الباب الثامن

تربية النباتات المقاومة للأمراض النباتية

تربية واستنباط نباتات تحمل صفات المقاومة ضد الأمراض النباتية الهامة والشائعة فى مناطق الزراعة ، من الموضوعات الهامة التى تشغل أذهان كثير من القائمين بتربية النباتات والمشتغلين بعلم أمراض النبات ، إذ تعتبر الأصناف المقاومة أو المنيعة ضد الأمراض بالنسبة لمعظم المحاصيل الزراعية ، أهم وأفضل وسائل مكافحة العديد من الأمراض النباتية الخطيرة التى تتعرض لها تلك المحاصيل ويصعب مقاومتها بالوسائل الأخرى ، مثل كثير من أمراض التربة كأمراض الذبول الوعائى .

يشير تمثال فويكس G.Foex المقام بالحديقة النباتية لمدرسة الزراعة القومية بإقليم مونبليه Montpellier بفرنسا ، إلى الاعتراف بمجهوداته فى أواخر القرن التاسع عشر ، وإلى تخليد نجاحه فى إنقاذ محصول العنب من الضياع عن طريق إحلال أصناف العنب الفرنسية التى تعرضت للإصابة بشدة بأمراض البياض بأصناف أخرى أمريكية ذات مقاومة طبيعية لتلك الأمراض ، فمن ذلك الوقت إتضحت أهمية استخدام الأصناف المقاومة فى الحد من الإصابة بالأمراض النباتية . بذلت جهود كثيرة فى أنحاء متفرقة من العالم لاستنباط أصناف جديدة من المحاصيل الرئيسية تتوفر فيها بجانب الخواص الزراعية والاقتصادية المرغوبة ، صفات المقاومة ضد الآفات التى تتعرض لها .

يزداد إستخدام الأصناف الجديدة من المحاصيل الزراعية التى تتوفر فيها صفات المقاومة ضد الأمراض النباتية تزايدا مضطردا خاصة فى البلاد المتقدمة المتطورة ، فمثلا زادت نسبة المساحة التى تزرع بالأصناف المقاومة من الذرة والقمح والبطاطس وغيرها من المحاصيل الهامة فى الولايات المتحدة الأمريكية من 25 % سنة 1935 إلى ما يزيد عن 50 % من المساحة الكلية سنة 1960 .

لا تقتصر مهمة مربى النباتات من وجهة نظر القائمين بدراسة ومكافحة الأمراض النباتية على استنباط سلالات نباتية جديدة مقاومة أو منيعة لمرض أو أمراض معينة ، بل يجب أن تشمل أيضا إستنباط سلالات تتحمل الظروف البيئية غير الملائمة والتى قد تهيئ للإصابة بالأمراض المختلفة .

تجرى حالياً وبصفة مستمرة فى جميع محطات تربية النباتات فى مختلف أنحاء العالم أبحاث وإختبارات لإستنباط أصنافاً من المحاصيل المختلفة تجتمع فيها الصفات الزراعية مع صفات المقاومة للأمراض الخطيرة ، وذلك حتى تلاحق التغييرات الوراثية المستمرة فى مسببات الأمراض النباتية ، ثم تعميم إستخدام تلك السلالات المستنبطة خاصة فى المناطق الموبوءة.

زراعة الأصناف المقاومة أو المنيعة لا يؤدى فقط إلى تجنب الفقد الذى يصيب المحصول نتيجة للأمراض النباتية ، بل يؤدى إلى خفض نفقات تنفيذ وسائل المكافحة الأخرى.

من المعروف أن مقدرة مسبب مرضى على إحداث إصابة فى عائل ما تتوقف على مدى إمكانية هذا المسبب فى الحصول على متطلباته الغذائية من العائل المتطفل عليه. يطلق على القدرة المرضية للطفيل virulence ، أما رد الفعل الذى يقوم به العائل لصد هجمات الطفيل فيعرف بتفاعل العائل host reaction. المقاومة أو القابلية للإصابة فى عائل ما ، هى صفات نسبية بين الطفيل الممرض والنبات العائل ، وأن العلاقة بين المسبب الممرض والعائل الذى يصيبه هى علاقة خاصة ، فقد يكون العائل شديد المقاومة بالنسبة إلى طفيل وشديد القابلية للإصابة بالنسبة لطفيل آخر. من الحقائق المسلم بصحتها أن المقاومة والقابلية للإصابة هى صفات يتحكم فيها التركيب الوراثى للنبات العائل ، كما أن عوامل البيئة فى بعض الحالات قد تؤثر على صفة المقاومة أو القابلية للإصابة ، زيادة أو نقصانا.

المناعة immunity هى إصطلاح يطلق على أقصى درجات المقاومة فى نبات ما إزاء مسبب مرضى معين ، وفى هذه الحالة لا يتمكن الكائن الممرض من إحداث أية إصابة فى نبات ما ، ويظل النبات خاليا من الإصابة ، رغما من وجود المسبب المرضى فى البيئة التى يعيش فيها. حالات المناعة التامة ضد مسببات الأمراض النباتية التى تصيب نفس النوع النباتى نادرة الوجود فى النباتات الإقتصادية ، ولكنها تشاهد بين مسببات الأمراض النباتية لنوع نباتى مع أنواع نباتية أخرى ، من ذلك نجد أن الورد منيع ضد مسببات أصداء القمح وأن القمح منيع ضد مسبب صدأ الورد.

يتضح مما تقدم ضرورة إلمام المشتغل فى برامج استنباط السلالات من المحاصيل الزراعية بغرض مقاومتها إزاء مسببات مرضية ، إلماما كبيرا بكل ما يتعلق بطبيعة صفة المقاومة أو القابلية للإصابة فى النبات ضد المسببات المرضية المختلفة وكذلك بالعوامل البيئية المختلفة المؤثرة عليها ، كما أنه يجب أن يكون ملما بالأسس والأساليب العلمية السليمة التى تتبع فى تربية واستنباط الأصناف الجديدة من المحاصيل الزراعية المختلفة.

1-8 طبيعة المقاومة ضد الأمراض النباتية

مقاومة النبات إزاء مرض معين صفة وراثية فيه تنتقل من جيل إلى آخر ، أى أن هذه الصفة تتحكم فى إظهارها مجموعة من العوامل الوراثية ، ولكن قد تتأثر هذه الصفة شدة أو ضعفا بعوامل البيئة التى يعيش فيها النبات• كذلك فإن قدرة الطفيل على إحداث الإصابة فى النبات تتحكم فيها أيضا مجموعة من العوامل الوراثية تدخل فى تركيب الطفيل ، وتقابل تلك التى توجد فى النبات للدفاع ضده ، وهى ما تعرف بنظرية جين مقابل جين gene for gene theory •

تعتمد المقاومة فى أصناف الكتان ضد سلالات الفطر ميلامبسورا لينـاى *Melampsora lini* مسبب مرض الصدأ ، على وجود أنواع معينة من البروتينات (الجلوبيولينات) ، حيث أن كل سلالة من سلالات الفطر المسبب للصدأ تصيب أصناف الكتان التى تحتوى على البروتينات التى تتوافق مع تلك الموجودة فى سلالة الصدأ المهاجم• ويمكن إثبات ذلك بطريقة عملية عن طريق الاختبارات السيرولوجية serological tests حيث تحقن حيوانات تجارب كالأرانب ببروتينات من النبات العائل وكذلك بروتينات من الطفيل كل على حدة فيتكون فى الحيوانات المحقونة أجسام مضادة antibodies لتلك المواد الغريبة (أى البروتينات المحقونة) antigens• يؤخذ دم من تلك الحيوانات ، ثم يفصل منه مصل الدم serum المحتوى على الأجسام المضادة• يتبع ذلك إجراء تفاعلات سيرولوجية serolgoical reactions بين بروتينات النبات العائل والمصل المحتوى على أجسام مضادة لبروتينات الطفيل أو العكس ، فنجد أنه فى حالة القابلية للإصابة تكون التفاعلات سريعة ونشطة فى حين أنه فى حالة المقاومة تكون تلك التفاعلات بطيئة وغير نشطة• نتيجة لذلك فقد نادى البعض بنظرية الأجسام المضادة المشتركة common antigen theory والتى تقترح وجود مولدات أجسام مضادة antigens متشابهة فى كل من العائل القابل للإصابة وفى الكائن الممرض لهذا العائل• وقد نجحت التفاعلات السيرولوجية فى التعرف على درجة مقاومة أصناف المحاصيل المختلفة ضد كثير من المسببات المرضية ، وذلك كما فى الكتان ومرضى الصدأ والذبول الفيوزاريومى ، والقطن ومرضى الذبول الفيوزاريومى والفرتسليومى• ولكن لم تنجح الطرق السيرولوجية فى التمييز بين الأصناف المقاومة والقابلة للإصابة فى حالتى التفحم السائب فى القمح والتدرن التاجى الذى يصيب كثير من النباتات ، وفى كلتا الحالتين كانت مادة الحقن المأخوذة من الطفيل يعتريها كثير من التغيير عند استخلاصها مما كان له أثر غير متوقع على النتائج•

كثير من المسببات المرضية يوجد منها سلالات عديدة تختلف فى قدرة كل منها على إحداث المرض بالعائل، كما أن مقاومة النبات العائل يكون لكل السلالات الموجودة أو لبعضها فقط. بعض السلالات النباتية قد تحمل عوامل المقاومة ضد سلالة واحدة من الطفيل ويقال أنها تمتلك جينات مقاومة متخصصة أو جينات مقاومة رأسية vertical resistance gene. البعض الآخر من السلالات النباتية يحمل عوامل المقاومة ضد عديد من سلالات الطفيل ويقال عنها أنها تمتلك جينات مقاومة عامة أو جينات مقاومة أفقية horizontal resistance gene. درجة المقاومة تكون أشد فى حالة المقاومة الرأسية فى حين أنها تكون متوسطة فى حالة المقاومة الأفقية. كذلك نجد أن ظهور سلالة جديدة يفقد النباتات مقاومتها فى حالة المقاومة الرأسية بينما نجد أنها لا تؤثر غالبا على المقاومة فى حالة وجود جينات المقاومة الأفقية.

عموما فإن نظرية جين مقابل جين لا تفسر كل وجوه العلاقات بين الطفيل والعائل ولكنها تتضح فقط عندما يكون العائل شديد القابلية للإصابة أو مقاوم لدرجة كبيرة ، وكذلك فإنه لا يمكن تطبيق تلك النظرية فى حالات المقاومة الناشئة عن عوامل مورفولوجية أو فسيولوجية.

مما هو معروف أن العوامل الوراثية المحمولة على الجينات هى التى تتحكم فى بعض النظم الأنزيمية فى كل من النبات العائل والكائنات المرضية التى تهاجمه ، ومن ثم تتضح أهمية العلاقات الفسيولوجية بين العائل وطفيله فى تحديد درجة المقاومة أو القابلية للإصابة. وبخصوص رد فعل النبات العائل إذا ما تعرض لإصابة ما فإنه يتوقف على سلوك وتفاعلات الطفيل عند دخوله وغزوه لأنسجة عائله. وقد ذكر ألين Allen سنة 1945 أن الأعراض التى تظهر على نبات عند إصابته بطفيل ممرض ما هى إلا نتيجة للتداخل الكيميائى بين العائل والطفيل والتى تعرف بالنظرية الغذائية nutritional hypothesis والتى تنص على أن المقاومة والقابلية للإصابة قد تكون نتيجة لوجود أو غياب مواد غذائية معينة فى العائل ، ذات صلة وثيقة بحدوث الإصابة بواسطة الطفيل. وفى عام 1953 أدخل لويس Lewis تعديلا على تلك النظرية بأن فرض أن هناك اتزان فى العائل بين المواد المثبطة والمواد المشجعة لنمو الطفيل ، قد تكون هذه الإتزانات فى اتجاه مقاومة عائل ما للطفيل ، وقد تكون فى اتجاه القابلية للإصابة فى عائل آخر . وعموما فإن المقاومة التى تنتج عن التداخل الكيميائى هى من النوع السلبى حيث توجد صفة المقاومة موروثة فى العائل قبل حدوث الإصابة. من ذلك يتضح أن عملية التطفل تعتمد بالدرجة الأولى على توفير الغذاء من جانب النبات والحصول على الغذاء من جانب الطفيل ، ويمكن إيضاح ذلك بأن التطفل هو علاقة حيوية بين كائنين من نوعين مختلفين أحدهما وهو الطفيل يأخذ ما هو فى حاجة إليه من المواد الغذائية من الكائن الآخر وهو النبات العائل.

