الفصل الرابع عشر

التضاعف

تسمى جميع النباتات -التى تحتوى على ضعف العدد الأساسى للكروموسومات- ثنائية الهيئة الكروموسومية diploid . ويرمز لكل هيئة كروموسومية بالرمز س (أو x)؛ وبذا .. فإن النباتات الثنائية تكون ٢س . هذا .. بينما تحتوى كثير من النباتات على عدد من الكروموسومات ، يختلف عن ضعف العدد الأساسى ؛ فقد تحتوى على أربعة أضعاف – أو ستة أضعاف – العدد الأساسى للكروموسومات ؛ أى تحتوى على أربع (٤س) أو ست (٦س) هيئات كروموسومية كاملة على التوالى . وتعرف هذه النباتات بأنها متضاعفة. وسواء أكان النبات متضاعفاً ، أم غير متضاعف .. فإنه يستعمل الرمز ٢ن (أو 2n) للدلالة على عدد الكروموسومات فى الخلايا الجسمية ، والرمز ن (أو n) للدلالة على عدد الكروموسومات فى الطور الجاميطى (البويضات وحبوب اللقاح) ؛ وعليه .. فإن البسلة – مثلا – وهى نبات ثنائى عادى تكون فيها ٢ن = ٢س = ١٤ كروموسوماً ، بينما تكون جاميطاتها ١ن = ١س = ٧ كروموسومات . أما فى نبات مثل البطاطس -وهى تحتوى على أربع هيئات كروموسومية كاملة- فإن فيها ٢ن = ٤س = ٤٨ كروموسوماً ، بينما تكون فيها الجاميطات ١ن = ٢س = ١٢ كروموسوماً .

تعرف جميع النباتات التى تحتوى على عدد من الكروموسومات -يختلف عن ضعف العدد الأساسى- بأنها متضاعفة polypolid ، وتقسم حالات التضاعف Polidy (أو

polypolidy) إلى فئتين كما يلى :

١- التعدد الكروموسومى غير التام Aneuploidy :

لاتحتوى النباتات -التى توجد بها ظاهرة التعدد الكروموسومى غير التام- على مضاعفات العدد الأساسى للكروموسوم ؛ كأن ينقصها -مثلا- كروموسوم أو أكثر ، أو يزيد فيها كروموسوم أو أكثر عن مضاعفات العدد الأساسى .

٢- التعدد الكروموسومى التام Euploidy :

تحتوى النباتات التى توجد بها ظاهرة التعدد الكروموسومى التام على هيئة كروموسومية واحدة ، أو أية مضاعفات للهيئة الكرموسومية غير الحالة الثنائية العادية .

تنتشر ظاهرة التضاعف انتشاراً كبيراً فى المملكة النباتية ، وبخاصة فى المحاصيل الاقتصادية المهمة ؛ مثل القمح ، والقطن ، والبطاطس ، والكاسافا ، والدخان . وتقدر نسبة النباتات المتضاعفة بنحو ٣٠-٣٥٪ من مغطاة البذور ، وترتفع هذه النسبة إلى ٧٠٪ بين النجيليات .

تظهر النباتات المتضاعفة فى الطبيعة بمحض الصدفة ؛ فمثلاً .. تتكون النباتات التى ينقص منها كروموسوم ، أو يزيد فيها كروموسوم عند حدوث خلل فى الانقسام الميوزى (فى الحالات التى لاتنفصل فيها الكروموسومات الشبيهة عن بعضها البعض Nondisjunction) يؤدى إلى تكوين جاميطات بها ن - ١ ، أو ن + ١ من الكروموسومات . كما تظهر حالات التضاعف الكروموسومى التام عند حدوث خلل فى الانقسام الميوزى ، يؤدى إلى تكوين جاميطات بها ٢ن من الكروموسومات .

التعدد الكروموسومى غير التام

يشتمل التعدد الكروموسومى غير التام Aneuploidy على الحالات التى لايكون فيها عدد الكروموسومات الموجودة فى النواة الجسمية مساويًا تماماً لمضاعفات الهيئة الكروموسومية ؛ كأن يحتوى النبات على كروموسوم أو أكثر ، فى حالة نقص أو زيادة عن الحالة الثنائية Disomic ، بشرط ألا يتضمن النقص أو الزيادة هيئة كروموسومية كاملة . ونبين - فيما يلى - مختلف أنواع التعدد الكروموسومى غير التام .

أحادى الكروموسوم

تحتوى النباتات الأحادية الكروموسوم monosomiscs على كروموسوم واحد أقل مما فى الحالة العادية (٢ن - ١) . وقد دُرِسَتْ أفراد من هذا النوع فى القمح ، والدخان ، وبعض النباتات الأخرى التى توجد بها ظاهرة التعدد الكروموسومى التام ، ولكنها نادراً ماتوجد فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية (التى يكون فيها ٢ن = ٢س) ؛ لأن نقص كروموسوم كامل فى مثل هذه النباتات يؤدى إلى عقمها ، وغالباً مايؤدى إلى موتها . أما فى النباتات المتضاعفة كالقمح .. فإن النقص فى كروموسوم كامل لايكون له تأثير كبير فى الفرد ؛ حيث يقوم التكرار الموجود فى الهيئة الكرموسومية مقام الكروموسوم المفقود .

ونجد أن الكروموسوم المفرد يبقى غالباً فى أثناء الانقسام الاختزالى فى المحور الوسطى للخلية ، ولايتجه نحو أى من القطبين ؛ وبذلك .. يفقد فى السيتوبلازم ، وتتكون نتيجة لذلك حبوب لقاح تحتوى على العدد الأحادى الكامل من الكرموسومات ، وتكون طبيعية ، وحبوب لقاح أخرى ينقصها كروموسوم كامل (ن-١) وتكون عقيمة . إلا أن البيضات التى تكون بهذا الشكل ربما لاتكون عقيمة ، وحينما تُخصب بحبوب لقاح عادية (ن) .. تتكون زيجوتات أحادية الكروموسوم (٢ن-١) . هذا .. وتكون الأفراد الأحادية الكروموسوم غالبا أصغر حجما من الأفراد العادية وغير مستقرة وراثيًا ، وتصل نسبة العقم فيها إلى ٥٠٪ .

وتستعمل النباتات الأحادية الكروموسوم فى تحديد الكروموسومات التى توجد بها مختلف الجينات ؛ نظراً لأنها تعطى انعزالات غير عادية بالنسبة للجينات التى توجد على الكروموسوم الناقص . كما استخدمت النباتات الأحادية فى إحلال كروموسوم محل آخر ، ويتم الإحلال بالتلقيح الرجعى للسلالة الأحادية الكروموسوم . وقد يكون الكروموسوم الجديد -الذى يحل محل الكروموسوم الناقص- من نفس النوع أو الجنس النباتى ، أو من نوعٍ أو جنسٍ آخر .

أحادى - ثنائى الكروموسوم

تحتوى النباتات أحادية - ثنائية الكروموسوم Monoisodisomics على كروموسوم

متماثل الذراعين isochromosome مكان أحد أزواج الكروموسومات ؛ ويعنى ذلك أن نصف الكروموسوم المكرر فى هذا الكروموسوم يكون ممثلاً مرتين ، بينما يختفى - تماماً - النصف الآخر بما يوجد عليه من جينات .

غائب الكروموسومين

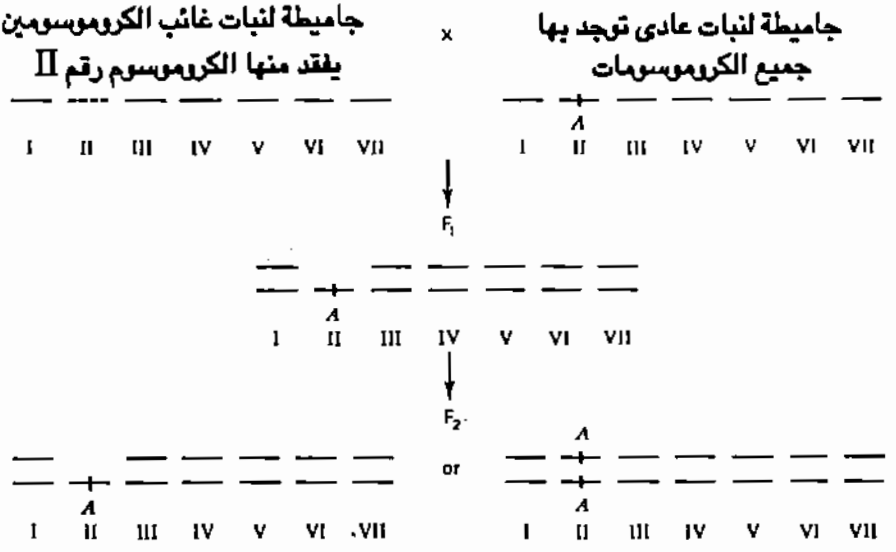
إن الأفراد الغائبة الكروموسومين Nullisomics هى التى يغيب فيها زوج كامل من الكروموسومات المتماثلة ؛ أى تكون (٢ن - ٢) ، وتنشأ عندما تخصب بيضة (ن-١) بحبة لقاح (ن-١) . لم يمكن إنتاج الأفراد غائبة الكروموسومين إلا فى النباتات المتضاعفة ؛ لأن عمل زوج الكروموسومات الناقص يمكن أن تقوم به -جزئيًا- الكروموسومات الأخرى المثيلة homologus فى حالة التضاعف الذاتى ، أو الكروموسومات المناظرة من الهيئة الكروموسومية الأخرى homeologus فى حالة التضاعف الهجينى .

وتكون النباتات غائبة الكروموسومين -مثل بقية النباتات ذات التعدد الكروموسومى غير التام -أضعف نمواً من النباتات الثنائية العادية ، وغير ثابتة وراثيًا ، ويكون انقسامها الاختزالى غير متوازن ؛ لذا .. فإنها تكون على درجة عالية من العقم ، وتكون عديمة القيمة كأصناف تجارية .

يستفاد من النباتات غائبة الكروموسومين فى تحديد الكروموسومات التى تحمل الجينات المختلفة (لأن وراثة الصفات فيها تشذ عن النسب العادية ، عندما تكون الجينات محمولة على زوج الكروموسوم الغائب ؛ شكل ١٤-١) ، وفى نقل كروموسومات كاملة -تحمل جينات مرغوباً فيها- من نفس النوع أو من نوع ، أو جنس آخر بطريقة التهجين . ويطلق على السلالات التى يحل فيها زوجا أحد الكروموسومات من أحد الأنواع محل زوج شبيه من نوع آخر اسم Alien Substitution lines ، وهى غالباً ماتختلف فى صفاتها - بشدة - عن النوع الأصلى .

أحادى الكروموسوم المزدوج

إن الفرد الأحادى الكروموسوم المزدوج Double Monosomic ينقصه كروموسومان غير متماثلين non - homologus ؛ أى يكون (٢ن-١-١) . ولاتتوفر هذه الحالة إلا فى النباتات المتضاعفة ، وينطبق عليها كل ما سبق ذكره بالنسبة للأفراد غائبة الكروموسومين .



تنعزل جميع الكروموسومات طبيعياً ماعدا رقم II . لايحدث انعزال فى الجين A وهو مايدل علي أن هذا الجين يحمل على الكروموسوم رقم II

شكل (١٤ – ١) : استعمال الأفراد الفائية الكروموسومين فى تحديد الكروموسوم الحامل لجين معين . يفترض أن حالة غياب الكروموسوم لاتنتقل عن طريق الأم (عن Welsh ١٩٨١) .

ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الأولى

تحتوى الخلايا الجسمية للأفراد الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى Primary Trisomics على كروموسوم واحده زائد على الحالة الثنائية العادية (٢ن+١) ؛ أى يكون فيها أحد الكروموسومات ؛ ممثلاً ثلاث مرات . تنعزل الكروموسومات فى أثناء الانقسام الاختزالى الأول فى مثل هذه النباتات – عادة – بتوجه كروموسومين متماثلين إلى قطب ، وتوجه الكروموسوم الثالث المماثل إلى القطب المضاد . ويتوقف ذلك على الاقتران الكروموسومى الذى يكون –عادة– على هيئة وحدة ثلاثية الكروموسوم trivalent .

تنتقل الحالة ثلاثية الكروموسوم عن طريق الأمهات ؛ لأن الكروموسوم الزائد يكون - عادة - مميتاً لحبوب اللقاح . وعند تكوّن الجاميطات المؤنثة فى نبات ثلاثى الكروموسوم .. يتوقع أن تكون نصف البيضات طبيعية ؛ أى تحتوى على العدد الأحادى (ن) من الكروموسومات ، والنصف الآخر يحتوى على (ن +١) من الكروموسومات . وعندما تخصب البيضات بحبوب لقاح تحتوى على (ن) من الكروموسومات .. فإن النسل الناتج يكون من طرازين ، أحدهما ثنائى الكروموسوم (٢ن) ، والآخر ثلاثى الكروموسوم (ن + ١) ؛ وعليه .. فإنه يتوقع انتقال الحالة ثلاثية الكروموسوم إلى النسل بنسبة النصف ، إلا أنها تكون - فى الحقيقة - أقل من النصف ، ويرجع ذلك إلى أن الكروموسوم الزائد قد يفقد - أحياناً - فى أثناء الانقسام الاختزالى ؛ ولهذا السبب .. فإن النباتات ثلاثية الكروموسوم تكون غير ثابتة وراثيًا ، وتعود - تدريجيًا - إلى الحالة الثنائية ، إلا إذا حوفظ عليها بالانتخاب .

وقد لوحظت النباتات ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى فى كثير من النباتات ؛ مثل الداتورة ، والطماطم ، والذرة ، والقمح ، والدخان . وأمكن فى بعض النبات إنتاج عدد من الطرز ثلاثية الكروموسوم ، مساوٍ لعدد الكروموسومات فى الهيئة الكروموسومية للنوع . وكانت بداية الدراسات التى من هذا النوع على نبات الداتورة ؛ حيث تمكن Blackslee من التعرف على ١٢ سلالة طبيعية ثلاثية الكروموسوم، تمثل كل منها كروموسوماً زائداً من الاثنى عشر كروموسوماً التى تضمها الهيئة الكروموسمية للداتورة . كما ذكر Rick (١٩٨٧) مواصفات اثنتى عشرة سلالة مماثلة ثلاثية الكروموسوم فى الطماطم ، علما بأن الطماطم تحتوى - هى الأخرى - على اثنى عشر زوجا من الكروموسومات . وفى جميع الحالات .. كانت لكل سلالة ثلاثية الكروموسوم صفات مورفولوجية خاصة ، تميزها عن النباتات الثنائية العادية ، وعن غيرها من السلالات الثلاثية الكروموسوم ... إلا أن السمة المميزة الغالبة عليها جميعًا كان ضعف وبطء النمو .

