٣ – جينات من الثدييات

من بين بروتينات الثدييات التى أظهرت نشاطًا كبيرًا فى مقاومة الحشرات كلاً من: الـ bovine pancreatic trypsin inhibitor، و α-antitripsin، و spleen inhibitor، ولقد أمكن نقل الجينات التى تتحكم فى إنتاج تلك البروتينات إلى عدد من النباتات، إلاّ أن النتائج الأولية (مع فراشة درنات البطاطس على البطاطس) لم تكن مشجعة.

٤ – جينات من الحشرات

أدت جينات مثبطات البروتينيز المتحصل عليها من *Manduca sexta* مثل الـ anti-chemotrypsin، والـ anti-elastrase، التى عبر عنها فى القطن، وكذلك أدى إنزيم الـ chitinase الذى عبر عنه فى التبغ إلى خفض تكاثر كلا من الذبابة البيضاء *Bemisia tabaci*، و *Heliothis virescens*، على التوالى (عن Chawla ٢٠٠٠).

البروتينات البلورية للبكتيريا باسيلس ثورنجينسس

لقد عرف منذ نحو ٦٠ عامًا أن البروتينات البلّورية crystal proteins التى تنتجها البكتيريا *Bacillus thuringiensis* لها تأثيرات سامة على الحشرات، واستخدمت التحضيرات التجارية لتلك البكتيريا – بالفعل - فى مكافحة أكثر من ٥٠ نوعًا من حرشفيات الأجنحة هذا . إلاّ أن الاهتمام الحقيقى بها لم يبدأ إلاّ فى عام ١٩٨٥ بعد عزل الجين الخاص بأحد تلك البروتينات، ثم نقله إلى الطماطم بواسطة Fischhoff وآخرون فى عام ١٩٨٧؛ بهدف مقاومة يرقات حرشفيات الأجنحة فى ذلك المحصول (عن King ١٩٩٠)

وقد أعقب ذلك اكتشاف هذا البروتين ذاته فى عديد من سلالات هذه البكتيريا وتدريجيًا بدا واضحًا أن السلالة البكتيرية الواحدة يمكنها إنتاج عددا من تلك البروتينات كذلك أمكن التوصل إلى عدد من سلالات البكتيريا *B. thuringiensis* التى تفيد – مجتمعة – فى مكافحة مدى واسعًا من حرشفيات الأجنحة. كما أمكن التوصل إلى عدد قليل من السلالات ذات النشاط المضاد لغمديات الأجنحة (عن Hilder ١٩٩٠)

وباختصار .. فإن البكتيريا *B. thuringiensis* تقوم بتمثيل بروتين متبلور قاتل للحشرات. يذوب هذا البروتين فى الظروف القلوية للمعى الوسطى midgut ليرقات حرشفية الأجنحة بعد حصولها عليه ضمن غذائها، ثم يهضم هذا البروتين بواسطة إنزيمات الـ proteases بالمعى الأوسط؛ لينتج منه بولى بيبتيد polypeptide تكون مقاومة لمزيد من الهضم بفعل الـ peptidase، وتكون فى الوقت ذاته سامة للحشرة (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

أنواع السموم وطبيعة سميتها للحشرات

تعد *Bacillus thuringiensis* من بكتيريا التربة القادرة على تكوين الجراثيم، وهى تنتج نوعين – على الأقل – من البروتينات السامة للحشرات والنيماتودا، كما يلى:

١ – سموم خارجية exotoxins:

تنتج هذه السموم بواسطة الجين vip3a فى مراحل النمو غير الجنسى، وهى تنطلق للتربة. وتعد الـ β-exotoxins سامة للنيماتودا.