اختراق الطفيليات لعوائلها إما أن يكون بطريقة مباشرة ، وذلك بإختراق أنسجة العائل السليمة الخارجية ، أو أن يتم الإختراق خلال الفتحات الطبيعية كالثغور والعديسات أو عن طريق الجروح. ولا يحدث ذلك فى الطفيليات المختلفة بطريقة عشوائية ولكن لكل منها طريقة خاصة أو أكثر من طرق للوصول إلى أنسجة النبات العائل الداخلية ، فمثلا فى حالة الفطر باكسينيا جرامينس تريتساى *Puccinia graminis tritici* مسبب الصدأ الأسود فى القمح والذى يستكمل دورة حياته على نبات الباربرى نجد أن أنابيب إنبات الجراثيم البكنية ذات الخلايا الوحيدة النواة والوحيدة العدد الكروموسومى monocaryotic يمكنها إختراق الطبقة الخارجية لأوراق نبات الباربرى إختراقا مباشرا ، فى حين أن أنابيب إنبات الجراثيم اليورويدية للطفيل نفسه ، والتى توجد فى كل خلية منها نواتان dicaryotic ، لا يمكنها أن تدخل أنسجة نبات القمح بالإختراق المباشر ولكن يحدث ذلك خلال الثغور.

فى غالبية الحالات يكون إختراق الطفيل لطبقة الأدمة التى تغطى الجدر الخلوية عن طريق الضغط الميكانيكى ، بينما يتم إختراق الجدر السليولوزية بإذابة الجدر السليولوزية للنبات العائل بواسطة أنزيمات يفرزها الطفيل.

بعض الطفيليات التى تعيش على عوائل حية ، تتصل بعوائلها إتصالا وثيقا فى طورها التطفلى دون حدوث إختراق مباشر لخلايا العائل ، إلا عن طريق مماصات haustoria تمكنها من الحصول على غذائها من خلايا البشرة وذلك كما فى غالبية فطريات البياض الدقيقى التى تنمو نموا سطحيا على أعضاء النبات المصابة مع إرسال مماصات فى الخلايا الخارجية. كذلك فى حالة الفطر فنتوريا إنكواليس *Venturia inaequalis* مسبب مرض الجرب فى التفاح الذى يخترق أدمة العائل مكونا طبقة من الهيفات المتفرعة الكثيفة بين الأدمة والبشرة ويمتص غذاؤه من الطبقة الخارجية بواسطة المماصات.

الإختراق عن طريق الجروح لا يحدث غالبا فى حالة الطفيليات الإجبارية التى تحصل على غذائها من الخلايا الحية للنبات العائل ، حيث أن الجروح تكون فى العادة محاطة بخلايا ميتة لا تصلح لنمو وتطفل الطفيليات الإجبارية ولكنها تكون بيئة صالحة لإنبات جراثيم الكائنات التى تتغذى على الخلايا الميتة كالطفيليات الاختيارية.

يتوقف استمرار حياة الطفيل بعد دخوله إلى أنسجة عائلة على عدة تفاعلات معينة بينه وبين العائل ، فمثلا تنتج طفيليات العفن أنزيمات محللة للبكتين تؤثر على بكتين الجدر الخلوية ، مما يؤدى إلى موت الخلايا ، كما تنتج بعض الكائنات المسببة لأمراض الذبول

مواد سامة toxins مثل حمض الفيوزاريك والألترنيك وغيرها ، تعمل على إظهار أعراض الذبول.

يتوقف نجاح الكائن الممرض في إصابة عائله على مقدرته على غزو وإختراق سطح العائل والتغلب على مقاومته ثم على حصوله على إحتياجاته الغذائية منه وإنتشاره داخل أنسجة العائل. وهناك إختلاف بين قدرة الطفيل على الغزو aggressivness وقدرته على إحداث المرض pathogenicity والتى تتمثل فى نشأة وتكشف المرض ، فقد تكون قدرة الطفيل على الغزو عالية بينما تكون قدرته على إحداث المرض ضعيفة أو العكس.

المقاومة فى النبات تمثل مجموع عوامل رد الفعل التى تعمل على منع أو الحد من مقدرة المسبب المرضى فى إحداث المرض بالعائل ، وقد يعزى ذلك لعامل واحد فقط أو لعدة عوامل يعمل كل منها على حدة فى صد هجوم الطفيل ، أو قد تعمل هذه العوامل معاً فى تناسق كامل لتحقيق هذا الغرض. قد تعمل تلك العوامل على صد هجوم الطفيليات قبل اختراق الكائن الممرض لعائلة ، وقد يكون عملها عقب إختراق الطفيل لأنسجة عائله.

1-1-8 العوامل التى تعمل على صد هجوم الطفيل قبل اختراقه للعائل

تعرف هذه العوامل بعوامل المقاومة السلبية passive resistance للعائل ، إذ أن تلك العوامل تكون موجودة بالنبات قبل حدوث الإصابة ، فى حين أن المقاومة النشطة active resistance تنتج عن عوامل تظهر أو تنشط عقب حدوث الإصابة. تتمثل المقاومة السلبية فى الحواجز والموانع المورفولوجية الموجودة فى العائل ، وكذلك فى ما تفرزه خلاياه على السطح الخارجى من مواد كيميائية مثبطة لنشاط الطفيل ، والتى تحول دون دخول الطفيل إلى أنسجة العائل ، وهذا النوع من المقاومة يزيد عادة بزيادة عمر النبات حيث يكتمل فيه تكوين الأنسجة الواقية ، إذ وجد أن كثير من النباتات تكون منيعة ضد الإصابة بكثير من الطفيليات لوجود طبقة الأدمة الخارجية على بشرتها ، فإذا ما نزعت تلك الطبقة تعرضت النباتات للإصابة بتلك الطفيليات. ويمكن تقسيم هذا النوع من المقاومة إلى قسمين يكون عمل الأول منها ميكانيكياً والآخر كيميائياً.

1-1-1-8 المقاومة الميكانيكية : ترجع المقاومة الميكانيكية فى النباتات الراقية إلى سمك طبقة الأدمة التى تغطى الطبقة الخارجية للنبات أو إلى وجود طبقة من خلايا الفلين المسوبرة. وجود الأدمة لا تقلل فقط من فقد النبات للماء ولكنها تقلل أيضا من إفرازات النبات الخارجية والتى قد تكون مصدرا جيدا للطفيليات عند سقوطها على سطح النبات ، حيث أن بعض

الطفيليات التى تعيش على الخلايا الميتة لا تستطيع اختراق الأدمة إلا بعد أن تنمو وتكون نموا كثيفا على السطح الخارجى للعائل، وهذا لا يتأتى عند قلة الإفرازات الخارجية للنباتات المغذية للطفيليات. وقد تحدث المقاومة الميكانيكية بالنسبة للطفيليات التى تدخل عن طريق فتحات الثغور عندما يكون قطر الثغر أقل من قطر أنبوبة الإنبات كما فى حالة مقاومة القمح لبعض سلالات فطريات الصدأ.

2-1-1-8 المقاومة الفسيولوجية : يتضح هذا النوع من المقاومة فى البصل الملون الذى وجد أنه يقاوم الإصابة بالفطر كوليتوتريكم سيرسينس *Colletotrichum circinans* ، ذلك أن الأوراق الحرشفية فى البصل الأحمر والأصفر تقاوم دخول الطفيل ، فإذا ما نزعت تلك الأوراق الحرشفية الملونة يمكن للطفيل إحداث إصابات ناجحة مشابهة لما يحدثه الطفيل فى الأبصال البيضاء. وقد عزيت المقاومة فى الأبصال الملونة إلى وجود مركبات فينولية ، منها حامض بروتوكاتيكويك protocatechuic acid وكاتيكول catechol فى الأوراق الحرشفية الملونة وعدم وجود تلك المركبات فى الأوراق غير الملونة. كذلك فإن تلك المركبات الفينولية توجد فى صورة قابلة للذوبان فى الماء مما يسهل إنتشارها من خلايا الأوراق إلى سطوحها الخارجية ، وهذا بالتالى يثبط إنبات جراثيم الفطريات التى قد تسقط على تلك الأوراق. وقد وجد أن جراثيم الطفيل لا تنبت فى المستخلص المائى للأوراق الحرشفية الملونة. هذا ولم يعثر على أى أثر لمركبات الفينول بخلايا الأوراق العصيرية للبصل الملون ، وعلل وجود تلك المركبات فى الأوراق الجافة لوجود بادئ precursor لهذه المركبات الفينولية فى الخلايا الحية تتكون منه المواد الفينولية بعد جفاف وموت أنسجة الورقة. ومن الأمثلة الأخرى التى توضح أهمية المقاومة الفسيولوجية وجود شعور غدية كثيرة على أصناف نبات جرام gram المقاومة للإصابة بالفطر ميكوسفيريلا ربيای *Mycosphaerella rabiei* ، إذ تبين أن تلك الشعور الغدية تفرز حمض الماليك mallic acid الذى يمنع إنبات جراثيم الطفيل.

2-1-8 العوامل التى تعمل على صد هجوم الطفيل بعد إختراقه للعائل

تعتبر الفترة التى تعقب إختراق الطفيل لعائله فترة هامة بالنسبة لنجاح التطفل ونشأة المرض ، وتتوقف حياة الطفيل وإنتشاره فى أنسجة النبات على مدى قدرته فى إقامة علاقات غذائية بينه وبين النبات العائل. يعتقد البعض بحدوث تبادل لبعض المواد الكيميائية بين الطفيل وعائله ، ويظهر أن إفرازات النبات الأولى تشجع نمو العائل ثم تتوالى بعد ذلك

الأحداث ، فإما إلى تطفل ناجح وإما إلى تغلب النبات العائل على الطفيل الغازى. وعموما فإن مقاومة النبات للطفيل الذى تمكن من إختراق عائله يرجع إلى عوامل مختلفة كما يأتى :

8-1-2-1 مقاومة ميكانيكية : قد تكون المقاومة الميكانيكية سلبية تنتج عن وجود خلايا داخلية غليظة الجدر ملجننة أو مسوبرة لا تتخللها مسافات بينية مما يصعب على الطفيل دخول الخلايا أو المرور خلال المسافات البينية ، وقد تكون مقاومة إيجابية حيث ينشط العائل عقب دخول الطفيل إلى أنسجته فيغلظ جدر الخلايا المحيطة بالطفيل بترسيبات مختلفة فيصعب على الطفيل المرور خلالها ، أو قد تستعيد بعض الخلايا المحيطة بالطفيل القدرة على الإنقسام متحولة إلى خلايا مرستيمية تنقسم بنشاط مكونة حاجز نيني يحيط بالطفيل مانعا لتقدمه.