ويستفاد من النباتات ثلاثية الكروموسوم فى تحديد الكروموسومات الحاملة لجينات معينة . ويجرى ذلك -بالنسبة لإحدى الصفات- بتلقيح نبات يحمل هذه الصفة بحالة متنحية أصيلة (aa) مع جميع السلالات ثلاثية الكروموسوم الممكنة من هذا النوع ، على أن تكون جيمعها أصيلة فى الأليل السائد A ، ثم تنتج بذور الجيل الثانى لكل تلقيح ، وتزرع

لدراسة الصفة فى مختلف عشائر الجيل الثانى .

ويلاحظ أن انعزال الصفة يكون عاديًا ، وبنسبة ٣ سائداً : ١ متنحياً فى جميع عشائر الجيل الثانى ، فيما عدا واحدة منها ، هى التى تنتج من التلقيح مع السلالة الثلاثية الكروموسوم التى يُحمل الجين المدروس على كروموسومها المكرر بحالة ثلاثية ؛ إذ يكون التركيب الوراثى لهذه السلالة AAA ، ويكون التركيب الوراثى لبعض نباتات الجيل الأول Aa ، وبعضها الآخر AAa . والنوع الثانى من النباتات هو الذى يعطى انعزالات غير طبيعية فى الجيل الثانى ؛ لأنها تنتج نوعين من الجاميطات ، يكون بأحدهما (ن) ، وبالآخر (ن + ١) من الكروموسومات . ولاتظهر الأفراد التى تحمل الصفة المتنحية فى الجيل الثانى إلا إذا لقحت بيضة (ن) تحمل الآليل (a) بحبة لقاح مماثلة ، وهى تتكون - نظريًا - بنسبة ١ متنحية : ٣٦ سائدة . وبرغم أن نسبة كبيرة من الجاميطات التى تحمل كروموسوماً زائداً (ن + ١) تكون عقيمة -وهو مايترتب عليه أن تكون معظم الجاميطات المتكونة ثنائية (٢ن)- إلا أن نسبة النباتات المتنحية الأصيلة aa تبقى أقل بكثير مما فى عشائر الجيل الثانى للطرز الأخرى الثلاثية الكروموسوم .

وراثة صفة الأزهار المزدوجة فى المنثور :

يوجد نوعان من الأزهار فى المنثور ، ينتج أحدهما أزهاراً مفردة ، وينتج الآخر أزهاراً مزدوجة . والنوع الثانى هو المرغوب تجاريًا ، وهو خالٍ من أعضاء التذكير وأعضاء التأنيث ، ويكثر من بذور منتجة على نباتات تحمل أزهاراً مفردة . وقد وجدت ثلاثة طرز من النباتات ذات الأزهار المفردة ، تختلف فيما تنتجه عند تلقيحها ذاتيًا كما يلى : طراز يكون نسلة الناتج من التلقيح الذاتى ذا أزهار مفردة فقط ، وطراز آخر ينعزل فيه النسل بنسبة (١) ذا أزهار مزدوجة : (٣) ذا أزهار مفردة ، وطراز ثالث تكون فيه ٥٤-٥٦٪ من النباتات التى تنتج من تلقيحه ذاتيًا ذات أزهار مزدوجة . ومن الطبيعى أن الطراز الثالث هو الطراز الذى يفضل استخدامه فى إنتاج البذور ، ويطلق عليه اسم ever sprouting ؛ بسبب النسبة العالية للنباتات ذات الأزهار المزدوجة التى تظهر فى النسل .

وقد اقتُرِحَ لتفسير هذه الحالة وجود جين مميت متنحٍ ، يؤدى إلى موت نصف حبوب اللقاح ، ونحو ٦-٨٪ من البيضات ، وأن هذا الجين يحمل على نفس الكروموسوم الذى يحمل عليه الجين الذى يتحكم فى حالة الأزهار المفردة ، وهو جين سائد ؛ وعليه .. فإن

النباتات ذات الأزهار المفردة إما أن تكون أصيلة ، وإما أن تكون خليطة فى الصفة . وتنتج الأفراد الأصيلة نباتات ذات أزهار مزدوجة فقط (أى إنها تكون من الطراز الأول) ، وتنتج الأفراد الخليطة نباتات ذات أزهار مزدوجة ، وأخرى ذات أزهار مفردة ؛ بنسبة ١ : ٣ (أى إنها تكون من الطراز الثانى) . أما الطراز الثالث من النباتات ذات الأزهار المفردة (الـ ever sprouting) ؛ فقد افترض أنه يكون خليطاً فى كل من الجين المميت والجين الذى يتحكم فى نوع الأزهار ، وهى حالة يترتب عليها زيادة نسبة النباتات ذات الأزهار المزدوجة فى النسل إلى ٥٤ – ٥٦٪ .

وقد تبين من الدراسات السيتولوجية التى أجريت على نباتات الطراز الثالث (الـ ever sprouting) أنه توجد بأحد الكروموسومات عقدة knob لاتوجد بالكروموسوم المماثل -ho mologus chromosome فى نفس الخلية ، وأن وجود هذه العقدة كان ضروريًا لحيوية حبوب اللقاح ؛ بمعنى أن حبوب اللقاح التى لايصل إليها الكروموسوم الذى يحتوى على العقدة لاتنبت . هذا .. بينما تكون جميع البيضات خصبة ، سواء احتوت على الكروموسوم ذا العقدة ، أم على الكروموسوم الآخر . ويعنى ذلك أن العقدة تحمل الجين الذى يتحكم فى صفة الأزهار المزدوجة – وهو جين متنح – ويؤدى موت حبوب اللقاح التى لاتحمل هذا الجين (وهى الخالية من العقدة) إلى أن يكون نصف النسل أصيلاً فى هذا الجين المتنحى وذا أزهار مزدوجة ، والنصف الآخر خليطاً ، وذا أزهار مفردة وهى الصفة السائدة . إلا أن نسبة النباتات ذات الأزهار المزدوجة تزيد قليلاً على ٥٠٪ (تصل إلى ٥٤ – ٥٦٪) ، ربما بسبب موت بعض البيضات ، التى تخلو من الكروسوم ذى العقدة .

وقد وجد نبات من الطراز الثالث كانت أوراقه ضيقة جداً ، وقد أنتج هذا النبات لدى تلقيحه ذاتيًا نسلاً كانت ٤٧٪ من نباتاته ذات أزهار مفردة ، و ٥٣٪ ذات أزهار مزدوجة ، وهى النسبة العادية . وقد كانت ٣٧٪ من نباتات النسل ذات أوراق ضيقة وضعيفة النمو ، وكانت النباتات الباقية طبيعية الأوراق ، إلا أنها ضمت –فيما بينها – ٩٠٪ من النباتات ذات الأزهار المزدوجة .

ونظراً لأن النباتات ذات الأوراق الضيقة يمكن التعرف عليها بسهولة ، حتى وهى فى طور البادرة ؛ لذا .. فإنه يمكن التخلص منها بسهولة فى هذه المرحلة من النمو ؛ لتتبقى – بعد ذلك – النباتات ذات الأوراق الطبيعية فقط ، وهى التى ترتفع فيها نسبة النباتات

ذات الأزهار المزدوجة إلى ٩٠٪ .

وقد تبين من الدراسات السيتولوجية أن النباتات ذات الأوراق الضيقة .. تحتوى على كروموسوم زائد (٢ن + ١) . ويبدو أن هذا الكروموسوم الذى يوجد ممثلا ثلاث مرات هو الذى يحمل الجين المسئول عن نوع الأزهار ؛ كما يبدو أنه يحمل أيضاً الجين المسئول عن صفة الأوراق الضيقة ؛ لأنه لم يلاحظ إلا فى هذه النوعية من النباتات . ويتبين من ذلك كيف أن التخلص من النباتات ذات الأوراق الضيقة يؤدى - فى الوقت نفسه - إلى التخلص من معظم النباتات ذات الأزهار المفردة (عن Emsweller وآخرين ١٩٣٧) .

ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثانية

تحتوى النباتات ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثانية Secondary Trisomics على كروموسوم زائد ، يكون عبارة عن نصف كروموسوم (ذراع كروموسومى) عادى مكرر مرتين ؛ أى إن الكروموسوم الزائد يكون متضاعف الذراعين isochromosome ؛ وبمعنى آخر .. فإن الذراع المكرر يكون ممثلا فى الخلية الواحدة أربع مرات ؛ وبذلك .. يتوقع إمكان وجود طرز ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثانية تساوى ضعف عدد أزواج كروموسومات النوع . وقد اكتشف Blackslee عدداً كبيراً من هذه الطرز فى الداتورة . والمعادلة العامة لحالة ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثانية هى : (٢ن + ١٠١) ، أو (٢ن + ٢٠٢) ؛ حيث تدل الأرقام ١ ، و ٢ ... إلخ على رقم الكروموسوم الذى يتكرر نصفه .

ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة

تنشأ حالة ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة Tertiary Trisomics من انتقال كروموسومى ؛ إذ إن الكروموسوم الزائد يتكون من نصفى كروموسومين غير متماثلين . والمعادلة العامة لهذه الحالة هى : (٢ن + ٣٠١) ؛ حيث تدل الأرقام ١ ، و ٣ ... إلخ على أرقام الكروموسومات التى ترتبط أنصافها فى كروموسوم واحد زائد . يتوقع وجود طرز كثيرة جداً من هذه الحالة فى كل نوع نباتى ، وقد حصل Blackslee على بعضها فى الداتورة .

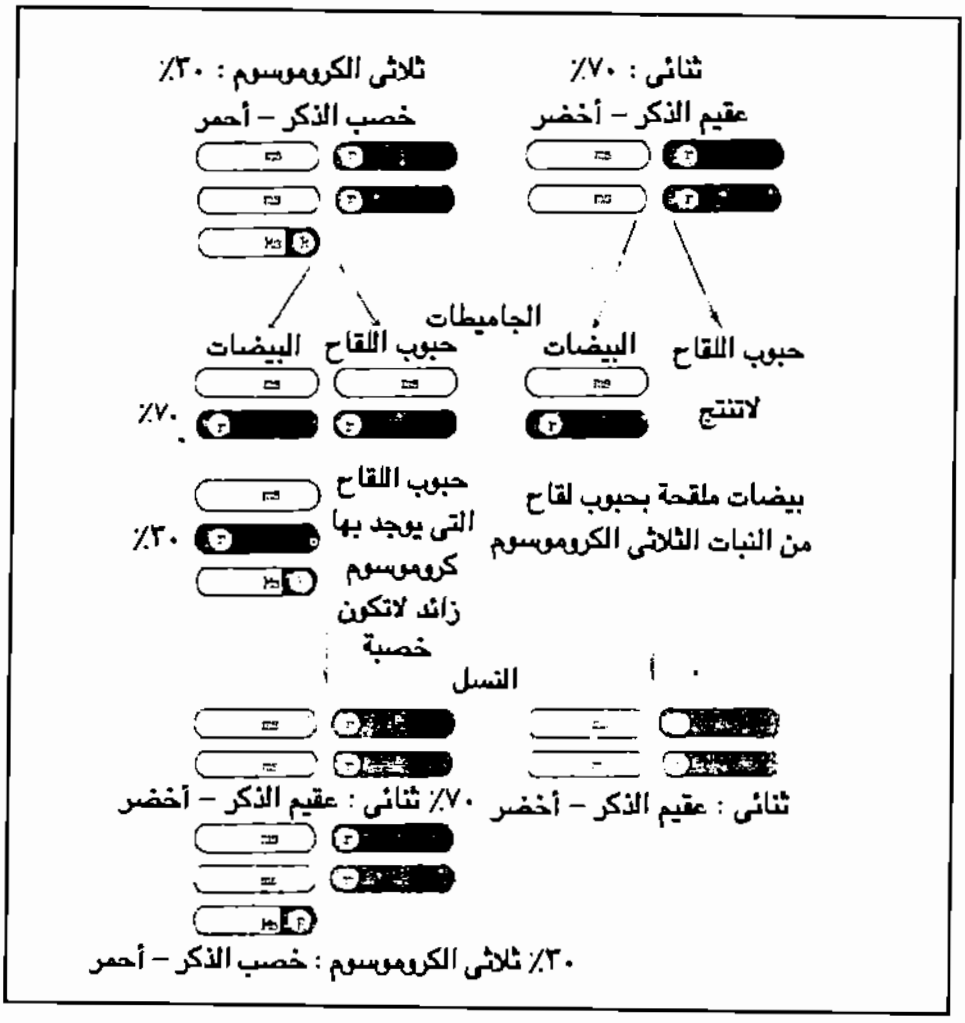
ويمكن الاستفادة من حالات النباتات ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة فى إنتاج الهجن التجارية ، وقد سبق أن أوضحنا فى الفصل العاشر (شكل ١٠-٢) كيف يمكن

الاستفادة من هذه الظاهرة فى إكثار نباتات الشعير العقيمة الذكر . ويبين شكل (١٤-٢) الطريقة التى اقترحها Ramage ، واستخدمها لإنتاج هجن الشعير (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) . ويتطلب الأمر أن يكون طراز الثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة متوازناً Balanced Tertiary Trisomic ؛ فيحتوى على أليل العقم الذكرى بصورة متنحية أصيلة (ms ms) على زوج الكروموسومات الذى يحمل - طبيعياً - هذا الجين ، كما يحمل الأليل السائد لهذا الجين (Ms) على الكروموسوم الزائد . ويعنى ذلك أن النسل الثنائى العادى لهذا النبات يكون - دائماً - عقيم الذكر ، بينما تكون النباتات الخصبة الذكر - دائماً - ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة . ويتوزع النسل بينهما - غالباً - بنسبة ٧٠٪ ، و٣٠٪ للنباتات العقيمة الذكر والخصبة الذكر على التوالى . كما يكون كل نسل النباتات الثنائية عقيم الذكر أيضاً .

