الفصل العشرون

تطبيقات الهندسة الوراثية بين الحقائق والأوهام والرفض والقبول

تعرضت الهندسة الوراثية - منذ نشأتها فى بداية الربع الأخير من القرن الماضى وحتى الآن لهجوم شديد من قبَل بعض الأفراد والهيئات والمؤسسات، وحتى من قبَل بعض الحكومات، وفى المقابل .. فإنها لاقت - كذلك - قبولاً ودعمًا كبيرين من قِبل أفراد وهيئات ومؤسسات وحكومات أخرى وعلى الرغم من ارتفاع صوت جبهة الرافضين لهذا العلم الوليد، فإن جبهة الدعم عملت فيما يشبه الصمت، وتقدمت به تقدما حثيثًا إلى أن انتشرت المحاصيل والمنتجات الغذائية والصيدلانية المحولة وراثيًّا، وتلك التى حولت وراثيًّا لأغراض صناعية انتشرت انتشارًا هائلا فى كثير من الدول، فهى موجودة بالفعل فى عديد من العقاقير المتداولة (الأنسولين على سبيل المثال)، فضلاً عن الصعوبة الهائلة للتحكم فى تواجدها ضمن مكونات المنتجات الغذائية المصنعة، التى قد يدخل المحصول الواحد المحول وراثيًّا منها - كالذرة أو البطاطس أو فول الصويا - فى تكوين العشرات - وربما المئات - من تلك المنتجات المصنعة.

وسوف نحاول فى هذا الفصل عرض أسباب رفض الرافضين لهذا العلم وتخوفاتهم من تطبيقاته على كل من البيئة والإنسان، ومبررات دحض المؤيدين للعلم لتلك التخوفات، مع مناقشة موضوعية للأمور التى تنال قسطًا كبيرًا من اهتمام العاملين بهذا العلم تجنبًا لأى أخطار يمكن أن تحدث من جراء تطبيقاته، إلى جانب تعريف القارئ بالمدى الذى وصلت إليه التطبيقات العملية لعلم الهندسة الوراثية، وخاصة فى المجال الزرعى

الاعتراضات على الهندسة الوراثية ومبررات رفض منتجاتها : أهى حقائق أم أوهام؟

تمهيد

يُثير الكثيرون اعتراضات عديدة على مبدأ الهندسة الوراثية بصفة عامة، وعلى نقل الجينات من الحيوان أو الإنسان إلى النبات – أو العكس – بصفة خاصة.

ويتساءل البعض: هل تناول الإنسان فى غذائه لجينات، أو للبروتينات التى تنتجها تلك الجينات – التى تكون قد نقلت إلى النباتات من الأبقار أو الخنازير – يعد أمرًا أخلاقيًا؟ وهل يتنافى ذلك مع المعتقدات الدينية للهندوس (ممن يعبدون الأبقار) والمسلمين (الذين يحرم دينهم أكل الخنزير)؟ وهل إكثار تلك الجينات الحيوانية فى أحد الأنواع البكتيرية قبل إيلاجها فى النبات يغير من الأمر شيئًا؟، وهل إذا ما تم تخليق (تصنيع) جينات مطابقة للجينات الحيوانية المطلوب نقلها .. إذا ما تم تخليقها معمليًا هل ذلك يغير من نظرة المعارضين أو يغير من الأمر شيئًا؟

وهل يمكن أن تتسبب البروتينات الجديدة التى تُمَثَّل بفعل الجين المنقول فى النباتات المحولة وراثيًا .. هل يمكن أن تتسبب فى إحداث أى نوع من الحساسية، وخاصة عندما يُعَبّر عن تلك الجينات فى حبوب اللقاح أو فى الأغذية التى يتناولها الإنسان ضمن طعامه.

وهل يمكن أن يؤدى التعبير عن الغلاف البروتينى لفيرس ما فى النباتات المحولة وراثيًا إلى أن يستعمله الحامض النووى لفيرس آخر كغلاف بروتينى له، مما قد يزيد من مدى عوائل الفيرس ؟.