8-1-2-2 ندرة أو وفرة الغذاء المناسب للطفيل : قد ترجع مقاومة العائل للطفيل إلى غياب أو عدم توفر مواد غذائية ضرورية لنمو الطفيل بأنسجة العائل فى مكان حدوث الإصابة، أو إلى عدم إمداد النبات للطفيل بمتطلباته الغذائية بكميات كافية ، أو إلى أن الطفيل لا يستطيع الحصول على تلك المواد اللازمة لنموه بالرغم من وجودها فى العائل ، واقترحت لذلك النظرة الغذائية nutritional hypothesis. توفر المركبات الآزوتية فى أنسجة النبات للمصابة تزيد بصفة عامة من القابلية للإصابة بكل من الطفيليات الإجبارية والاختيارية. وذلك لأهمية عنصر الآزوت كغذاء لنمو الطفيليات وكذلك لتأثيره على زيادة النمو الخضرى للعصيرى للنبات. كذلك فإن زيادة السكريات فى العائل تعتبر ، بصفة عامة، من العوامل المساعدة على حدوث المرض النباتى ، وقد عرف أن كمية المواد الكربوايدراتية فى أنسجة النبات ذات صلة وثيقة بإصابة الشعير بالفطر هلمنثوسبوريم *Helminthosporium* ، وإصابة البطاطس بالفطر فيتوفثورا *Phytophthora* حيث تكون الإصابة ضعيفة فى فترات النمو السريع عندما تزداد سرعة استهلاك المواد الكربوايدراتية فى إنتاج نموات جديدة وتكون كمية المواد الكربوايدارتية قليلة بالنسبة للوزن الجاف الكلى للنبات وتزيد الإصابة كلما قل معدل النمو وتجمعت المواد الكربوايدراتية فى أنسجة النبات.

وقد وجد أن طفرات من البكتيريا إروينيا أرويدى *Erwinia aroideae* تحتاج فى تطفلها إلى أنواع معينة من الأحماض الأمينية. ولمعرفة قدرة هذه البكتيريا على إحداث الإصابة لعوائلها المختلفة ، درست محتويات هذه العوائل من الأحماض الأمينية ، فوجد أن هذه الطفرات تهاجم فقط العوائل التى تتوفر بأنسجتها الأحماض الأمينية المطلوبة للطفيل بكميات تكفى بإحتياجاته الغذائية منها. وقد أظهرت الأبحاث أن الأحماض الأمينية الموجودة بأنسجة العائل تلعب دورا كبيرا فى مقاومة النباتات لمسببات أمراضها. فقد وجد فى دراسات أجريت

على طفرات غير مرضية للفطر فنتوريا إنكواليس *V.inaequalis* مسبب جرب التفاح إتضح أن تلك الطفرات تحتاج إلى مواد معينة تعجز عن الحصول عليها من نباتات التفاح المقاومة للمرض بالرغم من وجودها فيها. كما ثبت من تلك الدراسة أيضا أن كل الطفرات سواء المرضية منها أو غير المرضية يمكنها اختراق أدمة كل من النباتات المقاومة والقابلة للإصابة على حد سواء، ولكن إمتداد الإصابة بالطفرات غير المرضية يعتمد أساسا على إضافة المواد الغذائية اللازمة من خارج العائل، كما اتضح أيضا وجود جميع الأحماض الأمينية المطلوبة بالعصير الخلوى، باستثناء الهستيدين ولكن بكميات غير كافية لنمو الطفيل. وعموما يتوقف حدوث الإصابة على مدى تركيز المواد التى يحتاجها الطفيل إضافة إلى سرعة نقلها من الأنسجة المتوفرة بها إلى مكان حدوث الإصابة. كذلك فإن سرعة إستهلاك الطفيل لتلك المواد قد يكون عاملا محددا لنجاح الإصابة.

وقد ثبت من بعض الدراسات أن بعض الأحماض الأمينية بالعائل النباتى قد تكون ذات تأثير مثبط على مسببات الأمراض التى تصيبه، فقد وجد أنه بحقن الحمض الأمينى فينيل ألانين phenyl alanine فى العروق الوسطى لأوراق بعض أصناف التفاح إزدادت مقاومتها لمرض الجرب. وبتتبع التحولات الغذائية مستخدما العناصر المشعة إتضح أنه بعد الحقن تتجمع مواد فينولية فى الأصناف التى قاومت الإصابة، فى حين أن الأصناف القابلة للإصابة لا تكون تلك المواد السامة. وقد ثبت أيضا أن الحامض الأمينى بيتا ألانين B-alanine يلعب دورا هاما فى مقاومة نباتات الفول للفطر فيوزاريوم *Fusarium*.

ويمكن تلخيص الدور الذى تقوم به الأحماض الأمينية لتشجيع أو لتثبيط الطفيليات عند حدوث الإصابة فى الآتى:

1 - توفر متطلبات الطفيل الغذائية بما فيها الأنواع المطلوبة من الأحماض الأمينية فى أنسجة العائل فيصبح العائل قابلا للإصابة به.

2 - غياب أو قلة بعض الأحماض الأمينية التى يحتاجها الطفيل فيصبح العائل بذلك مقاوما للإصابة بالمرض.

3 - وجود أحماض أمينية أو مواد مضادة بالعائل تضاد الاستفادة من أحماض أمينية يحتاجها الطفيل، فيصبح النبات بذلك مقاوما للإصابة، رغما عن توفر الأحماض الأمينية التى يحتاجها الطفيل.

8-1-2-3 الأنزيمات التى يفرزها الطفيل أو العائل : النشاط الإنزيمى ضرورة من ضروريات الحياة للعوائل النباتية ولطفيلياتها ولنجاح عملية التطفل. تعمل الأنزيمات التى يفرزها الطفيل خارج جسمه على تحلل بعض أجزاء من أنسجة العائل ، إما لتسهيل إختراقه للأنسجة النباتية أو لتحويل المواد الغير قابلة للإمتصاص إلى الصور التى تصلح لاستفادة الطفيل منها ، ذلك كما فى حالة الكائنات الدقيقة الفطرية والبكتيرية التى تسبب عفنا طريا ، حيث تفرز إنزيمات خارجية تعمل على تحليل المواد البكتينية المكونة للصفائح الوسطى للخلايا ، فتفصل الخلايا عن بعضها ، ويؤدى ذلك إلى موت الخلايا وظهور العفن. ولكى يتمكن العائل النباتى من مقاومة هذه الطفيليات عليه أن يوقف إفراز تلك الإنزيمات المحللة أو أن يوقف أثرها ، أى يثبط من مفعولها ، وذلك كما يحدث عند إصابة فطر سكليروتينيا فركتيجينا *Sclerotinia fructigena* لأوراق أشجار أصناف التفاح المقاومة للمرض ، فإن أنسجة النبات تثبط مفعول أنزيمات الفطر المحللة بفعل مركبات الفينول الموجودة بأنسجة أوراق التفاح.

تؤدى الإصابة بالطفيليات الإجبارية وكذلك بعض الطفيليات الاختيارية إلى الإسراع من معدل تنفس خلايا النبات العائل المصاب. وقد أظهرت بعض الدراسات وجود علاقة وطيدة بين نشاط الأنزيم المؤكسد لحامض الجليكوليك glycolic acid ودرجة مقاومة أوراق نبات القمح لفطر صدأ الساق الأسود. يؤيد ذلك ما وجد من أن درجة إصابة القمح بالفطر المسبب لمرض البياض الدقيقى تتحدد على أساس النسبة بين عملية الجليكوليسيز glycolysis ، أى عملية أكسدة حمض الجليكوليك ، وعملية التنفس. ومن ناحية أخرى قد يؤدى التطفل على النبات إلى تثبيط نشاط أنزيمات التنفس ، وذلك كما فى حالة إصابة نباتات الطماطم بفطر الفيوزاريوم ، إذ وجد أن معدل سرعة تنفس النباتات المصابة ينخفض بمجرد إصابتها بالطفيل ، وأن العامل الذى يؤثر فى درجة مقاومة نباتات الطماطم ويجعلها قابلة للإصابة يعمل أيضا على تثبيط نشاط أنزيمات التنفس. دعى ذلك إلى الاعتقاد بأن المسبب المرضى يتداخل فى نظم التنفس الأنزيمية فى النبات العائل إما بالتشجيع أو التثبيط ، وأن مثل هذه الحالات من المقاومة قد تتأثر كثيرا بالظروف البيئية.

ومن الأنزيمات الأخرى التى يتأثر وجودها فى حالات التطفل النباتى أنزيم بولى فينول أكسيديز polyphenol oxidase ، الذى يزداد إفرازه فى أصناف البطاطس المقاومة للفطر المسبب لمرض اللفحة المتأخرة عقب الإصابة ، كما يزداد هذا الإنزيم فى الطماطم عقب إصابتها بفطر الذبول الفيوزاريومى ، وعند إصابة القطن بفطرى الذبول الفيوزاريومى

والفرتسليومى. الجدير بالذكر أن هذا الأنزيم يحول مركبات الفينول فى النبات إلى مركبات سامة لكل من الفطر والعائل.

8-1-2-4 الضغط الأسموزى للعصير الخلوى ونفاذية جدر خلايا العائل : لكى يكون الطفيل ناجحا فى تطفله على النبات يجب أن يكون قادرا على امتصاص المواد الغذائية والماء من خلايا النبات العائل المتطفل عليه. تقوم الطفيليات الاختيارية بقتل خلايا العائل ، قبل الوصول إليها ، بإفرازاتها السامة للخلايا ، فتفقد تلك الخلايا القدرة على الاحتفاظ بمحتوياتها، عندئذ ينمو الطفيل على الخلايا التى فقدت حيويتها. أما الطفيليات الإجبارية والمترممة اختيارا فهى تلك التى تعيش على الخلايا الحية ، لهذا يجب عليها أن تتغلب بطريقة ما على عدم نفاذية المواد الغذائية من أغشية الخلايا شبه المنفذة دون إحداث أضرار جسيمة لبروتوبلازم تلك الخلايا. يتمثل ذلك بوضوح فى حالة فطريات الأصداء ، إذ تزداد قابلية العائل للإصابة بفطر الصدأ كلما إزدادت نفاذية أغشية جدر خلاياه الملاصقة لهيفات الفطر. فى ضوء ذلك إقترح تانتشر Thatcher سنة 1943 ، أن لفطريات الأصداء القدرة على إفراز إنزيمين على الأقل يؤثران تأثيرا مختلفا على أغشية خلايا العائل ويؤدى نشاطهما إلى إزدياد درجة النفاذية فيها. هذا وقد توجد فى النبات العائل المقاوم مواد مثبطة لفعل تلك الإنزيمات. كذلك فقد وجد أن أوراق بعض النباتات النجيلية القابلة للإصابة بمرض البياض الدقيقى تحتوى خلاياها على منظم النمو إندول حمض الخليك (IAA) indole acetic acid بتركيز يزيد كثيرا عن الموجود فى النباتات المقاومة للمرض ، ويعتقد أن وجود منظم النمو IAA يزيد من نفاذية أغشية الخلايا.

الضغط الأسموزى للعصير الخلوى للنبات العائل ولنموات الطفيل المهاجم تؤثر على نجاح أو فشل التطفل ، وقد ثبت ذلك فى حالة أصناف المشمش مع طفيل البياض الدقيقى ، فعندما وضعت جراثيم الطفيل فى محلول سكرى ذى ضغط أسموزى مساو لما هو موجود بالعصير الخلوى لم تتمكن تلك الجراثيم من امتصاص الماء وبالتالى فشلت فى الإنبات لعدم توفر الماء اللازم.

8-1-2-5 درجة حموضة العصير الخلوى : تشير بعض الأدلة إلى أن درجة حموضة العصير الخلوى فى النبات العائل تؤثر تأثيرا مباشرا على إصابة بعض الطفيليات النباتية. بعض الفطريات لا يمكنها غزو الثمار ذات الحموضة العالية لما للحموضة من أثر على النظم الأنزيمية فى كل من النبات العائل والطفيل. كذلك فقد وجد أن هناك علاقة مباشرة بين درجة حموضة العصير الخلوى بأنسجة نباتات الذرة ومدى مقاومتها للإصابة بالفطر

نيجروسبورا *Nigrospora*. إزدياد درجة الحموضة فى خلايا النبات يساعد على تحول مركبات الفينول الموجودة بخلايا النباتات إلى مركبات الكينون السامة ، وهذا يؤدى إلى إزدياد درجة المقاومة فى النبات.

