مزارع البروتوبلازم من أهم الوسائل المستخدمة لنقل الصفات المرغوب فيها من نوع نباتى إلى آخر دونما حاجة إلى إجراء الهجن الجنسية . (Earle & Gracen ١٩٨١) .

الطرق الخاصة بالتربية لمقاومة الأمراض

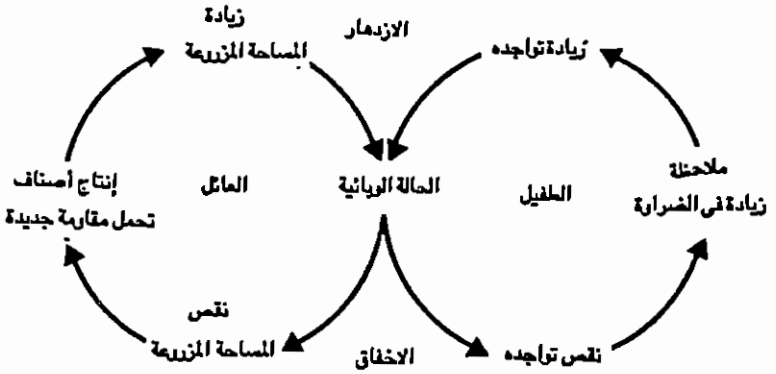
صممت طرق خاصة بالتربية لمقاومة الأمراض لمواجهة مشكلة السلالات الفسيولوجية الجديدة التى تؤدى إلى فقدان المقاومة بسرعة ، فيما يعرف بدورة الازدهار والإخفاق .

دورة الازدهار والاخفاق للأصناف المقاومة

تصف دورة الازدهار والإخفاق The Boom and Bust Cycle – وهى التى اقترحها Priesley عام ١٩٧٨ (عن Parry ١٩٩٠) – حالة ازدهار زراعة الأصناف الجديدة التى تحمل جينات المقاومة الرأسية للأمراض بسبب الإقبال على زراعتها ، ثم ما يعقب ذلك من إخفاق شديد لتلك الأصناف والتوقف عن زراعتها بسبب ظهور السلالات الفسيولوجية الجديدة القادرة على إصابتها .

يوضح شكل (٨ –١) هذه الدورة ، التى تشمل كلا من الصنف الجديد ذى المقاومة الرأسية ، والسلالة الفسيولوجية الجديدة القادرة على إصابته . فما أن يتم إنتاج صنف جديد مقاوم لمرض ما إلا ويتلقفه المزاعون ويتوسعون فى زراعته ، ويكون ذلك سبباً فى سرعة تدهوره ، حيث يكون المسبب المرضى سلالة جديدة تحمل جينا جديدا للضراوة يقابل جين المقاومة ويجعلها قادرة على إصابة الصنف الجديد .

ومع استمرار زراعة هذا الصنف على نطاق واسع .. يزداد تكاثر وازدهار السلالة الجديدة بصورة وبائية إلى أن تقضى على الصنف المستخدم فى الزراعة ، مما يؤدى إلى إخفاقه ، فيقل – بالتالى – الإقبال على زراعته ، ويقل معه انتشار تلك السلالة (لأنها – فى غياب الصنف – تحتوى على جين زائد للضراوة يمثل عبئاً على عمليات الأيض الطبيعية لهذا المسبب المرضى ، مما يجعل السلالة أقل قدرة على البقاء من السلالات الأخرى لنفس المسبب المرضى) . ومن الطبيعى أن يعمل المربى على إدخال أصناف جديدة مقاومة فى الزراعة ؛ لتمر بنفس دورة الازدهار والتدهور من جديد .



شكل (٨-١) : دورة الازدهار ، والاخفاق للأصناف الجديدة المقاومة للأمراض من المحاصيل الزراعية .