ومن بين الأسئلة الأخرى التى تحتاج إلى إجابة: هل يلزم تعريف المستهلكين بالمنتجات المحولة وراثيًا ببيان ذلك – كتابة – على المنتج ذاته؟ .. وهل ذلك أمر ممكن فى ظل وجود مئات المنتجات الغذائية التى تدخل فى صناعتها محاصيل محولة وراثيًا مثل الذرة وفول الصويا؟ .. وهل إذا ثبت عدم وجود أى ضرر على صحة الإنسان من تناوله للمحصول المحول وراثيًا يكون تعريف المستهلكين به أمرًا ضروريًا ؟ وماذا عن حالات نقل الجينات الحيوانية للنباتات والتى قد تواجه باعتراضات دينية؟ أو حتى باعتراضات من النباتيين؟ (عن Dale & Irwin ١٩٩٥)

إن التعقيدات التى يمكن أن تصاحب فرص وضع بطاقات مميزة للمنتجات المحولة وراثيًّا بالقانون يمكن أن تكون كثيرة جدًّا، فالمنتج الواحد - كالذرة أو الطماطم - يمكن أن يدخل فى تصنيع العشرات من المنتجات المصنعة الأخرى .. ثم لماذا فرض هذا التمييز على المنتجات المحولة وراثيًّا وهناك المئات من الأصناف التى تحتوى على جينات من أنواع نباتية أخرى وأنتجت بطرق تربية النبات التقليدية؟. وبينما يعتقد البعض أن هذا حق لكل مستهلك، يعتقد آخرون أن هذا التمييز يكون ضرورة - فقط - عندما يكون قد حدث تغيير جوهرى فى القيمة الغذائية للمنتج، أو عندما يحتوى على بروتينات جديدة قد تسبب الحساسية (عن Grumet & Gifford ١٩٩٨).

ومن أهم المخاطر المحتملة التى ينادى بها المعترضون على الهندسة الوراثية، ما يلى:

١ - قد يتحول النبات المحول وراثيًّا إلى حشيشة.

٢ - قد ينتقل الجين المنقول - إلى المحصول الزراعى - إلى الحشائش والنباتات القريبة منه تقسيميًّا، الأمر الذى قد يزيد من حدة خطورتها كحشائش.

٣ - قد يؤدى تحرك الجين المعنى إلى الأنواع البرية إلى إحداث تعرية وراثية والقضاء على تباينات وراثية هامة.

٤ - قد تحفز النباتات المحولة وراثيًّا لمقاومة الأمراض والآفات قد تحفز المسببات المرضية والآفات إلى إنتاج سلالات أكثر ضراوة.

٥ - قد تُحوِّر منتجات الجينات المعنية فى البيئة من خلال تأثيرها على الكائنات غير المستهدفة أصلاً.

٦ - قد تشكل منتجات الجينات المعنية أخطارًا بيولوجية على الإنسان والحيوانات والكائنات الأخرى.

٧ - قد تُشكِّل المركبات الوسطية - التى تقود إلى إنتاج المركبات المسئولة عنها الجينات المعنية - قد تشكل أخطارًا صحية، كما قد يحدث الأمر ذاته بالنسبة لنواتج تحلل تلك المركبات

ويرى المعارضون لاستخدام الأصناف المعدلة وراثيًّا فى الزراعة أن أخطارها المحتملة

على الصحة العامة والحياة البرية كثيرة ومتنوعة، ولا تقتصر – فقط على استخدام تلك الأصناف فى الغذاء مباشرة، وإنما تتعداه إلى احتمالات الأضرار الصحية التى يمكن أن تنجم عن استنشاق حبوب لقاحها، أو كنتيجة لدخولها ضمن مكونات أى غذاء مصنع.

كذلك يرى المعترضون أن انتشار الجينات المنقولة وراثيًا فى الأنواع البرية القريبة أمر وارد ويمكن أن يؤثر على تنوعها البيولوجى وعلى قدرتها على البقاء والمنافسة فى الظروف الطبيعية. وغنى عن البيان أن تلك المخاطر – إن صحت – تزداد احتمالات حدوثها فى مراكز النشؤ والارتقاء ومراكز التباينات الوراثية – التى تكثر فى الدول النامية – عما فى المناطق الزراعية فى الدول المتقدمة التى يقل فيها – كثيرًا – تواجد الأنواع البرية والحشائش المحصولية بالقرب من المحاصيل المزروعة (عن Bhat & Chopra ٢٠٠٠)

وقد ازداد الرفض لاستعمال النباتات المحولة وراثيًا من قِبَل عديد من دول العالم، وذلك منذ عام ١٩٩٨، على الرغم من خضوع جميع الأصناف الجديدة المنتجة المحولة وراثيًا لاختبارات عديدة وموسعة وبإشراف حكومى، وهى التى أدت إلى اعتماد أصناف جديدة فيما لا يقل عن ٤٨ محصولاً زراعيًا.

