الحجيرات التى تكون محجوزة فيها؛ فيما يعرف باسم compartmentalization) حيث تعمل على تثبيط ريبوسومات العائل.

وقد أوضحت الدراسات - كذلك - أن عدوى النباتات بثلاثة فيروسات مختلفة - فى آن واحد - هى فيرس إكس البطاطس. وفيرس واى البطاطس، وفيرس موزايك الخيار - أن الـ PAP تسبب فى مقاومة النباتات للعدوى الميكانيكية بكل من فيرس إكس البطاطس وفيرس واى البطاطس، وأن مستوى المقاومة ارتبط إيجابيًا بمستوى الـ PAP فى السلالات المحولة وراثيًا، وأن السلالات التى احتوت على مستوى عالٍ من الـ PAP كانت مقاومة - كذلك - لفيرس موزايك الخيار (عن Kavanagh & Spillane ١٩٩٥).

ومن الأمثلة الأخرى لحالات التحول الوراثى لمقاومة الفيروسات، والتى استخدمت فيها جينات نباتية مضادة للفيروسات، ما يلى:

١ - الجين ribonuclease الذى حُصل عليه من الخميرة واستعمل فى تحويل البطاطس وراثيًا، حيث جعلها مقاومة لفيرويد الدرنة المغزلية spindle tuber viroid.

٢ - الجين β-1,3-glucanase الذى استعمل فى التحويل الوراثى لعديد من النباتات. حيث جعلها مقاومة لعديد من الفيروسات (عن Bent & Yu ١٩٩٩).

التحول الوراثى بجينات من الثدييات

جينات تكوين الأجسام المضادة

إن جهاز المناعة الذى تتميز به الثدييات يوفر لها مراقبة فعالة ضد المسببات المرضية التى قد تهاجمها، بإكسابها القدرة على إنتاج أعداد كبيرة من الأجسام المضادة antibodies الخاصة بأنتيجينات معينة. ولقد توجه تفكير الباحثين إلى أن تحويل النباتات وراثيًا بالجينات المسئولة عن تكوين تلك الأجسام المضادة ربما يفيد فى حمايتها من مختلف الإصابات المرضية.

ولقد كانت المحاولات الأولى للتعبير عن الـ monoclonal antibodies (اختصارًا: mAbs) فى النباتات واستمرار بقاء مستوى عالٍ من النشاط الرابط binding activity

[للأنتيجينات] فى النباتات المحولة وراثيًا .. كانت مخيبة للآمال، وكان مرد ذلك إلى استعمال cDNAs – للـ mAbs – التى أشفرت لكل جزئ الجسم المضاد الطبيعى، وهو الذى تبين عدم ثباته فى الخلايا النباتية. ولقد حُلَّت تلك المشكلة بدرجة كبيرة بتطوير أجسام مضادة صغيرة mini antibodies تحتوى – فقط – على الأجزاء الفعالة الرئيسية الضرورية للتعرف على الأنتيجين والارتباط معه، والتى أظهرت قدرًا أكبر من الثبات فى الخلايا النباتية.

ولقد اتبعت تلك الطريقة فى تطوير نباتات تبغ محولة وراثيًا على درجة عالية من المقاومة للعدوى لفيرس تبرقش وتغضن الخرشوف artichoke crinkle mottle virus، حيث احتوت على mAb ذات سلسلة واحدة single chain mAb موجهة نحو الغلاف البروتينى للفيرس. كانت هى السبب فى المقاومة التى ظهرت على صورة تأخر فى ظهور أعراض الإصابة بمقدار ٥–١٤ يومًا بعد عدوى النباتات بتركيز من الفيرس وصل إلى ١٠٠٠ ضعف الحد الأدنى للتركيز الذى يلزم لإحداث الإصابة فى النباتات العادية، وتبين أن تلك المقاومة كانت بسبب حدوث ربط binding للفيرس مع الـ mAbs (عن Kavanagh & Spillane ١٩٩٥).

إنزيم الثديبيات oligoadenylate synthase

تفرز الخلايا الحيوانية مركبات تعرف باسم إنترفيرونات interferons أثناء تكاثرها وازديادها عدديًا، وذلك استجابة لمؤثرات خارجية، وخاصة الإصابات الفيروسية. ليس لهذه الأنترفيرونات – بذاتها – أى نشاط مضاد للفيروسات، ولكنها تستحث تمثيل بروتينات إضافية هى التى تقوم – مباشرة – بتثبيط تكاثر الفيرس، ومنها: 2′-5′ oligoadenylate synthetase. ينشط هذا الإنزيم فى وجود رنا مزدوج يتكون أثناء تكاثر فيروسات الرنا. وما أن ينشط الإنزيم حتى يقوم بعمل بلمرة للـ ATP إلى صورة oligomeric تقوم – بدورها – بتنشيط ribonuclease معين؛ ليقوم بتحليل الرنا الفيروسى والخلوى.

وتوجد أدلة على أن بعض مكونات ذلك المسار المضاد للفيروسات توجد فى

النباتات؛ مما يفيد بأن التعبير عن الـ cDNA الخاص بالـ oligoadenylate synthetase الذى يوجد بالثدييات ربما يكسب النباتات التى تحول وراثيًّا به مقاومة غير متخصصة ضد الفيروسات (عن Kavanagh & Spillance ١٩٩٥).

ولقد أمكن تحويل البطاطس وراثيًّا بجين الثدييات الخاص بإنتاج الإنزيم 2′-5′ oligoadenylate synthetase، الذى يعد أحد مكونات نظام الإنترفيرون الذى يعمل فى الثدييات كمضاد للفيروسات. عُزل هذا الجين من الفئران، ونقل إلى البطاطس بالاستعانة ببكتيريا الأجروباكتيرم. وقد كانت نباتات البطاطس التى عُبِّرَ فيها عن الجين - والتى حقنت بفيرس إكس البطاطس - أقل احتواء على هذا الفيرس فى كل من الأوراق والدرنات عما كان عليه الحال فى النباتات غير المحولة وراثيًّا (Truve وآخرون ١٩٩٣).

كما أوضحت الدراسات أن الإنترفيرون interferon الآدمى ينشط - كذلك - ضد الفيروسات النباتية؛ فقد وفر - فى إحدى الدراسات - حماية للنباتات من الإصابة بفيرس موزايك التبغ، إلاّ أن دراسات أخرى كثيرة أوضحت عدم جدواه فى توفير تلك الحماية. وقد ترجع تلك الاختلافات إلى التركيز العالى نسبيًّا للإنترفيرون الذى استخدم فى المعاملة؛ إذ إن التركيزات المنخفضة فقط هى التى تكون نشطة فى النباتات (عن Walsh ٢٠٠٠).

استعراض للإنجازات فى مجال التحول الوراثى لمقاومة الفيروسات

نقدم فى الجداول الأربعة التالية استعراضًا لما تم إنجازه فى مجال التحول الوراثى لمقاومة الفيروسات. يظهر فى جدول (١٠-٨) عرضًا لعدد الحالات التى استخدمت فيها مختلف جينات المقاومة للفيروسات، وبداية تطبيق كل حالة منها، وذلك حتى عام ١٩٩٥. وفى جدول (١٠-٩) نقدم قائمة بمختلف الجينات التى حُصل عليها من فيروسات معينة، والتى استعملت فى عمليات التحول الوراثى لمقاومة تلك الفيروسات فى عدد من الأنواع النباتية. ويقدم جدول (١٠-١٠) قائمة بعض الأنواع المحصولية التى أنتجت فيها نباتات مقاومة للفيروسات حتى بداية عام ١٩٩٥. أما جدول (١٠-١١)