاومة للأمراض والآفات، وتحمل الظروف البيئية القاسية، والعقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى، وجينات استعادة الخصوبة ... إلخ.

٢ – لدراسة احتمالات الحصول على قوة هجين أكبر كما فى الهجن النوعية لقصب السكر والبطاطس.

٣ – للحصول على أنواع جديدة مضاعفة هجينيًا، مثل الترتيكيل triticale.

٤ – لدراسة العلاقات التطورية بين الأنواع.

مستويات الصعوبات التى تواجه إنتاج الهجن النوعية

يقسم Hawkes (١٩٨٣) المستويات المختلفة للصعوبات التى تواجه المربى عند إجراء الهجن النوعية إلى خمسة مستويات تتدرج بالزيادة فى صعوباتها كما يلى:

المستوى الأول:

يعد هذا المستوى أقلها صعوبة؛ وفيه يكون النوع المحصولى والنوع البرى متقاربين

من بعضيهما وراثيًا؛ أى يكونان من مجمع جينى gene pool واحد؛ بسبب ما يكون قد حدث بينهما من تبادل جينى فى الطبيعة فى أزمنة سابقة، ومن أمثلة ذلك الهجين النوعى:

L. esculentum × *L. pimpinellifolium*

المستوى الثانى:

نجد فى هذا المستوى أن النوع المحصولى والنوع البرى ينتميان إلى مجمعات جينية مختلفة، إلا أن التهجين يكون ممكنًا، ويكون الجيل الأول الهجين خصبًا بدرجة عالية؛ حيث يحدث التقارن الكروموسومى بين كروموسومات النوعين فى أثناء الانقسام الاختزالى. ومن أمثلة ذلك الهجن النوعية التالية:

Oryza sativa × *O. nivara*

Lyscoersicon esculentum × *L. cheesmanii*

المستوى الثالث:

يعد هذا المستوى أكثر صعوبة، وفيه يختلف النوع المحصولى عن النوع البرى فى عدد الكروموسومات إلا أن الجيل الأول الهجين يمكن جعله خصبًا؛ بمضاعفة كروموسومات هذا الجيل (amphidiploidy). ومن أمثلة ذلك الهجين النوعى:

Brassica oleracea × *B. rapa*

الذى يعطى النوع *B. napus*.

المستوى الرابع:

يتطلب نجاح التلقيح فى هذا المستوى إجراء معاملات خاصة مثل زراعة الأجنة فى بيئات خاصة وهى مازالت فى بدايات تكوينها، ومن أمثلة ذلك الهجن النوعية التالية:

Solanum acaule × *S. bulbocastanum*

Lycopersicon esculentum × *L. peruvianum*

المستوى الخامس:

تعد تلقيحات هذا المستوى بعيدة جدًا وصعبة، وهى التى تكون بين أنواع تنتمى إلى أجناس مختلفة؛ كالتلقيح بين الطماطم *Lycoperscan esculentum*، والبطاطس

Solanum tuberosum. وقد أمكن التغلب على مصاعب التهجين، فى حالات كثيرة كهذه بطريقة اندماج البرتوبلاست protoplast fusion فى مزارع البرتوبلاست، إلا أنه نادرًا ما أمكن دفع هذه الهجن للنمو إلى مرحلة النضج. ويعد محصول الترتيكيل Triricale – وهو هجين بين القمح *Triticum*، والشيلم *Secale* حالة شاذة؛ نظرًا لأن التهجين يجرى بسهولة تامة، وقد وجد عدة مرات فى الطبيعة.

نوعيات الصعوبات التى تواجه إنتاج الهجن النوعية

يواجه إنتاج الهجن النوعية نوعيات مختلفة من الصعوبات، كما يلى:

عوائق تقف حائلاً أمام نجاح التهجين وتكون الزيجوت الهجين

تحدث المعوقات أمام نجاح التهجينات النوعية إما بسبب عدم التوافق الجنسى، وإما بسبب تدهور الأجنة.

ويرجع عدم التوافق الجنسى إلى عدم التآلف فى تفاعلات المتاع مع حبوب اللقاح؛ الأمر الذى ينتهى بفشل البويضة فى تكوين زيجوت قادر على الاستمرار فى النمو. وعلى الرغم من أهمية ظاهرة عدم التوافق الجنسى فى الهجن النوعية فإنها لم تدرس باستفاضة مثلما درست فى التلقيحات الصنفية، وفى حالات عدم التوافق الذاتى.

ويعد تدهور الجنين، وضعفه، وعقمه أهم معوقات نجاح الهجن النوعية، وهى الظاهرة التى قد ترجع إلى عدم قدرة الجنين على إكمال نموه، أو إلى تحلل الإندوسبرم، أو إلى التكوين غير الطبيعى لنسيج البويُضة، أو إلى عدم الثبات الكروموسومى أو الوراثى (عن Singh وآخرين ١٩٩٠).

وتوصف بالتنافر – أو عدم التطابق – incongruity الحالات التى توجد فيها عوائق سابقة للإخصاب أو بعده، يكون مردها إلى ابتعاد الأنواع الملقحة معًا عن بعضها البعض إلى درجة يتسبب معها فشلاً فى تكوين علاقة تزاوج حميمة بينهما؛ لعدم توفر معلومات وراثية فى أحد الأنواع المهجنة عن العوامل الحرجة فى النوع الآخر. قد تتضمن ظاهرة التنافر سوء الاتصال بين حبة اللقاح والطور الجاميطى أو الاسبوروفيتى للبنات الأم. وقد يظهر التنافر على صورة فشل حبة اللقاح فى التشبع بالرطوبة، أو الإنبات، أو اختراق الميسم، أو يكون بسبب فشل أنبوبة اللقاح فى الانفجار لإطلاق الأنوية الذكرية، أو

بسبب فشل الأنابيب اللقاحية فى الوصول إلى البويضات، أو بسبب إجهاض الجنين، أو فشل الإندوسبرم فى التكوين، أو حتى بسبب تدهور الجنين وتحلله بعد بداية تكوينه (عن Liedl & Anderson ١٩٩٣).

ويلخص Allard (١٩٦٤) أهم الأسباب التى تقف حائلاً أمام نجاح إجراء التهجينات النوعية، فيما يلى:

١ – وجود عوائق أمام نمو حبة اللقاح:

فمثلاً .. قد يكون قلم الزهرة فى النوع المستخدم كأم أطول من قلم الزهرة فى النوع المستخدم كأب، وهو ما يعنى أن على حبوب اللقاح أن تنمو – فى مثل هذه الحالات – لمسافة أطول مما تكون عليه الحال فى الظروف الطبيعية. وقد يلجأ المربى إلى مضاعفة كروموسومات أحد الأبوين؛ لزيادة فرصة نجاح التهجين، إلاّ أن ذلك قد يؤدى إلا نتائج عكسية، إذا كان النوع المتضاعف هو المستخدم كأب، لأن حبوب اللقاح تكون ثنائية المجموعة الكروموسومية وسميكة، وقد يصعب عليها الإنبات فى قلم زهرة النوع الثنائى المستخدم كأم.

٢ – وجود عوائق أمام نمو الجنين:

قد يتم التلقيح والإخصاب بصورة طبيعية، وتنقسم اللاقحة، ويبدأ تكوين الجنين، إلاّ أنه لا يكمل نموه، وقد يتكون الجنين بصورة طبيعية، إلا أنه يتدهور فى أولى مراحل نموه الخضرى بعد زراعة البذور ويطلق على هذه الحالات مجتمعة اسم Hybrid Inviability؛ وهى ترجع إما إلى عدم التوافق بين التراكيب الوراثية لنوع الأبوين، وإما إلى عدم التوافق بين الجنين النامى والإندوسبرم. وتعرف الحالة الثانية فقط – أى حالة عدم التوافق بين الجنين النامى والإندوسبرم – باسم Somatoplastic sterility، وهى تحدث فى بعض الهجن النوعية البعيدة، التى لا يتكون فيها الإندوسبرم بصورة طبيعية؛ ويؤدى ذلك إلى عدم استطاعة الجنين إكمال نموه، لأنه يعتمد فى غذائه على الإندوسبرم، وقد يتكون نمو سرطانى يحيط بالجنين إحاطة تامة، ويترتب على ذلك توقف نمو الجنين واندثاره بعد فترة وجيزة من بداية تكوينه. ويتم التغلب على هذه المشكلة – عادة – بزراعة الأجنة، وهى فى المراحل الأولى لتكوينها – فى بيئات خاصة.