6-2-1-8 زيادة الحساسية Hypersensitivity : زيادة الحساسية تفاعل مقاومة أسماه عالم أمراض النبات ستاكمن Stakman وذلك أثناء دراسته لمقاومة القمح للفطر المسبب لمرض صدأ الساق الأسود باكسينيا جرامينس تريتيسای *Puccinia graminis tritici* ، حيث يؤدى وجود الطفيل بأنسجة العائل المقاوم للمرض إلى موت الخلايا المتطفل عليها بسرعة فى مكان الإصابة وحولها ، وينشأ عن ذلك خلايا ميتة تفصل بين الطفيل والأنسجة الحية الأخرى للنبات. ونظراً لعدم مقدرة هذا الطفيل الإجبارى على النمو فى الأنسجة غير الحية فإنه يصبح محاصراً فى مكانه دون مصدر للغذاء مما يؤدى إلى موت الطفيل فى مكانه. وعلى ذلك فإنه كلما إزدادت حساسية الصنف للإصابة بسلالة معينة من الفطر الإجبارى التطفل إزدادت درجة مقاومة الصنف النباتى للإصابة. كما أوضحت الدراسات على مرض صدأ الزمير المتسبب عن الفطر باكسينيا كورونانا *P.coronata* ، أن موت خلايا النبات العائل المقاوم للمرض يحدث نتيجة لاستهلاك الفطر لعنصر الفوسفور بدرجة كبيرة مما يجعل مركبات الفينول فى الخلايا تتحول ، بواسطة أنزيم تيروسيناز tyrosinase ، إلى مركبات الكينون السامة. وتتوقف حياة الخلايا على مدى مقدرة أنزيمات نزع الإيدروجين على تسيير التفاعل فى إتجاه عكسى ، أى تحويل مركبات الكينون إلى فينولات. يستخلص من ذلك أن مقاومة النباتات للإصابة فى هذه الحالة تتوقف على مدى قدرة الخلايا فى عمل تلك التفاعلات الكيميائية التى تتم بواسطة نشاط الإنزيمات. ويحدث مثل ذلك عند إصابة نباتات الطماطم البرية *Solanum demissum* بفطر اللفحة المتأخرة فيتوفثرا إنفستانز *Phytophthora infestans* حيث تنتج بعض المواد التى تغير من سير عمليات التحول الغذائى فى خلايا العائل بمكان الإصابة مما يؤدى إلى تجمع مركبات الفينول السامة نتيجة لوجود هيفات الفطر الغازى. يعتقد عموما أن وجود مركبات الفينول فى خلايا النبات أو تكونها على أثر غزو طفيلى لها ذو أهمية كبيرة على مدى قابلية إصابة درنات البطاطس بالجرب العادى وكذلك على مقاومة أشجار التفاح والكمثرى لمرض الجرب.

فى عام 1962 اكتشف عامل آخر فى تفاعل زيادة الحساسية عند إصابة القمح بمرض صدأ الساق الأسود ، حيث تحتوى بعض الأصناف المقاومة على جلوكوسيدات غير سامة تتحول عقب الإصابة إلى أجلوكونات aglocones سامة لكل من الفطر وأنسجة النبات

العائل. ويعتقد أن الفطر المسبب للمرض في هذه الحالة ينشط الأنزيمات التي تعمل على تحويل الجلوكوسيدات إلى أجلوكونات في النبات العائل.

ومن تفاعلات الحساسية الأخرى ما يحدث في بعض أصناف البطاطس المقاومة لفطر اللفحة المتأخرة فيتوفثورا إنفستانز حيث تنقبض الخلايا المصابة والمحيطة بسرعة ، وقد وجد أن تلك الأصناف المقاومة حساسة لمركبات شبيهة للفالوبافين phalobaphene يفرزها الطفيل وتعمل على إنقباض الخلايا وبذلك تعوق استمرار الإصابة.

8-1-2-7 وجود أو إفراز مواد سامة أو مانعة : تحتوى خلايا كثير من النباتات على مواد سامة toxins لبعض الطفيليات ، أو مواد مثبطة للنمو inhibitors. ومن هذه المواد حمض الأكساليك oxalic acid وليكومارسمين lycomarasmin وحمض الفيوزاريك fusaric acid وفيكتورين victorin وبنزو كاسولينون benzoxasolinone ، والأخير هو المسئول عن المقاومة في الذرة والقمح ضد الإصابة بفطر الفيوزاريوم.

علل مناعة كثير من النباتات النامية ضد كثير من الفطريات والبكتيريا والفيروسات ترجع إلى أن تلك النباتات تكون بسرعة مواد مضادة للميكروبات ذات وزن جزيئي منخفض وتأثير واسع على كثير من الميكروبات المرضية وغير المرضية ، وتعرف بالواقيات النباتية phytoalexins ، في منطقة الإصابة وحولها ، كما تفرز خارجيا. لا تتكون الواقيات النباتية فقط كنتيجة لوجود فطريات أو بكتيريا أو فيروسات فقط ، بل تتكون أيضا بتأثير العوامل القاسية كالتعرض لمواد كيميائية أو أشعة فوق بنفسجية أو إصابة بالديدان النيماتودية أو الحشرات. بدأ دراسة الواقيات النباتية كل من مولر Muller وبورجر Borger سنة 1940 ، حيث وضعا نقطا من معلق جراثيم فطرية غير ممرضة للفاصوليا على السطوح الداخلية لقرونها ، ثم فحص معلق الجراثيم بعد مرور 24 ساعة فوجدا أن الجراثيم لم تنبت ، ووجدا أيضا أن تلك القطرات المائية منعت إنبات جراثيم فطريات أخرى ، وظهر أن تلك القطرات تحتوى على مواد مانعة للإنبات يفرزها النبات نتيجة لإفراز بعض المواد القابلة للإنتشار من الطفيل ، وترتبط سرعة إفراز تلك المواد بدرجة مقاومة العائل.

وجدت الواقيات النباتية في سبعة عشر عائلة نباتية ، وأكثرها عددا كان في نباتات العائلة البقولية حيث معظمها من الأيزوفلافونات isoflavonoids ومنها بيساتين pisatin الذى يفرز من أنسجة نبات البسلة ، والفاسيولين haseoline، الذى تنتجة نباتات الفاصوليا ، والعائلة التي تليها في تكوينها للواقيات النباتية هي العائلة الباذنجانية ومعظمها من التربينويدات terpinoids ومنها ريشيتين rishitin الذى تنتجة درنات البطاطس. بعض

الواقيات النباتية قد تنتجها عدة نباتات تنتمى لعائلات مختلفة مثل مشتقات حمض الكافيك caffeic acid derivatives والذى يظهر فى نباتات البطاطس والبطاطا والجزر . ومن الواقيات النباتية الأخرى أيبوميامارون ipomeamarone الذى تنتجه البطاطا وأيزوكومارين isocoumarin الذى ينتج فى الجزر .

2-8 وراثة صفة المقاومة أو المناعة للأمراض النباتية

كان أرتون Orton سنة 1900 أول من قام بعملية الإنتخاب بطريقة علمية وذلك للحصول على نباتات قطن مقاومة لمرض الذبول الفيوزاريومى ، حيث انتخب نباتات قطن فردية مقاومة للمرض من بين زراعة قطن منزرعة فى أرض موبوءة بفطر *Fusarium oxysporum vasinfectum* مسبب مرض الذبول ، ثم قام بعد ذلك بزراعة النباتات المنتخبة مرة ثانية فى أرض موبوءة بمسبب المرض . وبهذه الوسيلة تمكن أرتون من الحصول على سلالات مقاومة من صنفى القطن سى أيلند Sea island وأبلند Upland . وفى العام التالى ، سنة 1901 قام بوللى Bolley بإنتخاب أصناف من الكتان مقاومة لمرض الذبول الفيوزاريومى متبعا طريقة أرتون السابقة ، إلا أن الأصناف التى توصل إليها بوللى تدهورت سريعا بعكس الحال فى سلالات القطن التى انتخبها أرتون . وقد اتضح فيما بعد أن فطر الفيوزاريوم الذى يصيب الكتان له سلالات فسيولوجية عديدة تختلف فيما بينها فى قدراتها على إصابة أصناف الكتان . وفى دراسة على مرض الصدأ المخطط فى القمح سنة 1905 أوضح بيفين Biffen أن مقاومة النبات لمرض معين صفة وراثية تنتقل من الآباء إلى الأبناء، وفى سنة 1912 طبق لأول مرة قوانين مندل بتلقيح نباتى قمح والحصول على هجين شديد المقاومة لمرض الصدأ المخطط . تختلف العوامل الوراثية التى تتحكم فى صفة المقاومة فى النباتات المختلفة بالنسبة للطفيليات المختلفة . كما أن قدرة الطفيليات المختلفة على إحداث المرض فى النباتات تختلف بالنسبة للعوائل المختلفة . ففى بعض الحالات وجد أن صفة المقاومة تسلك سلوك الصفة الوراثية المتنحية ، وذلك كما فى حالة مقاومة الشعير لمرض البياض الدقيقى ، وقد تسلك صفة المقاومة سلوك الصفة الوراثية السائدة وذلك كما فى مقاومة الخس لمرض البياض الزغبى . كذلك فإن عدد العوامل الوراثية التى تتحكم فى صفة المقاومة فى النبات تختلف بإختلاف النباتات وبإختلاف المرض الذى يصيبها ، فقد تعتمد على زوج واحد من العوامل الوراثية فى بعض الأمراض ، وقد تعتمد على زوجين أو أكثر من العوامل الوراثية فى حالات أخرى ، فمقاومة الشعير لمرض البياض الدقيقى صفة تعتمد على زوج واحد من العوامل الوراثية ، ومقاومة البرسيم الحجازى لمرض التبرقش صفة

تعتمد على زوجين من العوامل الوراثية ، ومقاومة البصل للمرض الهبابى smudge صفة تعتمد على ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية.

قد تتأثر مقاومة النبات لمرض ما بوجود جين مانع أو مثبط inhibitor gene ، قد يمنع هذا الجين فعل جين آخر يحكم صفة المقاومة لمرض معين ، كما فى حالة إصابة البصل بالمرض الهبابى ، وقد يكون الجين المانع مثبطا لفعل جين آخر يحكم صفة القابلية للإصابة بالمرض كما فى حالة إصابة الفاصوليا بمرض التبرقش العادى.

من الملاحظ أن أصناف البصل الملون أكثر مقاومة للمرض الهبابى من أصناف البصل البيضاء ، وعلل ذلك باحتواء الأوراق الجافة الخارجية للأبصال الملونة على مركبات فينولية ذائبة وعديمة اللون ولكنها ترتبط ارتباطا وثيقا بالمواد الملونة للأوراق. وفى دراسات عن وراثة اللون فى البصل سنة 1944 اتضح أن هذه الصفة تتحكم فيها ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية. الزوج الأول يحدد اللون إذا كان أحمر (RR أو Rr) أو أصفر (rr) ، حيث أن اللون الأحمر هو السائد. الزوج الثانى منها يعمل على إظهار اللون عندما يكون العامل الوراثى منه موجودا فى حالة أصيلة أو خليطة (CC أو Cc) ، أما إذا وجد زوج العوامل فى الحالة المتنحية (cc) فلا يظهر اللون وتصبح الأبصال بيضاء. الزوج الثالث من العوامل الوراثية يعمل على منع أو تقليل عمل كل من الزوجين السابقين حتى ولو وجدا فى حالة سائدة، فإذا وجد الزوج الثالث فى الحالة السائدة المزدوجة (II) لا يظهر اللون فى أوراق البصل وتصبح بيضاء وفى نفس الوقت تكون شديدة القابلية للإصابة بالمرض ، أما إذا وجد الزوج الثالث فى حالة المتنحية المزدوجة (ii) فيظهر اللون فى الأوراق ، أما إذا وجد زوج العامل الثالث فى حالة خليطة (Ii) فإن لون الأوراق تكون فى حالة وسطية. ويوضح الجدول 8-1 أثر العامل الوراثى المانع فى تكوين اللون ودرجة قابلية البصل للإصابة بالمرض الهبابى.