٢ – سموم داخلية δ-endotoxins:

تنتج هذه السموم بواسطة مجموعة جينات الـ cry، خلال مرحلة التجرثم البكتيرى، حيث تكوِّن البكتيريا بلّورات بروتينية تبقى داخل الجرثومة. وعندما تحصل الحشرة على هذا السم ضمن غذائها فإنه يرتبط بمواقع خاصة فى الخلايا المبطنة للمعى. وقد أمكن التعرف على جينين من الـ cry2 يتخصص السم الذى يفرزه أحدهما على حرشفية الأجنحة Lepidoptera والآخر على ثنائية الأجنحة (الذباب) Diptera. ونتيجة لعملية ارتباط السم تحدث تغيرات تركيبية فى السم، يتبعه تكون ثقب فى الخلية المبطنة التى حدث معها الارتباط، تؤدى إلى حدوث تحلل أسموزى قاتل.

ولقد وجد أن السموم الداخلية كانت سامة – كذلك – لبعض الأنواع النيماتودية؛ فوجد – مثلاً – أن السم CryB كان سامًّا للنيماتودا *Caenorhabditis elegans* (عن Atkinson وآخرين ٢٠٠٣).

وكما أسلفنا .. فإن سُم الـ Bt لا يكون فعّالاً إلاّ إذا التصق مع الجدر المعوية للحشرة، فإن لم يحدث هذا الالتصاق فإن السم لا يكون مؤثرًا. وليست لجميع سلالات *B. thuringiensis* تلك العلاقة مع جميع الأنواع الحشرية، فبعضها يتخصص - فقط - على حشرات رتبة حرشفية الأجنحة lepidoptera، بينما توجد سلالات متخصصة على حشرات غمدية الأجنحة coleoptera، أو ثنائية الأجنحة diptera، أو حتى على النيماتودا.

على الرغم من أن قتل وتجفيف البكتيريا *B. thuringiensis* ذاتها، ورش المسحوق الناتج عن ذلك على النباتات يؤدى إلى قتل الحشرات الحساسة للسلالة المستعملة من البكتيريا، إلا أن سُم الـ Bt الذى ينطلق من البكتيريا سريعًا ما يتحلل ويختفى من النباتات ويصبح عديم المفعول فى المكافحة.

ولكن وجد عند نقل الجين المسئول عن إنتاج سُم الـ Bt من *B. thuringiensis* إلى البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* أن السم يبقى داخل البكتيريا بعد قتلها وتجفيفها، وبذلك يبقى ثابتًا بعد رش البكتيريا على النباتات

ونظرًا لأن البكتيريا تُستعمل فى المكافحة بعد قتلها، لذا . فإنه لا يوجد أى ضرر من استعمالها، ولكن الضرر يمكن أن يحدث إذا ما رشت البكتيريا الحية لأن تلك البكتيريا تتواجد بصورة طبيعية على الأسطح الورقية، فإذا ما انتقل الجين الـ Bt من السلالة المرشوشة المحولة وراثيًا إلى السلالات الطبيعية لكان هناك احتمال الخطر من استمرار تناول الإنسان لها على الدوام فى طعامه.

وتجدر الإشارة إلى أن تلك الطريقة فى المقاومة لا تكون فعالة ضد الحشرات التى تعيش على الأجزاء تحت الأرضية من النبات كالجذور والدرنات، والتى لا يصلها محلول الرش (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

وحاليًا يعد السُم الحشرى الـ βt δ-endotoxin - من البكتيريا *B. thuringiensis* - أهم وسائل الهندسة الوراثية لمكافحة الحشرات، وقد وصلت مبيعات بذور الذرة

والقطن وتقاوى البطاطس المهندسة وراثيًا بجين الـ Bt أرقامًا قياسية، كما حولت وراثيًا بالجين ذاته محاصيل: البرسيم الحجازى، والتفاح، والباذنجان، والحور، والأرز، والتبغ، والطماطم، والجوز.

ومن أهم مميزات الـ βt δ-endotoxin عدم استمرار تواجده فى البيئة لفترة طويلة، وفاعليته ضد مجموعة محددة من الآفات الحشرية، وعدم سميته لمعظم النباتات والحيوانات، وكذلك عدم سميته للإنسان. تُحدث هذه السموم ثقوبًا وتحللاً بالخلايا فى الأمعاء الوسطى لليرقات، عند تركيزات تقدر بالجزء فى البليون.