ضعف وعقم الجيل الأول للهجين النوعى

يمكن فى بعض الأحيان الحصول على بذور من الهجن النوعية الصعبة. وتعطى هـذه البذور عند زراعتها نباتات تامة النمو وخصبة أحيانًا، إلا أنها قد تكون عقيمـة – تمامًـا – أو قد تكون ضعيفة إلى درجة تجعلها عديمة الفائدة للمربى.

ويرجع ضعف نباتات الجيل الأول للهجن النوعية إلى أى من الأسباب التالية:

١ – وجود اختلافات تركيبية structural differences بـين كروموسـومات النوعـين المهجنين يصعب معـها تقـارن الكروموسـومات ثـم انفصالهـا عـن بعضـها البعـض أثنـاء الانقسـام الاخـتزالى، وتعـرف تلـك الحالـة باسـم العقم الكروموسـومى chromosomal sterility.

٢ – عدم التوافق بين كروموسومات أحد النوعين وسيتوبلازم النوع الآخر، وقد تؤدى تلك الحالة إلى ضعف النباتات الهجين أو موتها.

٣ – عـدم التوافـق بـين الـتركيب الوراثـى للزيجـوت الهجـين، والـتركيب الوراثـى للإندوسبرم أو النسيج الأمى الذى يتصل به الجنين النامى.

أما عقم الجيل الأول الهجين، فإنه قد يكون أحد نوعين، كما يلى:

١ – عقم عاملى Genic Sterility:

يرجع العقم العاملى إلى وجود اختلافات كبيرة بين العوامل الوراثيـة للأبويـن، ومـن مظاهره .. عدم قدرة النبات على إنتاج أزهار، أو عدم قدرته على إتمام عمليـة الإنقسـام الاختزالى.

٢ – عقم كروموسومى Chromosomal Sterility:

يرجـع العقـم الكروموسـومى إلى وجـود اختلافـات عدديـة أو تركيبيـة كبـيرة بـين كروموسـومات الأبـوين، ومن مظاهرة عدم تقارن كروموسـومات الأبويـن بشـكل تـام فـى أثناء الانقسام الاختزالى، وحدوث تقارن بين أكثر من كروموسـومين فـى وحـدة واحـدة، وظهور تكوينات غير طبيعية للتقارن الكروموسـومى فى أثناء الانقسام الاختزالى.

ومن أمثلة الهجن النوعية العقيمة الهجين بين المشـمش *Prunus armenica*، واللـوز *Prunus amygdalus*، وهما نوعان قريبان نباتيًا، وفيهما ٢ن = ١٦. أجـرى التـهجين،

بغرض نقل بعض الصفات الهامة من المشمش إلى اللوز، وهى المقاومة للعناكب، وبكتيريا التثأل التاجى، ونيماتودا تعقد الجذور، وتحمل الرطوبة الأرضية الزائدة، والنضج المبكر. وقد أمكن – من عدد كبير من التلقيحات – الحصول على عدد قليل من النباتات الهجين التى كانت وسطًا فى صفاتها الخضرية، وأنتجت قليلاً من حبوب اللقاح الخصبة، إلا أنها كانت عقيمة أنثويًا تمامًا (Jones ١٩٦٨).

هذا .. ولا يكون لعقم الجيل الأول الهجين أية أهمية فى المحاصيل التى يمكن إكثارها خضريًا، وتزرع لأجل أجزائها الخضرية كما فى عديد من نباتات الزينة.

ومن أهم وسائل التغلب على حالة العقم فى الجيل الأول الهجين ما يلى:

١ – تلقيح الجيل الأول – رجعيًا – إلى أحد الأبوين، أو إلى كليهما؛ فقد تكون النباتات الناتجة من التلقيح الرجعى الأول لأحد الأبوين خصبة.

٢ – مضاعفة كروموسومات الهجين النوعى؛ للتغلب على حالة العقم الكروموسومى.

٣ – تطعيم الهجين النوعى على أصل من أى من نوعى الآباء، أو من نوع أو جنس آخر، ويؤدى ذلك أحيانًا إلى تهيئة الهجين النوعى – فسيولوجيًا – بطريقة تسمح بالتغلب على حالة العقم الجينى.

تدهور الجيل الثانى للهجن النوعية

يحدث تدهور الهجين hybrid breakdown فى الجيل الأول، أو الجيل الثانى – أو حتى فى الأجيال التالية لذلك فى الهجن النوعية – حينما تحدث أى مظاهر غير طبيعية تعوق استمرار النمو والتطور الطبيعيين؛ فيما يوصف – كذلك – باسم التدهور degeneration.

ومن أبرز مظاهر التدهور: ضعف النباتات، أو بطء نموها، أو تقزمها، وضعف خصوبة أعضاء التذكير، وضعف القدرة على إنتاج النسل، والاصفرار، وتشوه النمو الخضرى، مثل تشوه الأوراق وتكون الجذور العرضية (عن Liedl & Anderson ١٩٩٣).

وقد فسرت حالات التدهور تلك على أساس أن النبات يكون خصبًا عندما يحتوى على عوامل وراثية مكملة لبعضها البعض. فمثلاً .. قد يكون العامل A مكملاً للعامل B،

و العامل a مكملاً للعامل b، إلا أن العامل A لا يكون مكملاً للعامل b، ولا العامل a مكملاً للعامل B، وتحتوى الأنواع المهجنة على هذه العوامل فى صورة مكملة لبعضها، وتكون خصبة؛ كأن تكون aa bb، و AA BB، ويكون الجيل الأول الهجين بينها ذا تركيب وراثى Aa Bb وخصبًا أيضًا. أما الجيل الثانى .. فتظهر فيه انعزالات كثيرة، يكون بعضها خصبًا؛ مثل aa bb، و A- B-، ويكون بعضها عقيمًا؛ مثل aa B-، و A- bb.

طرق التغلب على مشاكل إنتاج الهجن النوعية

معالجة مشكلة عدم نجاح التهجين النوعى

توصل مربو النبات إلى طرق فعالة للتغلب على كثير من مشاكل إنتاج الهجن النوعية فى حالات خاصة إلا أن هذه الطرق لا تكون - دائمًا - مجدية فى كل الحالات؛ ولذا .. فإنه يلزم استمرار التجربة والخطأ ومحاولة استنباط وسائل جديدة تناسب كل حالة.

ومن الطرق التى أمكن التوصل إليها ما يلى:

١ - مضاعفة كروموسومات أحد - أو كلا - الأبوين الداخلين فى التهجين، وسوف نتناول هذا الموضوع بالشرح تحت عنوان مستقل نظرًا لأهميته.

٢ - زراعة جنين أحد النوعين غير المتوافقين فى إندوسبرم النوع الآخر. وتعطى هذه الأجنة نباتات أكثر توافقًا مع النوع الذى استخدم إندوسبرمه عن النباتات العادية؛ فمثلاً .. وجد أن زراعة أجنة القمح فى إندوسبرم الشيلم يعطى نباتات قمح أكثر توافقًا فى التلقيح مع الشيلم عن نباتات القمح العادية (عن Elliott ١٩٥٨). كما أمكن إنتاج هجن القمح مع الشعير بزراعة الأجنة - وهى فى بداية تكوينها فى إندوسبرم الشعير، وقد كانت هذه الهجن عقيمة ذكريًا، ولكنها أنتجت بذورًا عندما لقحت بالقمح، واحتوت النباتات الناتجة على كل كروموسومات القمح ونصف كروموسومات الشعير (Jan وآخرون ١٩٨٢).

٣ - فصل الأجنة النامية وزراعتها فى بيئات خاصة فى الحالات التى لا يوجد فيها توافق بين الجنين النامى والإندوسبرم، ويكون الهدف الأساسى من ذلك هو مد الجنين

النامى بكل احتياجاته الغذائية؛ لمساعدته على النمو قبل أن يبدأ فى تكوين الأوراق والاعتماد على نفسه.

٤ – محاولة إجراء التهجين بين أصناف مختلفة من كلا النوعين؛ نظرًا لأن بعض الأصناف تكون متوافقة أكثر من غيرها. ويفيد فى هذه الشأن استعمال مخلوط من حبوب لقاح عدة أصناف فى تلقيح كل واحد من هذه الأصناف، ولكن يعاب على هذه الطريقة عدم معرفة هوية الأب الذى يكون متوافقًا مع الصنف المستخدم كأم.