جدول 8-1
تأثير العامل الوراثى المانع على تكوين اللون فى البصل وعلى درجة قابلية الأبصال للإصابة بالمرض الهبابى

التركيب الوراثى	اللـــــون	درجة القابلية للإصابة
rr CC II	أبيض	% 66
rr CC Ii	كريمى	% 42
rr CC ii	أصفر	% 13

فى دراسة عن مقاومة الفاصوليا لمرض التبرقش العادى ، أجرى تهجين بين صنف قابل للإصابة بالمرض مع صنفين من الفاصوليا مقاومين للمرض هما كوربيت رفيوجى Corbett refugee وربست Robust يحمل كل منهما صفة المقاومة على نفس الجينات ، أظهر الجيلان الأول والثانى إختلاف وراثة صفة المقاومة فى التهجينين. فقد ظهر أن مقاومة الصنف كوربيت رفيوجى لمرض التبرقش العادى تتحكم فيها صفة سائدة ، فى حين أن مقاومة الصنف روبست تتحكم فيها صفة متنحية ، وقد وجد أن إختلاف سلوك صفة المقاومة فى الصنفين يرجع لوجود جين منع بالصنف كوربيت رفيوجى يمنع ظهور قابلية هذا الصنف للإصابة ، ويوجد هذا الجين بصفة سائدة مزدوجة.

تتأثر صفة المقاومة فى بعض الحالات ، بتدخل جينات أخرى تعرف بالجينات المحورة modifying genes ، وذلك كما فى تبرقش الخيار حيث يتحكم فى صفة المقاومة بالخيار ضد المرض المذكور جين واحد سائد ، وتزداد صفة المقاومة بوجود عدد آخر من الجينات المحورة ، ويظهر ذلك فى صنف الخيار شينيز لونج Chinese Long.

فى بعض الحالات ، وجد أن صفة المقاومة تتحكم فيها عوامل وراثية مختلفة ومتداخلة ، ولهذا قد تتبع طرق مختلفة للحصول على أصناف نباتية جديدة تظهر فيها صفة المقاومة للمرض تحت الظروف البيئية المختلفة. ففى حالة أصناف من القمح مقاومة للفطر باكسينيا جلومارم *Puccinia glumarum* المسبب لمرض صدأ القمح الأصفر ، وجد أن المقاومة قد تعتمد على زوج واحد من العوامل ، ويمكن بذلك الحصول على نباتات منيعة ضد الإصابة بالمرض لاعتماد المقاومة فى هذه الحالة على صفة سائدة. وفى حالات أخرى وجد أن المقاومة تعتمد على أكثر من زوج من العوامل ولذلك فإن الأصناف المستنبطة تظهر مقاومة نسبية ومتدرجة.

وفى دراسات على مقاومة نباتات البطاطس لمرض اللفحة المتأخرة المتسببة عن الفطر فيتورفثورا إنفستانز *Phytophthora infestans* تبين وجود نوعين من المقاومة. وراثة المقاومة فى النوع الأول تعتمد على عدد من العوامل الوراثية ، وغالبا ما تكون صفة المقاومة متنحية وتتأثر بالعوامل البيئية وبكمية اللقاح وتعرف بالمقاومة المزرعية field resistance ، وذلك كما فى حالة نوع البطاطس التجارى *Solanum tuberossum* فى النوع الثانى ترجع صفة المقاومة فيها إلى زيادة الحساسية hypersensitivity ، وتعتمد وراثة هذه الصفة إلى عدد من العوامل الوراثية السائدة يعمل كل منها على حدة وتعرف

بمقاومة ريدة الحساسية ، وقد أدخل هذا النوع من المقاومة فى نوع البطاطس التجارى *S .tuberosum* بعد تهجينه بالنوع البرى *S. demissum*.

فى الحالات التى يوجد فيها للكائن الممرض سلالات مختلفة تختلف فى قدراتها الممرضة، قد يختص زوج واحد من العوامل الوراثية فى النبات العائل بصفة المقاومة ضد كل سلالات الطفيل كما هو الحال فى مقاومة نباتات الفاصوليا لسلالات الطفيل المسبب لمرض الأنثراكنوز ، وفى حالات أخرى يختص زوج واحد من عوامل المقاومة بالنبات العائل بمفاومه سلالة او أكثر من سلالات الطفيل ، وذلك كما فى حالة مقاومة القمح لبعض سلالات فطر صدأ الساق الأسود فى القمح.

وجدير بالذكر أن العامل أو العوامل الوراثية التى تحكم صفة المقاومة فى النبات قد تعمل على إظهار تلك الصفة فى طور معين فقط من أطوار نمو النبات أو قد يتطلب ظهورها ظروفاً بيئية محددة.

3-8 تربية سلالات نباتية مقاومة للأمراض

قبل أن يعرف الإنسان شيئا عن وراثة صفة المقاومة ضد الأمراض النباتية ، بل قبل أن يخلق الإنسان بملايين السنين ، والطبيعة تقوم تلقائيا بعمليات مستمرة لانتخاب النباتات المقاومة للآفات السائدة ، متمشية مع قاعدة البقاء للأصلح ، أو البقاء للأفضل مواءمة مع عوامل البيئة المحيطة الحية وغير الحية ، إذ أنه بتعرض النباتات للآفات المختلفة بما فيها مسببات الأمراض يموت منها أكثرها قابلية للإصابة ويعيش منها أكثرها مقاومة. تتكاثر النباتات المقاومة ناقلة لبعض نسلها ما تحمله فى تركيباتها الوراثية من عوامل المقاومة ضد الآفات. وبتكرار ذلك فى الطبيعة جيلا بعد جيل تزداد عشائر النباتات المقاومة للآفات النباتية المنتشرة بالمنطقة لدرجة تكاد تصبح معها جميع النباتات البرية فى مناطق نموها مقاومة للأمراض السائدة بها. ويعيب تلك النباتات البرية المنتخبة طبيعيا أنها ذات صفات زراعية وتجارية واقتصادية ضعيفة ، لهذا كان من الضرورى أن يتدخل الإنسان فى عملية الإنتخاب للحصول على نباتات مرغوبة تجمع ، ما بين الصفات الزراعية والاقتصادية الجيدة وصفة المقاومة ضد الآفات بما فيها مسببات الأمراض النباتية.

فى تاريخ الزراعة الحديث كان الإنتخاب هو الوسيلة الرئيسية لتحسين المحاصيل الزراعية ، وأثناء عمليات التربية للصفات الزراعية والتجارية والاقتصادية كان الإنتخاب بالنسبة للمقاومة ضد الأمراض لا يلقى الاهتمام الكافى ، وخاصة عندما تكون القابلية

للإصابة مرتبطة بأحد الصفات المرغوبة. في كثير من الأحوال يحصل المربي على سلالات تحمل صفة المقاومة مع صفات أخرى مرغوبة ، ثم لا يلبث أن يتدهور الصنف الجديد بعد سنوات قليلة من زراعته ، فيصبح قابلا للإصابة بالمرض الذى كان مقاوما له. قد لا يرجع التدهور إلى فقدان هذا الصنف لقدرته على مقاومة المرض ، ولكن يرجع إلى ظهور سلالات جديدة من الطفيل لم يربى الصنف ضدها. تنشأ السلالات الجديدة من الطفيل بظهور طفرات فى سلالة سابقة أو عن طريق التغيرات التى قد تحدث فى التركيبات الوراثية للطفيل نتيجة لحدوث تزاوج بين سلالات الطفيل التى تتكاثر تزاوجيا أو نتيجة للإندماج الهيفى anastomoses بين السلالات التى لا تتكاثر تزاوجيا حيث يحدث الخلط النووى heterocaryosis. ومن الأمثلة على ظهور سلالات جديدة ما حدث فى الولايات المتحدة الأمريكية وكندا سنة 1935 عندما ظهرت السلالة 56 لفطر صدأ الساق الأسود فى القمح مسببا لخسائر كبيرة لمحصول القمح الربيعى ثم تكرر ذلك سنة 1953 وسنة 1954 عندما ظهرت السلالة 15 ب وأثرت تأثيرا ضارا على أصناف القمح المقاومة للسلالة 56 .

فى كثير من الحالات لم يمكن إكتشاف وجود تخصص بيولوجى بين أفراد كائنات ممرضة إلا بعد إنتخاب وتربية أصناف جديدة من النبات العائل مقاومة للمرض ، وذلك عندما أصيبت بعض الأصناف المنتخبة بالمرض بعد زراعتها لعدة سنوات. ومن أمثلة هذه الحالات الفطر فيتوفثورا إنفستانس *Phytophtora infestans* المسبب لمرض اللفحة المتأخرة فى البطاطس والذى عرف لوقت طويل أنه لا يتميز فيه سلالات فسيولوجية مختلفة وذلك لإصابته لجميع أصناف البطاطس التجارية ، غير أنه إتضح بعد استنباط أصناف من البطاطس مقاومة للمرض عن طريق التهجين بين الأصناف التجارية والأصناف البرية ، أن بعض الأصناف الجديدة المستنبطة أصيبت بالمرض ووجد أن الفطر المحدث لمرض اللفحة المتأخرة لا يختلف مورفولوجيا عن عزلات الفطر الغير قادرة على إحداث المرض ، ولكنه يختلف عنه فى قدرته التطفلية على أصناف البطاطس المختلفة ، ومن ذلك عرف أن الفطر المسبب للفحة المتأخرة يتميز إلى سلالات فسيولوجية مختلفة فى الطبيعة.

فى بعض الحالات قد يكون الهدف من تربية أصناف جديدة من محصول معين هو إيجاد أصناف يتصف سلوكها بصفات خاصة تمكنها من الهروب من الطفيل المسبب للمرض ورغم قابليتها للإصابة به ، كأن تكون تلك الأصناف قصيرة العمر مبكرة النضج. مثل تلك الأصناف يمكنها أن تهرب من الإصابة بالأمراض التى تصيب المحصول فى أواخر موسم نموه.

وقد تهدف التربية إلى إيجاد أصناف ذات قدرة عالية على تحمل فعل الطفيل ، وتتمكن رغم الإصابة من إنتاج محصول جيد ، كأن تكون ذات جذور قوية سريعة النمو تعوض سريعا أضرار الإصابة بطفيليات الجذور ، أو أن تكون الأصناف المنتخبة سريعة النمو الخضرى فى الفترة الحرجة التى تتعرض فيها للإصابة مما يؤدى إلى سرعة استعاضتها لما يحدثه الطفيل من أضرار لها.

توجد عدة طرق للحصول على أصناف من النباتات مقاومة للأمراض كالآتى :

8-3-1 إستيراد تقاوى أصناف مقاومة للمرض أو الأمراض السائدة

يعتبر استيراد التقاوى التى تحمل صفة المقاومة العالية للمرض ولعدة أمراض سائدة فى البلد المستورد هو أبسط وأرخص الوسائل للحصول على أصناف نباتية مقاومة ، حيث تستورد تقاوى الأصناف المرغوب زراعتها ، والتى تحمل صفة المقاومة للأمراض السائدة ، والتى استنبطت فى دول أخرى لزراعتها. ويعاب على هذه الوسيلة أن الأصناف المستوردة قد لا تظهر فيها نفس الصفات المعروفة عنها فى مواطن استنباطها عند زراعتها فى بيئتها الجديدة ، وذلك بسبب اختلاف السلالات الفسيولوجية للمسببات المرضية فى قدرتها على إحداث المرض فى بلد الإنتاج عن السلالات الفسيولوجية الموجودة فى البلاد المستوردة. إضافة إلى ما سبق فإن تلك الأصناف المستوردة قد تتعرض للإصابة بشدة بأمراض أخرى غير ذات أهمية فى مناطقها الأصلية.