ومن المؤسف أن إنتاج الصنف الجديد المقاوم يستغرق من المربى عشر سنوات ، أو أكثر ، ولكن ازدهاره ربما لايدوم أكثر من سنتين . ولا يعنى ذلك أن المسبب المرضى يحتاج إلى سنتين لتربية سلالة جديدة تحمل جين الضراوة القادر على إصابة هذا الصنف .. فهذا الجين يظهر - غالباً - خلال الموسم الأول لزراعة الصنف الجديد ، ولكن يلزم - بعد ذلك - انقضاء فترة كافية لتكاثر هذه السلالة وانتشارها على نطاق واسع فى منطقة زراعة الصنف الجديد . ولعل من أبرز الأمثلة على ذلك صنف القمح الإنجليزى Stetson الذى انتشرت زراعته على نطاق واسع فى عام ١٩٨٢ ؛ لمقاومته لفطر Puccinia striformis المسبب لمرض الصدأ الأصفر ، ولكن ظهرت سلالة جديدة من الفطر قادرة على كسر المقاومة الرأسية للصنف فى نفس الموسم ، ومع سرعة انتشارها .. توقفت التوصية بزراعة هذا الصنف فى عام ١٩٨٤ .

الأصناف المتعددة السلالات

يتكون الصنف المتعدد السلالات Multiline Variety من خليط من السلالات المتماثلة فى جميع الصفات ، ولكنها تختلف فى احتواء كل منها على جين مختلف للمقاومة الرأسية ، وهى أصناف تفيد فى مقاومة الأمراض السريعة الانتشار Compound Interest Diseases بشكل جيد .

ولقد كان Jensen هو أول من اقترح استخدام الأصناف المتعددة السلالات لمقاومة الصدأ فى الشوفان ، وكانت وسيلته لتحقيق ذلك هى خلط سلالات نقية مختلفة فى تركيبها الوراثى ، ولكنها متشابهة مظهريا إلى حد كبير ، وتختلف فى حمل كل منها لجين مختلف من جينات المقاومة الرأسية .

وأعقب ذلك اقتراح Borlaug باتباع طريقة التلقيح الرجعى لإنتاج سلالات ذات أصول وراثية متشابهة Isogenic Lines ، ولكنها تختلف فيما تحمله من جينات المقاومة الرأسية . أى إن سلالات الصنف المتعدد السلالات تتشابه فى جميع الصفات الهامة ، ولكنها تكون مختلفة بالنسبة للمسبب المرضى .

يتكون الصنف المتعدد السلالات عادة من ٨ – ١٢ سلالة . تخلط هذه السلالات بنسب غير متساوية ، ويتوقف ذلك على قوة جينات المقاومة الرأسية التى تحملها ، وعلى النسبة الفعلية والمتوقعة لمختلف سلالات الطفيل بالمنطقة . ويمكن تغيير السلالات المكونة للصنف ونسبتها – من سنة لأخرى – حسب سلالات الطفيل الشائعة فى المنطقة .

وقد لخص Van der Plank العوامل المؤثرة على سرعة انتشار المرض خلال مجموعة من النباتات فى المعادلة التالية (عن Fehr ١٩٨٧) :

$$X_t = X_o e^{rt}$$

حيث إن :

X_t = العدد الكلى للجراثيم المنتجة فى مجموعة من النباتات فى زمن معين t .

X_o = عدد الجراثيم الذى أحدث الإصابة الأولية فى هذه المجموعة من النباتات .

r = معدل الزيادة فى عدد الجراثيم الجديدة يومياً .

e = ثابت = ٢٫٧١٨ .

يؤدى أى نقص فى كل من X_o ، أو r إلى تأخير انتشار المسبب المرضى على النباتات فى الحقل . ويمكن أن يؤدى تأخير انتشار المرض لعدة أيام خلال المرحلة الحرجة لامتلاء البذور (فى محاصيل الحبوب) ، أو الدرنات ، أو الثمار ... إلخ ، إلى تأثيرات إيجابية هامة على النباتات القابلة للإصابة .