إن من أهم الإنجازات التى تحققت فى مجال تربية النباتات تلك التى تضمنت إجراء تهجينات بين أنواع بعيدة تقسيميًا عن بعضها البعض؛ والتى نُقلت من خلالها صفات غاية فى الأهمية من الأنواع البرية إلى الأنواع المزروعة القريبة منها، ولقد كان اللجوء إلى مزارع الأجنة بهدف إنجاح تلك التهجينات والحصول منها على أجنة هجين مكتملة التكوين أحد أهم الوسائل التى لاقت نجاحًا كبيرًا فى هذا الشأن، حيث استخدمت فى عديد من الهجن النوعية، نذكر منها – على سبيل المثال – تلك التى أجريت فى الأجناس التالية:

Lycopersicon	*Oryza*	*Phaseolus*
Brassica	*Medicago*	*Hordeum*
Agropyron	*Triticum*	*Arachis*
Gossypium	*Glycine*	*Allium*
Trifolium	*Populus*	*Helianthus*
Lotus	*Vitis*	*Carica*
Citrus	*Actinidia*	*Solanum*

ولمزيد من التفاصيل عن أهمية استخدامات مزارع الأجنة فى نجاح إجراء الهجن النوعية .. يراجع Sharma وآخرين ١٩٩٦.

٥ – استعمال مخلوط من حبوب لقاح كلا النوعين عند إجراء التهجين؛ فيضاف – أولاً – إلى ميسم الأم كمية قليلة من لقاحها، ثم تضاف – بعد ذلك بفترة وجيزة – كمية أكبر من حبوب لقاح النوع المستخدم كأب، وتفيد حبوب لقاح الأم فى إخصاب بعض البويضات؛ فلا تسقط الزهرة مبكرة؛ وبذا تتوفر فرصة أكبر أمام حبوب لقاح نوع الأب لإخصاب بقية البويضات.

٦ – إجراء التهجين فى كلا الاتجاهين؛ أى استعمال كل من النوعين كآباء وكأمهات فى تلقيحات مختلفة؛ لأن التهجين قد يكون غير ناجح فى أحد الاتجاهين، ولكنه ناجح فى الاتجاه الآخر.

ويفضل أن يكون التهجين فى اتجاه معين فى الحالات الخاصة التالية:

أ – عند اختلاف عدد كروموسومات الأبوين .. يفضل استخدام النوع الأكثر فى عدد الكروموسومات كأم، ولكن خلافًا لهذا الاعتقاد .. فإن عديدًا من الهجن البعيدة مع القمح يمكن عملها عندما يستعمل النوع الذى يحتوى على العدد الأقل من الكروموسومات كأم (Sharma ١٩٩٥).

ب – يفضل فى حالة مضاعفة كروموسومات أحد النوعين أن يستخدم النوع المضاعف كأم.

جـ – فى حالة وجود ظاهرة عدم التوافق الذاتى فى أحد النوعين .. يفضل استعماله كأب.

٧ – محاولة إجراء التلقيح فى مراحل مختلفة من النمو البرعمى والزهرى، وغالبًا ما تكون التلقيحات البرعمية أكثر نجاحًا من تلك التى تجرى فى الوقت الطبيعى.

٨ – إزالة الميسم بجزء من القلم؛ لأن ذلك يقلل المسافة التى تجب أن تقطعها الأنبوبة اللقاحية، التى غالبًا ما تقطعها ببطء وصعوبة. وفى هذا الشأن .. أفادت إضافة كمية صغيرة من الآجار مع السكر مكان الميسم المقطوع قبل إجراء التهجينات النوعية فى الجنس *Solanum*.

٩ – معاملة متاع الأم ببعض منظمات النمو؛ مثل بتيا نفثوكس حامض الخليك βNAA لمنع سقوط الأزهار مبكرًا.

١٠ – تطعيم النوع المستخدم كأم على أصل من النوع المستخدم كأب. وتفيد هذه المعاملة فى تهيئة الطعم (الأم) فسيولوجيًا لاستقبال حبوب لقاح النوع الآخر.

١١ – إذا كان من الصعب تهجين نوعين (أ)، و (ب) مباشرة .. فيفضل تهجين أحدهما – وليكن (أ) – مع نوع ثالث (جـ)، ثم تلقيح الهجين (أجـ) مع النوع الثانى (ب). ويسمى النوع (جـ) فى هذه الحالة باسم النوع القنطرى Bridge Species (Briggs & Knowles ١٩٦٧).

١٢ – معاملة الأزهار عند إجراء التهجينات بمركب أمينوإيثوكسى فينيل جليسين aminoethoxyvinylglycine:

أدت المعاملة إلى تأخير سقوط الأزهار، إلى أن وصلت الأنابيب اللقاحية إلى البويضات. ويحدث المركب تأثيره بمنع تمثيل الإثيلين، وهو الهرمون الذى يعرف بدوره فى التعجيل بالشيخوخة، وتساقط الأزهار والثمار (Custers & Den Nijs ١٩٨٦).

١٣ – استخدام مزارع المبايض والبويضات.

١٤ – إدخال حبوب اللقاح فى المبيض مباشرة Intraovarian Pollination:

يتم فى هذه الطريقة حقن معلق لحبوب اللقاح مباشرة داخل المبيض من خلال ثقب جانبى فى المبيض، مع عمل ثقب فى الجانب الآخر؛ للسماح بخروج الهواء، يستمر حقن المعلق إلى أن يمتلئ كل فراغ المبيض ويظهر ذلك بخروج السائل من الثقب المقابل. ويلى ذلك .. سد الثقوب بجلى بترولى، اتبعت هذه الطريقة بنجاح فى بعض الهجن النوعية مثل *Argemone mexicana* × *A. ochroleuca* (عن Bhojwani & Razdan ١٩٨٣).

١٥ – تقنية مزارع الأزهار:

أمكن تهجين الفجل *Raphanus sativus* مع لفت الزيت *Brassica napus* بالاستعانة بتقنية مزارع الأزهار flower-culture technique دونما حاجة إلى مزارع مبايض أو مزارع أجنة (Metz وآخرون ١٩٩٥).

معالجة مشكلة التنافر

إن من أهم الطرق التى اقترحت حديثًا للتغلب على ظاهرة التنافر فى الهجن النوعية – وهى التى تؤدى إما إلى عقم الجيل الأول الهجين، وأما تدهوره فى الأجيال التالية – ما يلى:

١ – التلقيح الرجعى للتغلب على التنافر Congruity Backcrossing:

يتم فى هذه الطريقة إجراء التهجين الرجعى لأحد الأبوين – بالتبادل – فى الأجيال المتعاقبة، كما يلى:

النسل	نسبة جينات A	نسبة جينات B	السيتوبلازم
A × B	٥٠,٠	٥٠,٠	A
(A × B) × A	٧٥,٠	٢٥,٠	A
[(A × B) × A] × B	٣٧,٥	٦٢,٥	A
[(A × B) × A) × B] × A	٦٨,٧٥	٣١,٢٥	A

وتفيد هذه الطريقة عندما يخشى من تدهور الخصوبة بعد الجيل الأول الهجين، ومن مظاهر ذلك عدم اكتمال خصوبة الهجين ذاته بالدرجة الكافية.

٢ – التلقيح القنطرى المتكرر للهجين:

يتم فى هذه الطريقة المقترحة للتغلب على التنافر استعمال الجيل الأول الهجين النوعى كقنطرة لنقل نواة أحد النوعين إلى سيتوبلازم النوع الآخر، كما يلى (عن Liedl & Anderson ١٩٩٣):

النسل	نسبة جينات A	نسبة جينات B	السيتوبلازم
A × B	٥٠,٠	٥٠,٠	A
B × (A × B)	٢٥,٠	٧٥,٠	B
[B × (A × B)] × (A × B)	٣٧,٥	٦٢,٥	B
[(B × (A × B)) × (A × B)] × (A × B)	٤٣,٧٥	٥٦,٢٥	B
[((B × (A×B)) × (A×B)) × (A×B)] × A	٧١,٨٧٥	٢٨,١٢٥	B

التغلب على مشكلة العقم بمضاعفة الكروموسومات

عندما يكون الجيل الأول للهجن النوعية عقيمًا عقمًا تامًا .. فإن مضاعفة عدد كروموسومات الجيل الأول الهجين وجعله متضاعفًا هجينيًا amphiploid تعد أفضل وسيلة للتغلب على مشكلة العقم؛ لتأمينها لحدوث اقتران كروموسومى كامل بين كروموسومات متماثلة.

ولقد ساعد التحكم فى مستوى التضاعف الكروموسومى فى حالات الهجن النوعية، فيما يلى:

١ – التغلب على مشكلة عدم التوافق الخلطى.

٢ – توفير التوازن المطلوب لتقبُّل الهيئة الكروموسومية الغريبة.

