فى الخس الذى أمكن مقاومته لأكثر من ربع قرن بالاستعانة بجين واحد، وعلى الرغم من ظهور طرز جديدة من الفيرس فى بداية تسعينيات القرن الماضى - كان بعضها قادرًا على الانتقال عن طريق البذور فى الأصناف الحاملة لجين المقاومة؛ بما حدا إلى الاعتقاد بأن المقاومة قد كسرت - فإن تلك الطرز البائولوجية لم تتسبب فى حدوث إصابات وبائية فى الأصناف الحاملة لجينات المقاومة إلاّ حينما لم تختبر بذورها لتواجد الفيرس فيها. وأدى إخضاع تقاوى تلك الأصناف لاختبارات الفيرس إلى استمرار مقاومتها حتى للسلالات الجديدة من فيرس موزايك الخس التى تحتوى على جين الضراوة المقابل لجين المقاومة.

٢ - استخدمت جينات المقاومة القديمة (التى سبق الاستغناء عنها) مع الرش بالمبيدات الفطرية فى مكافحة البياض الزغبى فى الخس لأكثر من ربع قرن من الزمان.

٣ - أمكن حماية الأرز فى الصين من الإصابة بمرض العصفة blast الذى يسببه الفطر *Magnaporthe grisea* بتبادل زراعة خطوط من الصنف القابل للإصابة ذات النوعية الجيدة والصنف المقاوم ذات النوعية الرديئة، ثم حصاد كل منهما منفردًا يدويًّا، وبهذه الطريقة أمكن زيادة محصول الأصناف الجيدة النوعية بنسبة ٨٩٪ حيث أظهرت نقصًا فى شدة الإصابة بالعصفة بلغ ٩٤٪ (عن Pink ٢٠٠٢).

الطرق الخاصة بالتربية لمقاومة الأمراض

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 مظهريًا إلى حد كبير، وتختلف فى حمل كل منها لجين مختلف من جينات المقاومة الرأسية.

وأعقب ذلك اقتراح Borlaug باتباع 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.

وعلى الرغم من أن الأصناف المتعددة السلالات multilane varieties تعتمد على المقاومات الخاصة بسلالات معينة من المسبب المرضى race specific resistance، فإنها تستفيد من المزايا المشتركة لكل من خاصيتى المقاومة الخاصة بسلالات معينة، والمقاومة غير الخاصة بسلالات معينة race non-specific. لذا .. فقد أُطلق عليها أسماء أخرى، مثل الأصناف المتحملة التركيبية synthetic tolerant varieties، والأصناف ذات المقاومة الأفقية التركيبية synthetic horizontal resistance، ومقاومة العشيرة population resistance.

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 لختلف سلالات الطفيل بالمنطقة. ويمكن تغيير السلالات المكونة للصنف ونسبتها - من سنة لأخرى - حسب سلالات الطفيل الشائعة فى المنطقة.

وقد لخص Van der Plank (١٩٦٣) العوامل المؤثرة على سرعة انتشار المرض خلال مجموعة من النباتات فى المعادلة التالية:

$$X_t = X_0 e^{rt}$$

حيث إن:

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

X_0 = عدد الجراثيم الذى أحدث الإصابة الأولية فى هذه المجموعة من النباتات.

r = معدل الزيادة فى عدد الجراثيم الجديدة يوميًا.

e = ثابت = ٢,٧١٨ (بالنسبة لمرض صدأ الأوراق فى القمح).

يؤدى أى نقص فى كل من X_0، 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 تُسهم 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 يوميًّا (r) بقدرة الجراثيم على إصابة النباتات وإنتاج جراثيم جديدة، وبعدد الجراثيم الجديدة القادرة على إحداث الإصابات أيضًا. 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 – صنفًا يتكون من أربع سلالات، تحمل كل منها جينًا قويًّا من جينات المقاومة الرأسية R_1، و R_2، و R_3، و R_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 كما يلى:

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 أن كلا منها يمكنها الانتشار فى الحقل دون موانع إلا فى ٢٥٪ من النباتات. إلاّ 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 جينًا زائدًا 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 – إلاّ 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 الخمس 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 أُدخلت جينات المقاومة الرأسية فى السلالات المكونة للصنف فى أزواج .. فإن درجة الإعاقة التى تواجهها سلالات المسبب المرضى تزداد كثيرًا. 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)، (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 مصاحبًا بنقص فى القدرة على البقاء أقل مما كان عليه الحال فى المثال 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. ولا يستطيع 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 جينًا واحدًا قويًّا للمقاومة الرأسية فإن العوائق التى تواجهها سلالات المسبب المرضى تزداد كثيرًا .. فأكثر السلالات تعقيدًا (التى تحمل عشرة جينات للضراوة) سوف تقاسى من حملها لتسعة جينات زائدة غير ضرورية للضراوة، بينما لا يمكن لأية واحدة من السلالات البسيطة المكنة 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 تمامًا إذا كانت السلالات المكونة لها ذات أصول وراثية متشابهة Isogenic Lines، أو غير متجانسة وراثيًّا – وإن كانت متجانسة مظهريًّا – إذا تكوّن الصنف من مجموعة من السلالات النقية المختلفة.

وعلى الرغم 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 مرغوب فيها، وتلك مشكلة لا توجد بالنسبة للأصناف المتعددة السلالات.

٢ – تكون التربية بطريقة التهجين الرجعى لنقل جينات المقاومة الرأسية لمجموعة من السلالات أسهل من 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 مطلوبًا 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 .. فغالبًا 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 أصنافًا مخلقة تعطى مقاومة تشبه المقاومة الأفقية، بينما تكون أسهل وأسرع إنتاجًا من المقاومة الأفقية.

٢ – تمكن المربى من استعمال أكثر من آليل 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؛ تبعًا لمدى انتشارها وأهميّة 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 إسرافًا فى استعمال هذه الجينات، لأنه يؤدى إلى فقدها، إلا أن هذا الاعتقاد لا يستند إلى الواقع إذا 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 مفيدًا، وهو أمر لا يشجع المربين على تربية مثل هذه الأصناف. إلاّ 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.

ومنذ ثمانينيات القرن الماضى 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.

ولقد اقترح لأجل تعظيم الاستفادة من الأصناف المتعددة السلالات اتباع أحد نظامين. كما يلى:

١ – نظام المحصول الذى يمكن أن تحدث فيه بعض الإصابة:

يعرف نظام الأصناف المتعددة السلالات الذى يمكن أن تحدث فيه بعض الإصابة باسم dirty crop approach، وفيه تكون نسبة معينة من السلالات قابلة للإصابة بالسلالات البسيطة من المسبب المرضى؛ الأمر الذى يترتب عليه إبطاء تكوين السلالات السوبر؛ مما يفيد فى زيادة فترة حياة الصنف – ويرجع ذلك التأخير فى تطور تكوين السلالات المعقدة السوبر إلى ظاهرة الانتخاب المثبت stabilizing selection.

٢ – نظام المحصول الخالى من الإصابة:

يعرف نظام الأصناف المتعددة السلالات الذى لا يحدث فيه أية إصابة باسم clean crop approach، وفيه تحتوى جميع سلالات الصنف على جينات قوية للمقاومة؛ الأمر الذى يتطلب دومًا إحلال بعض المكونات – التى تتعرض للإصابة بسلالات جديدة من المسبب المرضى – بمكونات أخرى تحتوى على جينات قوية أخرى لمقاومة السلالات الجديدة (عن Basandari & Basandari ٢٠٠٠).

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

مخاليط الأصناف

تُنتج مخاليط الأصناف Variety Mixtures أساسًا بهدف التغلب على مشكلة السلالات الفسيولوجية لمسببات الأمراض، ولكنها قد تُنتج أحيانًا لأغراض أخرى.

