للفيروسات، وقد أظهرت نباتات التبغ التى حولت وراثيًا بالجين المسئول عن إنتاج هذا البروتين تدهورًا شديدًا فى نموها، إلاّ أن إطفار هذا الجين واستخدام الجين المطفر فى عملية التحول الوراثى أدى إلى إنتاج نباتات تبغ طبيعية النمو ومقاومة للفيرس، كما كانت كذلك - وعلى غير المتوقع - مقاومة للفطر *Rhizoctonia solani*، وارتبط ذلك بإنتاج النباتات المحولة وراثيًا لعدد من البروتينات ذات العلاقة بالدفاع ضد الإصابات الفطرية (عن Williamson ٢٠٠٢).

• أمكن تحويل الطماطم وراثيًا بالجين المسئول عن تكوين البروتين هاربين harpin والمتحصل عليه من البكتيريا *Erwinia amylovora* المسببة لمرض اللفحة النارية فى التفاح والكمثرى. وبعدوى النباتات بسلالة مركبة من الفطر *Phytophthora infestans* وجد أن زيادة تعبير النباتات عن الهاربين - سواء أكان ذلك ذاتيًا أم بسبب حث المسبب المرضى على ذلك - أدى إلى انخفاض معدل نمو البقع المرضية (Li & Fan ١٩٩٩).

الاعتماد على الجينات التى تتحكم فى إنتاج مركبات مضادة للفطريات

قد يُحصل على الجينات التى تتحكم فى إنتاج المركبات المضادة للفطريات من حالات المقاومة الطبيعية كتلك التى أسلفنا بيانها (مثل الجينات التى تتحكم فى إنتاج الفيتوألاكسينات)، وقد تكون من مصادر أخرى نباتية أو غير نباتية.

الجينات التى تتحكم فى إنتاج الفيتوألاكسينات

تعد الفيتوألاكسينات phytoalexins من المركبات المضادة للكائنات الدقيقة، وتلعب - بطبيعتها - دورًا فى مقاومة النباتات للمسببات المرضية الفطرية والبكتيرية، وتعرف المقاومة التى تعتمد عليها بأنها antifungal-compound mediated resistance.

وقد أمكن تحويل الطماطم وراثيًا وجعلها قادرة على إنتاج فيتوألاكسين نبات العنب، بهدف حمايتها من الإصابة ببعض الفطريات الممرضة، فقد نقل إلى الطماطم جينين من جينات الـ stilbene من العنب، حيث حدث التعبير عن كليهما فى النباتات المحولة

وراثيًّا ونسلها لدى عدواها بالفطر *Phytophthora infestans*، أو تجريحها، أو تعريضها للأشعة فوق البنفسجية. وحدث تراكم قوى للرنا الرسول الخاص بالإنزيم stilbene synthase لدى عدوى النباتات بكل من *P. infestans*، و *Botrytis cinerea*، حيث أمكن ملاحظته فى الأوراق بعد ٣٠ دقيقة من عدواها. ووصل هذا التراكم إلى ذروته بعد ٢٤ ساعة من الحقن الفطرى، ثم اختفى فى خلال ٧٢ ساعة. كذلك حدث تراكم قوى للمركب resveratrol، وصل ذروته بعد ٤٤ ساعة، ثم قل تدريجيًّا، وأدى تواجده إلى الحد من الإصابة بالفطر *P infestans* (Thomzik وآخرون ١٩٩٧).

كذلك أمكن الاستفادة من عملية التحول الوراثى السالفة الذكر ذاتها فى مقاومة مرض العصفة فى الأرز (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

جينات المضادات الحيوية

إن أحد الاتجاهات التى يفكر فيها علماء الهندسة الوراثية لإنتاج نباتات مقاومة للأمراض (الفطرية والبكتيرية وتلك التى تسببها الفيكوبلازما)، هى بتحويلها وراثيًّا لتحتوى على الجينات المتحكمة فى إنتاج أحد المضادات الحيوية المؤثرة فى المسببات المرضية المعنية، ومنها – على سبيل المثال – المضاد الحيوى nikkomycin الذى ينتجه الاستربتوميسيت *Streptomyces tendae*، والذى أوضحت الدراسات عدم سميته لفئران التجارب.

ومن أهم الاعتراضات على هذا الاتجاه فى الهندسة الوراثية، ما يلى

١ – الأخطار الصحية التى قد يتعرض لها الإنسان من جراء تناول أطعمة تحتوى على مضادات حيوية.

٢ – قد تطور الكائنات المرضة التى عُدِّلت النباتات لكى تكون مقاومة لها . قد تطور سلالات جديدة مقاومة لفعل تلك المضادات.