وحديثًا .. أصبحت المقاومة للحشرات بهذه الطريقة محل تساؤلات بعد أن اكتشفت حالات المقاومة للـ βt δ-endotoxin فى بعض الحشرات (عن Bent & Yu ١٩٩٩).

تقسيم السلالات البكتيرية والسموم التى تنتجها

يعتمد تقسيم سلالات *Bacillus thuringiensis* العديدة التى تم اكتشافها على أساس سيرولوجى يقوم على تفاعلات الترسيب بين الخلايا البكتيرية الهدبية مع antisera تم إنتاجها ضد الأهداب أو الخلايا البكتيرية الخضرية. ويعرف حاليًا أكثر من ثلاثين طرازًا سيرولوجيًا، والعدد فى ازدياد. وعلى الرغم من عدم وضوح الأهمية البيولوجية للتفاعل السيرولوجى فإنه مازال هو الأساس الذى يبنى عليه تقسيم هذه البكتيريا، علمًا بأنه لا علاقة له بنشاط البكتيريا كمنتج للسم الحشرى.

وجد الباحثون سلالات جديدة من *B. thuringiensis* أقوى تأثيرًا فى سميتها، وأخرى مؤثرة على يرقات حشرات أخرى غير حرشفيات الأجنحة. كذلك يحاول الباحثون هندسة جينات منتجة للبروتين البلّورى تكون أقوى سمية أو أوسع تأثيرًا.

وكما أسلفنا .. فإم السلالة البكتيرية الواحدة يمكنها إنتاج عددًا من البروتينات البلّورية، علمًا بأن تلك البروتينات تتباين كثيرًا فى خصائصها وفى تأثيراتها (جدولا ١٥-٦، و ١٥-٧) (عن Peferon ١٩٩٧).

وقد أمكن تعريف ما لا يقل عن ٦٠ جين من تلك الخاصة بالبروتينات البلّورية Bt crystal protein genes، وذلك على مستوى النيكليوتيدات.

وتقسم هذه الجينات إلى خمس مجموعات رئيسية حسب تأثيراتها العامة التى تتخصص فيها، كما يلى:

١ – مجموعة CryI . وهى سامة لحرشيفات الأجنحة.

٢ – مجموعة CryII وهى سامة لكل من حرشيفات الأجنحة، وثنائية الأجنحة (الذباب)

٣ – مجموعة CryIII .. وهى سامة لغمدية الأجنحة

٤ – مجموعة Cry IV .. وهى سامة لثنائية الأجنحة.

٥ – مجموعة خاصة تأخذ الاسم cry VI .. وهى نشطة ضد النيماتودا (عن Chen وآخرين ١٩٩٥).

وحاليًا . تقسم تلك البروتينات على أساس تتابعاتها من الأحماض الأمينية فقط، وليس على أساس المجموعات الحشرية التى تتأثر بها، كما كان الحال فى بداية العهد بتقسيمها (عن Peferoen ١٩٩٧).

التقدمات فى عمليات التحول الوراثى وجينات الـ Cry الأكثر شيوعاً

الجينات والبروتينات والسلالات البكتيرية الشائعة الاستعمال

إن بروتينات الـ Bt التى يُعَبَّر عنها حاليًا فى المحاصيل الزراعية المحولة وراثيًا هى من الطرازين CryI، و CryIII من الـ d-endotoxins، وهى التى تعرف بفاعليتها فى مقاومة عديد من الآفات الحشرية من كل من رتبتى حرشفية الأجنحة وغمدية الأجنحة. وقد أفاد استمرار غربلة وتقييم سلالات الـ BT فى اكتشاف d-endotoxins ذات صفات مفيدة ونشطة ضد حشرات أخرى إضافية. وعلى سبيل المثال .. وجدت d-endotoxins تنتمى إلى طراز Cry II ذات نشاط ضد بعض الآفات الرئيسية من حرشفية الأجنحة.