ورغم ما سبق فإن عمليات استيراد التقاوى المقاومة للأمراض قد تعطى نتائج إيجابية عند زراعتها فى الموطن الجديد. ومن الأمثلة التى نجحت فيها عمليات الاستيراد ، حالة استيراد صنف القمح تاتشر Thatcher المقاوم لمرض صدأ الساق الأسود من الولايات المتحدة الأمريكية سنة 1935 إلى كندا حيث زرع منه مساحات شاسعة ، ثم استبدل بعد ذلك بالصنف الأمريكى سيلكيرك Selkirk الذى صار سنة 1958 الصنف الأساسى من القمح الربيعى المقاوم للصدأ فى كل من كندا والولايات المتحدة الأمريكية ، ويعزى ذلك النجاح لتشابه الظروف البيئية فى كل من كندا وشمال الولايات المتحدة الأمريكية.

وعموما فإن السلالات النباتية المستوردة قد تستورد لإدخال محصول جديد إلى البلد المستورد أو لإدخال سلالة جديدة من محصول موجود فعلا ، وفى كلتا الحالتين قد تستخدم تلك السلالات فى الزراعة مباشرة إذا ثبت أنها قادرة على التأقلم مباشرة فى بيئتها الجديدة. وقد تستورد السلالات النباتية ويجرى الإنتخاب منها للحصول على سلالات محسنة منها أكثر

تأقلما للبيئة الجديدة. كما قد يكون الإستيراد بغرض نقل جينات المقاومة منها إلى أصناف محلية خلال عمليات التهجين ، والحصول بعد ذلك على أصناف جديدة.

وغالبا ما يعقب عملية الاستيراد للأصناف المقاومة من المحاصيل ، عمليات إنتخاب أو تهجين ، ذلك أن كثيرا من هذه الأصناف التى تحتوى تركيباتها الوراثية على جينات المقاومة، لا تحتوى على الجينات اللازمة لعملية التأقلم فى البيئة الجديدة ، أو الجينات الخاصة بالصفات الزراعية والتجارية المرغوبة.

2-3-8 الإنتخاب

جميع النباتات الموجودة بريا على وجه الأرض هى نتاج عمليات إنتخاب وتربية طبيعية ، تمت تحت ظروف بيئية مختلفة خلال ملايين السنين. ويحدث الإنتخاب طبيعيا فى الحقول عند تعرض المحصول المنزرع للمسببات المرضية تحت الظروف الملائمة للعدوى وتكشف الأمراض فتصاب النباتات القابلة للإصابة وقد تموت أو لا تنتج تقاوى أو تنتج تقاوى ضعيفة ولا يظهر المرض على النباتات التى تحمل صفة المقاومة وتنتج تقاوى طبيعيا ، فإذا أخذت التقاوى من النباتات التى قاومت المرض وزرعت فإن مقاومة المحصول الجديدة تكون أفضل من سابقتها ، ويتكرار ذلك لعدة أجيال تحصل على نباتات مقاومة. ويمكن إجراء ذلك صناعيا فى زراعات خاصة أو بالمشاتل أو الصوب حيث تجرى عدوى صناعية بمسببات الأمراض التى يجرى الإنتخاب ضدها تحت أنسب الظروف ملاءمة لحدوث الإصابة. عموما فيفضل إجراء عدوى صناعية حيث أنه تحت الظروف الطبيعية قد ترجع عدم حدوث إصابة للنباتات إلى هروبها من الإصابة لأى سبب من الأسباب. ولا ترجى فائدة محققة من عملية الإنتخاب تحت الظروف الطبيعية إلا فى حالة إنتشار المرض بحالة وبائية.

الإنتخاب الصناعى قد يكون إنتخابا جماعيا mqss selection وقد يكون إنتخابا فرديا individual selection. الإنتخاب الجماعى قد يكون إنتخاب جماعى سلبى negative mass selection وفيه تزرع التقاوى معا ، وتجمع وتستبعد النباتات غير المطابقة للمواصفات المطلوبة سواء الزراعية أو المصابة بالأمراض النباتية ، وذلك خلال موسم النمو، ويترك الباقى للحصول على تقاوى لزراعتها فى الموسم التالى ، ثم تكرر عملية التقاوة roguein عدة مواسم. وقد يكون إنتخاب جماعى موجب positive mass selection وفيها تختار من النباتات الناضجة تلك التى جمعت أكثر الصفات المرغوبة بما فيها صفة المقاومة ضد الأمراض وتؤخذ بذور تلك النباتات وتخلط معا ، ثم تزرع فى الموسم التالى ،

وتكرر العملية عدة سنوات. في الإنتخاب الفردى تنتخب نباتات جمعت المواصفات المرغوبة ثم تؤخذ التقاوى من كل نبات على حدة وتزرع ، ويكرر الإنتخاب الفردى من محصول كل نبات لعدة سنوات.

ويشترط لنجاح عمليات الإنتخاب للحصول على أفراد تجمع بين الصفات الزراعية والتجارية المرغوبة وصفة مقاومة الأمراض السائدة توفر الآتى :

1 - توفر مصدر المقاومة ضد الأمراض السائدة فى بعض نباتات المجموعة التى يجرى فيها عمليات الإنتخاب.

2 - أن تكون هناك وسيلة سهلة للتمييز بين النباتات التى تحمل عوامل المقاومة الوراثية وبين النباتات التى ساعدتها الظروف على الهروب من الإصابة.

3 - أن تحتوى النباتات المقاومة والمنتخبة على الصفات الزراعية والإقتصادية المرغوبة بجانب مقاومة الأمراض.

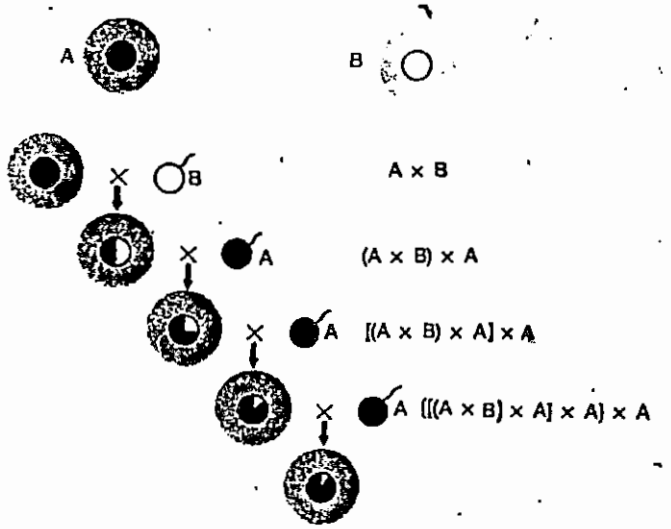
4 - أن يتبع أفضل الطرق التى يمكن بها الإكثار من النباتات المنتخبة للحصول على التقاوى بقدر كاف وفى أقصر وقت ممكن.

3-3-8 التهجين

الغرض من التهجين hybridization جمع صفات مرغوبة موجودة فى سلالتين أو أكثر فى سلالة واحدة ، ذلك أن التهجين يؤدى إلى الحصول على تراكيب وراثية مختلفة نتيجة لإنعزال العوامل الوراثية وإعادة توزيعها ، وتظهر الصفات الجديدة فى النسل خلال الأجيال المتعاقبة ، ومن ثم يتمكن مربى النباتات من إختيار الأفراد التى تحمل الصفات التى يرغب فى توفرها فى السلالة الجديدة. تتوقف درجة وسرعة الوصول إلى السلالة المطلوبة على عدة عوامل منها ، التركيب الوراثى للآباء المستخدمة فى التهجين وعدد أزواج العوامل الوراثية المتحكمة فى الصفة وكذلك على برامج التربية المتبعة.

قد يجرى التهجين بين أصناف varieties نوع species واحد من الأنواع النباتية ، أو يجرى بين أنواع مختلفة متقاربة من الناحية التقسيمية وتقع تحت جنس genus واحد. وقد يتبع فى التهجين طرق مختلفة منها التلقيحات البسيطة أو التلقيحات الفردية single crosses وتجرى عادة بين أصناف نوع واحد intervarietal crossing ، وفيها يجرى التلقيح مرة واحدة بعدها تجرى عمليات الإنتخاب. وقد يجرى أكثر من تلقيح قبل البدء فى عمليات

الإنتخاب من ذلك طريقة التلقيح الرجعى أو back cross ، حيث يجرى التلقيح الأول للحصول على الجيل الأول ثم تلقح نباتات الجيل الأول بأحد الآباء للحصول على هجين ثانى وقد يكرر ذلك عدة مرات (شكل 8-2) . وتتبع هذه الطريقة لنقل صفة وراثية معينة ، كصفة المقاومة ، يرغب مربى النباتات فى نقلها لصنف تجارى معروف ، ويعتبر الصنف التجارى هو الأب المتكرر recurrent parent والصنف المقاوم هو الأب الواهب donor parent . وقد كان أورتون Orton هو أول من إستخدم التلقيح الرجعى للحصول على سلالات من البطيخ مقاومة لمرض الذبول الفيوزاريومى ، حيث قام بتهجين صنف جيد لكنه قابل للإصابة بالمرض مع الصنف Citron الذى يحمل فى تركيبه الوراثى عامل المقاومة لمرض الذبول ، فحصل على هجين مقاوم للمرض لكن صفاته الزراعية والتجارية غير مقبولة ، فأعاد التهجين مرة أخرى بين الهجين الناتج والصنف التجارى القابل للإصابة فحصل على هجين تجتمع فيه صفة المقاومة مع الصفات المرغوبة الأخرى.



شكل 8-1 : التلقيح الرجعى بين صنف تجارى A وصنف به صفة المقاومة لمرض B
أ - الآباء ب - تزاوج الأبوين جـ - التلقيح الرجعى الأول
د - التلقيح الرجعى الثانى هـ - التلقيح الرجعى الثالث
و - التلقيح الرابع (نسبة صفات الأب التجارى إلى الأب المقاوم 15- 1)

والخطوات الرئيسية التى يمكن أن تتبع لعمل برنامج لتربية أصناف مقاومة لمرض معين من محصول معين ، متبعا طريقة التلقيح الفردى كالآتى :

1 - يبحث عن مصدر لمقاومة المرض المطلوب التربية له وذلك من بين أصناف من نفس النوع النباتى للمحصول المطلوب إدخال صفة المقاومة فيه ، من مناطق تكون الإصابة فيه بهذا المرض منتشرة وشديدة. إذا لم يتوفر مصدر المقاومة فى نفس النوع النباتى فيبحث عنه فى أنواع أخرى قريبة للنوع الذى يقع تحته الصنف المراد تربيته ، وقد يكون ذلك من بين النباتات البرية.

2 - يجرى التهجين بين نباتات مختارة من الصنف التجارى ونباتات مختارة من الصنف المقاوم للمرض وتزرع البذور الناتجة لتعطى نباتات الجيل الأول.

3 - تلقح النباتات الهجين الناتجة عن الجيل الأول تلقيحا ذاتيا self-polination ، وتؤخذ التقاوى الناتجة لزراعة الجيل الثانى ، كل بذرة على حدة.

4 - يبدأ إنتخاب النباتات المقاومة فى الجيل الثانى مع مراعاة إجراء عدوى صناعية بجميع سلالات المسبب المرضى المحتمل حدوث إصابة منها ، والتى تنتشر فى المنطقة أو المناطق التى سوف يزرع فيها الصنف ، ويستحسن كذلك إجراء العدوى بالسلالات الأخرى التى يحتمل أن تنتقل إلى منطقة زراعة هذا الصنف. ومن المهم جدا توفر الظروف البيئية المثلى لحدوث الإصابة.

5 - يراعى أثناء الإنتخاب فى الأجيال التالية إختيار النباتات التى تحمل صفات زراعية وتجارية مرغوبة بالإضافة إلى المقاومة للمرض مع استمرار التلقيح الذاتى لعدة أجيال حتى تصل النباتات الناتجة إلى درجة عالية من النقاء الوراثى.