٣ – استعادة الخصوبة فى الهجن العقيمة.

٤ – توفير قنطرة وراثية genetic bridge لنقل الجينات بين الأنواع.

٥ – تنظيم تقارن الكروموسومات لتأمين نقل أجزاء كروموسومية تحوى الجينات المرغوب فيها.

من بين الأمثلة الناجحة لتلقيحات نوعية أفاد فيها إحداث التضاعف الكروموسومى تلك التى أجريت فى أجناس معينة، مثل: *Trifolium*، و *Medicago*، و *Hibiscus* (عن Singh ١٩٩٣).

رقم توازن الإندوسبرم وأهميته فى التغلب على العقم فى الهجن النوعية

أهمية الإندوسبرم فى نمو الجنين واكتمال تكوينه

نجد فى حالات الهجن النوعية التى ينهار فيها تكوين الإندوسبرم أن التزاوج يحدث ويبدأ تكوين الجنين، ولكن ما أن تتكون حوالى ١٠–١٥ خلية إندوسبرمية حتى يفشل هذا الإندوسبرم الناشئ فى التميز كمصدر لتغذية البذرة. ومع اضطراب التوازن الغذائى يحدث نمو زائد – بصورة غير طبيعية – للنسيج الأمى، يتبعه انهيار الإندوسبرم. ويؤدى ذلك التدهور فى الإندوسبرم التى تحلل الجنين. وتلك هى المراحل التى تحدث فى كل الهجن النوعية التى يفشل فيها تكوين الإندوسبرم، وإن اختلفت فى سرعة حدوثها بين مختلف الهجن (عن Liedl & Anderson ١٩٩٣).

أهمية توازن العدد الكروموسومى فى تكوين الإندوسبرم

يعتقد أن عدم التناسق الكروموسومى فى الهجن النوعية قد يؤدى إلى الإنتاج الهرمونى غير المتوازن من قِبَل الإندوسبرم؛ ومن ثم تدهور الجنين، أو قد تؤدى حالة عدم التناسق الكروموسومى تلك إلى الإنتاج غير المنظم لإنزيمات الـ nucleases والـ proteases التى قد تقود إلى حدوث تحلل ذاتى للإندوسبرم وهضم للجنين (Lester & Kang ١٩٩٨).

تقريم لنظرية عدد توازن الإندوسبرم

بناء على ما تقدم بيانه .. فقد فُسِّرَ تكوين الإندوسبرم من عدمه فى الهجن النوعية على أساس ما يعرف بنظرية "عدد توازن الإندوسبرم" Endosperm balance number (اختصارًا: EBN). وحسب تلك النظرية، فإن الـ EBN يجب أن يكون بالنسبة المناسبة فى الإندوسبرم، وهى: اثنان EBN أميان: واحد EBN أبوى، لكى يتكون الإندوسبرم بصورة طبيعية؛ علمًا بأن الـ EBN لا يرتبط مباشرة بمستوى التضاعف؛ فقد يختلف الـ EBN بين نوعين بهما نفس مستوى التضاعف، وقد يتساوى الـ EBN فى نوعين يختلفان فى مستوى التضاعف.

وتفترض النظرية أن الـ EBN يتحكم فيه جينات معينة تحمل على كروموسوم أو أكثر من الهيئة الكروموسومية للنوع المعنى، ولكن تلك العوامل المسئولة عن الـ EBN لم تحدد بعد، ولم يعرف أى دليل على وجودها.

نظرية رقم توازن الإندوسبرم

يتوقف استمرار الجنين فى نموه إلى حين اكتمال تكوينه – فى كل مغطاة البذور – على النمو الطبيعى للإندوسبرم؛ وبذا .. فإن التكوين الطبيعى للإندوسبرم يعد متطلبًا أساسيًا لنجاح أى تهجين نوعى. ومن أهم شروط التكون الطبيعى للإندوسبرم أن تكون نسبة الكروموسومات الأمية إلى الأبوية ٢ : ١؛ الأمر الذى يتحقق فى التلقيحات الصنفية وفى عديد من التهجينات النوعية. هذا إلا أنه يعرف العديد من التلقيحات النوعية التى لا يعتمد فيها التكون الطبيعى للإندوسبرم على النسبة ٢ : ١ للكروموسومات الأمية والأبوية، ومثال ذلك التهجين بين *Solanum acaule* (وفيه ٢ن = ٤س = ٤٨ كأم، و *S. tuberosums* وفيه (٢ن = ٤س = ٤٨) كأب، والذى لا يعطى أى بذور، بينما يتلقح *S. acaule* بنجاح تام مع أنواع كثيرة ثنائية التضاعف وحتى مع *S. tuberosun* الثنائى (٢ن = ٢س = ٢٤). ويعنى ذلك أنه على الرغم من توفر النسبة الكروموسومية ٢ : ١ فى التهجين بين *S. acaule* والبطاطس الرباعية فإن الجنين يفشل فى إكمال نموه، بينما تنجح التهجينات بين *S. acaule* والأنواع الثنائية، وهى التلقيحات التى تكون فيها النسبة الكروموسومية ٤ : ١.

ولتفسير تلك النتائج المخالفة للنظرية التى كانت سائدة وضع Johnston فى عام ١٩٨٠ نظرية جديدة أطلق عليها نظرية رقم توازن الإندوسبرم endosperm balance number (اختصارًا EBN)؛ لأجل تحديد عامل واحد موحد يتحكم فى التكوين الطبيعى للإندوسبرم فى الهجن الصنفية التى تتضمن مستويات مختلفة من التضاعف، وكذلك فى الهجن النوعية.

وتبعًا لتلك النظرية .. فإن لكل نوع مستوى معين من التضاعف خاص بهيئته الكروموسومية، يعرف برقم التوازن الإندوسبرمى EBN هو الذى يحدد تطور تكوين الإندوسبرم فى التلقيحات مع الأنواع الأخرى. ولكى تكون التلقيحات ناجحة، فإن إندوسبرم الهجين يجب أن تكون فيه نسبة EBN ٢ من الأم: ١ من الأب. وإذا ما انحرفت نسبة الـ EBN عن ذلك فإن الإندوسبرم يتحلل أثناء تكونه.

وتجدر الإشارة إلى أن رقم توازن الإندوسبرم قد يختلف بين نوعين يتماثلان فى مستوى التضاعف. فمثلاً .. يتلقح *Solanum chacoense* الثنائى التضاعف (٢س) بسهولة مع النوع *S. acaule* الرباعى (٤س)؛ لينتج نسل ثلاثى التضاعف (٣س)، بينما لا يتلقح *S. chacoense* الثنائى التضاعف مع *S. tuberosum* الرباعى التضاعف؛ مما يدل على أن الأخير ليس له نفس رقم التوازن الإندوسبرمى الخاص بالنوع *S. chacoense*. وقد وجد أن مضاعفة عدد كروموسومات *S. chacoense*. ليصبح رباعى التضاعف (٤س)، تجعله يتلقح بسهولة تامة مع *S. tuberosum*. ويعنى ذلك أن عدد التوازن الإندوسبرمى فى *S. tuberosum* الرباعية التضاعف لابد وأن يكون أربعة.

وتبعًا لما سبق بيانه، وتأسيسًا على نظرية رقم توزان الإندوسبرم .. فإن التهجين بين *S. acaule* و *S. tuberosum* يجب ألا يعطى إندوسبرم طبيعى إلاّ عندما يكون بين *S. acaule* مضاعفة (٤س)، و *S. tuberosum* (٢س)، أو بين *S. acaule* ثمانية (٨س) مع *S. tuberosum* عادية (٤س)، وهذا ما ثبت بالفعل. ولقد تأكدت صحة هذه النظرية من خلال تلقيحات أخرى نوعية فى الأجناس *Solanum*، و *Impatiens*، و *Trifolium*، و *Avena*. وتفسر تلك النظرية – كذلك – الاختلافات المشاهدة بين الهجن النوعية فى اتجاه ما والهجن النوعية ذاتها فى الاتجاه الآخر؛ فعلى الرغم من أن التركيب الوراثى للجنين يكون متماثلاً فى الحالتين، إلاّ أن الإندوسبرم سوف يختلف فى نسبة الـ

EBN، فمثلاً يعطى التلقيح: (4EBN x 2EBN) نسبة EBN أمية: أبوية ٤ : ١، بينما تكون تلك النسبة فى التلقيح العكسى ١ : ١.