جدول (١٥-٦): تقسيم جينات البروتينات البلّورية للبكتريا *Bacillus thuringiensis* (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣)

عائلة الـ	سلالة *B. thuringiensis*		
cry gene	حجم البروتين	أو تحت النوع	الآفات الحساسة لها
cry1 Aa(1-14)	133	kurstaki	حرشفية الأجنحة
cry1 Ab(1-16)	130	berliner	حرشفية الأجنحة
cry1 Ac(1-15)	133	kurstaki	حرشفية الأجنحة
cry1 Ad-g	133	aizawai	حرشفية الأجنحة
cry1 Ba(1-4)	140	kurstaki	حرشفية الأجنحة
cry1 Bb-g	1340	EG5847	حرشفية الأجنحة
cry1 Ca(1-8)	134	entomocidus	حرشفية الأجنحة
cry1 Cb(1-2)	133	galleriae	حرشفية الأجنحة
cry1 Da(1-2)	132	aizawai	حرشفية الأجنحة
cry1 Db(1-2)	131	BTS00349A	حرشفية الأجنحة
cry1 Ea(1-6)	133	kenyae	حرشفية الأجنحة
cry1 Eb1	134	aizawai	حرشفية الأجنحة
cry1 Fa(1-2)	134	aizawai	حرشفية الأجنحة
cry1 Fb(1-5)	132	Morrisoni	
cry1 Ga(1-2)	132	BTS00349A	
cry1 Gb(1-2)	133	wuhanensis	حرشفية الأجنحة
cry1 Ha-b	133	BTS02069AA	
cry1Ia(1-9)	81	kurstaki	حرشفية الأجنحة
cry1Ib-e	81	entomocidus	حرشفية الأجنحة وغمدية الأجنحة
cry1Ja-d	133	EG5847	حرشفية الأجنحة
cry1Ka1	137	morrisoni	حرشفية الأجنحة
cry2Aa(1-10)	71	kurstaki	حرشفية الأجنحة وثنائية الأجنحة
Cry2Ab(1-5)	71	kurstaki	حرشفية الأجنحة
cry2Ac(1-2)	70	shanghai	حرشفية الأجنحة
cry3Aa(1-7)	73	tenebrionis	غمدية الأجنحة
cry3Ba(1-2)	75	tolworthi	غمدية الأجنحة
Cry3Bb(1-3)	74	EG4961	غمدية الأجنحة
cry3Ca1	73	kurstaki	غمدية الأجنحة

تابع جدول (١٥-٦).

عائلة الـ	سلالة *B. thuringiensis*		
cry gene	حجم البروتين	أو تحت النوع	الآفات الحساسة لها
cry4Aa(1-3)	135	israelensis	ثنائية الأجنحة
cry4Ba(1-5)	128	ismelensis	ثنائية الأجنحة
cry5Aa1	152	darmstadiensis	النيماتودا
cry5Ab1	142	darmstadiensis	النيماتودا
Cry5Ac1	135	PS86Q3	غشائية الأجنحة
cry5Ba1	140	PS86Q3	غشائية الأجنحة
cry6Aa(1-2)		PS52A1	النيماتودا
cry6Ba1		PS69D1	النيماتودا
cry7Aa1	129	galleriae	غمدية الأجنحة
cry7Ab(1-2)	130	dakota	غمدية الأجنحة
cry8A-D	131	kumamoroensis	غمدية الأجنحة
cry9Aa(1-2)	130	galleriae	حرشفية الأجنحة
cry9Ba1		galleriae	حرشفية الأجنحة
cry9Ca1	130	tolworthi	حرشفية الأجنحة
cry9Da(1-2)	132	japonensis	
cry10Aa1	78	israelensis	ثنائية الأجنحة
cry11Aa(1-2)	72	israelensis	ثنائية الأجنحة
cry11Ba-b	81	jegathesan	ثنائية الأجنحة
cry12-40	--	--	متنوعة