ومن بين أهم مسببات الاعتراضات على النباتات المحولة وراثيًا التى اجتاحت العالم منذ عام ١٩٩٨، ما يلى:

١ – البرنامج التليفزيونى الذى أدعى فيه أحد الباحثين أن نباتات البطاطس المحولة وراثيًا التى يعبر فيها عن اللكتين lectin تؤدى إلى توقف نمو الفئران التى تتغذى عليها ولقد أدى هذا البرنامج التليفزيونى الذى أذيع فى المملكة المتحدة إلى إشاعة الرعب من استعمال النباتات المحولة وراثيًا فى المملكة المتحدة وغيرها من الدول الأوروبية. وعلى الرغم من أن تلك الدراسة قد أخضعت للتحليل من قبل الجمعية الملكية البريطانية، وتكرر التحليل بواسطة باحثين آخرين، وثبت خطأ الباحث (حيث لم يكن موفقًا لا فى التصميم الإحصائى لتجاربه، ولا فى تحليله لها) على الرغم من ذلك، فقد تركت أثرا سلبيًا كبيرا على تقبل المستهلكين لاستعمال النباتات المحولة وراثيًا.

٢ – أما المثال الثانى الذى أشاع الذعر من احتمالات التأثير السلبى للنباتات المحولة وراثيًا على الحياة البرية فقد جاء من الدراسات التى أجراها Losey وآخرون على الفراشة الملكة Monarch butterfly (وهى: *Danaus plexippus*)؛ ففى عام ١٩٩٩ نشر الباحثون أدلة على أن الجين Bt الموجود بحبوب اللقاح يضر بيرقات تلك الفراشة عامل الباحثون نباتات حشيشة اللبن milkweed – التى تتغذى عليها الحشرة – بحبوب لقاح نباتات ذرة محولة وراثيًا بجين الـ Bt. ولقد أظهرت هذه الدراسة المعملية أن ٥٠٪ من يرقات الحشرة ماتت فى خلال أربعة أيام. ولقد أدت هذه الدراسة – حينما نشرت إلى قيام المهتمين بشئون البيئة باحتجاجات ضد النباتات المهندسة وراثيًا، وفى المقابل .. أوضح آخرون أن نتائج تلك الدراسة المعملية ليس لها وجود فى الظروف الطبيعية (عن Kempken ٢٠٠١).

هذا .. وتعد الدول الأوروبية واليابان من أكثر الدول معارضة لاستهلاك المحاصيل المعدلة وراثيًا إلى درجة أن واردات الذرة لأوروبا – من الولايات المتحدة – انخفضت من ٣٠٥ مليون دولار أمريكى فى عام ١٩٩٦ إلى مليون دولار فقط فى عام ١٩٩٩. أما فى اليابان .. فإن أى شحنة من الذرة يُكتشف وجود أى نسبة من الحبوب المعدلة وراثيًا فيها يتم مصادرتها وإعدامها فورًا (عن Ahlowwalia & Khush ٢٠٠١).

الانتشار غير المرغوب فيه لبعض جينات التحول الوراثى بطريق التلقيح الخلطى الطبيعى

يستعمل فى عمليات التحول الوراثى للنباتات جينات كثيرة من مصادر متنوعة، إلاّ أن التأثير البيئى لتلك الجينات لا يسهل التنبؤ به. وقد أطلق مصطلح "التلوث الوراثى" genetic pollution على ما يمكن أن يحدث من انتشار لجينات التحول الوراثى إلى أنواع نباتية أخرى لم تكن – أصلاً – مستهدفة لتلقى تلك الجينات.

ويقول المعترضون على الصدمة الوراثية أن انتقال الجينات من المحاصيل التي عُدِّلت بها وراثيًا إلى طرزها البرية أو إلى الأنواع البرية القريبة منها له مخاطره، كما يلي:

١ - إذا كان النوع المتلقى من الحشائش الهامة فى منطقة ما، فإن انتقال الجينات التى استخدمت فى عملية التعديل الوراثى إليها قد يزيدها خطورة، إذا قد تزداد قدرتها على المنافسة، أو قد تزداد قدرتها على الانتشار الجغرافى.

٢ - إذا كان للجين المنقول ميزة انتخابية عالية، فإنه قد يُثبَّت فى عشيرة الحشائش بسرعة كبيرة تنحسر معها التباينات الوراثية فى الجينات التى ترتبط معها بتواجدها قريبًا من المنطقة الكروموسومية التى تلقت الجين المنقول. يحدث ذلك بسرعة كبيرة - خاصة - فى الأنواع الذاتية التلقيح. وإذا ما كانت الحشيشة المتلقية هى - أصلاً - نادرة أو معرضة للانقراض، فإن هذا الفقد فى التباين الوراثى قد يجعلها أقل قدرة - مستقبلاً - على التأقلم على التغيرات البيولوجية أو غير البيولوجية فى البيئة المحيطة؛ مما قد يعرضها للانقراض من المواقع التى تتواجد فيها. وغنى عن البيان أن الأمر ذاته قد يحدث بالنسبة لطرز الحشائش من المحاصيل الزراعية المحولة وراثيًا، وهى التى تُعد مخزون التنوع الوراثى بالنسبة لها (عن Bergelson وآخرين ١٩٩٩).