ويستفاد مما تقدم أن اشتراك النوعين فى نفس مستوى التضاعف ليس شرطًا لنجاح التهجين النوعى بينهما؛ فالعبرة هى فى أن تكون نسبة رقم التوازن الإندوسبرمى الأمى إلى الأبوى ٢ : ١؛ وفى المقابل .. يمكن الاستفادة من التضاعف فى توفير رقم التوازن الإندوسبرمى المناسب لتحقيق النسبة المطلوبة لنجاح التهجين.

وعندما تتوفر لدينا معلومات عن رقم توازن الإندوسبرم فى مجموعة من الأنواع التابعة لجنس ما فإنه يمكن التنبؤ بإمكان نجاح أى تهجين نوعى من عدمه، وبما يلزم إحداثه من تضاعف كروموسومى لتأمين نجاح التهجين.

وعلى الرغم من أن تحقيق نسبة رقم توازن الإندوسبرم الأمية إلى الأبوية يعد ضروريًا لنجاح التهجين النوعى، إلاّ أن التهجين قد يفشل لأسباب أخرى، مثل العوائق السابقة للإخصاب وعدم التوافق بين الهيئات الكروموسومية للأنواع المهجنة.

وقد أوضحت دراسات أخرى حديثة أن رقم توازن الإندوسبرم ليس خاصًا بكل البيئة الكروموسومية؛ ففى الداتورة *Datura strammonium* التى يوجد بها ١٢ كروموسومًا .. يتحدد رقم التوازن الإندوسبرمى بكروموسومين فقط؛ وفى التهجين بين *S. commersonii* كأم مع *S. chacoense* كأب وجد أن رقم التوازن الإندوسبرمى يتحكم فيه ثلاث جينات غير مرتبطة (عن Singh وآخرين ١٩٩٠).

ولمزيد من التفاصيل عن نظرية الـ EBN .. يراجع Liedl & Anderson (١٩٩٣).

الهجن النوعية الطبيعية وأهميتها فى نشأة الأنواع وتطورها

يعتقد أن أنواعًا كثيرة قد نشأت – طبيعيًا – من هجن نوعية بعيدة، وأن بعض هذه الهجن كان بين أجناس نباتية مختلفة. ومن بين النباتات التى يعتقد نشأتها بهذا الشكل السوسن، والأوركيد، والقنّا، والداليا، والجلاديولس، والورد، والبنفسج، والحور.

كما حدثت هجن نوعية كثيرة صاحبت نشأة عدد من الفواكه المهمة؛ مثل التفاح،

والبرقوق، والكريز، والبندق، والعنب، وعديد من الفواكه الأخرى ذات الثمار الصغيرة التى تتبع الجنس *Rubus*، الذى يشتمل على أنواع كثيرة جدًّا توجد فيها الكروموسومات فى مضاعفات للعدد الأساسى ٧ حتى ١٢ ضعفًا، وهو يتضمن الراسبرى rasberry (ثنائى غالبًا)، والبلاكبرى blackberry والدوبرى dewberry (معظمها ثنائية وبعضها به ٦ مضاعفات أو أكثر للعدد الأساسى) والنسبرى nessberry، واللونجانبرى longanberry، وبويزنبرى boysenberry. وقد نشأ النسبرى (٤س) من التهجين بين *Rubus trivialis* (٢س)، و *R. strigosus* (٢س)؛ حيث إن الأول هو الدوبرى الجنوبى، والثانى هو الراسبرى الأمريكى، ونشأ اللونجانبرى *R. longanbaccus* (٦س) من التهجين بين الدوبرى الأمريكى *R. ursinus* (٨س)، والراسبرى الأوروبى *R. idaeus* (٢س)؛ حيث اتحدت جاميطات (٢ن) من الثانى مع جاميطات (١ن) من الأول. وقد تهجن اللونجانبرى بدوره مع الدوبرى الشرقى، ونتج من ذلك الينجبرى youngberry الذى يحتوى على نفس عدد الكروموسومات مثل اللونجانبرى، ولكنه لا يلقّح معه.

وقد نشأت بعض المحاصيل الاقتصادية المهمة مثل القمح، والشوفان، والقطن، وبعض الكرنبيات، والتبغ، وقصب السكر (وهى التى تعد نباتات متضاعفة هجينيًّا، شبيهة بالثنائية amphidiploids) من هجن نوعية بعيدة. وفيما عدا ذلك .. فلم يكن للهجن النوعية الطبيعية دور كبير فى نشأة محاصيل الحبوب، والألياف، والزيوت، والعلف. كما لم تتأثر محاصيل الخضر – كثيرًا – بالهجن النوعية الطبيعية باستثناء البطاطس، والبطاطا.

الهجن النوعية الصناعية وأهميتها فى تربية النباتات وتحسينها

مقدمة

تجرى التهجينات النوعية – بصورة أساسية – بهدف نقل جين ما مرغوب فيه أو عدد قليل من الجينات من نوع لآخر، ونادرًا ما تجرى بهدف تركيب نوع نباتى جديد.

وعندما يكون الهدف من التهجين النوعى نقل جين أو جينات معينة من نوع برى لأحد الأنواع المزروعة، فإن استمرار التهجين الرجعى للأب المزروع يعمل على عودة عدد

الكروموسومات إلى ذلك الخاص بالنوع المزروع، مع استعادة الصفات البستانية أو المحصولية لهذا النوع. ولقد اتبعت تلك الطريقة فى نقل جينات مرغوب فيها إلى الأنواع المحصولية المزروعة فى عديد من الحالات؛ منها الأجناس: *Nicotiana*، و *Brassica*، و *Triticum* (عن Singh وآخرين ١٩٩٠).

وعندما تكون كروموسومات النوعين المهجنين متماثلة فى العدد والتركيب، فإنها تتقارن فى الجيل الأول الهجين، وتكوّن وحدات ثنائية الكروموسوم bivalents بانتظام أثناء الانقسام الاختزالى؛ وبذا .. تكون نباتات الجيل الأول خصبة.

ومن أمثلة تلك التهجينات، ما يلى:

١ – الهجين بين *Glycine max* (فول الصويا المزروعة، وفيها ٢ن = ٢س = ٤٠)، والنوع *G. soja* (فول الصويا البرية، وفيها ٢ن = ٢س = ٤٠).

٢ – الهجين بين *Gossypium hirsutum* (القطن الأمريكى الـ upland، وفيه ٢ن = ٢س = ٥٢)، و *G. barbadense* (القطن الأمريكى الـ Pima، وفيه ٢ن = ٢س = ٥٢).

٣ – الهجين بين *Zea mays* (الذرة الشامية، وفيه ٢ن = ٢س = ٢٠)، و *Z. mexicana* (الـ teosinte، وفيه ٢ن = ٢س = ٢٠).

٤ – الهجين بين *Lycopersicon esculentum* (الطماطم وفيها ٢ن = ٢س = ٢٤)، و *L. piminellifolium* (الطماطم البرية – current tomato – وفيها ٢ن = ٢س = ٢٤).

وبالإضافة إلى الصعوبات السهلة الخمسة التى تقدم بيانها، فإنه تعترض حالات أخرى ناجمة من الصعوبات النوعية التى تعد أكثر صعوبة فى إجرائها، مثل:

١ – الهجن النوعية التى يتعين فيها مضاعفة أعداد كروموسومات جاميطات الآباء لكى يكون الجيل الأول الهجين خصبًا:

تعرف الهجن الناتجة من تلك التلقيحات النوعية بأنها متضاعفة هجينيًا amphiploids، ومن أمثلتها العديد من الهجن التى تجرى بين أنواع الجنس *Brassica*، وقد تُضاعف كروموسومات الجيل الأول الهجين – بعد إجراء التهجين بين الآباء غير المضاعفة – حيث يعرف الهجين الناتج بأنه amphiploid وهى التى تعرف فى عديد من الأجناس، مثل *Brassica*، و *Triticum*، و *Gossypium*، و *Nicotiana*.

٢ – الهجن النوعية التى تجرى بعد مضاعفة كروموسومات أحد الأنواع، ليمكن تهجينه مع أحد الأنواع الأخرى المتضاعفة.

٣ – الهجن النوعية التى تجرى بين نباتات أحادية من نوع رباعى التضاعف ذاتيًا مثل البطاطس (حيث تعرف النباتات الأحادية باسم dihaploids) وأنواع أخرى ثنائية من الجنس ذاته (عن Poelham & Sleper ١٩٩٥).

ونظرًا لأن السيتوبلازم يُحمل عليه – فى الهجين النوعى – من النوع المستخدم كأم فى التهجين؛ لذا .. كان لزامًا تحديد ذلك عند وصف التركيب الوراثى للهجين.