وقد نشأت تلك البروتينات الـ CryII من سلالة معروفة جيدًا من Bt هى السلالة HD-1 التى تنتج - كذلك - الطراز CryI الذى سبق التعرف عليه، علمًا بأن كلا الطرازين البروتينين - CryI، و CryII - يختلفان تركيبيًا بوضوح، ويختلفان فى طريقة ارتباطهما بالأغشية المبطنة للغشاء المعدى لليرقة. ويعتقد بأن تلك الاختلافات قد تفيد فى المساعدة على مقاومة الحشرات التى طورت مقاومة للطراز البروتينى CryI (عن Corbin وآخرين ١٩٩٨).

جدول (١٥-٧): مدى البروتينات البلّورية السامة للحشرات فى مختلف سلالات البكتيريا *Bacillus thuringiensis* (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣)

البروتينات البلورية التى تنتجها	سلالات وتحت أنواع *B. thuringiensis*
Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ad, Cry1Ca, Cry1Da, Cry1Eb, Cry1Fa, Cry9Ea, Cry39Aa, Cry40Aa	*aizawai*
Cry1Aa, Cry1Ba, Cry1Ca, Cry1Ib	*entomocidus*
Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Da, Cry1Cb, Cry7Aa, Cry8Da, Cry9Aa, Cry9Ba	*galleriae*
Cry10Aa, Cry11Aa	*israelensis*
Cry8Ca, Cry9Da	*japonensis*
Cry11Ba, Cry19Aa, Cry24An, Cry25Aa	*Jegathesan*
Cry2Aa, Cry1Ea, Cry1Ac	*kenyae*
Cry7Ab, Cry8Aa, Cry8Ba	*kumamotoensis*
Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Ia, Cry2Aa, Cry2Ab	*kurstaki* HD-1
Cry1Ac	*kurstaki* HD-73
Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac	*kurstaki* NRD-12
Cry1Bc, Cry1Fb, Cry1Hb, Cry1Ka, Cry3An	*morrisoni*
Cry3Aa	*tenebrionis*
Cry3Ba, Cry9Ca	*tolworthi*
Cry1Bd, Cry1Ga, Cry1Gb	*wuhanensis*

وسائل تحسين التعبير الجينى

لقد لوحظ انخفاض مستوى تعبير الجين Bt فى بعض النباتات المحولة وراثيًا. ولكن أمكن زيادة هذا التعبير من خلال اختيار الـ promoters المناسبة (جدول ١٥-٨)، أو بتحوير منطقة التشفير coding region بالجين Bt. ولقد تحقق تنشيط فعل الجين باستعمال نسختين من الـ constitutive 35S promoter من فيرس موزايك القنبيط.

كذلك استعملت جينات Bt مخلقة أعيد تشكيلها بزيادة محتواها من الـ GC .. استعملت فى بعض من تلك المحاصيل (جدول ١٥-٩)، وأظهرت تلك الطرز المخلقة - فى كثير من الأحيان - زيادة مقدارها ٥٠٠ ضعف فى التعبير الجينى.

ومن الوسائل الأخرى التى اتبعت لزيادة التعبير الجينى إجراء تحويرات فى الجين والحصول على انعزالات من الطرز المحورة، بهدف قصر التعبير الجينى على الأنسجة التى تضار من النشاط الحشرى فقط (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

الإنجازات على المستوى التجارى

من بين الشركات الأمريكية التى أجرت اختبارات حقلية لنباتات محولة وراثيًا بالجين Bt، أو اعتُمدت اختباراتها الحقلية بواسطة وزارة الزراعة الأمريكية، ما يلى (Chrispeels & Sodava ٢٠٠٣)