وحقيقة الأمر أن ١٪ - أو أقل - من نسل النباتات ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة يكون ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الأولى ، ولكنها تكون عقيمة الذكر ؛ لأن كل كروموسوماتها تحمل الأليل ms . وكما فى جميع الحالات الثلاثية الكروموسوم .. فإن الكروموسوم الزائد لاينتقل خلال حبوب اللقاح ، ويحدث ذلك -على الأقل- فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية diploids .

وإذا حمل زوج آخر من الكروموسومات الأليل المتنحى (r) الذى يتحكم فى اللون النباتى الأخضر ، وحمل الكروموسوم الزائد الأليل الآخر السائد لهذا الجين (R) ، الذى يتحكم فى اللون النباتى الأحمر ؛ فحينئذ .. تكون كل النباتات الحمراء ثلاثية الكروموسوم ، بينما تكون كل النباتات الخضراء ثنائية المجموعة الكروموسومية .

وتحصد النباتات الثلاثية الكروموسوم من خليط النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة والثنائية المجموعة الكروموسومية يدوياً ، وتستعمل كمصدر للنباتات الثلاثية الكروموسوم وثنائية المجموعة الكروموسومية فى الموسم التالى . وتحصد النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية المتبقية آلياً ، وتستخدم كأم فى حقول إنتاج الهجن . ويتطلب استخدام النباتات الثلاثية الكروموسوم - من الدرجة الثالثة المتوازنة فى إنتاج بذور هجن الشعير - أن ينتج النباتات الثلاثى الكروموسوم حبوب اللقاح بوفرة ، وأن تتوفر الظروف البيئية التى تسمح بانتقال حبوب اللقاح إلى



شكل (١٤ – ٢) : طريقة استخـــدام النبـاتات الثلاثـية الكـروموســوم من الدرجـة الثالثة المتوازنة Balanced Tertiary Trisomics فى انتاج هجن الشعير . يراجع المتن للتفاصيل .

النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية العقيمة .

ثلاثى الكروموسوم المزدوج

يوجد فى النباتات الثلاثية الكروموسوم المزدوجة Double Trisomics كروموسومان ، يكون كل منهما ممثلاً ثلاث مرات ، والمعادلة العامة لهذه الحالة هى : (٢ن + ١ + ١) .

رباعى الكروموسوم

يكون أحد الكروموسومات فى النباتات الرباعية الكروموسوم Tetrasomics ممثلا أربع مرات ، بينما توجد باقى الكروموسومات فى الحالة الثنائية ، والمعادلة العامة لذلك هى : (٢ ن + ٢) . ونظراً لوجود أربعة كروموسومات متماثلة .. فإنها غالباً ماتقترن ببعضها ؛ لتكون وحدة رباعية الكروموسوم quadrivalent أثناء الدور الضام من الانقسام الميوزى . ويتوجه -غالباً- زوج من الكروموسومات - من الوحدة الرباعية الكروموسوم - إلى كل قطب ؛ وبذا .. يكون النظام ثابتاً وراثياً ، إلا أن النسب الوراثية التى يتحصل عليها تختلف تماماً عما فى النباتات ثنائية المجموعة الكروموسومية العادية ؛ نظراً لوجود كل جين على الكروموسوم الزائد ممثلاً أربع مرات . هذا .. وقد تتكون -أحياناً- وحدة ثلاثية الكروموسوم ، وأخرى أحادية ، وقد تتكون وحدة مستقلة ثنائية الكروموسوم من زوج الكروموسوم الزائد ؛ لذا .. فإنه تلاحظ -أحياناً- نسبة من العقم . وتوجد الحالات الرباعية الكروموسوم بكثرة فى النباتات ، وتكون مختلفة - مظهرياً - عن قريناتها من النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية العادية ، ويطلق عليها اسم Chromosome Addition Lines .

وتوجد حالات رباعية الكروموسوم ، يكون فيها زوج الكروموسوم الزائد من نوع نباتى مختلف ، وهى التى يطلق عليها اسم Alien Addition Lines . وهى تختلف فى مظهرها وفى سلوكها السيتولوجى عن النوع الأول (Chromosome Addition Lines) ؛ نظراً لأن زوج الكروموسوم الزائد لايقترن بأى من الكروموسومات الأخرى أثناء الانقسام الميوزى ، وإنما يكون وحدة إضافية ثنائية الكروموسوم .

متعدد الكروموسوم

يحتوى الفرد المتعدد الكروموسوم Polysomic على أكثر من كرموسومين زائدين من أحد كروموسومات الهيئة الكروموسومية ، وهى قد تكون خماسية الكروموسوم Pntasomics (٢ن + ٣) ، أو سداسية الكروموسوم Hexasomics (٢ن+ ٤) ... إلخ .

ولمزيد من التفاصيل عن موضوع التعدد الكروموسومى غير التام واستخداماته فى مجال تربية النبات .. يراجع Elliott (١٩٥٨) ، Burnham (١٩٦٦) ، و Swanson وآخرون (١٩٧٦) ، و Peloquin (١٩٨١) .

تعدد المجموعة الكروموسومية التام

تحدث حالات تعدد المجموعة الكروموسومية التام Euploidy حينما يشمل التضاعف جميع كروموسومات الهيئة الكروموسومية للنبات ؛ وتوجد منها أنواع كثيرة . وبرغم أن نقص عدد الكروموسومات إلى هيئة كرموسومية واحدة كاملة (١ن) يعد اختزالا ، وليس تضاعفاً .. إلا أن حالات النباتات الأحادية هذه تدرج ضمن حالات تعدد المجموعة الكروموسومية التام . ونبين -فيما يلى- مختلف أنواع التعدد الكروموسومى التام .

أحادية المجموعة الكروموسومية

تحتوى الخلايا الجسمية للنبات الأحادية المجموعة الكروموسومية monoploids على العدد الأحادى من الكروموسومات (١ن) ، ويطلق عليها - بوجه عام - اسم Haploids . هذا .. إلا أن النباتات الأحادية المتحصل عليها من نباتات ثنائية يطلق عليها اسم Monohaploids (وفيها ن = ١س) ، بينما يطلق على النباتات الأحادية المتحصل عليها من النباتات الرباعية tetraploids اسم dihaploid (وفيها ن = ٢ س) ، ويطلق اسم trihaploid على النباتات الأحادية المتحصل عليها من النباتات السداسية hexaploids (وفيها ن = ٣ س) ... إلخ .

تكون الأفراد الأحادية المجموعة الكروموسومية صغيرة الحجم -عادة- وأضعف نمواً من مثيلاتها الثنائية المجموعة الكرموسومية ، كما تكون على درجة عالية من العقم . ويرجع

العقم إلى أن كل كروموسوم يوجد فى هذه النباتات بحالة مفردة ؛ وبذلك .. لايحدث أى اقتران كروموسومى ، ويكون الإنعزال الكروموسومى غير منتظم ، وتحتوى معظم الجاميطات التى تنتجها النباتات الأحادية على نقص فى كروموسوم واحد أو أكثر ؛ لذا .. فإنها تكون غالباً عديمة الحيوية . هذا .. إلا أن جميع الكروموسومات قد تتجه – أحياناً – إلى قطب واحد من قطبى الخلية فى الدور الانفصالى من الانقسام الميوزى ، وتتكون بذلك جاميطة طبيعية . ويؤدى تزاوج جاميطتين من هذا النوع إلى تكون فرد ثنائى المجموعة الكروموسومية .

ونظراً لأن احتمال توجه أى كروموسوم إلى أى من قطبى الخلية هو ٠,٥ ؛ لذا .. يكون احتمال توجه جميع الكروموسومات فى أثناء الانقسام الميوزى إلى أى من قطبى الخلية هو $(\frac{1}{2})^{ن}$ ؛ حيث تمثل (ن) عدد الكروموسومات فى الهيئة الكروموسومية ؛ وعليه .. نجد فى نبات كالذرة (وهو يحتوى على ١٠ أزواج من الكرموسومات) أن هذا الاحتمال يساوى $(\frac{1}{2})^{١٠}$ ، أو جاميطة من كل ١٠٢٤ جاميطة . ويتضح من ذلك لِمَ تكون نسبة العقم عالية فى الأفراد الأحادية المجموعة الكروموسومية ؛ لذا .. فإنها تكثر بالطرق الخضرية كلما أمكن ذلك .

تكون جميع الجينات فى النباتات الأحادية ممثلة مرة واحدة ؛ ويعنى ذلك ظهور الصفات التى تتحكم فيها الأليلات المتنحية . ويوصف التركيب الوراثى فى هذه الحالة بأنه hemizygous . وتعتبر تلك فى الحالة الطبيعية فى النباتات الدنيئة ، إلا أنها تعد حالة شاذة بالنسبة للنباتات الاقتصادية .

تبلغ نسبة النباتات الأحادية التى تتكون طبيعياً بالتوالد البكرى (*in vivo* parthenogensis) فى الذرة نحو ٠,١٪ ؛ وهى تتكون بنمو إحدى الخلايا الأحادية بالكيس الجنينى إلى جنين . وقد ينشأ الجنين الأحادى فى أحيان قليلة من الجاميطة المذكرة مع سيتوبلازم الجاميطة المؤنثة . كما يمكن إنتاج النباتات الأحادية صناعياً بواسطة مزارع المتوك والمبايض . ويستفاد من النباتات الأحادية فى الجوانب التالية :

١– تؤدى مضاعفتها بالكولشيسين إلى إنتاج نباتات ثنائية أصيلة ، قد يمكن الاستفادة منها فى إنتاج الهجن الفردية والزوجية ، دونما حاجة لعمليات التربية الداخلية ،

التى تستغرق عدة سنوات ، وقد تستعمل كأصناف جديدة محسنة ؛ كبعض أصناف الدخان ، والأرز ، والقمح ، التى أنتجت بمضاعفة نباتات أحادية .

٢- تفيد النباتات الأحادية -المتحصل عليها من النباتات المتضاعفة-فى إجراء الدراسات الوراثية للصفات الكمية ؛ مثل دراسات التباين الوراثى ، والارتباط ، وعدد الجينات ومواقعها (Dunwell ١٩٨٥) .

٣- نقل الجينات من نوع إلى آخر ، وإحلال كروموسوم من أحد الأنواع محل آخر .

٤- التربية بالطفرات :

يمكن معرفة الطفرات المتنحية التى تظهر فى النباتات الأحادية مباشرة ، دونما حاجة إلى إنتاج الجيل الطفرى الثانى (M_2) ؛ لأن الطفرة تكون فى حالة hemizygous . ويكون من الأفضل معاملة مزارع الخلايا الأحادية ، وإجراء التقييم والانتخاب وهى على هذه الصورة . وقد أمكن بهذه الطريقة التعرف على طفرات مقاومة لمضادات الحيوية ، وشبيهات الأحماض الأمينية ، ومبيدات الحشائش . ويعاب على هذه الطريقة فى إنتاج الطفرات أن استعمالها مقصور على الأنواع القليلة التى يمكن أن تبقى مزارع خلاياها الأحادية على حالتها ، مع إمكان دفعها إلى تكوين نباتات أحادية .

وقد أمكن إنتاج أجنة أحادية *in vivo* من مبايض الأزهار بعد تعريضها لإحدى المعاملات التالية : تأخير التلقيح - التلقيح بحبوب لقاح معاملة بالإشعاع - التلقيح بحبوب لقاح من أنواع أخرى - تعريض الأزهار لدرجات حرارة منخفضة . وقد أمكن زيادة نسبة النباتات الأحادية (ن) بعد العثور على مايسمى بالملقحات الفائقة superior pollinators لبعض النباتات ؛ مثل الذرة ، والبطاطس . كما أمكن الحصول على عدد كبير من النباتات الأحادية من الشعير من التلقيح *Hordeum vulgare x H . bulbosum* باستعمال مزارع الأجنة . وقد تبين أن الأجنة الأحادية نشأت من الأجنة الهجين باستعباد كروموسومات النوع *H . bulbosum* خلال المراحل الأولى لتكوين الأجنة .

ويذكر chu (١٩٨٢) أنه أمكن -حتى عام ١٩٨٢- إنتاج نباتات أحادية من حبوب اللقاح فيما لايقل عن ١١١ نوعًا نباتيًا ، ينتمى معظمها إلى العائلات الباذنجانية ، والنجيلية ، والصليبية . ومنها بعض الأنواع الخشبية ؛ مثل جنسى الحمضيات *Citrus* ، والعنب *Vitis* . ويعطى المرجع قائمة كاملة بهذه الأنواع .

وقد أمكن إنتاج أجنة أحادية بكثرة فى الشمام بتلقيح الأزهار المؤنثة صباح يوم تفتحها بحبوب لقاح معاملة بأشعة إكس . وينتج هذا التلقيح ثماراً طبيعية المظهر ، تحتوى داخلها على بعض الأجنة الأحادية ، بالإضافة إلى الأجنة الثنائية العادية . هذا .. ويلزم التعرف على الأجنة الأحادية المتكونة بعد ثلاثة أسابيع من التلقيح اليدوى ، ونقلها إلى بيئة صناعية ، وإلا .. فإنها تنهار وتختفى إذا تركت فى الثمار لأكثر من ذلك .

وقد أمكن تقليل الجهد اللازم للتعرف على هذه الأجنة ؛ بجمع البنور من الثمار بعد ٤-٧ أسابيع من التلقيح ، وفحصها بجهاز أشعة إكس العادى الذى يستخدم فى الأغراض الطبية . وتكون الأجنة صغيرة جداً - قبل ذلك ، ويصعب تداولها ، بينما تبدأ الأجنة فى الانهيار لوتركت لأكثر من سبعة أسابيع . ويلزم تجفيف الأجنة - جزئيًا - قبل فحصها ؛ حتى لاتبدو معتمة فى الفيلم ، مع مراعاة عدم الإفراط فى التجفيف ؛ حتى لاتفقد حيويتها ، ويكون التجفيف على درجة ٤°م لمدة ١٥ ساعة . وتوضع البنور - بعد تجفيفها- على لوح من البوليسترين سمكه ٥ مم ، وتغطى بشريط لاصق شفاف ، ثم تعرض لأشعة إكس . وتبدو البنور -التى تحتوى على أجنة أحادية- أقل عتمة على الفيلم من البنور التى تحتوى على أجنة ثنائية (Savin وآخرون ١٩٨٩) .