6 - تجرى الإختبارات على السلالات الناتجة من الخطوات السابقة من حيث كمية المحصول وجميع الصفات الاقتصادية بما فيها المقاومة وذلك تحت ظروف بيئية مختلفة.

7 - تختار أفضل سلالة من بين السلالات المختبرة فى الخطوة السابقة لتدخل فى مرحلة لإكثار تقاويها بحالة نقية طبقا للطرق المتبعة فى مثل هذه الحالة ، لتوزيعها على الزراع.

يعب طرق التهجين ثم الإنتخاب احتياجها إلى زمن طويل للحصول على سلالات تجارية تحتوى على صفة المقاومة لمرض نباتى أو أكثر ، وقد أمكن حديثا توفير كثير من الوقت بإستخدام التقاوى الهجين فى الزراعة مباشرة ، حيث تستخدم سلالة بها صفة المقاومة ساندة وتهجن مع سلالة أخرى بها الصفات الزراعية والتجارية المرغوبة. تستخدم البذور الناتجة

عن التلقيح فى الزراعة ، وحاليا فإن معظم زراعات الذرة بالعالم تستخدم فيها تقاوى نتيجة تهجين وتعتبر النباتات الناتجة والمنزرعة هى الجيل الأول ، والمحصول الناتج يوزع للإستهلاك الغذائى ولا يصلح للتقاوى إذ أنه بزراعته سوف يحدث إنعزالات فيه. للحصول على التقاوى الهجن فى الذرة تزرع عادة فى صفوف كل أربعة صفوف من الأمهات يعقبها صفين من الآباء ، وهكذا. تطوش النورات المذكرة والتى تتكون فى قمة النبات من صنف الأمهات ، بمجرد تكوينها وتترك نباتات الآباء دون تطويش ، يحدث التلقيح من نباتات الآباء للنورات المؤنثة والتى تتكون فى آباط الأوراق لكل من الآباء والأمهات. عند تمام النضج يجمع محصول كل صنف على حدة ، حيث يؤخذ محصول الأمهات لزراعتها كتقاوى ذرة هجين ، أما محصول الآباء فيؤخذ للإستهلاك.

فى بعض الحالات التى يوجد فيها عقم ذاتى self-sterility أمكن الحصول على بذور هجين دون الحاجة لإزالة أعضاء التذكير وقد أمكن ذلك فى بعض أصناف بنجر السكر وفى بعض أصناف الكرنب. كما أمكن الحصول على بذور هجين أيضا باستخدام أصناف تنتج أزهار ذات أعضاء تذكير عقيمة أو أزهار مؤنثة فقط مع أصناف أزهارها خصبة ، فتستخدم الأولى ، العقيمة الذكورة كأمهات وتؤخذ بذورها للزراعة وتستخدم الثانية الخصبة كآباء ويؤخذ محصولها للإستهلاك ، وقد نجح ذلك فى بعض أصناف البصل والذرة وعباد الشمس والقطن والطماطم والجزر.

4-3-8 التضاعف الكروموسومى

ويقصد بالتضاعف الكروموسومى polyploidization مضاعفة العدد الأصلى للكروموسومات فى نواة الخلية ، فبدلا من أن يكون العدد فى الخلايا الخضرية للنبات ثنائية العدد الكروموسومى (2N) ، قد تصبح رباعية العدد الكروموسومى tetraploid (4N) أو تصبح سداسية العدد الكروموسومى (6N) ، وتوجد الأعداد 6N, 4N, 2N فى أصناف نبات القمح ، فنبات القمح التجارية منها ما يحتوى على 14 أو 28 أو 42 كرموسوم. وقد تحتوى خلايا النبات على ثمان مجموعات كروموسومية octoploid كما فى بعض أصناف البن حيث تحتوى خلاياه على 88 كروموسوم ، وهناك حالات يزيد فيها التضاعف عن ذلك وقد أمكن إنتاج نباتات هجين ثلاثية العدد الكروموسومى triploid (3N) بتلقيح نباتات 2N مع أخرى 4N ، وحدث ذلك فى بنجر السكر وإمتاز الصنف الناتج عن التلقيح السابق بإنتاجه المرتفع من السكر وأيضا بمقاومته لمرض تبقع الأوراق السركوسبرى. وللحصول على تضاعف كروموسومى تعامل الأنسجة الخضرية النامية بمؤثرات خارجية قوية مثل

الكوشيسين ، ويؤدى ذلك إلى حدوث خلل فى عملية الإنقسام غير المباشر بالأنسجة النامية ، فبعد حدوث تضاعف فى أعداد الكروموسومات بالخلية لا يحدث الانفصال إلى مجموعتين وتبقى الخلية بضعف عددها الكروموسومى أى 4N ، حتى إذا زال أثر المادة المؤثرة ، أى الكولشيسين مثلا • تنقسم الخلايا ذات 4N طبيعيا محافظة على العدد الكرموسومى الجديد •

4-8 إحداث الطفرات

تحدث الطفرات mutations طبيعيا أثناء نمو النباتات ، إلا أن معظم الطفرات المتكونة تكون إما ضارة أو غير ذات أهمية • الطفرات هى تغييرات تحدث فى التراكيب الوراثية لبعض خلايا النبات ، وعند إنقسام الخلايا التى حدث بها التغيير فإن الخلايا الناتجة تحافظ على التركيب الجديد وينشأ عن ذلك نسيج يختلف وراثيا عن نسيج النبات الأصلى ، فإذا إستخدم هذا النسيج فى إنتاج جديد ، يكون النبات الناشئ عن الطفرة مختلفا وراثيا عن النبات الذى نشأ عنه ، وقد أمكن الاستفادة من بعض الطفرات الجيدة فى إنتاج أصناف جديدة ، فكثير من أصناف البطاطس المنزرعة نتجت عن طفرات طبيعية •

للإسراع من عملية التطفر تستخدم مطفرات mutagens ، قد تكون طبيعية مثل بعض الأشعة المتأينة كاشعة X وأشعة جاما وقد تستخدم الأشعة فوق البنفسجية ، وأحيانا تستخدم نبضات من أشعة الليزر ، وقد تكون المطفرات كيميائية ومنها كبريتات ثانى الإيثيل diethyl suphate وكبريتات ثانى الميثيل dimethyl sulphate وإيماين الإيثيلين ethylene imine • تعامل البذور بالأشعة أو بالكيماويات المطفرة ، فتتبه الخلايا إلى حدوث طفرات • تزرع البذور فى سطور على مسافات متباعدة حتى يسهل ملاحظتها وينتج عن ذلك نباتات الجيل المطفر الأول والذى يرمز له M_1 والذى تظهر فيه الطفرات السائدة فقط • البذور الناتجة من الجيل الأول تزرع ثانية لإنتاج الجيل المطفر الثانى والذى يرمز له M_2 ، وفيه تحدث إنعزالات فى تلك الطفرات ويمكن أن نجد بينها الطفرات المتنحية بالإضافة إلى الطفرات السائدة • بعض الطفرات الهامة مثل صفة المقاومة للأمراض النباتية قد لا يمكن كشفها فى الأجيال الأولى للتطفر ، وخاصة إذا كان المرض محدود الإنتشار ، ويمكن كشفها بالتعريض للمسببات المرضية مع تهيئة الظروف البيئية لإحداث المرض • وقد أمكن بالهند الحصول على صنف قصب السكر Co 6602 المقاوم للعفن الأحمر المتسبب عن الفطر كوليتوتريكم فالكاتم *Colletotrieum falcatum* وذلك من طفرة وذلك بتعريض النباتات لأشعة جاما •

تستمر ملاحظة النباتات المطفرة فى الجيل الثالث M_3 ثم فى الجيل الرابع M_4 حين يبدأ إختبار تلك الطفرات للصفات الزراعية والتجارية والمقاومة للآفات والأمراض.

5-8 إستخدام الهندسة الوراثية فى إنتاج نباتات مقاومة

تعتمد الطرق التقليدية لتربية النباتات ، أساسا على التهجين لإدخال صفة أو أكثر من سلالة نباتية إلى سلالة أخرى قريبة منها تنقصها تلك الصفات ، ثم الإنتخاب لمدة طويلة قد تصل إلى 8-15 سنة حتى نحصل على سلالة جديدة تجمع الصفات المطلوبة فى صورة نقية. يعوق نجاح تلك العملية بعض العوائق منها أن الصفة المطلوب إدخالها قد لا توجد إلا فى نباتات بعيدة القرابة يستحيل التزاوج بينهما ، وأنه نتيجة للتزاوج بين السلالتين يحدث توزيع عشوائى لعدد كبير من الصفات ، الكثير منها غير مرغوب مما قد نضطر معه إلى إجراء تهجين رجعى ، يتكرر عدة مرات حتى نتمكن من تجميع معظم الصفات المرغوبة. لهذا كان التفكير والبحث فى وسائل للإسراع فى جمع ونقل الجينات المرغوبة إلى خلايا نباتات تنقصها تلك الجينات دون تزاوج وإنتخاب وإنتظار لزمن طويل ودون أن يكون مصدر الجين ذو صلة قرابة من النبات المنقول إليه ، وهذا ما يعرف بالهندسة الوراثية genetic engineering. تشمل الهندسة الوراثية نقل كرموسومات chromosome engineering أو نقل جينات gene engineering أو نقل أجزاء من الجينات وتعرف بهندسة الجزئيات molecular engineering. الهندسة الوراثية هى فرع من فروع الهندسة الحيوية bioengineering والتى تشمل بجانب الهندسة الوراثية ، زراعة الأنسجة tissue culture. تسمح الهندسة الوراثية بالتعامل مع جينات فردية أو مع مكوناتها من أى مصدر قريب أو بعيد ونقلها إلى النبات بأقل ما يمكن من إحداث خلل فى تركيبة المجموعة الوراثية الأصلية للنبات.

تتبع طريقتين أساسيتين لنقل الصفات المطلوب إدخالها من نبات إلى آخر وذلك كالآتى :

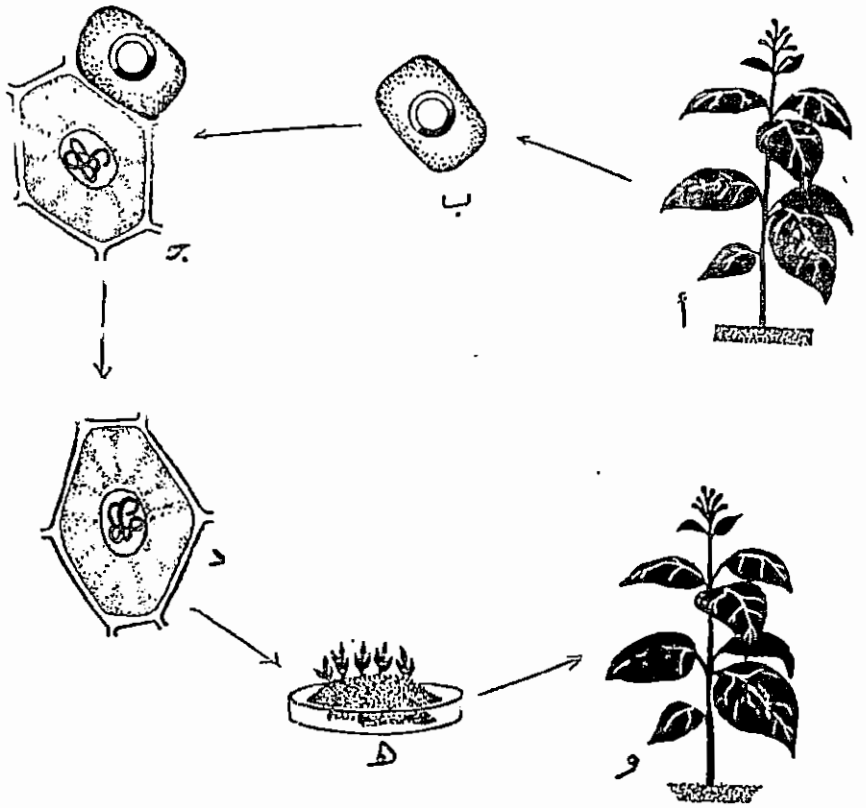
1 - النقل عن طريق ناقل vector خاص ، ومنه بعض أنواع من البكتيريا مثل أجروبكتيريم تميفسينس *Agrobacterium tumifaciens* التى تهاجم معظم النباتات ذات الفلقتين وبعض نباتات الفلقة الواحدة ، ومن الناقلات بعض الفيروسات مثل مجموعة فيروسات جيمينى gemini viruses وهى فيروسات تتكون كل منها من خيط واحد من الحمض النووى DNA وتهاجم كثير من النباتات ذات الفلقتين والفلقة الواحدة.