الشركة	المحصول
Monsanto	البطاطس – القطن – الطماطم – الذرة
Calgene	القطن – التبغ – البطاطس
CIBA-GEIGY	التبغ – الذرة
Agrigentics	لفت الزيت (الكانولا)
Campbell Institute R & T	الطماطم
Rohm & Haas	التبغ
Roger NK Seed	الطماطم
Frito-Lay	البطاطس
Delkab	الذرة
Northrup King	الذرة
Dow Gardens	العُبيراء Serviceberry

ومن بين الأصناف الجديدة التجارية التى أدخلت فى الزراعة وتحمل الجين Bt الأصناف: Bollgard، و Maximizer، و Yield Gard من القطن، و New Leaf من البطاطس (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

ويعطى جدول (١٥–١٠) قائمة بأصناف بعض المحاصيل الزراعية الهامة التى أنتجتها بعض شركات التكنولوجيا الحيوية لمقاومة أنواع حشرية متنوعة.

جدول (١٥-٨): الـ promoters التى استخدمت مع جينات الـ Cry فى عمليات التحول الوراثى لمقاومة الحشرات (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

الـ Promoter	المصدر	موقع التعبير	البروتين البلورى	النباتات التى حولت وراثيًا
Mannopine synthase TR	*Agrobacterium* Ti plasmid	معظم الأنسجة النباتية	Cry1Ab	التبغ والبطاطس
Phytohaemagglutinin (PHA-L)	الفاصوليا	البذور	a-AI-Pv	البسلة وفاصوليا أدزوكى والتبغ
CaMV 35S	Cauliflower mosaic virus	معظم الأنسجة النباتية	Most proteins	معظم النباتات
Sucrose synthase (RSs1)	الأرز	اللحاء	GNA	التبغ
Metallothionein-like (MT-L)	الذرة	الجذور	Cry1Ab	الذرة
Phosphoenolpyruvate Carboxylase (PEPC)	الذرة	الأنسجة الخضراء	Cry1Ab	الذرة والأرز
Pollen-specific	الذرة	حبوب اللقاح	Cry1Ab	الذرة
Tryptophan synthase α-subunit (trpA)	الذرة	النخاع	Cry1Ab	الذرة
Ubiquitin-1 (Ubi-1)	الذرة	كل الأعضاء النباتية	Cry1Ac	الأرز
Proteinase inhibitor II (Pot PI-II)	البطاطس	يستحث بفعل الجروح	Pot PI-II, ipt	الأرز والتبغ والطماطم
rRNA operon (Prrn)		البلاستيدات الخضراء	Cry1Ac	التبغ
Actin-1 (Act-1)	الأرز	كل الأعضاء النباتية	CpTI	الأرز
Pathogenesis-related protein-1a (PR-1a)	التبغ	يستحث كيميائيًا	Cry1Ab	التبغ

جدول (١٥-٩): تحولات وراثية لمقاومة الحشرات اعتمدت على جينات Bt مخلقة (عن Mandaokar وآخرين ١٩٩٩).

النبات	الجين	بروتين الـ Bt (كنسبة مئوية من البروتين الذائب)	الحشرة المستهدفة
القطن	cry1Ab/ cry1Ac	٠,١	*Heliothis zea*
			Pectinophora gossypiella
البطاطس	cry3A	٠,٣	*Leptinotarsa decemlineata*
الدرة	cry1Ab	٠,١٧	*Ostrinia nubilalis*
الأرز (*japonica*)	cry1Ab	٠,١٥	*Chilo suppressalis*
الأرز (*indica*)	cry1Ac	٠,٠٢٥	*Scirpophaga incertulas*
الطماطم	cry1Ab	٠,٣	*Heliothis zea*
التبغ	cry1Ab	٠,٠٣	*Heliothis virescens*
الباذنجان	cry1Ab	٠,٠٣	*Leucinodes orbonalis*
لفت الزيت	cry1Ac	٠,٤	*Plutella xylostella*
البرسيم الحجازى	cry1C	٠,٢	*Spodoptera litoralis*