ويتحدد عدد الجراثيم التى يكون بمقدورها إحداث الإصابة الأولية فى مجموعة من النباتات (X_0) بعدد النباتات القابلة للإصابة التى يمكن لهذه الجراثيم إصابتها ، لأن الجرثومة لا تسهم فى انتشار المرض إذا وقعت على نبات لا يمكنها إصابته . وكلما ازدادت نسبة النباتات المقاومة فى الحقل نقصت قيمة X_0 .

ويتأثر معدل الزيادة فى عدد الجراثيم الجديدة يومياً (r) بقدرة الجراثيم على إصابة النباتات وإنتاج جراثيم جديدة ، وبعدد الجراثيم الجديدة القادرة على إحداث الإصابات أيضاً . ونجد فى الأصناف المتعددة السلالات أن الجراثيم الجديدة التى تقع على نباتات مقاومة تكون غير فعالة ، وهو ما يمنع إسهامها فى إحداث أية زيادة فى معدل إنتاج الجراثيم .

ولتوضيح طبيعة الدور الذى تلعبه الأصناف المتعددة السلالات فى الحد من انتشار الأمراض نأخذ – كمثال افتراضى – صنفاً يتكون من أربع سلالات ، تحمل كل منها جيناً قوياً من جينات المقاومة الرأسية R_1 ، و R_2 ، و R_3 ، وR_4 . نفترض كذلك وجود علاقة بين هذه الجينات وسلالات المسبب المرضى كتلك الموجودة فى حالة الندوة المتأخرة فى البطاطس . فإذا زرع صنف كهذا الصنف لعدة سنوات فإن الطفيل يتمكن بمرور الوقت من تكوين جميع السلالات المركبة الممكنة ، بالإضافة إلى السلالات البسيطة ، وتكون أوضاعها كمايلى:

١ – السلالة المعقدة (1 , 2 , 3 , 4) :

يمكن لهذه السلالة إصابة جميع السلالات المكونة للصنف ، لكن لأن كل سلالة من سلالات الصنف لا تحمل سوى جين واحد من جينات المقاومة الرأسية ، لذا .. فإن سلالة الطفيل تحمل ثلاثة جينات زائدة غير ضرورية للضراوة الرأسية Virulence ؛ الأمر الذى يحد من قدرتها على البقاء .

٢ – السلالات المركبة (1 , 2 , 3) ، و (1 , 2 , 4) ، و (1 , 3 , 4) ، و (2 , 3 , 4) :

يمكن لكل واحدة من هذه السلالات إصابة ثلاث من السلالات المكونة للصنف ، أى إن كلا منها يمكنها الانتشار فى الحقل دون موانع إلا فى ٢٥٪ فقط من النباتات . إلا أن كل سلالة

منها تحمل جينين زائدين غير ضروريين للضراوة ، الأمر الذى يحد من قدرتها على البقاء .

٣ – السلالات (1 , 2) ، و (1 , 3) ، و (1,4) ، و (2 , 3) ، و (2 , 4) ، و (3 , 4) :

يمكن لكل سلالة من هذه السلالات إصابة اثنتين فقط من السلالات المكونة للصنف ، وبذا .. فإنها تنتشر فى الحقل دون موانع إلا فى ٥٠ ٪ فقط من النباتات . إلا أن كل سلالة منها تحمل جيناً زائداً غير ضرورى للضراوة ، مما يحد قليلاً من قدرتها على البقاء .

٤ – السلالات (1) ، و (2) ، و (3) ، و (4) :

برغم أن هذه السلالات لا تحمل أية جينات زائدة غير ضرورية للضراوة – أى إن قدرتها على البقاء عالية – إلا أن كل سلالة منها لا يمكنها أن تصيب إلا سلالة واحدة من السلالات المكونة للصنف ، وبذا .. فإنها تواجه بموانع فى الحقل فى ٧٥٪ من النباتات .