ولقد أقتُرِحَ استعمال حرف أبجدى واحد كبير – وهو ذلك الذى يستخدم بالصورة الصغيرة lower case فى تمثيل الهيئة الكروموسومية – لوصف السيتوبلازم الذى يحتويه الهجين النوعى؛ فمثلاً يحتوى النوع *Brassica oleracea* على هيئة كروموسومية (جينوم genome) تتكون من ٩ أزواج من الكروموسومات، وتأخذ الرمز cc ويُرمز للسيتوبلازم بالرمز C، ويرمز إلى الهجين *B. oleracea* فى سيتوبلازم الفجل (π) بالرمز Rcc، كما يرمز إلى الهجين *B campestris* (aa) فى سيتوبلازم الفجل بالرمز Raa، وإلى الهجين *B. juncea* (ab) فى سيتوبلازم *B. campestris* بالرمز Aab؛ ولتفاصيل التهجينات النوعية .. يراجع شكل (١٣–٣) (عن Dickson & Wallace ١٩٨٦).

الترتيكيل: نوع جديد "مركب" من تهجين القمح مع الشيلم

يعد الترتيكيل Triticale (*Triticosecale* sp.) أحد محاصيل العائلة النجيلية، وهو من الحبوب الصغيرة، ويمثل أول محاولة ناجحة، لتركيب محصول جديد بالتهجين بين جنسين مختلفين، هما قمح الخبز السداسى *Triticum vulgare*، والشيلم *Secale cereate*. وكان التلقيح قد أجرى – أصلاً – بهدف جمع صفة المقاومة للبرودة، التى توجد فى الشيلم مع الصفات المرغوب فيها للقمح.

يتشابه الترتيكيل – موروفولوجيًا – مع القمح فى شكل النبات وصفات الحبة، إلا أنه يمتاز عنه بزيادة فى كل من قوة النمو وحجم الحبة، كما أن السفا فيه أطول،

ويتحدد إن كان الترتيكيل من النوع الربيعي، أو الشتوى بنوع وصنف القمح المستخدم فى التلقيح مع الشيلم.

وقد عرفت من الترتيكيل أنواع سداسية (٢ن = ٦س = ٤٢ كروموسومًا)، وأخرى ثمانية (٢ن = ٨س = ٥٦ كروموسومًا) منذ أكثر من مئة عام، تكونت الأولى (السداسية) عندما هجن القمح الرباعى (٢ن = ٤س = ٢٨ كروموسومًا) مع الشيلم، (٢ن = ٢س = ١٤ كروموسومًا)، ثم ضوعفت كروموسومات الجيل الأول الهجين. أما الأنواع الثمانية فقد أنتجت بتهجين القمح السداسى (٢ن = ٦س = ٤٢ كروموسومًا) مع الشيلم، ثم مضاعفة كروموسومات الجيل الأول الهجين، ونظرًا لأن إنتاج الطرز الثمانية كان أسهل من الطرز السداسية التى كانت أكثر خصوبة؛ لذا فإنها حظيت باهتمام أكبر فى بادئ الأمر، إلى أن تبينت أفضلية الطرز السداسية التى كانت أكثر خصوبة، كذلك .. أنتجت طرز رباعية (٢ن = ٤س = ٢٨ كروموسومًا) من الترتيكيل على نطاق تجريبى فقط، ووجد أنها أقل فى صفاتها الحقلية والتجارية من الطرز الأخرى.

وقد أنتج الصنف روزنر Rosner فى كندا كأول صنف تجارى من الترتيكيل، وكان واضحًا تفوق هذا الصنف على الطرز التى سبقته من التريتكيل فى قوة الساق (لتجنب الرقاد) والخصوبة والتبكير فى النضج، إلا أنه كان حساسًا للفترة الضوئية، وقليل المحصول. وقد أعقب ذلك إنتاج سلالات الأرماديللو Armadillo فى المكسيك. وقد تميزت هذه السلالات بعدم حساسيتها للفترة الضوئية، وارتفاع محصولها، وقد كانت ٦٠٪ منها أعلى محصولاً من الصنف روزنر، كما كانت ٢٪ منها أعلى محصولاً من أكثر أصناف القمح الكندية إنتاجية. وقد وصل محصول بعض هذه السلالات إلى ٦٧٠٠ كجم/هكتار فى كاليفورنيا، وهو يقارب ما تنتجه أعلى أصناف القمح محصولاً. هذا .. ويفوق الترتيكيل القمح فى محتواه من البروتين والأحماض الأمينية الضرورية. ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Larter (١٩٧٩).

الهجن النوعية فى الجنس *Fragaria*

تعد الفراولة *Fragaria* × *ananassa* من الأمثلة الناجحة للهجن النوعية (تشير علامة الضرب × فى الاسم العلمى إلى أنه ناتج من هجين)؛ فقد جرت محاولات كثيرة فى أوروبا

لعزل تراكيب وراثية جيدة من الأنواع البرية التى كانت شائعة، وهى *F. moschata*، و *F. vesca*، و *F. viridis*، ومن النوعين *F. chiloensis*، و *F. virginiana* – اللذين نقلا إلى أوروبا من الأمريكتين – إلاّ أن هذه المحاولات لم تثمر النتائج التى كانت مرجوة منها، وعندما هُجِّن المزارعون النوعين الأخيرين فى القرن الثامن عشر، ظهرت انعزالات كثيرة فى النسل، وانتخبت الطرز الجيدة لتتطور فيما بعد إلى الفراولة المزروعة.

نقل كروموسومات أو أجزاء من كروموسومات من نوع لآخر

يعرف نقل كروموسومات أو أجزاء كروموسومية من نوع إلى آخر باسم Introgression، وهى ظاهرة تحدث طبيعيًّا، وكان لها فضل كبير فى تطور النباتات المزروعة، كما أنها تتحقق من خلال برامج التربية بإجراء التهجين النوعى المرغوب فيه، ثم إجراء تهجينات رجعية متتابعة لأحد الآباء؛ بغرض تحسين الخصوبة والقدرة على التكاثر واستعادة صفات النوع الرجعى، مع إضافة بعض الجينات من النوع الآخر.

ويفيد التلقيح الرجعى – كثيرًا – فى التغلب على حالة العقم التى تنشأ بعد تهجين نوعين بعيدين عن بعضيهما من الناحية الوراثية؛ لأن الهجين لا يكون متوازنًا سيتولوجيًّا، ولا تتقارن الكروموسومات الآتية من نوعى الآباء مع بعضهما بشكل جيد، ويسرع التلقيح الرجعى إلى أحد الآباء فى التغلب على حالة عدم التوازن السيتولوجى هذه، وربما تكون المحصلة النهائية لعملية التلقيح الرجعى هى إضافة زوج كامل من الكروموسومات إلى النوع المراد تحسينه ليصبح ٢ن + ٢؛ وبذا .. تتكون سلالة إضافة كروموسومية chromosome addition line؛ أو أن يحل زوج كامل من الكروموسومات محل زوج من كروموسومات النوع المراد تحسينه؛ ليصبح ٢ن – ٢ + ٢؛ وبذا تتكون سلالة إحلال كروموسومى Chromosome substitution line. وقد تنقل أجزاء صغيرة من الكروموسومات إلى النوع المراد تحسينه من خلال الانتقالات الكروموسومية، ويتراوح طول الأجزاء المنتقلة من جين واحد إلى أجزاء كبيرة من الكروموسومات.

ومن أشهر الأمثلة على النقل الكروموسومى من نوع إلى آخر .. حالات نقل صفات المقاومة للأمراض من الأجناس *Agropyron*، و *Aegilops*، و *Secale* إلى القمح. وتكفى عدة تهجينات رجعية إلى النوع المزروع لإكمال النقل الكروموسومى فى الحالات التى لا

تختلف فيها الأنواع المهجنة كثيرًا عن بعضها، أما إن كانت الأنواع المهجنة بعيدة عن بعضها .. فإن نقل الأجزاء الكروموسومية المرغوب فيها يتم بتعريض نباتات الجيل الأول للإشعاع لإعطاء الفرصة لحدوث الكسور والالتحامات الكروموسومية المرغوب فيها، وطبيعي أن يكون ذلك متبوعًا بعدة تلقيحات رجعية إلى النوع المراد تحسينه (عن Allard ١٩٦٤، و Briggs & Knowels ١٩٦٧).