متعددة المجموعة الكروموسومية ذاتيًا أو الذاتية التضاعف

تحتوى النباتات المتعددة المجموعة الكروموسومية ذاتيًا - أو الذاتية التضاعف - Autopobyloids أو Autoploids على مضاعفات كاملة للهيئة الكروموسومية ؛ كأن تكون ٣س ، أو ٤ س ... إلخ . وتأخذ الدرجات المختلفة من التضاعف أسماء مختلفة كما يلى :

عدد مضاعفات الهيئة الكروموسومية (س)	الاسم	
٣ س	ثلاثية المجموعة الكروموسومية	Triploids
٤ س	رباعية المجموعة الكروموسومية	Tetraploids
٥ س	خماسية المجموعة الكروموسومية	Pentaploids
٦ س	سداسية المجموعة الكروموسومية	Hexaploid
٧ س	سباعية المجموعة الكروموسومية	Heptaploids
٨ س	ثمانية المجموعة الكروموسومية	Octaploids

توجد حالات التضاعف الذاتى فى كثير من النباتات ، خاصة تلك التى تتكاثر خضرياً؛ لأنها غالباً ماتكون على درجة عالية من العقم .

تتشابه النباتات الثلاثية المجموعة الكروموسومية مع النباتات الأحادية فى كونها على درجة عالية من العقم ، لكنها تتميز عنها بأنها تحتل مركزاً مهماً بين النباتات المزروعة؛ إذ ينشأ عن حالة التضاعف الثلاثى تأثيرات مورفولوجية وفسيولوجية مرغوبة . وتكون النباتات الثلاثية - غالباً - قوية النمو ، كما تكون ثمارها كبيرة الحجم ، وخالية من البذور، وتوجد منها أصناف تجارية كثيرة تكثر خضرياً ، ومن أمثلتها : الموز ، ونحو ربع أصناف التفاح الأمريكية الهامة ، وبعض أصناف الكمثرى والمشمش اليابانى ، وبعض أصناف الكريزانثيمم التى تتميز بإنتاج مرتفع من البيرثيرم ، وبعض أشجار الحور التى تتميز بسرعة النمو العالية ، وعديد من نباتات الزينة ؛ مثل العائق وبعض أصناف التيولب، والجلاديولس . وتزرع أصناف ثنائية مع أصناف التفاح والمشمش والكمثرى الثلاثية ؛ لتكون مصدراً لحبوب اللقاح فى الحقول الإنتاجية . أما الموز .. فإن ثماره تعقد بكرياً ، ولاتوجد البذور إلا فى الموز الثنائى المجموعة الكروموسومية ، وهو لايزرع تجارياً .

ومن بين النباتات الاقتصادية الهامة المتضاعفة ذاتياً كل من : البطاطس ، والبن ، والبرسيم الحجازى ، والفول السودانى وجميعها رباعية التضاعف ، والبطاطا وهى سداسية التضاعف .

وتتميز النباتات المتضاعفة - عامة - بزيادة طول الساق ، وحجم الأوراق والأزهار ؛ ويحدث ذلك نتيجة للزيادة فى حجم خلاياها ، وليس فى أعدادها . كما تظهر بها فروق فى أشكال الأعضاء النباتية المختلفة ، وتكون أبطأ نمواً ، وأصلب عوداً من نظيرتها الثنائية المجموعة الكرموسومية . كذلك يزيد تركيز بعض المركبات الكيميائية فى النباتات الرباعية مقارنة بالنباتات الثنائية ، ومن أمثلة ذلك ما يلى :

١- محتوى المطاط فى الداندليون الروسى .
٢- محتوى الأتروبين والقلوانيات الأخرى فى أوراق الداتورة .
٣- محتوى النيكوتين فى الدخان .
٤- محتوى «الكمفور» Champhor فى أوراق الريحان .
٥- محتوى حامض الأسكوربيك فى أوراق الكرنب وثمار الطماطم .

٦- محتوى المواد الكاروتينية فى الذرة الصفراء .

٧- محتوى الألياف فى القطن والجوت .

متعددة المجموعة الكروموسومية الخليطة أو الهجينية التضاعف

تنشأ الأفراد المتعددة المجموعة الكروموسومية الخليطة - أو الهجينية التضاعف - Alloploids حينما تجرى تلقيحات معينة بين أفراد من مجموعتين مختلفتين من الوجهة التقسيمية . وتكون أفراد الجيل الأول الناتجة من هذا التهجين عقيمة - غالباً - لوجود الكروموسومات فى الفرد الهجين بحالة مفردة دون قرين ، إلا أنها قد تتقارن - جزئيًا - إذا كانت الاختلافات بين الهيئات الكروموسومية للأبوين بسيطة ؛ وتعرف الهجن فى هذه الحالة باسم المتعددة المجموعة الكروموسومية الخليطة جزئيًا Segmental Alloploids . وتعرف الكروموسومات المتماثلة جزئيًا فى هذه الهجن باسم Homoelogus Chromosomes .

وقد يحتوى الفرد الهجين على جميع الكروموسومات التى توجد فى أبويه ؛ ويحدث ذلك فى إحدى الحالتين التاليتين :

١- حينما ينشأ الفرد المتعدد المجموعات الكروموسومية الخليطة من اتحاد جاميطات ثنائية (٢ن) ، تكونت إما بمحض الصدفة ، وإما نتيجة لمضاعفة كروموسومات الآباء صناعيًا قبل إجراء التهجين .

٢- إذا حدث تضاعف لكروموسومات الفرد المتعدد المجموعات الكروموسومية الخليطة .

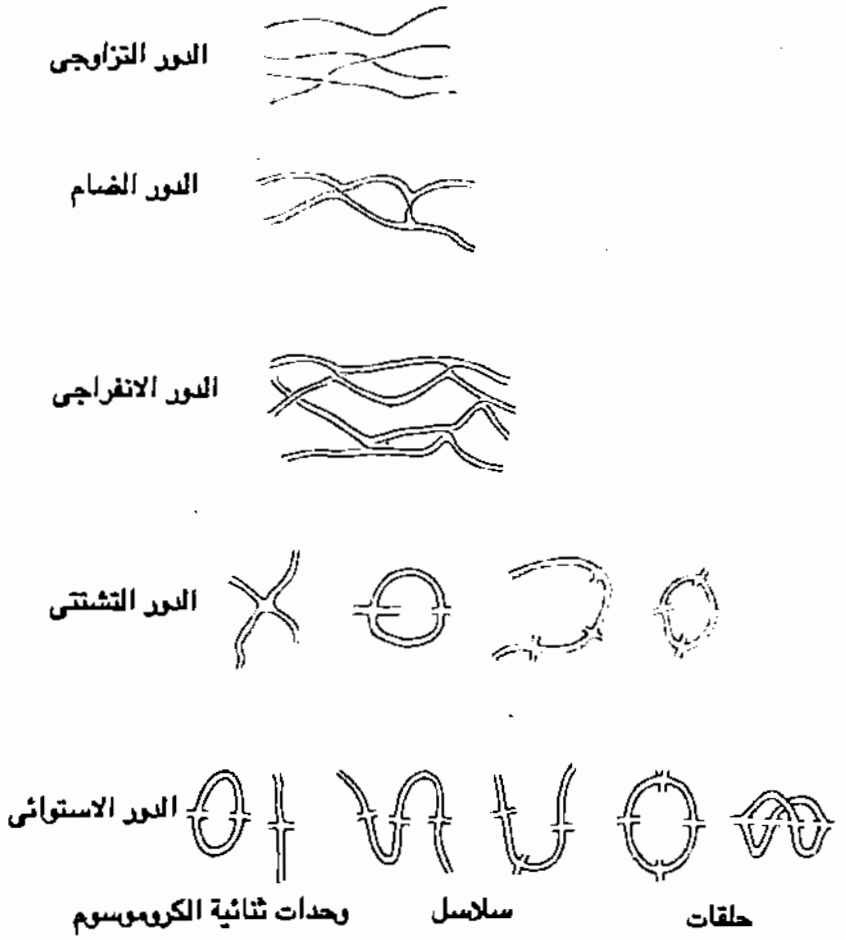
تعرف هذه الأفراد التى تحتوى خلاياها الجسمية على جميع الكروموسومات التى توجد فى كل من أبويها باسم المتعددة المجموعات الكروموسومية الشبيهة بالثنائية Amphidiploids . ولايختلف السلوك الكروموسومى لهذه الأفراد فى الانقسام الميوزى عن الأفراد الثنائية المجموعة الكروموسومية العادية . وتكون هذه النباتات صادقة التربية لنوعها truee breeding ، إلا إذا كانت نشأتها بالطريقة الأولى ، وكانت الآباء خليطة أصلاً .

مختلفة من التقارن التفاضلى Preferential Paring ، أو الاختيارى Selective Pairing فى حالة الأفراد المتعددة المجموعة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية amphidiploids التى تكون فيها كروموسومات الأبوين متشابهة جزئياً Homoelogus ، كما سيتضح عند بيان السلوك السيتولوجى للنباتات الهجينية التضاعف .

وتتلخص عملية الاقتران الكروموسومى فى الوحدات الرباعية الكروموسوم (فى الأفراد الرباعية المجموعة الكرموسومية) فيما يلى : تظهر الكروموسومات الأربعة المتماثلة فى الدور القلادى ، ثم تتصل فى أزواج فى الدور التزاوجى . يبدأ الاتصال عند عدة مواقع على امتداد الكروموسومات ؛ وبذلك .. يقترن كل كروموسوم من الكروموسومات الأربعة بكروموسوم آخر منها عند مواقع مختلفة . ومع نهاية الدور الضام .. يكون الكروموسوم الواحد قد اقترن مع كروموسومات مختلفة (شكل ١٤-٤) ، وانقسم كل كروموسوم منها إلى كروماتيدتين ، وتكون قد تكونت الكيازمات chiasmata ؛ نتيجة للعبور بين الكروموسومات المتقارنة . ويؤدى الاختلاف فى عدد ومواقع الكيازمات إلى ظهور عدة أشكال مميزة (مثل الوحدات الثنائية الكروموسوم ، والسلاسل ، والحلقات) فى الدور الانفراجى .

وبعد أن تتعلق الوحدات الرباعية الكروموسوم بخيوط المغزل فى دور الوضع المتوسط الأول .. فإن الانفصال قد يحدث بحيث تذهب الكروموسومات المتجاورة (فى أى من الأشكال المميزة السابقة) إلى نفس القطب ، أو إلى أقطاب مختلفة . ولكن قد تتكون وحدتان ثنائيتا الكروموسوم إن لم تتكون كيازمتان بين أزواج الكروماتيدات ؛ وحينئذ .. يتحتم على كروموسومى كل وحدة ثنائية الكروموسوم أن يتوزعا على قطبين مختلفين فى الدور الانفصالى الأول .

وتجدر الإشارة إلى أن بعض الأنواع المعروفة الرباعية المجموعة الكروموسومية (مثل البطاطس والبرسيم الحجازى) تظهر بها أحياناً درجة من التقارن الاختيارى Selective Pairing . ويرجع ذلك إلى تراكم تغيرات طفيفة ، حدثت فى الكروموسومات منذ فترات زمنية بعيدة ، برغم أنها كانت فى الأصل تامة التماثل . وبعد التقارن الاختيارى فى مثل هذه النباتات الرباعية المجموعة الكروموسومية انحرافا نحو العودة إلى الحالة الثنائية diploidization .



شكل (١٤ – ٤) : أشكال الوحدات الرباعية الكروموسوم خلال الانقسام الميوزى الأول (يراجع المتن للتفاصيل) .

السلوك الوراثى

يختلف السلوك الوراثى للنباتات الذاتية التضاعف عن النباتات الثنائية ، بسبب احتمال وجود أكثر من أليلين لكل جين ، ولتكوين وحدات متعددة الكروموسوم. وحتى إذا وجد أليلان فقط للجين .. فإن عدد التراكيب الوراثية الممكنة فى نبات رباعى المجموعة الكروموسومية (وهى درجة منخفضة نسبيًا من التضاعف) يصبح خمسة مقارنة بثلاثة فقط فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية . ويطلق على التراكيب الوراثية الخمسة الممكنة فى حالة وجود أليلين ، أحدهما سائد (A) ، والآخر مُتنحٍ (a) الأسماء التالية :

التركيب الوراثى	الاسم
AAAA (سائد أصيل)	quadriplex
AAAa	triplex
AAaa	duplex
Aaaa	simplex
aaaa (متنحٍ أصيل)	nulliplex

يلاحظ أن نسبة الأليلات السائدة إلى المتنحية تختلف فى النباتات الـ triplex ، و الـ duplex ، و الـ simplex عن النسب المعهودة فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية ، إلا أن الشكل الظاهرى للفرد الخليط يتوقف على درجة السيادة بين الأليلات ؛ ففى حالة السيادة التامة .. لايظهر سوى نوعين من الأشكال المظهرية ، بينما يظهر عدد أكبر من الأشكال المظهرية فى حالات السيادة غير التامة . ويصل عدد الأشكال المظهرية إلى خمسة عند غياب السيادة ، وفى حالات التأثير الإضافى للجين .

وتتوقف نسب التراكيب الوراثية التى يتوقع ظهورها فى النسل على كل من التركيب الوراثى لجيل الآباء ، وعلى مدى كون انعزال الجينات يحدث فى أثناء الانقسام الاختزالى على مستوى التوزيع الحر للكروموسومات ، أم للكروماتيدات . وسنفترض – للتبسيط – أن التركيب الوراثى للآباء simplex أى Aaaa ، ثم نستعرض النسب المتوقعة فى كل من حالتى التوزيع الحر .