يتبين مما تقدم أن سلالات الطفيل الخمسة عشرة تقاسى إما من نقص فى القدرة على البقاء بسبب الضراوة الرأسية الزائدة غير الضرورية ، وإما من النباتات المقاومة لها التى تعترض طريقها – والتى تكون بمثابة مصيدة لها – وإما من العاملين المعوقين لها مجتمعين . وتكون المحصلة النهائية لذلك كله إبطاء تقدم المرض بطريقة تشبه المقاومة الأفقية العالية .

وإذا أدخلت جينات المقاومة الرأسية فى السلالات المكونة للصنف فى أزواج .. فإن درجة الإعاقة التى تواجهها سلالات المسبب المرضى تزداد كثيراً . نفترض فى هذه الحالة أن الصنف يتكون من ست سلالات يحمل كل منها جينين كما يلى : (R_1 ، R_2) ، و(R_1 ، R_3)، و (R_1 ، R_4) ، و(R_2 ، R_3) ، و(R_2 ، R_4) ، و (R_3 ، R_4) وأن هذه السلالات توجد فى الصنف بنسب متساوية . يتضح فى هذا المثال أن سلالات المسبب المرضى التى لا يوجد بها ضراوة رأسية زائدة غير ضرورية سوف تتعرض للإعاقة من خمسة أسداس النباتات بدلاً من ثلاثة أرباعها كما فى المثال الأول . وهكذا بالنسبة لبقية السلالات . إلا أن ذلك يكون مصاحباً بزيادة فى القدرة على البقاء (نقص فى النقص فى القدرة على البقاء) مقارنة بالمثال الأول .. فالسلالة المعقدة (1,2,3,4) التى كانت تحمل ثلاثة جينات زائدة غير ضرورية للضراوة فى المثال الأول أصبحت تحمل جينين فقط زائدين فى هذا المثال . ولايستطيع الإنسان معرفة أى الطريقتين أصلح لاستعمال جينات المقاومة الرأسية دون

إجراء بعض الحسابات الكمية .

أما بالنسبة لعدد جينات المقاومة الرأسية التى يوصى باستخدامها فى الصنف المتعدد السلالات ، فإنه يفضل زيادتها ، بشرط أن تكون قوية وغير مرتبطة بجينات ضارة . فإذا تكون الصنف من عشر سلالات تحمل كل منها جيناً واحداً قوياً للمقاومة الرأسية فإن العوائق التى تواجهها سلالات المسبب المرضى تزداد كثيراً .. فأكثر السلالات تعقيداً (التى تحمل عشرة جينات للضراوة) سوف تقاسى من حملها لتسعة جينات زائدة غير ضرورية للضراوة ، بينما لا يمكن لأية واحدة من السلالات البسيطة الممكنة أن تصيب ٩٠٪ من النباتات فى الحقل .

وتتوقف نسبة السلالات المختلفة التى تدخل فى تكوين الصنف على قوة الجينات التى تحملها كل من هذه السلالات . فيجب أن تكون السلالات التى تحمل أكثر الجينات قوة أعلاها نسبة .

وتكون الأصناف المتعددة السلالات إما متجانسة تماماً إذا كانت السلالات المكونة لها ذات أصول وراثية متشابهة Isogenic Lines ، أو غير متجانسة وراثياً – وإن كانت متجانسة مظهريا – إذا تكوّن الصنف من مجموعة من السلالات النقية المختلفة .

وبالرغم من أن المقاومة التى يظهرها الصنف المتعدد السلالات تتشابه فى محصلتها النهائية – وهى إبطاء تقدم الوباء – مع المقاومة الأفقية الجيدة ، إلا أنه توجد فروق هامة بينهما كما يلى :

١ – يتحكم فى المقاومة الأفقية – عادة – عدد كبير من الجينات ، قد يكون من بينها جينات مرتبطة بأخرى غير مرغوبة ، وتلك مشكلة لا توجد بالنسبة للأصناف المتعددة السلالات .