التهجين بين القمح والجنس *Aegilops*

تحتوى الحشيشة البرية *Aegilops umbellulata* على صفة المقاومة لمرض صدأ الأوراق التى يتحكم فيها جين واحد سائد، بينما لا توجد هذه المقاومة فى القمح السداسى *Triticum aestivum*. ونجد فى القمح أن ٢ن = ٦س = ٤٢ كروموسومًا بواقع ٧ أزواج من الكروموسومات من كل من الهيئات الكروموسومية A، و B، و D؛ بينما نجد أن الوضع الكروموسومى فى النوع *A. umbellulata* هو ٢ن = ٢س = ١٤ كروموسومًا؛ بواقع ٧ أزواج من كروموسومات الهيئة الكروموسومية C. وبينما يتلقح كل من القمح والنوع *A. umbellulata* مع أنواع أخرى كثيرة .. فإن التلقيح بينهما لا ينجح.

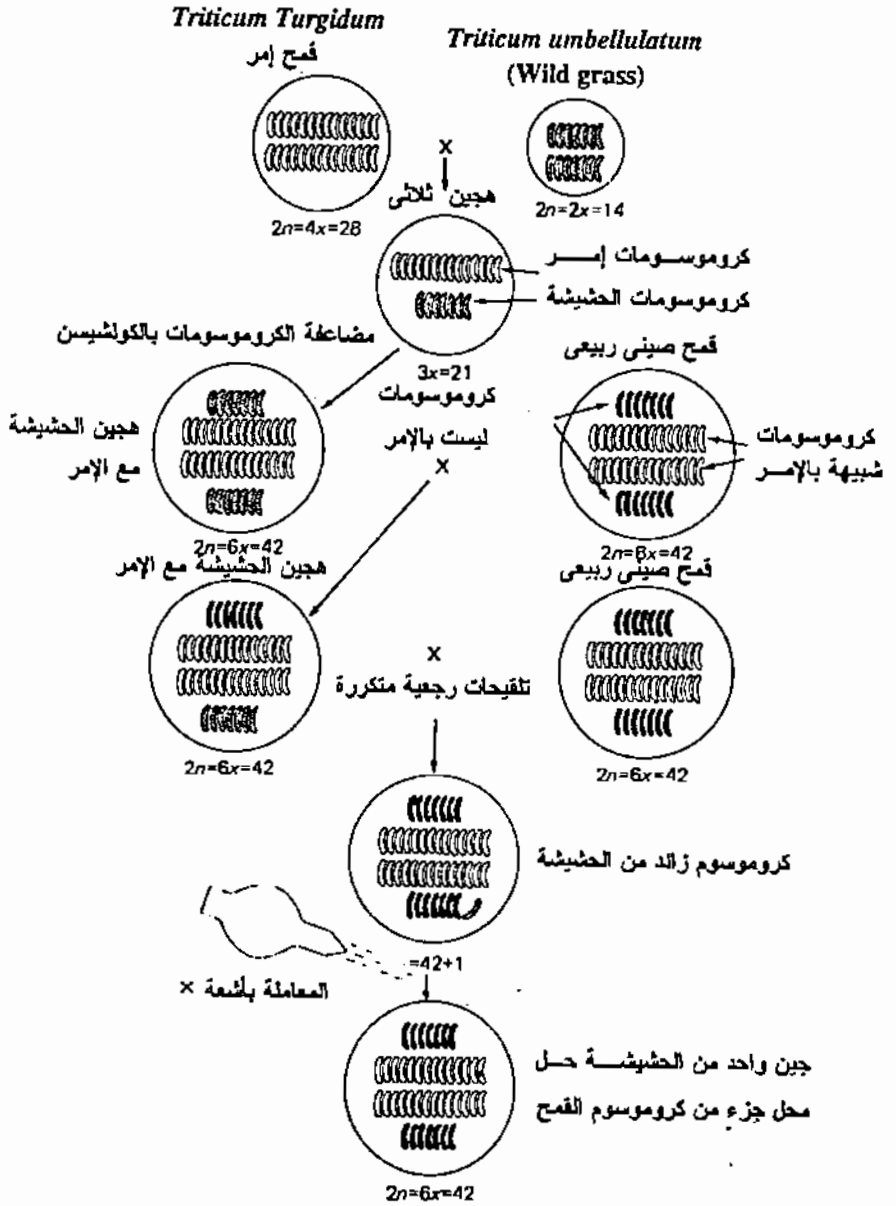
وللتغلب على هذه المشكلة – لنقل صفة المقاومة لصدأ الأوراق من *Aegilops* إلى القمح – هجَّن E. R. Sears القمح emmer الرباعى *T. dicoccoides* (٢ن = ٤س = ٢٨ كروموسومًا بواقع ٧ أزواج من كل من الهيئتين الكروموسوميتين A، و B) مع النوع *Aegilops*، وقد كان الهجين بينهما ثلاثيًا وعقيمًا (٢ن = ٣س = ٢١ كروموسومًا بواقع ٧ كروموسومات من كل من الهيئات الكروموسومية A، و B، و C)، وأدت مضاعفته إلى إنتاج هجين متضاعف شبيه بالثنائى amphidipoid به ٢ن = ٦س = ٤٢ كروموسومًا، بواقع ٧ أزواج من الكروموسومات من كل من الهيئات الكروموسومية A، و B، و C. وكان هذا الهجين المتضاعف خصبًا جزئيًا فى تلقيحاته مع قمح الخبز السداسى، ونتج من محاولات تلقيحه مع القمح هجين، كان به ٢ن = ٦س = ٤٢ كروموسومًا بواقع ٧ أزواج من الكروموسومات من كل من الهيئتين الكروموسوميتين A، و B؛ و ٧ كروموسومات من كل من الهيئتين الكروموسوميتين C، و D (أى كان الهجين: AA BB CD). وقد ظهر بالهجين فى أثناء الانقسام الاختزالى ١٤ وحدة ثنائية الكروموسوم (وهى الخاصة بالهيئتين A، و B)، و ١٤ وحدة أحادية الكروموسوم (وهى الخاصة

بالهيئتين C، و D)، وكان الهجين مقاومًا للصدأ وأقرب فى شكله المظهرى من الحشيشة *Aegilops*. وكانت حبوب لقاحه عقيمة إلى حد كبير، إلاّ أنه أنتج بعض البذور لدى تلقيحه ذاتيًا. وقد قام Sears بتلقيح هذه النباتات رجعيًا، إلى قمح الخبز عدة مرات مع انتخاب النباتات المقاومة للصدأ بعد كل تلقيح. وقد تبين بعد إجراء عدة تلقيحات رجعية أن النباتات المنتخبة كانت ثلاثية الكروموسوم trisomics (أى تحتوى على كروموسوم زائد، وفيها ٢ن = ٤٣)، وتبين أن الكروموسوم الزائد كان من الهيئة الكروموسومية C. وكانت هذه النباتات قليلة الخصوبة، وأسهم فيها الكروموسوم الزائد بعديد من الجينات غير المرغوب فيها؛ مثل التبكير فى الإزهار، وضعف المحصول.

وقد أكمل Sears الحلقة الأخيرة من هذا البرنامج بمعاملة النباتات التى تحتوى على ٤٣ كروموسومًا بالإشعاع قبل الانقسام الاختزالى، ثم استخدم حبوب اللقاح التى أنتجتها فى تلقيح أزهار نباتات أخرى من نفس الهجين لم تعرض للإشعاع، وأعطت هذه التلقيحات ٦٠٩١ نباتًا، كان من بينها ١٣٢ نباتًا مقاومًا للصدأ، ومن بين الفئة المقاومة للصدأ تبين وجود تبادل لأجزاء كروموسومية reciprocal chromosonal interchange فى ١٢ نباتًا منها؛ أى إن كل نبات من الاثنى عشر نباتًا كان به انتقال لقطعة من كروموسوم النوع *Aegilops* – تحتوى على الجين المسئول عن المقاومة للصدأ – إلى أحد كروموسومات القمح. وكانت معظم الانتقالات الخليطة هذه عقيمًا – جزئيًا – واحتوت على صفات أخرى للنوع *Aegilops*؛ مما يدل على أن الجزء الكروموسومى المنقول فى كل منها كان كبيرًا نسبيًا؛ إلا أن أحد النباتات كان مقاومًا للصدأ، بينما كانت صفاته مقبولة كما كان كامل الخصوبة. وقد أظهرت الدراسات السيتولوجية التى أجريت على هذا النبات أن الانتقال الكروموسومى شمل جزءًا صغيرًا جدًا من كروموسوم النوع *Aegilops* لم يحمل سوى الجين المسئول عن المقاومة لمرض صدأ الأوراق (عن Brewbaker ١٩٦٤).

أطلق على الصنف الذى نتج من هذا البرنامج اسم Transfer، وقد استعمل – فيما بعد – فى برامج تربية أخرى عديدة نتج عنها عديدًا من أصناف القمح التجارية المقاومة لصدأ الساق.