١- التوزيع الحر للكروموسومات Random Chromosome Assortment :

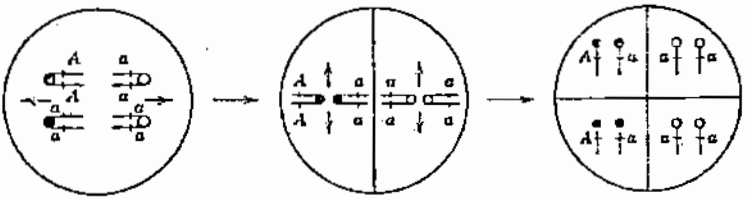
يحدث التوزيع الحر للكروموسومات عندما تفشل الكروموسومات فى تكوين وحدة رباعية الكروموسوم ، أو عندما يكون الجين قريباً بدرجة كبيرة من موضع السنترومير ؛ فنجد أن كل كروموسوم يحمل فى أثناء الانقسام الاختزالى أليلين متشابهين على كروماتيدتيه ، ويذهب الأليلان - معًا - إلى أحد أقطاب الخلية فى أثناء الانقسام الاختزالى الأول ؛ لأنهما يكونان متصلين بنفس السنترومير ، ثم يتوزع الأليلان إلى أقطاب مختلفة فى الانقسام الاختزالى الثانى ؛ وعليه .. فلا يمكن أن يتواجد الأليلان - معًا - فى جاميطة واحدة بعد الانقسام (شكل ١٤-٥) . ولتوضيح ذلك .. نفترض أن الأليلات التى يحملها النبات الـ simplex (وهى أليل واحد سائد A ، وثلاثة متنحية a) تتضاعف عند تكوين الكروماتيدات (أثناء الانقسام الاختزالى) ؛ لتصبح A_1 ، وA_2) ، و (a3 ، و a4) ، و(a5 ، و a6) ، و (a7 ، و a8) ، علما بأن كل زوج منها (داخل قوسين) يمثل أليلين متماثلين على كروماتيدين متماثلتين لكروموسوم واحد .

ونظراً لأن كل زوج من الأليلات ينتهى به الأمر فى جاميطات مختلفة ؛ لذا .. فإن كلاً من A_1 ، و A_2 يكون له نفس الفرصة لأن ينعزل مع أى من a3 ، أو a4 ، أو a5 ، أو a6 ، أو a7 ، أو a8 ، ولكنهما - أى A_1 ، و A_2 - لايمكن أن يتواجدا معًا فى جاميطة واحدة .. وهكذا الأمر بالنسبة لأزواج الأليلات الأخرى . وتكون نتيجة ذلك أن تنعزل الجينات فى الجاميطات - على أساس التوزيع الحر للكروموسومات - كما هو مبين فى شكل (١٤-٦) . ويتبين من الشكل أنه يتكون نوعان من الجاميطات ، هما : Aa ، و aa بنسبة ١:١ . ويمكن بتحليل مماثل إثبات أن النبات الـ duplex (AAaa) ينتج ثلاثة أنواع من الجاميطات هى AA ، و Aa ، و aa بنسبة ١: ٤: ١ ، وأن triplex (AAAa) ينتج نوعين من الجاميطات هما AA ، و Aa بنسبة ١:١ .

وتحسب نسب التراكيب الوراثية المتوقعة بعد ذلك كما يلى :

(أ) فى حالة الـ simplex :

	الجاميطات المذكرة	
	1Aa	1aa
الجاميطات المؤنثة 1Aa	1AAaa	1Aaaa
1aa	1Aaaa	1aaaa



شكل (١٤ – ٥) : انعـزال الجـينـات من وحدة رباعيـة الكروموسـوم quadrivalent لنبات (Aaaa) simplex . يعتمد الانعزال على التوزيع الحر للكروموسومات ، لوجود الجين قريبًا جدًا من السنترومير وانعدام العبور في هذه المنطقة .

	A_1	A_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
A_1			A_1a_3	A_1a_4	A_1a_5	A_1a_6	A_1a_7	A_1a_8
A_2			A_2a_3	A_2a_4	A_2a_5	A_2a_6	A_2a_7	A_2a_8
a_3					a_3a_5	a_3a_6	a_3a_7	a_3a_8
a_4					a_4a_5	a_4a_6	a_4a_7	a_4a_8
a_5							a_5a_7	a_5a_8
a_6							a_6a_7	a_6a_8
a_7								
a_8								

شكل (١٤–٦) : تكوين الجاميطات في نبات simplex في حالة التوزيع الحر للكروموسومات .

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى : ١ AAaa : ٢ Aaaa : ١ aaaa ، وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ٣ سائد : ١ متنح

(ب) فى حالة الـ duplex :

	الجاميطات المذكرة		
	1AA	4Aa	1aa
الجاميطات المؤنثة			
1AA	1AAAA	4AAAa	1AAaa
4Aa	4AAAa	16AAaa	4Aaaa
1aa	1AAaa	4Aaaa	1aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى : ١ AAAA : ٨ AAAa : ١٨ AAaa : ٨ Aaaa : ١ aaaa . وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ٣٥ سائد : ١ متنح .

(جـ) فى حالة triplex :

	الجاميطات المذكرة	
	1AA	1Aa
الجاميطات المؤنثة		
1AA	1AAAA	1AAAa
1Aa	1AAAa	1AAaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى . ١ AAAA : ٢ AAAa : ١ AAaa . وتكون جميع الأشكال المظهرية سائدة فى حالة السيادة التامة .

٢- التوزيع الحر للكروماتيدات Random Chromatid Assortment :

إذا تكونت وحدات رباعية الكروموسوم مع وجود الجينات بعيدة عن السنترومير بدرجة تسمح بحدوث عبور بين موقع الجين والسنترومير .. فإن ذلك يعطى فرصة متكافئة لأن يتواجد أى أليل مع أى أليل آخر ، بما فى ذلك أزواج الأليلات التى توجد على

وليس من الضرورى أن تكون الأفراد المتعددة المجموعة الكروموسومية – الشبهية بالثنائية – خصبة دائماً ، كما لاترتبط قيمتها الزراعية بقيمة الأنواع النباتية الداخلة فى إنتاجها ؛ فقد يؤدى تهجين أنواع عديمة القمية معًا إلى الحصول على أنواع جديدة على درجة كبيرة من الأهمية . وقد حدث ذلك بالنسبة لكل من القمح والقطن ، والدخان ، وغيرها من المحاصيل الهامة التى نشأت – فى الطبيعة – من تهجينات بين أنواع لاشأن لها .

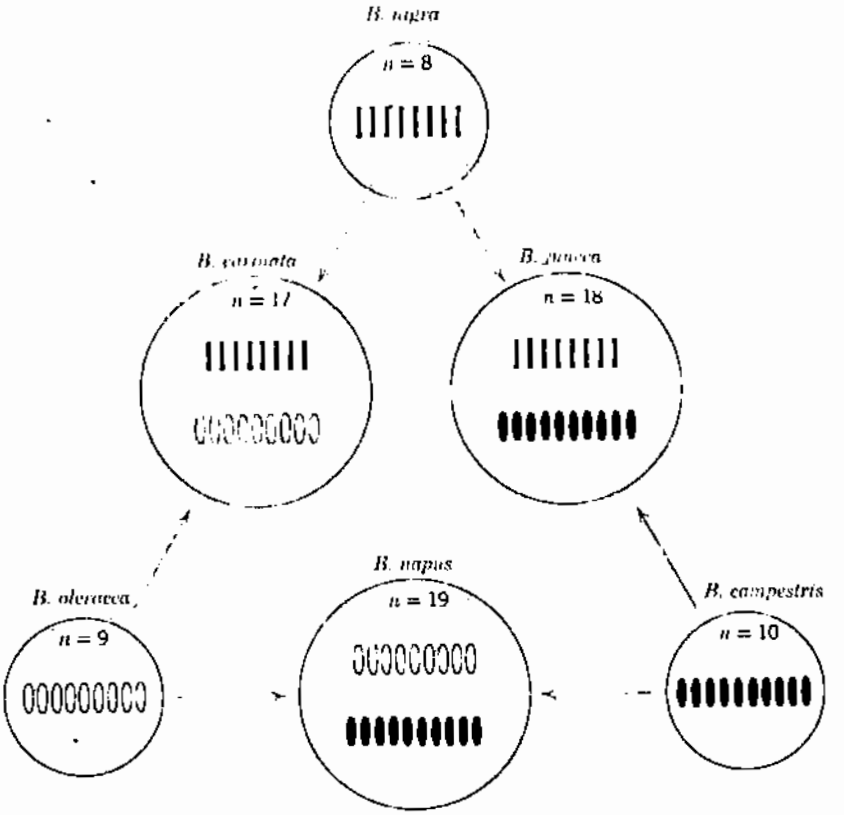
ينتشر التضاعف الهجينى فى الطبيعية بدرجة كبيرة ، ويعتبر القمح المثال التقليدى على ذلك . كما يوجد أيضا فى كل من القطن ، والشوفان ، وبنجر السكر ، والقصب ، والشليك ، والبرقوق الأوروبى . كذلك ينتشر التضاعف الهجينى فى العائلة الصليبية ، وقد اقترح U ، (وهو عالم ياباني) الطريقة المبينة فى شكل (١٤-٣) للكيفية التى نشأت بها الأنواع المتعددة المجموعة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية فى الجنس *Brassica* والتى تعرف بمثلث U .

ومن أمثلة التضاعف الهجينى الصناعى الهجين *Raphanobrassica* الذى أنتجه Karpechenko بالتهجين بين الفجل (٢ن = ١٨) ، والكرنب (٢ن = ١٨) ، ثم مضاعفة كروموسومات الجيل الأول لتصبح بخلاياه الجسمية ٣٦ كروموسوماً ، تشتمل على المجموعة الكروموسومية الكاملة لكل من الفجل والكرنب . كما نشأ النوع *Primula kewensis* كطفرة متضاعفة للهجين النوعى : *P . floribunda* × *P . verticillata* ، الذى ظل عقيمًا لعدة سنوات ، إلى أن ظهرت هذه الطفرة على صورة فرع يحمل أزهاراً كثيرة خصبة بأحد النباتات ، ثم اتضح أن خلايا هذا الفرع يوجد بها ٣٦ كروموسوماً ، وهو العدد الكلى لكروموسومات الأبوين .

السلوك السيتولوجى والوراثى للنباتات الذاتية التضاعف

السلوك السيتولوجى

يتكون فى أثناء الانقسام الاختزالى فى النباتات الذاتية التضاعف Autoploids وحدات كروموسومية متعددة الكروموسوم multivalents ، بدلاً من الوحدات الثنائية الكروموسوم bivalents ، التى تتكون فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية ؛ فنجد



شكل (١٤ – ٣) : مـثلث U لبيان الكيفية للتى يحتمل أن تكون قد نشأت بها أنواع الجنس *Brassica* المتعددة المجموعة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية amphidiploids (وهى التى بها ن = ١٧ ، أو ١٨ ، أو ١٩) مـن الأنـواع الثنائية diploids (وهـى التى بهـا ن = ٨ ، أو ٩ ، أو ١٠) . تشير الأسهم إلى الأنواع المتضاعفة هجينيًا التى نشأت من مختلف الأنواع الثنائية .

فى النباتات الثلاثية المجموعة الكروموسومية أن معظم الكروموسومات تتقارن فى وحدات ثلاثية الكروموسوم trivalents ، مع تكون بعض الوحـدات الأحـاديـة الكروموسـوم univalents ، وبعض الوحدات الثنائية الكروموسوم . ونجد فى النباتات الرباعية المجموعة الكروموسومية أن معظم الكروموسومات تظهر أثناء الانقسام الاخترالى على شكل وحدات رباعية الكروموسوم quadrivalents ، أو ثنائية الكرموسوم ، مع تكون بعض الواحدات الأحادية والثلاثية الكروموسوم ... إلخ . ويكون التقارن بين الكروموسومات عشوائياً تماماً Randon Paring مادام التضاعف الكروموسومى من النوع الذاتى ، وكانت الكروموسومات متماثلة تماماً Homologus . هذا .. إلا أنه قد تظهر درجات

الكروماتيدات الشقيقة (شكل ١٤-٧) . وتتكون الجاميطات على النحو المبين فى شكل (١٤-٨) من كل نبات simplex (Aaaa) ، بفرض حدوث عبور بنسبة ٥٠٪ ، علماً بأن كل زوج من الأليلات (A_1 ، و A_2) ، و (a_3 ، و a_4) ، و (a_5 ، و a_6) ، و (a_7 ، و a_8) - داخل قوسين - يمثل أليلين متماثلين على كروماتيدتين متماثلتين لكروموسوم واحد . ويتبين من الشكل أنه يتكون ثلاثة أنواع من الجاميطات هى AA ، و Aa ، و aa بنسبة ١: ١٢ : ١٥ . ويمكن بتحليل مماثل إثبات أن النبات duplex (AAaa) ينتج الجاميطات AA ، وAa ، وaa بنسبة ٣: ٨ : ٣ ، وأن الـ triplex (AAAa) ينتج الجاميطات AA ، و Aa ، و aa بنسبة ١٥ : ١٢ : ١ .

وتحسب نسبة التراكيب الوراثية المتوقعة بعد ذلك كما يلى :

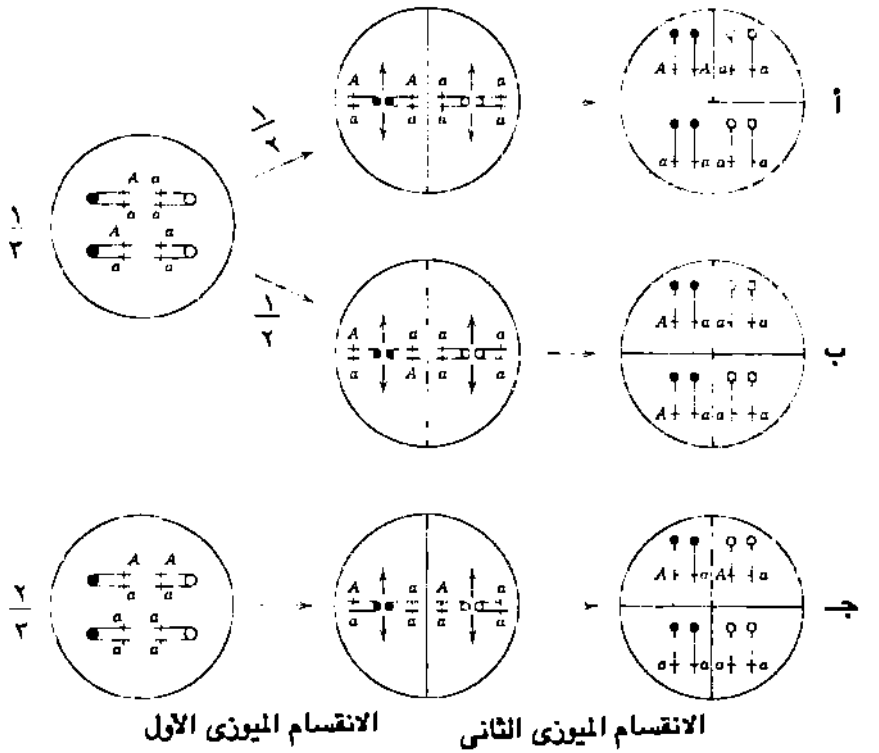
(أ) فى حالة الـ simplex :

		الجاميطات المذكرة		
		1AA	12Aa	15aa
الجاميطات المؤنثة	1AA	1AAAA	12AAAa	15AAaa
	12Aa	12AAAa	144AAaa	180Aaaa
	15aa	15AAaa	180Aaaa	225aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى :

بنسبة ١	AAAA	qudriplex
بنسبة ٢٤	AAAa	triplex
بنسبة ١٧٤	AAaa	duplex
بنسبة ٣٦٠	Aaaa	simplex
بنسبة ٢٢٥	aaaa	nulliplex

وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ٥٥٩ سائداً : ٢٢٥ متنحياً ، أو حوالى ٢,٤٨ : ١ .