كسر مقاومة الجين Cry

عند زراعة الأصناف المعدلة وراثيًا المحتوية على الجين Cry على نطاق واسع، فإن الضغط الانتخابى على الحشرات لتطوير سلالات جديدة مقاومة للسم الذى ينتجه هذا الجين يكون قويًا؛ الأمر الذى يؤدى إلى ظهور السلالات المقاومة، ثم انتشارها مع استمرار زراعة الأصناف المعدلة وراثيًا (عن Bergelson وآخرين ١٩٩٩)

وتعرف عدة حالات كسرت فيها الحشرات المقاومة الحشرية فى النباتات المحولة وراثيًا، وخاصة فى تلك التى حصلت على جين المقاومة الحشرية من *Bacillus thuringiensis*، ولعل أبرز مثال على ذلك المقاومة التى تطورت فى الفراشة ذات الظهر الماسى *Plutella xylostella* ضد سموم الـ Cry1A فى كل من الفيلبين، وهاواى، وفلوريدا، وكذلك ضد Cry1F فى هاواى. ولقد بدا واضحًا أن مقاومة تلك الحشرة لهذه السموم يتحكم فيها جين واحد أو عدد قليل من الجينات. وجدير بالذكر أن هذه

الحشرة – على وجه الخصوص – قد طورت مقاومة ضد معظم المبيدات الحشرية فى عديد من دول العالم (عن Roush ١٩٩٧).

جدول (١٥-١٠): الأصناف التجارية التى أنتجتها شركات التكنولوجيا الحيوية من بعض المحاصيل الاقتصادية الهامة (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣)

الحشرات المستهدفة	المحصول	بروتين الـ Bt	الصنف	الشركة
Colorado beetle	البطاطس	Cry3A	New-Leaf	Monsanto
Tobacco budworm, cotton bollworm, pink bollworm	القطن	Cry1Ac	Bollgard	Monsanto
European corn borer	الذرة	Cry1Ab	YieldGard	Monsanto
			YieldGard	Novartis
			Knockout	
			NaturGard	Mycogen
European corn borer	الذرة	Cry1Ac	Br-Xtra	DeKalb
European corn borer	الذرة	Cry9C	StarLink	Aventis
European corn borer	الذرة	Cry1F	Herculex I	Mycogen
				Pioneer
Corn rootworm larvae	الذرة	Cry3Bb		Monsanto

كذلك أمكن تطوير سلالات حشرية مقاومة للبروتين البلّورى معمليًّا، وذلك من كل من الأنواع الحشرية: *Plodia interpunctella*، و *Cadra cautella*، و *Heliothis virescens*. وقد تراوح مقدار الزيادة فى مقاومة التأثير السام للبروتين البلّورى بين ٢٤٪، وأكثر من ٢٥٠٪. وفى هاواى وجدت فى الحقول التى استعملت فيها *B. thuringiensis* فى المقاومة الحشرية – رشًّا – بكثافة عالية ولفترة طويلة .. وجدت عشائر من الحشرة ذات الظهر الماسى *Plutella xylostella* كانت أكثر مقاومة للبكتيريا بمقدار ٤١ ضعف.

وعلى الرغم من أن *Plodia interpunctella* قد طورت مقاومة لبعض سلالات البكتيريا، فإن هذه السلالة الحشرية المقاومة كانت حساسة لسلالات بكتيرية أخرى. ليس هذا فقط، بل إن السلالة الحشرية التى طورت مقاومة ضد السم المنقى ((CryIA(b)

أصبحت أكثر حساسية للسم البلّورى CryIC. وقد تبين أن المقاومة للبروتين البلّورى CryIA(b) ترتبط بانخفاض قدره ٥٠٪ فى ألفة الغشاء الخلوى على استقبال البروتين، بينما ارتبطت زيادة حساسيتها للبروتين CryIc بزيادة فى مواقع الالتحام بينه وبين الخلايا المبطنة للمعى الحشرية (عن Peferoen ١٩٩٢).