٢ – تسهل التربية بطريقة التهجين الرجعى لنقل جينات المقاومة الرأسية لمجموعة من السلالات عن التربية لإدخال صفة المقاومة الأفقية – التى يتحكم فيها عدد كبير من الجينات– فى صنف جديد .

٣ – تزداد حدة المشكلة السابقة عند محاولة التربية لمقاومة مرضين فى آن واحد ، وهو

الأمر الذى يكون مطلوباً فى أحيان كثيرة .

٤ – تجمع الأصناف المتعددة السلالات بين مميزات المقاومتين الرأسية والأفقية . فتظهر المقاومة الرأسية فى أفضل صورها فى اختبارات تقييم الأصناف فى محطات التجارب ، حيث تبدو الفروق بينها وبين الأصناف غير الحاملة للمقاومة الرأسية واضحة وجوهرية ، مما يشجع المربين على استعمالها . أما المقاومة الأفقية .. فإنها لا تظهر فى أفضل صورها إلا عند زراعة الصنف المقاوم على نطاق واسع ، ولذا .. فغالباً ما يرفضها المزارعون حتى قبل أن يمكن إثبات قيمتها الحقيقية . أما بالنسبة للأصناف المتعددة السلالات .. فإن المقاومة الرأسية تكون واضحة فى البداية ، مما يشجع إدخالها فى السلالات التى تكوّن الصنف ، ثم تصبح كالمقاومة الأفقية ، وتظهر قيمتها الحقيقية بعد انتشار زراعة الصنف على نطاق واسع .

ومن أهم مزايا الأصناف المتعددة السلالات ما يلى :

١ – يمكن اعتبارها أصنافاً مختلفة تعطى مقاومة تشبه المقاومة الأفقية ، بينما تكون أسهل وأسرع إنتاجاً من المقاومة الأفقية .

٢ – تمكن المربى من استعمال أكثر من أليل للمقاومة فى الموقع الجينى الواحد .

٣ – يمكن بواسطتها الاعتماد على جينات المقاومة الرأسية لفترات طويلة ، حيث يمكن سحب السلالات الحاملة لجينات معينة وإعادتها فى أى وقت ؛ تبعاً لمدى انتشار وأهمية سلالات المسبب المرضى التى تقاومها تلك الجينات .

٤ – يمكن زراعة هذه الأصناف لعدة سنوات دون أن تفقد مقاومتها ؛ الأمر الذى يمكّن المزارع من التعرف على المعاملات الزراعية التى تناسبه لكى يعطى أعلى محصول له .

أما عيوب الأصناف المتعددة السلالات فهى كما يلى :

١ – ارتفاع تكلفة إنتاجها .

٢ – تعد طريقة متحفظة للتربية ، لأنها تتطلب من المربى الاعتماد على التراكيب الوراثية الموجودة دون محاولة إيجاد تراكيب وراثية جديدة .

ومن الاعتراضات التى أثيرت ضد استخدام الأصناف المتعددة السلالات فى الزراعة ما يلى :

١ – اعتقاد الكثيرين أن المقاومة الرأسية لابد أن تفقد بعد سنوات قليلة من استخدامها، وبذا .. فإن استخدام عدد كبير من جينات المقاومة الرأسية يعد إسرافاً فى استعمال هذه الجينات ، لأنه يؤدى إلى فقدها . إلا أن هذا الاعتقاد لا يستند إلى الواقع إذ إن الانتخاب المثبت Stabilizing Selection يجعل السلالات الجديدة أقل قدرة على البقاء .

٢ – اعتقاد البعض أن الصنف المتعدد السلالات يجب أن يدخل فى تكوينه عدد كبير من السلالات لكى يكون مفيدا ، وهو أمر لا يشجع المربين على تربية مثل هذه الأصناف . إلا أن عدد السلالات التى تدخل فى تكوين الصنف يتحدد بعوامل كثيرة كما سبق بيانه ، ولا تستخدم فيها سوى الجينات القوية فقط ، وهى قليلة العدد على أية حال .