ويبين شكل (١٤-١) تخطيطًا لبرنامج التربية الذى أسلفنا بيانه (عن Poehlman & Sleper ١٩٩٥).



قمح ربيعى به جين لمقاومة صدأ الورقة أضيف إليه من *Triticum umbellulatum*

شكل (١٤-١): تخطيط يبين الطريقة التى أمكن بواسطتها نقل صفة المقاومة لمرض صدأ الأوراق من الحشيشة البرية *Aegilops umbellulata* إلى قمح الخبز السداسى *Triticum aestivum*.

ولقد طبقت تلك التقنية – بعد ذلك – فى نقل جينات المقاومة لصدأ الأوراق وصدأ الساق من الأنواع البرية إلى القمح المزروع.

التهجين بين جنس القمح *Triticum* والجنس *Agropyron*

نال التهجين بين جنس القمح *Triticum*، والجنس *Agropyron* اهتمام الكثيرين، وكان الهدف الأصلى هو إنتاج قمح معمر. وبرغم أنه أمكن تحقيق بعض التقدم نحو هذا الهدف .. إلا أن أهم ما تمخضت عنه هذه الدراسات كان انتخاب طرز شبيهة بالقمح، ذات مقاومة جيدة للصدأ والأمراض الأخرى التى يقاومها النوع *Agropyron*، ويعد عدم الثبات السيتولوجى الوراثى من أهم مشاكل النباتات المتضاعفة الشبيهة بالثنائية Amphidiploids لهذا الهجين النوعى.

نقل جين أو جينات مرغوب فيها من نوع لآخر

يعد نقل جين واحد مرغوب فيه أو عدد قليل من الجينات من نوع لآخر أحد أهم أهداف التربية بالتهجينات النوعية.

الهجن النوعية فى الجنس *Lycopersicon*

تتلقح الطماطم *Lycopersicon esculentum* بسهولة تامة مع النوع *L. pimpinellifolium*، وقد أمكن عن طريق هذا التلقيح نقل كثير من الصفات المهمة إلى الطماطم؛ مثل صفات المقاومة للفطريات *Fusariam oxysporum*، و *Stemphylium solani*، و *Cladosporum fulvum*، وغيرها.

كما تتلقح الطماطم بسهولة مع النوع *L. cheesmanii* الذى يتميز بقدرته على تحمل الملوحة العالية، والنوع *L. pennellii* الذى يتميز بقدرته على تحمل ظروف الجفاف.

كذلك .. أمكن تلقيح الطماطم مع النوع *L. hirsutum*، بشرط استعمال الطماطم كأم، وأمكن عن طريق هذا الهجين النوعى نقل عديد من الصفات المهمة؛ مثل المقاومة للفطر *Septoria lycopersici*.

أما النوعان *L. chilense*، و *L. peruvianum* .. فإنها لا يهجنان مع الطماطم إلاّ إذا

استخدم الأخير كأم مع زراعة الأجنة الهجين فى بيئة صناعية، وهى فى المراحل المبكرة لتكوينها، وإلا تدهور الجنين، واختفى داخل الثمرة التى تكمل نموها وهى خالية من البذور.

نجد فى الهجين النوعى *L. esculentum* x *L. peruvianum* أن الإخصاب يحدث وتبدأ البذور فى التكوين، ولكنها تضمحل قبل اكتمال تميز الإندوسبرم فيها، ولا يظهر بالثمار الناضجة سوى بويضات مضمحلة، مثلما يكون عليه الحال فى الثمار البكرية التكوين. ونادرًا ما ينمو الجنين بالثمار فى ذلك التلقيح لمدة ٤٠ يومًا (عن Neal & Topoleski ١٩٨٣).

ولقد وجد أن الجنين فى هذا الهجين النوعى (*L. esculentum* × *L. peruvianum*) نادرًا ما يستمر فى نموه لأكثر من ٢٥ يومًا؛ ولذا .. فإن تلك الأجنة تنقل إلى بيئة خاصة لزراعتها وهى مازالت صغيرة بعمر ١٥-٢٥ يومًا، وهى بيئة موراشيج وسكوج تحتوى على ٢,٥ ميكرومول من إندول حامض الخليك. أعطت هذه البيئة نموًا من الكالوس فى حوالى ٢٠٪ من حالات الأجنة المزروعة، وهى التى تكونت فيها نموات النباتات الهجين (Segeren وآخرون ١٩٩٣).

كذلك أمكن التغلب على عدم التوافق فى الهجين العكسى (*L. peruvianum* x *L. esculentum*) بإجرائه فى الطور البرعمى مع معاملة مياسم *L. peruvianum* ببيئة صناعية مماثلة لإفرازات الميسم التى لا تنتج فى تلك المرحلة من تكوين الزهرة؛ وبذا .. أنبتت حبوب لقاح النوع *L. esculentum* فى هذا التهجين غير المتوافق أصلاً. وقد تطلب الأمر زراعة الأجنة المتكونة بعد ٢٢ يومًا من التلقيح (وهى فى مرحلة النمو الكروى globular إلى القلبى heart-shape) على بيئة صناعية. كذلك أمكن تلقيح سلالة من *L. peruvianum* متوافقة مع *L. esculentum* بحبوب لقاح من النوع الأخير والحصول على نباتات من هذا التهجين. وبتهجين *L. peruvianum* فى الطور البرعمى بحبوب لقاح من هذا الهجين .. أمكن الحصول على نباتات تهجين رجعى تحتوى على ٢٥٪ من جينات الطماطم فى سيتوبلازم *L. peruvianum* (Gradziel & Robinson ١٩٩١).

وقد أمكن عن طريق التلقيح مع *L. peruvianum* نقل عدد من الصفات الهامة إلى الطماطم؛ مثل المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور، والمحتوى المرتفع من فيتامين جـ،

والمقاومة لفيرس التفاف واصفرار أوراق الطماطم التى توجد على مستوى عـال فـى بعـض سلالات النوع *L. peruvianum*.

وقد نوه C. M. Rick فى عام ١٩٨٣ عن وجود سلالتين من *L. peruvianum* يلُقّحـان بسهولة تامة مع الطماطم، وهما LA 1708، و LA 2172. ووجد أن هاتين السلالتين لا تلُقحان مع أية سلالة أخرى من نوعـهما، كمـا لم يكـن الهجـين النوعـى بينـهما وبـين الطماطم صالحًا كقنطرة للتهجين مع سلالات أخرى من النوع *L. peruvianum*؛ رغم أنه كان خصبًا جزئيًا ومتوافقًا فى الهجن الرجعية إلى الطمـاطم (Lindhout & Purimahua ١٩٨٨).

ولمزيد من التفاصيل عن الهجن النوعية فـى النـوع *Lycopersicon* وأوجـه الاسـتفادة بها .. يراجع Rick (١٩٧٩، و ١٩٨٠).

الهجن النوعية فى الجنس *Lactuca*

أمكـن فـى الجنـس *Lactuca* التـهجين بـين *L. sativa* كـأم و *L. virosa* كـأب بالاسـتعانة بتقنية زراعـة الأجنـة، كما أمكن التهجيـن بين *L. sativa* كأم وكلا مـن *L. tatarica*، و *L. perennis* كآباء بالاستعانة بتقنيـة دمـج البروتوبلاسـت (Maisonneuve وآخرون ١٩٩٥).

ولمزيد من الأمثلـة عـن الهجـن النوعيـة يراجـع Knott & Dovrak (١٩٧٦) بشـأن الاستفادة بها فى نقل صفات المقاومة للأمراض من الأنـواع البريـة إلى الأنـواع المزروعـة؛ مثل الطماطم، والبنجر، والبطاطس، والتبغ، وغيرها، ويراجع Uhlinger (١٩٨٢) بشأن الهجن البعيدة بين الأنواع العشبية المعمرة، و Layne (١٩٨٣) بشأن الهجن النوعية فى الفاكهـة، والجمعيـة الأمريكيـة لعلـوم البسـاتين (ASHS ١٩٨٦)، بشـأن التغلـب علـى مشاكل العقم فى الهجن النوعيـة للأجنـاس *Prunus*، و *Malus*، و *Pyrus*، و *Rubus*، و *Vaccinium*؛ ويراجـع Dickson & Wallace (١٩٨٦) بشـأن الهجـن النوعيـة فـى الجنـس *Brassica*، و Whitaker & Robinson (١٩٨٦) بشـأن الهجـن النوعيـة فـى الجنس *Cucurbita*.