شكل (١٤ – ٧) : تكوين الجاميطات من وحدة رباعية الكروموسوم لنبات (Aaaa) Simplex يحدث فيه عبور بين الكروسوم الحامل للآليل السائد وكروموسوم آخر . ينتج من هذا العبور كروموسومين Aa وآخرين aa ينعزل الكروموسومان Aa إلى نفس القطب فى الانقسام الاختزالى الأول فى ثلث الحالات (الانعزال العلوى) ، وإلى أقطاب مختلفة فى ثلثى الحالات (الانعزال السفلى) . وعندما ينتهى بهم الأمر فى القطب نفسه فى كل من الانقسامين الاختزاليين الأول والثانى (الحالة أ) .. فإن ذلك يعنى تكون جاميطات أصيلة . أما تكوين الجاميطات من الوحدات الرباعية الكروموسوم للنباتات الـ duplex فيكون أكثر تعقيداً ؛ بسبب كثرة التوافيق الممكنة .

	A_1	A_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
A_1		A_1A_2	A_1a_3	A_1a_4	A_1a_5	A_1a_6	A_1a_7	A_1a_8
A_2			A_2a_3	A_2a_4	A_2a_5	A_2a_6	A_2a_7	A_2a_8
a_3				a_3a_4	a_3a_5	a_3a_6	a_3a_7	a_3a_8
a_4					a_4a_5	a_4a_6	a_4a_7	a_4a_8
a_5						a_5a_6	a_5a_7	a_5a_8
a_6							a_6a_7	a_6a_8
a_7								a_7a_8
a_8								

شكل (١٤ – ٨) : التركيب الوراثى للجاميطات التى يكونها نبات Simplex (Aaaa) على أساس التوزيع الحر الكروماتيدات (يراجع المتن للتفاصيل) .

(ب) فى حالة الـ duplex :

الجاميطات المؤنثة	الجاميطات المذكرة			
		3AA	8Aa	3aa
	3AA	9AAAA	24AAAa	9AAaa
	8Aa	24AAAa	64AAaa	24Aaaa
	3aa	9AAaa	24Aaaa	9aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى :

بنسبة ٩	AAAA	qudriplex
بنسبة ٤٨	AAAa	triplex
بنسبة ٨٢	AAaa	duplex
بنسبة ٤٨	Aaaa	simplex
بنسبة ٩	aaaa	nulliplex

وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ١٧٨ سائداً : ٩

متنحياً ، أو حوالى ٢١ : ١ .

(جـ) فى حالة الـ triplex :

الجاميطات المؤنثة	الجاميطات المذكرة		
	15AA	12Aa	1aa
15AA	225AAAA	180AAAa	15AAaa
12Aa	180AAAa	144AAaa	12Aaaa
1aa	15AAaa	12Aaaa	1aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى :

بنسبة ٢٢٥	AAAA	quadriplex
بنسبة ٣٦٠	AAAa	triplex
بنسبة ١٧٤	AAaa	duplex
بنسبة ٢٤	Aaaa	simplex
بنسبة ١	aaaa	nulliplex

وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ٧٨٣ : ١ .

ويبين جدول (١٤-١) ملخصاً لانعزالات الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالات التزاوجات المختلفة لنباتات رباعية المجموعة الكروموسومية مع افتراض السيادة التامة (عن Allard ١٩٦٠) . ويتبين من الجدول استحالة تمييز النبات الـ qudriplex عن النبات الـ triplex على أساس اختبار النسل ؛ لأن جميع نباتات النسل تحمل الصفة السائدة فى كل منهما ، ولايفيد انعزال النباتات الـ triplex فى حالة التوزيع الحر للكروماتيدات إلى ٧٨٣ سائداً : ١ متنح ؛ لأن نسبة النباتات المتنحية تكون منخفضة جداً إلى درجة يصعب معها ظهور واكتشاف هذه النباتات فى النسل .

وتجدر الإشارة إلى أن الانعزالات المبينة فى جدول (١٤-١) هى لحالتى التوزيع الحر للكروموسومات (حينما لاتتكون وحدات رباعية الكروموسوم نهائيًا ، أو حينما تكون الجينات قريبة جداً من السنترومير إلى درجة لايحدث معها عبور بين موقع الجين

جدول (١٤-١) : ملخص لانعزالات الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالات التزاوجات المختلفة لنبات رباعى المجموعة الكروموسومية ، مع افتراض السيادة التامة .

التزاوج	انعزال الأشكال المظهرية (سائد : متنح) على أساس	
	التوزيع الحر للكروموسومات	التوزيع الحر للكروماتيدات
AAAA ذاتى	كلها سائدة	كلها سائدة
AAAa ذاتى	كلها سائدة	١ : ٧٨٣
AAaa ذاتى	١ : ٣٥	١ : ٢٠,٨
Aaaa ذاتى	١ : ٣	١: ٢,٥
aaaa ذاتى	كلها متنحية	كلها متنحية
AAaa × AAAa	كلها سائدة	١ : ١٣٠
Aaaa × AAAa	كلها سائدة	١: ٥١,٣
aaaa × AAAa	كلها سائدة	١ : ٢٧
Aaaa ×AAaa	١: ١١	١٠ ٧,٧
aaaa × AAaa	١ : ٥	١ : ٣,٧
aaaa × Aaaa	١ : ١	١ : ٠,٨٧

والسنترومير) ، والتوزيع الحر للكروماتيدات (حينما تكون الجينات بعيدة عن السنترومير بقدر يسمح بحدوث عبور تام بين موقع الجين والسنترومير) ، إلا أنه يتعين - حتما - وجود حالات تتكون فيها وحدات رباعية الكروموسوم بنسب مختلفة ، أو لايكون فيها ارتباط الجين بالسنترومير كاملا ، وهى حالات يكون فيها الانعزال -دائماً- وسطًا بين الحالات السابقة .

السلوك السيتولوجى والوراثى للنباتات متعددة المجموعات الكروموسومية الشبيهة بالثنائية

السلوك السيتولوجى

سبق أن أوضحنا أن الهجن النوعية -التى تختلف آباؤها كثيراً عن بعضها-تكون على

درجة عالية من العقم ؛ لفشل كروموسومات الأبوين فى الاقتران مع بعضها فى أثناء الانقسام الاختزالى ؛ حيث تبقى على صورة وحدات أحادية الكروموسوم . أما إذا كانت كروموسومات الأبوين متماثلة جزئيًا homeologus (كما فى حالات النباتات المتعددة المجموعة الكروموسومية الخليطة جزئيًا (Segmental Alloploids) .. فإنها تتقارن فى المناطق المتماثلة ، وبذا .. تتكون وحدات ثنائية الكروموسوم فى أثناء الانقسام الاختزالى ، وتكون النباتات خصبة نسبيًا .

وعلى خلاف ما سبق بيانه .. فإن الوضع يصبح معكوساً تماماً بالنسبة للنباتات المتعددة المجموعات الكروموسومية الشبيهة بالثنائية Amphidiploids ؛ ففى هذه الحالة.. يحتوى الهجين النوعى على جميع كروموسومات الأبوين ؛ فإن لم يوجد أى تشابه بين كروموسومات الأبوين كان الهجين النوعى خصباً ؛ لأن أزواج الكروموسومات المتماثلة تتقارن مع بعضها فى أثناء الانقسام الاختزالى ، وتكون وحدات ثنائية الكروموسوم .

ويعرف التقارن الكروموسومى هذا بالتقارن التفاضلى الكامل Complete Preferential Pairing ، ويترتب عليه انعدام العبور بين كروموسومات الأبوين واستمرار احتفاظ الهجين بصفاته المميزة . أما إذا كانت كروموسومات الأبوين متماثلة جزئيًا .. فإنها تتقارن مع بعضهافى المناطق المتماثلة بطريقة غير منتظمة ؛ فتتكون وحدات رباعية الكروموسوم ،أو وحدات ثلاثية وأخرى أحادية الكروسوم ، كما قد تتكون وحدات ثنائية الكروموسوم ، وهو ما يعرف بالتقارن الاختيارى Selective Pairing . ويترتب على ذلك عدم وصول أجزاء متساوية من الكروماتين إلى الجاميطات ، وهو مايجعل الهجين على درجة عالية من العقم .

وتجدر الإشارة إلى أن درجة التماثل homology بين الكروموسومات مسألة نسبية ، وتتوقف على درجة القرابة بين النوعين المهجنين معًا . وحينما تكون الأباء من نوع نباتى واحد .. فإن التماثل الكروموسومى يكون تاماً ، ويكون التقارن عشوائياً تماماً فى الوحدات الرباعية الكروموسوم ؛ إلا أن مثل هذه الهجن (التى تحتوى على جميع كروموسومات الأبوين) لاتخرج عن كونها نباتات رباعية المجموعة الكروموسومية tetraploids ، ولاتعد من النباتات المتعددة المجموعة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية Amphidiploids .

السلوك الوراثى

يكون جزء كبير من المادة الوراثية فى النباتات المتعددة المجموعات الكروموسومية الشبيهة بالثنائية مكرراً ، سواء أكانت كروموسومات الآباء مختلفة تماما (حالات الـ Alloploidy) ، أم مختلفة جزئيًا (حالات الـ Segmental Alloploidy) ، وتلك من الأمور التى يجب الانتباه إليها عند دراسة وراثة الصفات فى النباتات الهجينية التضاعف. أما عن الشكل المظهرى لهذه النباتات .. فإنه غالباً مايكون وسطاً بين الآباء ، وإن كان من غير الممكن التنبؤ بذلك مقدماً .

تعدد المجموعات الكروموسومية الخلطى كطريقة لمنشأ الأنواع

منشأ انواع القمح

يعد القمح مثالاً كلاسيكيًا لنشأة الأنواع بطريقة تعدد المجموعات الكروموسومية الخلطى . وتقسم الأنواع التابعة لجنس القمح *Triticum* – عادة – إلى ثلاث مجاميع ، تبعًا لعدد كروموسومات الهيئة الكروموسومية ، الذى يكون دائماً إما سبعة وإما مضاعفات لهذا العدد كما يلى :

١– مجموعة إينكورن Einkorn :

تعد الأنواع التى تنتمى إلى هذه المجموعة ثنائية المجموعة الكروموسومية ، وفيها ن = ٧ ، ومن أمثلتها النوعان : *T . aegilopoides* ، و *T . monococcum* .

٢– مجموعة إيمر Emmer :

تعد الأنواع التى تنتمى إلى هذه المجموعة رباعية المجموعات الكروموسومية ، وفيها ن = ١٤ ، ومن أمثلتها الأنواع *T . dicoccoides* ، و *T . dicoccum* ، و *T . durum* .

٣– مجموعة فولجير Vulgare أو سبلتا Spelta :

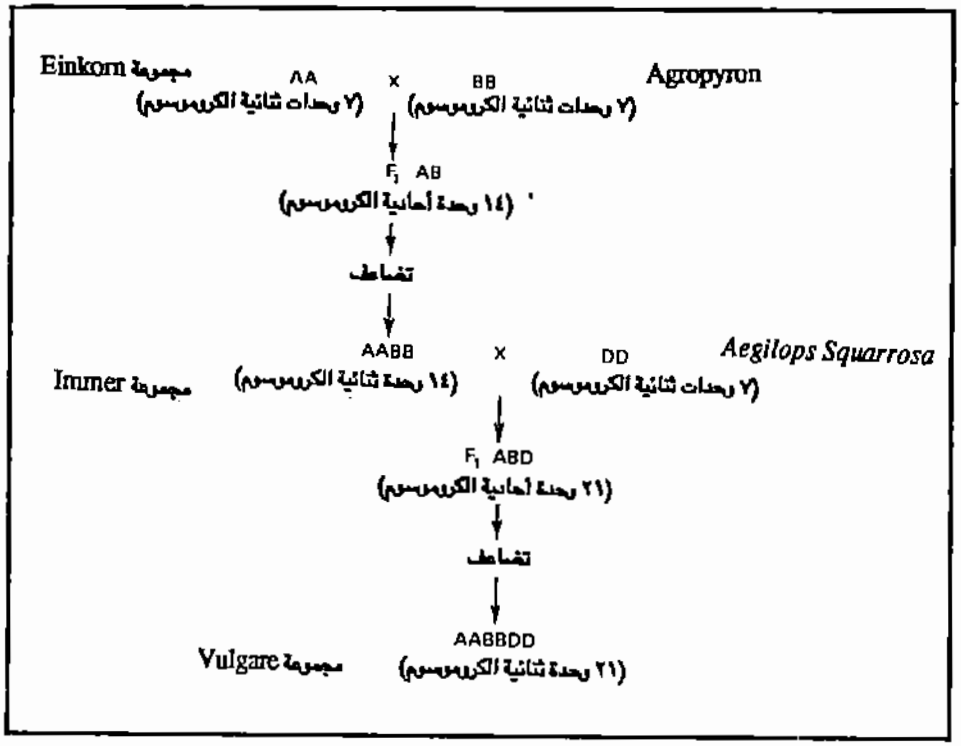
تعد الأنواع التى تنتمى إلى هذه المجموعة سداسية المجموعات الكروموسومية ، وفيها ن = ٢١ ، ومن أمثلتها الأنواع *T . spelta* ، و *T. vulgare* ، و *T . compactum* .