تتوقف قدرة البكتيريا أجروبا كتيريم على النقل على وجود كروموسوم إضافى صغير يوجد مع الكروموسوم الأساسى فى الخلية البكتيرية ويعرف باسم بلازميد منبه للورم Ti plasmid ، جزء من هذا البلازيد يعرف بحمض ديأكسى ريبونيكليك الناقل (t DNA) يمكنه أن يدخل فى التركيب الكروموسومى لخلية النبات. فلإدخال صفة جديدة إلى نبات ما ، تنقل أولا من مصدرها إلى الخلايا البكتيرية حيث تحمل على الجزء t DNA من Ti plasmid ، ثم تنقل البكتيريا الناقلة والحاملة للجين الجديد إلى نسيج من النبات المراد إدخال الجين الجديد فيه فتحدث العدوى به وينتقل الجزء t DNA بما يحمله من جين الى التركيب الكروموسوى للنسيج النباتى. ينمو النسيج النباتى بطرق زراعة الأنسجة ثم ينبه لتكوين نبات جديد أدخل فيه الصفة المطلوبة (شكل 8-2).

2 - النقل المباشر لجميع بروتوبلاست protoplast خلية إلى بروتوبلاست خلية أخرى ، أى إحداث تهجين بروتوبلاستى لخليتين خضريتين قد يكونان بعيدين كل البعد عن بعضهما فمثلاً يمكن إحداث هذا التزاوج بين خلايا نباتين أحدهما وحيد الفلقة كالذرة مع آخر ذو فلقتين كفول الصويا. يحدث التزاوج بين الخلايا بسهولة إذا نزعت عنها الجدر الخلوية ، فيؤخذ النسيج الوسطى من جزء من ورقة من كل نبات وتوضع فى محلول زائد التركيز hypertonic مع أنزيمات بكتينية pectinase وسليلوزية celluase ، فتنفصل الخلايا عن بعضهما وتتحلل جدرها الخلوية وتبقى البروتوبلاستات محاطة بأغشيتها السيتوبلازمية بشكل كور خضراء. يضاف إلى خليط بروتوبلاست النباتين مادة تنبه حدوث التزاوج مثل نترات الصوديوم أو عديد إيثلين الجليكول polyethylene glycol ، يحدث تزاوج بين بروتوبلاستى النباتين وينتج بروتوبلاست هجين يحتوى على مجموع كروموسومات الخليتين الأصليتين المتزاوجين (شكل 8-3). تنبه البروتوبلاستات الهجن للتكاثر والتشكل لتكوين نبات جديد بصفات وخواص جديدة. وقد أمكن بهذه الطريقة إنتاج نبات هجين من البطاطس والطماطم سنة 1978 سمى بطاطم pomato ، ولو أنه لم يكن ذو قيمة اقتصادية. كذلك أمكن تهجين البطاطس مع نبات صائد للحشرات حيث كانت أوراق وسيقان النبات الجديد مغطاة بشعور كثيفة تصيد الحشرات وتميتها بفعل إفراز لزج سام ، وثبت أنه يقتل 90 % من الحشرات التى تلامسه ، وعيبه أنه كان لا يميز بين حشرة ضارة وأخرى نافعة.

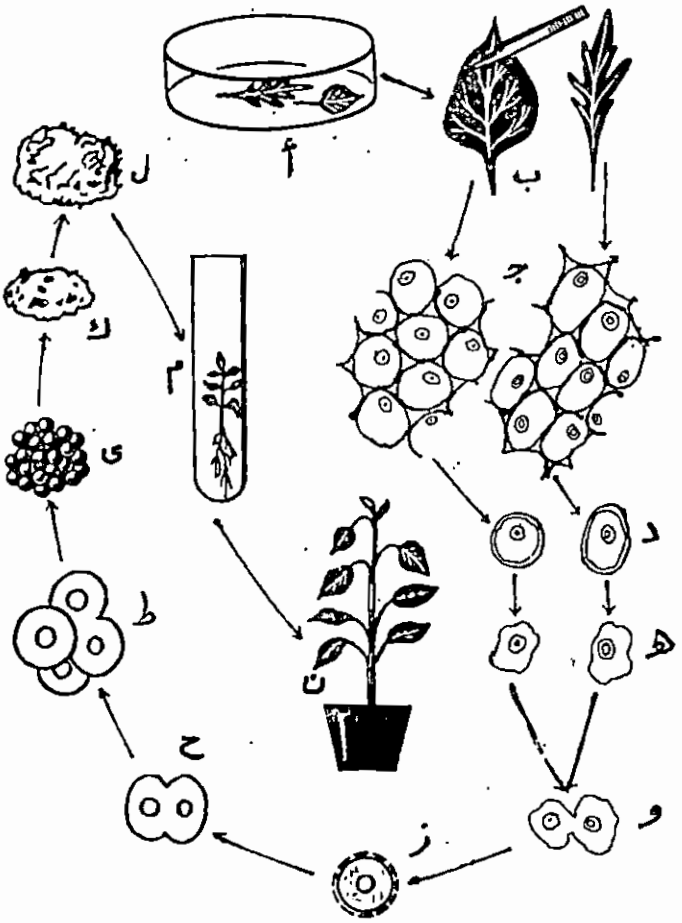
بالنسبة لاستخدام الهندسة الوراثية فى إنتاج نباتات مقاومة للأمراض النباتية ، فإنها لا زالت موضع دراسة ، وبهذه الوسيلة سوف يمكن نقل صفة المقاومة من نباتات بعيدة القرابة إلى النباتات المرغوب النقل إليها. والأمل القريب هو فى طريقة النقل المباشر بتهجين

بروتوبلاستين لنبات به صفة المقاومة إلى آ[illegible] به الصفات المرغوبة ، وغالبا ما يتطلب الأمر إجراء إنتخابات لعدة سنوات حتى يمكن الحصول على السلاله المرغوبة .



شكل 8-2 : إستخدام الهندسة الوراثية فى نقل بعض الصفات

أ - نبات به صفة مراد إدخالها (مقاومة مثلا) فى صنف تجارى.
ب- بكتيريا ناقلة للصفة (*Agrobacterium tumefaciens*) نقلت إليها الصفة المراد إدخالها من نبات (أ) وحملت فى Ti-plasmid .
جـ - عدوى البكتيريا لخلايا النبات التجارى.
د - خلية النبات التجارى وبها الجزء t - DNA من Ti-plasmid الحامل للصفة المدخلة.
هـ - زراعة خلايا النبات التجارى بعد إدخال الصفة بطرق زراعة الأنسجة وتكوين كالوس.
و - النبات التجارى الجديد وبه الصفة المدخلة.



شكل 8-3 : تهجين بروتوبلاستى

ا - تعقيم ورقتى نبات مراد التهجين بينهما
ب - سلخ البشرة
جـ - فصل النسيج الوسطى
د - تفكيك الحلايا
هـ - فصل الجدر الخلوية
و - تزاوج بين بروتوبلاستين
ز - تكوين زيجوت
حـ - ط - ى - انقسام الزيجوت
ك - تكوين نسيج كالوزى
ل - تمييز نسيج الكالوس
م - تكوين بادرة
ن - شكل البادرة

6-8 مواصفات السلالات النباتية المنتخبة لصفة المقاومة للأمراض

يراعى فى الأصناف المختارة أو المنتخبة لصفة المقاومة لأمراض معينة ، بأى من الطرق السابقة أن تتوافر فيها الصفات الآتية :

1 - أن تجمع بين صفة المقاومة للأمراض والصفات الزراعية والتجارية المرغوبة لدى المزارعين والمستهلكين .

2 - أن تثبت السلالة المنتخبة مقاومتها للمرض عند تعرضها لعدوى شديدة تحت ظروف بيئية ملائمة لحدوث العدوى وتكشف المرض .

3 - أن تكون صفة المقاومة فى السلالة المنتخبة صادقة التوريث ، أى أن هذه الصفة ثابتة وراثية تنتقل منها لجميع الأبناء بدرجة واحدة .

4 - أن يقاوم النبات جميع سلالات الطفيل التى قد يتعرض لها فى الحقل .

فى بعض الحالات تكون تربية سلالات مقاومة من الصعوبة بمكان وقد تكون من المستحيلات وذلك لأسباب مختلفة منها .

1 - عدم وجود جينات المقاومة ، فلا تكون التربية ناجحة وفعالة إلا إذا توفرت جينات مقاومة فى النوع النباتى أو الجنس الذى يدخل تحته النوع النباتى الذى يجرى عليه التربية .

يسهل الحصول على جينات المقاومة فى حالة الطفيليات المتخصصة أى ذات المدى العوائلى الضيق ، بينما يصعب الحصول على أصناف مقاومة فى حالة الطفيليات ذات المدى العوائلى الواسع .

2 - وجود جينات المقاومة فى نباتات بعيدة القرابة عن النوع الذى ينتمى إليه المحصول المستخدم فى التربية ، فمثلا توجد صفة المقاومة لمرض لفحة القطن البكتيرية فى بعض أنواع الأقطان الأسيوية مثل جوسيبيوم سيرنم *Gossypuim cernum* الذى لا يمكن إجراء تلقيحات بينه وبين الأقطان المنزرعة ، وفى هذه الحالة يفيد إستخدام أقطان ذات درجة قرابة وسطية بين النوعين المراد الجمع بين صفتيهما ، فتنقل صفة المقاومة أولا إلى الصنف الوسطى ، ثم تنتقل تلك الصفة من الصنف الوسطى إلى الصنف المنزرع .

3 - وجود سلالات مختلفة من الطفيل ، وذلك كما فى أصداء القمح حيث يعرف لكل منها العديد من السلالات ، ولهذا فإنه عند استنباط أصناف تقاوم الأصداء ، كثيرا ما تظهر سلالات جديدة من الطفيل المربى ضده ، مما يتسبب فى تدهور الصنف المنتخب وضياع جهود مربى النباتات .

4 - قد يظهر فى بعض الحالات إزدياد فى قدرة الطفيل على إحداث المرض نتيجة لزراعة الأصناف المقاومة ، فيحدث مثلا عند التوسع فى زراعة صنف مقاوم ضد مرض ما أن يتكشف من الطفيل سلالات جديدة ذات مقدرة أكبر على الإصابة ، وفى نفس الوقت قد تندثر بعض سلالات الطفيل القديمة لعجزها عن إحداث إصابات.

5 - صعوبة الجمع بين صفة المقاومة والصفات الزراعية والتجارية المرغوبة ، وتظهر هذه الصعوبة عندما يكون هناك ارتباط بين صفة القابلية للإصابة والصفات المطلوبة الأخرى، وذلك كما فى الذرة حيث ترتبط صفة القابلية للإصابة بمرض التفحم مع زيادة قوة نمو النبات.

6 - تدهور المقاومة تدريجيا نتيجة للخلط بين الأصناف النباتية فى الطبيعة ، ويحدث ذلك فى المحاصيل التى يسود فيها التلقيح الخلطى ، ويجب فى هذه الحالة حماية الصنف الجديد من الخلط الوراثى بإتباع وسائل محكمة فى إنتاج التقاوى النقية.