وبينما تتكون الأصناف المتعددة السلالات من مخلوط من سلالات اختبرت واختيرت بعناية وخلطت بذورها معًا بنسب معينة، مع تماثل هذه السلالات – معًا – فى صفاتها المحصولية واختلافها فى الجينات التى تحملها لمقاومة الطرز الباثولوجية المختلفة للمسبب المرضى المعنى بالمقاومة، فإن مخاليط الأصناف تتكون من مخلوط من أصناف مختلفة لا تخضع للاختبار والاختيار الدقيقين مثلما تخضع لها السلالات التى تدخل فى تكوين الأصناف المتعددة السلالات، إلاّ إنه لا يوجد مبرر لعدم دقة اختبار واختيار مكونات مخاليط الأصناف.

ولقد تبين لدى مراجعة أداء مخاليط الأصناف أن فائدتها كانت كبيرة في مقاومة عديد من الأمراض. فمثلاً .. أدى استعمال مخاليط الأصناف – مقارنة بزراعة الأصناف النقية – إلى نقص الإصابة بالبياض الدقيقي حتى ٨٠٪ في الشعير، وحتى ٦٠٪ في القمح. وفي ٢٩ حالة من مخاليط الأصناف لكل من الشعير والقمح .. بلغ النقص في الإصابات المرضية (بكل من: *Rhynchosporium secalis*، و *Septoria nodorum*) أكثر من ٣٠٪ مقارنة بزراعات الأصناف النقية (عن Pink ٢٠٠٢).

ومن أهم مزايا استخدام مخاليط الأصناف في الزراعة ما يلي:

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

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

٣ – تكون مخاليط الأصناف أقل تأثرًا بالتقلبات الحادة في العوامل البيئية، التي يكون لها تأثير كبير في 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 ثباتًا من محصول الأصناف المفردة.

ومن أهم عيوب استخدام مخاليط الأصناف في الزراعة ما يلي:

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

٢ – احتمال ظهور سلالة فائقة Super Race من المسبب المرضي .. خاصة مع

تعرض السلالات المرضية المتوفرة منه لعدد من جينات المقاومة الرأسية، حيث قد تظهر - حينئذٍ - سلالات تحمل جميع جينات الضراوة القادرة على التغلب على جميع جينات المقاومة. هذا .. إلا أنه لم يظهر - عمليًا - ما يؤيد هذا الظن إلى الآن.

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

على الرغم من أن مخاليط الأصناف قد شاع استخدامها فى محاصيل الحبوب الصغيرة ونجحت فى مقاومة أمراض بعينها، هى: الأصداء والبياض الدقيقى - خاصة تحت ظروف الإصابة الوبائية بتلك الأمراض - إلاّ أنه تتوفر - حاليًا - مخاليط لمحاصيل أخرى لأجل مكافحة مسببات مرضية أخرى يتميز بعضها بقدر ضئيل من التخصص العائلى، أو بالقدرة على الانتشار مع الرذاذ، أو بالمعيشة فى التربة، أو بالانتشار عن طريق النواقل vectors.

هذا .. ويزداد سنويًا الاعتماد على مخاليط الأصناف فى الحد من بعض الإصابات المرضية. وعلى الرغم من أن بداية الاتجاه فى هذا المجال كانت بالاعتماد على الأصناف المتعددة السلالات، إلاّ أن مخاليط الأصناف هى الأكثر شيوعًا الآن باستثناء الحالات التى يتوفر فيها صنف فائق الجودة أو حينما يكون التجانس التام مطلوبًا؛ حيث يُعتمد حينئذٍ على الأصناف المتعددة السلالات التى تكون أصولها الوراثية متشابهة.

ولكى تكون مخاليط الأصناف مقبولة لدى المزارع فإنها يجب أن توفر له فوائد أخرى غير المقاومة للأمراض. ومن أهم تلك الفوائد زيادة المحصول حتى فى غياب المسببات المرضية، مع ثبات المحصول وعدم تأثره بالتقلبات فى عوامل الشدِّ البيئى (عن Mundt ٢٠٠٢).

وسائل تعظيم الاستفادة من جينات المقاومة

الحد من حاجة المسببات المرضية إلى تكوين طفرات أكثر ضراوة

لقد اقترح أن المحافظة على سلالات المسبب المرضى المتواجدة من الطفور إلى سلالات