وقد تبين من الدراسات السيتولوجية أن الانقسام الميوزى فى هذه المجموعات منتظم للغاية ، وأن الكروموسومات تقترن دائماً على شكل وحدات ثنائية الكروموسوم ، وهو ما يدل على عدم وجود أى تشابه -ولوجزئى- بين الكروموسومات فى أى من هذه الأنواع ، باستثناء مايكون بين كروموسومى كل زوج منها . كما تبين أن الأقماح الرباعية تحتوى على هيئتين كروموسوميتين كاملتين متضاعفتين (أعطيتا الرمزين A ، و B) ، وأن كلاً منهما تتكون من سبعة كروموسومات غير متماثلة ؛ لذا ... فإن الأقماح الرباعية -وهى هجن متعددة المجموعات الكروموسومية شبيهة بالثنائية- تحتوى على ١٤ زوجاً من الكروموسومات ، ويتكون بها فى أثناء الانقسام الاختزالى ١٤ وحدة ثنائية الكروموسوم . أما الأقماح السداسية .. فقد تبين أنها تحتوى على الهيئتين الكروموسومتين السابقتين A ، وB وهيئة كروموسومية ثالثة أعطيت الرمز D . وتتكون الهيئة D كذلك من سبعة كروموسومات ، تختلف عن أى من كروموسومات الهيئتين A ، و B . لذا .. فإن الأقماح السداسية - وهى هجن متعددة المجموعات الكروموسومية شبيهة بالثنائية - تحتوى على ٢١ زوجاً من الكروموسومات ، ويتكون بها أثناء الانقسام الاختزالى ٢١ وحدة ثنائية الكروموسوم .

وقد تبين من دراسات كل من Kihara ، و Sears ، و McFadden أنه توجد هيئة كروموسومية مشتركة بين جميع مجاميع القمح ، وهى التى أخذت الرمز A . ويعنى ذلك أن أنواع مجموعة الـ Einkorn تحتوى على الهيئة الكروموسومية A . أما الهيئة الكروموسومية الثانية التى أخذت الرمز B .. فيعتقد أنها أتت من حشيشة الأجروبيرون *Agropyron* ، وإن لم يكن ذلك متفقاً عليه ، بينما يوجد اتفاق بين العلماء على أن الأقماح السداسية قد حصلت على الهئية الكروموسومية الثالثة (التى أخذت الرمز D) من النوع *Aegilops squarrosa* (ن = ٧) كما هو مبين فى شكل (١٤-٩) .

منشأ محاصيل زراعية أخرى

نشأ عديد من المحاصيل الزراعية الأخرى عن طريق الهجن النوعية أو الجنسية التى ضوعفت كروموسوماتها ؛ لتصبح نباتات متعددة المجموعة الكروموسومية شبيهة بالثنائية Amphidiploids ، وقد سبقت الإشارة إلى نشأة بعض أنواع الجنس *Brassica* بهذه الكيفية . كما نشأ عديد من الأنواع المحصولية الأخرى بهذه الطريقة ، وكانت نشأة



شكل (١٤ - ٩) : تخطيط يبين نشأة الأنواع الرباعية (Immer) والسداسية (Vulgare) من القمح ، وأوجه القرابة بينها وبين الأنواع الثنائية (Einkorn) .

بعضها بصورة طبيعية ، بينما نشأ بعضها الآخر لدى تدخل الإنسان ، وإجراء التلقيحات ومضاعفة كروموسومات الجيل الأول الهجين بنفسه . ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع الفصل الخامس عشر .

التربية بالتضاعف الذاتى

أهمية التربية بالتضاعف

أدى اكتشاف الكولشيسين Colchicine (مركب كيميائى يستخرج من أحد النباتات ، ويستعمل فى مضاعفة أعداد الكروموسومات فى النباتات) وسهولة استخدامه فى مضاعفة

كروموسومات عديد من النباتات فى عام ١٩٣٧ إلى اتجاه العلماء نحو مضاعفة كروموسومات عدد كبير من الأنواع النباتية ؛ ظناً منهم أن ذلك كفيل بإحداث تقدم سريع فى تحسين المحاصيل الزراعية ، خاصة أن بعضاً من أهم النباتات الاقتصادية – مثل القمح ، والقطن ، والبطاطس – هى نباتات متضاعفة . كما ساعد على تقوية هذا الاتجاه على أن إحداث التضاعف صناعيًا كان مصاحباً – غالباً – بزيادة فى حجم الأعضاء النباتية ، وهو ما يتوقع معه الحصول على نباتات كبيرة الحجم غزيرة المحصول ، إلا أن فريقاً آخر من العلماء كان أقل تفاؤلا ؛ استناداً إلى أن الإنسان لايمكنه أن ينجز فى أعوام قليلة مالم يتحقق فى الطبيعة خلال آلاف السنين ، خاصة أن فرصة حدوث التضاعف –طبيعيًا– متوفرة دائماً بالنسبة لجميع الأنواع النباتية . وقد تبين أن هذا الفريق كان أكثر واقعية ؛ لأن معظم النباتات التى ضوعفت صناعيًا كانت ضعيفة النمو، وصغيرة الحجم ، وغير ثابتة وراثيًا ، وعقيمة بدرجة عالية .

هذا .. ولايمكن التنبؤ بمظهر النباتات المتضاعفة من مظهرها فى الحالة الثنائية ، ويتعين –دائماً– استمرار التجربة والخطأ ، ولكن تجدر الإشارة إلى أن مضاعفة النباتات الثنائية تعطى نتائج أفضل من مضاعفة النباتات المتضاعفة بالفعل . وعلى سبيل المثال .. وجد أن مضاعفة كروموسومات القمح والبطاطس – وهما من الأنواع المتضاعفة بطبيعتها – تحدث نقصًا فى قوة النمو وعقما فى كلا المحصولين . ويبدو أنه يوجد حد لدرجة التضاعف المثلى لكل نوع نباتى ، وقد بلغت معظم الأنواع هذه الحالة المثلى فى الطبيعة . هذا .. ولايمكن معرفة القيمة الحقيقية للنباتات المتضاعفة باختبارها تحت نفس الظروف البيئية التى تقيّم فيها النباتات الثنائية ، بل تلزم دراستها فى ظروف بيئية متباينة .

ويمكن القول .. إن التضاعف لايستخدم فى إنتاج سلالات جديدة بغرض استعمالها كأصناف جديدة مباشرة ، وإنما لاستعمالها كسلالات تربية ، يمكن الاستفادة منها فى برامج التربية . فالتضاعف لايكون هو نهاية المطاف ، وإنما يكون غالباً بداية لبرنامج التربية ؛ فمثلاً .. يؤدى التهجين بين النباتات المتضاعفة ، ثم الانتخاب فى النسل إلى زيادة الخصوبة والجودة . كما تؤدى التربية الداخلية فى النباتات المتضاعفة إلى إنتاج نباتات أصيلة فى صفات مرغوبة . وتجدر الإشارة فى هذا الخصوص إلى أن حالة عدم

التماثل الوراثى heterozygosity ، تقل بمقدار النصف كل ٢,٨ جيلاً من التربية الداخلية فى النباتات الرباعية المجموعة الكروموسومية ، مقارنة بكل جيل فى النباتات الثنائية .

تأثير التضاعف فى النباتات

يختلف تأثير التضاعف باختلاف الأنواع النباتية ، وباختلاف الأصناف داخل النوع الواحد . وفيما يلى أهم تأثيرات التضاعف على النباتات .

١- زيادة حجم الخلايا ، وقد لوحظ ذلك خاصة فى الأنسجة الإنشائية ، والخلايا الحارسة للثغور، وحبوب اللقاح . إلا أن الزيادة فى حجم الخلايا لايصاحبها- بالضرورة - زيادة فى حجم النبات .

٢- تتأثر نسب مكونات الخلية ؛ فتتغير نسبة الماء ، والبروتين ، والكلوروفيل ، والسيليلوز ، والأوكسينات ، والفيتامينات .. إلخ ؛ فمثلاً .. يزيد نشاط فيتامين «أ» فى الذرة الرباعية بمقدار ٤٠/ عما فى الذرة الثنائية ، ويزيد محتوى كثير من الخضر والفواكه الرباعية من حامض الأسكوربيك (فيتامين جـ) عما فى نظائرها الثنائية ، ويزيد محتوى النيكوتين فى الدخان الرباعى بمقدار ١٨-٣٣/ عما فى الثنائى .

٣- تصبح الأوراق أقصر ، وأعرض ، وأسمك ، ويصبح النبات أقوى نمواً ، ولكن توجد حالات كثيرة يكون فيها النبات المتضاعف أضعف وأقل نمواً .

٤- يزيد حجم بعض الأعضاء النباتية مثل السبلات ، والبتلات ، والبذور ، والثمار ، ويطلق على تغيرات كهذه اسم عملقة gigatism .

٥- بطء النمو ، وتأخر الإزهار مع استمراره فترة أطول .

٦- تكون النباتات المتضاعفة على درجة من العقم تتراوح من نسبة ضئيلة إلى عقم تام . وقد عزى ذلك فى كثير من الأحيان إلى حدوث اضطرابات كروموسومية خلال الانقسام الاختزالى ، إلا أن أغلب حالات العقم ترجع - فى النباتات المتضاعفة - إلى حالة عدم التوازن الجينى genic imbalance التى تحدث بعد مضاعفة عدد الكروموسومات .

٧- قد تختلف الاحتياجات البيئية للنباتات الرباعية عن الثنائية ؛ فمثلا .. تحد حالة التضاعف من احتياجات الفترة الضوئية فى الشيلم ، وتحتاج بذور البطيخ الثلاثى إلى

درجات حرارة أعلى للإنبات .

٨- يؤدى التضاعف إلى إضعاف حالة عدم التوافق الجاميطى .

مجالات استخدام التضاعف الذاتى الصناعى فى تربية النباتات

كان من أهم المجالات التى استخدم فيها التضاعف الذاتى لتحسين النباتات ما يلى :

١- تحسين النباتات التى تزرع لأجل أجزائها الخضرية :

تعد النباتات التى تزرع لأجل أجزائها الخضرية أكثر النباتات استجابة للتربية بالتضاعف ؛ فمثلا .. وجد فى بنجر السكر أن جذور النباتات الثلاثية المجموعة الكروموسومية أكبرحجما من جذور النباتات الثنائية ، مع تساوى نسبة السكر فى كليهما؛ ويترتب على ذلك زيادة كمية السكر التى يمكن إنتاجها من وحدة المساحة .

وتعد العقبة الرئيسية أمام الاستفادة من هذه الحقيقة فى الإنتاج التجارى هى كيفية إنتاج البذور الثلاثية ؛ إذ تطلب ذلك زراعة سلالات ثنائية وأخرى رباعية فى خطوط متبادلة ؛ لكى تُلقَّح فيما بينها . ولكن السلالات الثنائية -وهى التى تعطى محصولاً عالياً من البذور - لاتنتج سوى نسبة منخفضة من البذور الثلاثية ، بينما السلالات الرباعية - وهى التى تعطى نسبة عالية من البذور الثلاثية- يكون إنتاجها من البذور منخفضاً للغاية .

هذا .. ويتوقع - كذلك - استجابة محاصيل المراعى ، والزهور ، ونباتات الزينة للتضاعف الذاتى ؛ لأنها لاتزرع لأجل ثمارها أو بذورها ، كما أن الزهور العقيمة تحتفظ بنضارتها فترة أطول ، وقد يعد أى تغير فى الشكل المظهرى لنباتات الزينة عند مضاعفتها أمراً مرغوباً فى حد ذاته .

٢- تحسين النباتات التى تزرع لأجل بذورها :

لم يكن للتربية بالتضاعف دور مهم فى تحسين النباتات التى تزرع لأجل بذورها ؛ بسبب العقم الذى يصاحب التضاعف ، ويستثنى من ذلك محصول الشيلم ؛ فقد وجد أن الشيلم الرباعى (٢ن = ٤س = ٢٨) يتميز بكبر الحبة ، وارتفاع نسبة البروتين بها ، وقدرته على النمو فى ظروف بيئية متباينة ، بينما يتساوى فى المحصول مع الشيلم

الثنائـى . هذا .. إلا أنه يعيبه قلة عدد الخلفات ، وارتفاع طول النبات ، كما اعترضت المطاحن على حبوبه الكبيرة الحجم .

٣- تحسين المحاصيل التى تزرع لأجل ثمارها :

أفاد التضاعف الذاتى فى تحسين المحاصيل التى تزرع لأجل ثمارها ؛ لسببين هما :

(أ) وجد أن ثمار بعض الفواكه الرباعية المجموعة الكروموسومية كبيرة الحجم مقارنة بالطرز الثنائية ، كما فى العنب الذى تتميز أصنافه الرباعية بأن حباتها أكبر حجما ، وبذورها أقل عدداً ، ولكن يعيبها عدم امتلاء العناقيد ، وقلة المحصول .

(ب) تميزت الطرز الثلاثية المجموعة الكروموسومية بخاصية العقد البكرى ؛ أى بقدرتها على إنتاج ثمار خالية من البذور . ويعد البطيخ اللابذرى من أهم الأمثلة على ذلك وهو الذى تنتج بذوره الثلاثية (التى تعطى ثماراً خالية من البذور) ؛ بتهجين سلالات رباعية التضاعف - تستخدم كأمهات - مع سلالات ثنائية التضاعف - تستخدم كآباء - علماً بأن التلقيح العكسى لاينجح .