ويمكن الحد من تلك التأثيرات السلبية باستعمال جينات منظمة لظهور فعل جينات المضادات الحيوية، بحيث لا يظهر إلاّ فى مرحلة معينة من النمو (كالبادرات – مثلاً –

لمقاومة فطريات الذبول الطرى)، أو فى جزء معين من النبات لتجنب ظهور أمراض معينة لا تصيب إلاّ ذلك الجزء (عن Mount & Berman ١٩٩٤).

الجينات التى تتحكم فى إنتاج مركبات أخرى

من بين عمليات التحول الوراثى التى أجريت بهدف إنتاج مركبات أخرى مضادة للفطريات، ما يلى:

الأحماض الدهنية غير المشبعة

أدى تحويل الطماطم وراثيًا بجين الخميرة المسئول عن تكوين الإنزيم stearoyl-CoA desaturase إلى زيادة محتوى أوراقها من الأحماض الدهنية. ولدى اختبار مقاومتها للفطر *Erysiphe polygoni* المسبب للبياض الدقيقى، وجد أن المستعمرات الفطرية التى ظهرت عليها كانت أصغر مساحة وأقل احتواء على الجراثيم الكونيدية عما كان عليه الحال فى النباتات التى لم تحول وراثيًا. وقد أوضحت الدراسات أن إنبات جراثيم الفطر فى البيئات التى تحتوى على أحماض دهنية مختلفة ثبط معنويًا عند تواجد أحماض دهنية غير مشبعة. كذلك احتوت نباتات الطماطم المحولة وراثيًا على تركيزات أعلى من إنزيمات البيروكسيديز peroxidases عما فى النباتات غير المحولة (Wang وآخرون ١٩٩٨).

فوق أكسيد الأيدروجين

يتضمن النظام الدفاعى للنباتات ضد الإصابات المرضية إنتاج مركبات ذات قدرة عالية على الأكسدة، مثل فوق أكسيد الأيدروجين H_2O_2 ولدراسة ذلك الأمر تم تحويل البطاطس وراثيًا بجين الفطر *Aspergillus niger* الذى يشفر لتمثيل الإنزيم glucose oxidase، الذى يعمل على إنتاج فوق أكسيد الأيدروجين عندما يتأكسد الجلوكوز. أدت عملية التحول الوراثى تلك إلى زيادة مستويات فوق أكسيد الأيدروجين فى كل من الأوراق والدرنات، وأظهرت النباتات المحولة وراثيًا مقاومة قوية ضد بكتيريا العفن البكتيرى الطرى الذى تسببه البكتيريا *Erwinia carotovora* subsp *carotovora*،

واستمرت حالة المقاومة فى كل من الظروف الهوائية واللاهوائية. ويبدو أن تلك المقاومة كان مردها إلى المستويات العالية التى تكونت من فوق أكسيد الأيدروجين، نظرًا لأنها – أى المقاومة – اختفت لدى معاملة الأنسجة المحولة وراثيًا والمحقونة بالبكتيريا بإنزيم محلل لفوق أكسيد الأيدروجين H_2O_2 degrading catalase كذلك أظهرت النباتات المحولة وراثيًا مقاومة جيدة ضد الفطر *Phytophthora infestans* المسبب للندوة المتأخرة، حيث تأخر ظهور البقع المميزة للإصابة بهذا الفطر (Wu وآخرون ١٩٩٥)

كذلك أظهرت نباتات البطاطس التى حولت وراثيًا بهذا الجين مقاومة عالية لعدد آخر من الأمراض الفطرية والبكتيرية، وخاصة لمرض ذبول فيرتسيلليم. كما أظهرت نباتات الأرز التى حولت وراثيًا بجين فوق أكسيد الأيدروجين مقاومة للفطريات (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

الجينات المستعملة فى عمليات التحول الوراثى لمقاومة البكتيريا

لم تلق جهود الهندسة الوراثية لأجل مقاومة الأمراض البكتيرية نجاحًا كبيرًا، ومن الأمثلة القليلة الواعدة فى هذا الشأن، ما يلى:

جينات المقاومة الطبيعية

قد تكون الجينات المتحصل عليها من النباتات الراقية – لأجل عمليات التحول الوراثى لمقاومة الأمراض البكتيرية – من جينات المقاومة الطبيعية للمرض ذاته أو لأمراض أخرى فى النباتات التى حُصِّل منها على تلك الجينات، ومن الأمثلة على ذلك، ما يلى

- من بين جينات المقاومة الطبيعية التى تكثر الدراسات عليها حاليًا فى مجال هندسة المقاومة للأمراض البكتيرية الجين Rps2 من *Arabidopsis*، وجينا الطماطم Cf9، و Pto (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

- أمكن عزل طفرة من النبات الموديل *Arabidopsis thaliana* تؤدى إلى وقف ظهور أعراض الإصابة بالذبول بعد حقن النبات بسلالة عالية الضراوة من البكتيريا