ولقد طورت استراتيجيات للتعامل مع مشكلة مقاومة الحشرات للسُم البكتيرى، وجميعها تعتمد على بقاء الآليل الحشرى الخاص بمقاومة السُم البكتيرى منخفضا، حيث يتسنى للأفراد الحساسة - التى تحتوى على الآليل الحشرى الخاص بالحساسية للسُم البكتيرى - أن تكتسح الأفراد المقاومة.

ومن بين هذه الاستراتيجيات، ما يلى:

١ - اتباع دورة زراعية تتبادل فيها المحاصيل المعدلة وراثيًّا بالجين Bt مع المحاصيل غير المعدلة وراثيًّا، أو أن تتنوع فى الأصناف المزروعة فيها سموم الـ Bt.

٢ - استعمال أصناف محولة وراثيًّا بأكثر من واحد من سموم الـ Bt، مع اختلافها فى طبيعة فعلها.

٣ - توفير ملجأ لتكاثر الحشرة العادية غير المقاومة لسموم الـ Bt، إما بالتعبير عن جينات الـ Bt فى أنسجة معينة من النباتات المحولة وراثيًّا ذاتها، أو بزراعة أصناف محولة وراثيًّا وأخرى غير محولة فى الحقل ذاته، أو فى حقول متجاورة. يؤدى ذلك إلى إبطاء عملية تطور وظهور سلالات حشرية جديدة مقاومة.

٤ - التعبير القوى جدًّا لجينات الـ Bt فى النباتات المعدلة وراثيًّا، مما يزيد من صعوبة ظهور السلالات المقاومة.

٥ - الحد من حجم عشيرة الحشرة - بهدف الحد من التباينات الوراثية التى قد تظهر فيها والتى قد تتضمن المقاومة - وذلك بالجمع بين زراعة الأصناف المقاومة ووسائل المكافحة الأخرى، مثل استعمال الأعداء الطبيعية (عن Mandaokar وآخرين ١٩٩٩، و Bent & Yu ١٩٩٩)

وقد قارن Roush (١٩٩٤) تأثير مقاومة الحشرات بتحويلها وراثيًّا بالجين Bt مع

المقاومة بالرش بالتحضيرات التجارية من البكتيريا *Bacillus thuringiensis*، وذلك على ضوء ما ابداه بعض الحشريين من أن فرصة ظهور سلالات حشرية مقاومة تكون أقل عند الرش بالبكتيريا عما يكون عليه الحال عند زراعة النباتات المحولة وراثيًّا. يذكر الباحث - بداية - أن التحضيرات التجارية من البكتيريا لا تخلط - غالبًا - بالمبيدات الحشرية الكيميائية، وليس من المحتمل أن تكون بديلاً عنها. وبالمقارنة .. فإن استعمال النباتات المحولة وراثيًّا في الزراعة يمكن أن يحل كلية محل الرش بالمبيدات الكيميائية؛ مما يجعل لاستعمالها قيمة كبيرة في حماية البيئة. كذلك أظهرت الدراسات المختبرية على كل من الفراشة ذات الظهر الماسي *Plutella xylostella* وفراشة الدقيق الهندية *Plodia interpunctella* أن النباتات التي تحمل جين Bt واحد تكون أكثر كفاءة في تأخير ظهور المقاومة الحشرية عن الرش بالبكتيريا. كما وجد أيضًا أن سلالات خنفساء كلورادو *Leptinotarsa decemlineata* التي طورت معمليًّا لمقاومة الرش بالبكتيريا لم تكن قادرة على إصابة النباتات المحولة وراثيًّا؛ مما يعني أن طبيعة المقاومة الحشرية تختلف بين حالتي الرش بالبكتيريا واستعمال النباتات المحولة وراثيًّا. وأخيرًا .. فإن استعمال نباتات محولة وراثيًّا بجينين من جينات الـ Bt تزيد - كثيرًا - من احتمالات تطوير حالات المقاومة الحشرية.