وتكون ثمار البطيخ الثلاثى خالية من البذور ؛ لأن الغالبية العظمى من الجاميطات التى تنتجها هذه النباتات (٢ن = ٣س = ٣٣) تكون عقيمة ، ولايكون خصباً منها إلا ما تحتوى على ١١ ، أو ٢٢ كروموسوماً ، وهى تتكون (أى البيضات الخصبة) بنسبة $(\frac{1}{2})^{11} \times 2 \times 100$ أى $(\frac{1}{2})^{10} \times 100$ أى أقل من ٠,٠٥٪ ، بينما تزيد نسبة الجاميطات العقيمة (وهى التى تحتوى على ١٢-٢١ كروموسوماً) عن ٩٩,٩٥٪ ؛ لذا .. فإن الثمار العاقدة تكون خالية -تقريباً- من البذور . هذا .. إلا أنه تظهر بثمار البطيخ الثلاثى تكوينات صغيرة بيضاء تشبه بذور الخيار ، كما تبدو بها - أحيانًا - بذور خالية من الأجنة تكون قشرتها صلبة وحجمها طبيعياً ؛ ويعد ذلك من أكبر عيوب البطيخ الثلاثى .

يحتاج عقد ثمار البطيخ الثلاثى إلى توفر حبوب اللقاح من سلالة ثنائية ؛ لذا .. تجب زراعة خط من سلالة ثنائية بين كل خمسة خطوط من السلالة الثلاثية . تعمل حبوب لقاح السلالة الثنائية كمنبهات فقط لنمو مبايض أزهار السلالة الثلاثية التى تكون بيضاتها عقيمة بنسبة تزيد على ٩٩,٩٥٪ .

وينتج فى اليابان عدد كبير من أصناف البطيخ الثلاثية ؛ ومن أهم عيوبها ارتفاع ثمن

التقاوى ؛ لكثرة اليد العاملة اللازمة لإنتاج الهجن ، وصعوبة إكثار السلالات الرباعية التضاعف ، وظهور أشكال غير طبيعية من الثمار الثلاثية ، مع ميلها إلى التفريغ ، وظهور بذور صلبة فارغة بها .

٤- يستفاد من التضاعف فى إنتاج سلالات أصيلة ثنائية (٢ن) من النباتات الأحادية.

٥- كما يلجأ المربى إلى مضاعفة عدد الكروموسومات فى كثير من الهجن النوعية للتغلب على مشاكل العقم .

طرق إحداث التضاعف الذاتى فى النباتات

أمكن إنتاج نباتات متضاعفة من الذرة ؛ بتعرضها لدرجات حرارة مرتفعة ، كما عرف فى الذرة - أيضًا - جين يجعل النبات قادراً على إنتاج جاميطات متضاعفة ، وهو الجين as (asynaptic) الذى يمنع التقارن الكروموسومى فى أثناء الانقسام الاخترالى . هذا .. إلا أن مضاعفة الكروموسومات تجرى - عادة - بإحدى طريقتين ، هما :

١- إنتاج نباتات متضاعفة من نسيج الكالوس Callus Tissue :

يلزم لإنتاج نباتات متضاعفة بهذه الطريقة قطع فرع نباتى ، ثم معاملة السطح المقطوع بمنظم النمو إندول حامض الخليك (IAA) فى اللانولين . وتؤدى هذه المعاملة فى بعض النباتات إلى تكون كتلة من نسيج الكالوس على السطح المقطوع ، قد تنمو منها أفرع جديدة . تكون بعض هذه الأفرع رباعية التضاعف . وتنتج - لدى إكثارها خضريًا - نباتات كاملة رباعية . وقد اتبعت هذه الطريقة بنجاح فى الطماطم والدخان .

٢- إنتاج نباتات متضاعفة بالمعاملة بالمركبات الكيميائية :

استخدم عديد من المركبات الكيمائية فى مضاعفة كروموسومات الأنواع النباتية ، وكان من أمثلتها الإيثر ، والكلوروفورم ، وأكسيد النتروز nitrous oxide ، وكلورال هيدريت Chloral hydrate ، واسينافثين acenapthene ، وإيثيل كلوريد الزئبق ethyl - mercury - chloride . إلا أن أكثر المركبات استعمالاً وأهمها فى مضاعفة الكروموسومات كان الكولشيسين colchicine ، وهو ما سنتناوله بشئ من التفصيل . وقد أعقب اكتشافه - وهو مركب طبيعى - تخليق طرز أخرى صناعية منه ؛ مثل الكولشيم

Colchium ، والكالسيميد Calceimid .

الكولشيسين واستعمالاته فى مضاعفة الكروموسومات

كان الكولشيسين هو المركب الرئيسى المستخدم فى إحداث التضاعف الكروموسومى فى النباتات منذ أكثر من أربعين عاماً ولايزال كذلك ، وهو يستخرج من نبات *Cochium autumnale* الذى يحتوى على المركب بنسبة ٠,٤٪ من وزنه الجاف . ونتناول – فيما يلى – دراسة الكولشيسين من الجوانب التالية :

١– كيفية إحداث الكولشيسين للتضاعف :

يُحدث الكولشيسين تأثيره بمنع تكوين خيوط المغزل فى أثناء انقسام الخلية ، وهو مايمنع هجرة الكروموسومات إلى قطبى الخلية . ويؤدى ذلك إلى تكوين نواة جديدة تحتوى على ضعف العدد الأصلى من الكروموسومات . ونظراً لأن عدد الكروموسومات يستمر فى التضاعف مع كل انقسام جديد مادام تأثير الكولشيسين باقياً ؛ لذا .. فإن المعاملة بالمركب يجب أن تتوقف بعد انقضاء الفترة اللازمة لإحداث التضاعف المطلوب . هذا .. علماً بأن الخلايا الرباعية التضاعف –وأحياناً الثمانية التضاعف– هى التى يمكن أن تستمر فى الانقسام والنمو .

٢– طرق إضافة الكولشيسين للأنسجة النباتية :

يضاف الكولشيسين للأنسجة النباتية فى إحدى الصور التالية :

(أ) محلول مائى : يتراوح تركيز المحلول المائى عادة من ٠,٠٥٪ – ٠,٤٪ .

(ب) محمَّل فى الجلسرين : يستعمل لذلك ٧,٥ مل جلسريناً ، و ٢,٥ مل ماءً ، و ٦–٨ نقاط من المادة المبللة سانتوميرز santomerse ، ثم يضاف الكولشيسين بالتركيز المطلوب .

(جـ) محمل فى الآجار : يضاف الكولشيسين إلى الآجار الساخن قبل تصلبه .

(د) محمل فى مستحلب اللانولين : يحضر مستحلب اللانولين بإضافة ٢٠ مل ماء إلى ١,٥ جم حامض استياريك stearic acid ، ٠,٥٢ مل مورفولين morpholine مع التسخين إلى أن يتم ذوبان حامض الاستياريك ، على ألا ترتفع درجة حرارة المخلوط عن

١٠٠م . يحرك المخلوط بساق زجاجية ، إلى أن يأخذ مظهر الصابون فى اللون والقوام ، ثم يضاف إليه ٨ جم لانولين lanolin مع استمرار التسخين والتقليب ، إلى أن يذوب اللانولين ؛ وحتى يصبح قوام المستحلب سميكاً نسبيًا ، ثم يترك ليبرد ، ويضاف إليه الكولشيسين بالتركيز المطلوب .

٣- طرق المعاملة بالكولشيسين :

تجرى المعاملة بالكولشيسين بإحدى الطرق التالية :

أ- معاملة البذور :

تنقع البذور التى يُراد معاملتها فى محلول مائى من الكولشيسين بتركيز ٠,٠٥٪ - ١,٥٪ لمدة ١-٦ أيام ، علماً بأن البذور البطيئة الإنبات تحتاج إلى مدة أطول . ويجب أن تنتهى المعاملة قبل أن تباشر البذور بالإنبات . وتغسل البذور جيداً بعد المعاملة .

ب- معاملة البادرات :

تعامل القمم النامية للبادرات الصغيرة بنجاح أكبر من معاملة البذور ، وتستمر المعاملة لمدة ٣-٢٤ ساعة . يراعى عدم وصول الكولشيسين إلى جذور البادرات نظراً لحساسيتها الشديدة له . وتجرى المعاملة بإحدى طريقتين كما يلى :

(١) إذا استنبتت البذور على ورق ترشيح فى أطباق بترى ، وكانت جذور البادرات تتخلل ورق الترشيح بشكل جيد .. فإن المعاملة تجرى بقلب أطباق بترى بما عليها من بادرات ، حتى تنغمس القمم النامية للنباتات فى محلول مائى من الكولشيسين .

(٢) يلف جذور مجموعة من البادرات بقطن مبلل بالماء ، ثم قلبها فى كأس به محلول مائى من الكولشيسين بنفس الطريقة السابقة ، وتفضل هذه الطريقة ؛ لأن الجذور تبقى رطبة ولاتتعرض للجفاف . هذا .. وتغسل البادرات بالماء بعد انتهاء المعاملة .

جـ - معاملة النباتات الكبيرة :

تعامل الفروع الصغيرة ، والبراعم الإبطية ، والقمم النامية للسيقان الكبيرة بإحدى

الطرق التالية :

(١) غمر القمة النامية فى محلول مائى من الكولشيسين .

(٢) وضع قطعة قطن مبللة بمحلول الكولشيسين بين أوراق البرعم النامى ، مع تكرار المعاملة يوميًا لمدة ٢-٦ أيام .

(٣) رش البراعم بمحلول الكولشيسين عدة مرات يوميًا . أو قد يضاف إلى البرعم الإبطى نقطة واحدة من محلول مائى من الكولشيسين بتركيز ٠,٥ ٪ ، يضاف إليه زيت معدنى بنسبة ١٪ .

(٤) إضافة الكولشيسين محملاً فى الجلسرين بواسطة فرشاة .

(٥) دهان القمة النامية بالكولشيسين فى مستحلب من اللانولين .

(٦) معاملة القمة النامية بالكولشيسين المحمل فى الأجار ، مع إضافته إما بفرشاة ، وإما فى نصف كبسولة توضع منكسة على البرعم .

هذا .. ويراعى عند استعمال الكولشيسين أنه مركب شديد السمية ، فلايجب أن يلامس الجلد فترة طويلة ، كما أنه مرتفع الثمن ، ويتلف من التخزين الطويل ، لذا .. يجب ألا تحضر منه إلا الكمية اللازمة فقط حسب الحاجة . وتذاب الكمية المطلوبة من الكولشيسين فى قطرات من الكحول ، ثم يضاف الماء ببطء لأن سرعة إضافته تجعل الكولشيسين يترسب من المحلول ثانية . ويمكن تخزين محلول الكولشيسين فى الثلاجة لأسابيع قليلة ، ولكنه لا يخزن مجمداً (Avery وآخرون ١٩٤٧ ، Egisti & Dustin ١٩٥٥ ، Hayes وآخرون ١٩٥٥ ، North ١٩٧٩) . ولمزيد من التفاصيل عن الكولشيسين واستعمالاته .. يراجع Egisti & Dustin (١٩٥٥) .

أعداد الكروموسومات فى النباتات

تظهر فى جدول (١٤-٢) قائمة بأعداد الكروموسومات فى الخلايا الجسمية (٢ن) ، وفى الهيئة الكروموسومية الواحدة (x) لبعض المحاصيل الاقتصادية . أما أعداد الكروموسومات فى بقية النباتات .. فيمكن الرجوع إليها فى كل من Hayes وآخرين (١٩٥٥) ، و Purseglove (١٩٧٢ ، و ١٩٧٤) ، Simmonds(١٩٧٩) .

جدول (١٤-٢) : أعداد الكروموسومات فى بعض المحاصيل الاقتصادية (عن Elliott ١٩٥٥ ، و Darrow ١٩٦٦ و Edmond وآخرين ١٩٧٥ ، و Welsh ١٩٨١ ، و Hawkes ١٩٨٣) .

المحصول	العدد الأساسى (س)	العدد فى الخلايا الجسمية (٢ن)
المحاصيل الحقلية :		
	١٠	٢٠
الذرة	٨	٣٢
البرسيم الحجازى	١٠	٤٠
الفول السودانى	١٢	٤٨
الدخان المزروع	١٣	٢٦
القطن الأسيوى	١٣	٥٢
القطن upland	٧	٤٢
الشوفان المزروع		٨٠
القصب	٧	١٤
الشعير	٧	٤٢
قمح الخبز (السداسى)	٧	٢٨
القمح durum (الرباعى)		
الفاكهة :		
التفاح	١٧	٣٤ ، ٥١
جنس ذوات النواة الحجرية *Prunus*	٨	١٦ ، ٢٤ ، ٣٢ ، ٤٨
المشمش	٨	١٦ ، ٢٤ ، ٣٢ ، ٤٨
المشمش	٩	١٨ ، ٢٧ ، ٣٦
العنب	١٩	٣٨ ، ٤٠ ، ٧٦
الموز	١١	٢٢ ، ٣٣ للنوع المزروع ، ٤٤
اللوز	٨	١٦
الكريز الحامضى	٨	٣٢
الكريز الحلو	٨	١٦
الكمثرى	١٧	٣٤ ، ٥١

جدول (١٤-٢) : يتبع

المحصول	العدد الأساسى (س)	العدد فى الخلايا الجسمية (٢ن)
الخضـر :		
جنس الشليك *Fragaria*	٧	١٤ ، ٢١ ، ٢٨ ، ٣٥ ، ٤٢ ، ٤٩ ، ٥٦ للنوع المزدوج ، ٦٣ ، ٧٠ حتى ٢ن = ١٦س
جنس البطاطس *Solanum*	١٢	٢٤ ، ٣٦ ، ٤٨ للنوع المزدوج ، ٦٠ ، ٧٢ ، ٩٦
البطاطـا	١٥	٩٠
جنس الطماطم *Lycopersicon*	١٢	٢٤
جنس الكرنبيات *Brassica*	٩ ، ١٠	١٨ ، ٣٦ ، ٢٠ ، ٥٦
الكاسافا (٤س)		
القلقاس (٢س ، ٣س)		
الزهور ونباتات الزينة :		
الـورد	٧	١٤ ، ٢٨ ، ٣٥ ، ٤٢ ، ٥٦
الأقحوان	٩	١٨ ، ٣٦ ، ٥٤ ، ٧٢ ، ٩٠
الزنبق	١٢	٢٤ ، ٣٦ ، ٤٨
الداليا	٨	٣٢ ، ٦٤
بسلة الزهور	٧	١٤
نباتات المشروبات :		
القهوة (٢س ، ٤س)		
الشاى (٢س)		
الكاكاو (٢س)		