وقد ذكر Frey (١٩٨٢) أن استعمال الأصناف المتعددة السلالات فى الزراعة قد انتشر بالفعل فى عدد من دول العالم المنتجة للحبوب الصغيرة ، كما قدم الأدلة العلمية الواقعية على أهمية هذه الأصناف فى مكافحة أمراض الصدأ .

ولمزيد من التفاصيل عن الأصناف المتعددة السلالات .. يراجع Browning & Frey (١٩٦٩)، Frey (١٩٨٢) .

مخاليط الأصناف

تنتج مخاليط الأصناف Variety Mixtures أساساً بهدف التغلب على مشكلة السلالات الفسيولوجية لمسببات الأمراض ، ولكنها قد تنتج أحياناً لأغراض أخرى .

ومن أهم مزايا استخدام مخاليط الأصناف فى الزراعة ما يلى :

١ – خفض معدل الإصابة بالمرض – الذى تحمل الأصناف المكونة للمخلوط جينات المقاومة الرأسية الخاصة به – بدرجة عالية . فمثلاً .. قدر الانخفاض فى معدل الإصابة فى حالة مرض البياض الدقيقى فى الشعير بنسبة ٨٠٪ مقارنة بمتوسط الإصابة بالمرض فى الأصناف المكونة للمخلوط عند زراعتها منفردة .

٢ – توجد دائما اختلافات طفيفة بين الأصناف المكونة للمخلوط فى صفات النمو ، مثل : زاوية الورقة ، وارتفاع النبات ، والنمو الجذرى ، وهو ما يؤدى إلى ضعف التنافس بين النباتات ، وزيادة الاستفادة من الموارد البيئية كالأشعة الشمسية والماء . ويترتب على ذلك حدوث زيادة طفيفة فى المحصول حتى فى غياب الإصابة المرضية .

٣ – تكون مخاليط الأصناف أقل تأثراً بالتقلبات الحادة فى العوامل البيئية ، التى يكون لها تأثير كبير فى محصول الأصناف المزروعة بمفردها ، ذلك لأنه يكون من غير المحتمل أن تتأثر كل الأصناف المكونة للمخلوط بنفس القدر بالانحرافات البيئية . وبذا .. يكون محصول مخاليط الأصناف – على مر السنين – أكثر ثباتاً من محصول الأصناف المفردة .

ومن أهم عيوب استخدام مخاليط الأصناف فى الزراعة ما يلى :

١ – يعتبر الحصول على التوافقية (التركيبة) المناسبة من الأصناف المكونة للمخلوط من أكبر مشاكل تلك الأصناف ، فبالنسبة للمطاحن .. لا توجد تركيبة مناسبة .

٢ – احتمال ظهور سلالة فائقة Super Race من المسبب المرضى .. خاصة مع تعرض السلالات المرضية المتوفرة منه لعدد من جينات المقاومة الرأسية ، حيث قد تظهر – حينئذ – سلالات تحمل جميع جينات الضراوة القادرة على التغلب على جميع جينات المقاومة . هذا .. إلا أنه لم يظهر – عملياً – ما يؤيد هذا الظن إلى الآن .

٣ – تزيد أسعار تقاوى مخاليط الأصناف بنسبة ٥ – ٧ ٪ على أسعار تقاوى الأصناف العادية .

ولمزيد من التفاصيل عن اتجاهات التربية لمقاومة الأمراض فى النباتات .. يراجع Roane (١٩٧٣) .

دور الهندسة الوراثية فى التربية لمقاومة الامراض

إن دور الهندسة الوراثية فى تربية النباتات لمقاومة الأمراض لا يقل عن دورها لأجل تحقيق أى هدف آخر من أهداف التربية . وتعد محاولات العلماء لإدخال إنزيم الكايتينيز Chitinase فى النباتات خطوة جريئة لمقاومة جميع الأمراض الفطرية مرة