ومن أهم العوامل التى تؤثر فى تصريف الجينات المستخدمة فى عمليات التحول الوراثى وتمكنها من استمرار التواجد فى البيئة الطبيعية، ما يلى:

١ - مدى القرب المكانى للأنواع البرية المتوافقة مع النوع المحول وراثيًا.

٢ - مدى تأقلم النباتات الهجين الناتجة على البيئة.

٣ - نظام التزاوج وطريقة التلقيح.

٤ - طريقة انتشار البذور.

٥ - الأهمية الانتخابية للصفة المهندسة وراثيًا (عن Hancock وآخرين ١٩٩٦).

هذا . وتتوفر أقارب برية لمعظم محاصيلنا الزراعية، وتعيش الأسلاف البرية - التى نشأت منها المحاصيل المنزرعة - غالبًا - مجاورة للحقول المزروعة. وغالبًا ما تحفز

الطرق الزراعية التقليدية المتبعة فى إنتاج المحاصيل الاقتصادية فى الدول النامية .. غالبًا ما تحفز العشائر الطبيعية على البقاء والاستمرار فى التكاثر فى بيئاتها الطبيعية. ويبين جدول (٢٠-١) الأقارب البرية المتوافقة مع عدد من المحاصيل التى حولت وراثيًا - بالفعل - ومدى ذلك التوافق. يتبين من هذا الجدول مدى السهولة التى يمكن أن تنتشر بها الجينات المستخدمة فى عمليات التحول الوراثى إلى الأنواع البرية.

إن الجينات سوف تنتقل بسهولة من معظم المحاصيل المحولة وراثيًا - إن لم تكن جميعها - إلى نباتات أخرى برية من نفس نوع المحصول أو إلى أنواع أخرى قريبة منه، ويتوقف الأمر على مكان إنتاجها. ويمكن القول أن لجميع المحاصيل الزراعية - تقريبًا - أقارب برية فى مكان ما من العالم. ولقد وجدت بالفعل أعداد كبيرة من الهجن التى تكونت طبيعيًا بالتلقيح الخلطى بين تلك الأنواع البرية والأصناف العادية من المحاصيل الزراعية القريبة منها، خاصة وأن لمعظم المحاصيل الزراعية القدرة على نثر لقاحها على نطاق واسع ولمسافات بعيدة.

ونظرًا لأن انتقال تلك الجينات من النباتات المحولة وراثيًا إلى النباتات الأخرى فى البيئة المحيطة بها يعد أمرًا حتميًا، فإن المهم ليس هو "هروب" تلك الجينات فى حد ذاته، وإنما ماهية تلك الجينات. ولعل من أبرز الأمثلة على الانتقال - الذى حدث بالفعل - جين تحمل مبيد الحشائش جلوفوسينيت glufosinate من لفت الزيت *Brassica napus* إلى قريبه البرى *Brassica campestris*.

وإذا ما حُوِّل السورجم *Sorghum bicolor* وراثيًا بأحد جينات المقاومة لمبيدات الحشائش (وهو أمر وراد على ضوء أهمية السورجم كمحصول حقلى، وإن لم يحدث بعد) إذا حدث هذا التحويل الوراثى فإنه سيكون من السهولة بمكان انتقال جينات المقاومة لمبيدات الحشائش إلى حشيشة الـ Johnsongrass (وهى: *Sorghum halepense*) الواسعة الانتشار، والتى تتلقح - طبيعيًا - مع السورجم (عن Hancock وآخرين ١٩٩٦).

جدول (٢٠-١). الأنواع البرية المتوافقة مع بعض المحاصيل الزراعية التي حولت وراثيًا في الولايات المتحدة (عن Hancock وآخرين ١٩٩٦)

المحصول	الاسم العلمي	الأنواع البرية المتوافقة معه	أماكن تواجدها	مستوى التلقيح الخلطي[أ]	تواجد الهجن الطبيعية
البرسيم الحجازي	*Medicago sativa*	برى *M. sativa*	الشرق الأدنى/حوض البحر المتوسط	١	توجد
		M. glomerata	جنوب أوروبا/شمال أفريقيا	١	توجد
التفاح	*Malus domestica*	كثيرة	أمريكا الشمالية/أوروبا/الصين/آسيا	١	توجد
الشعير	*Hordeum vulgare*	برى *H. vulgore*	الشرق الأدنى	١	توجد
		H. spontaneum	الشرق الأدنى	١	توجد
البنجر	*Beta vulgaris*	برى *B. vulgaris*	أوروبا حتى الصين	١	توجد
الجزر	*Daucus carota*	برى *D. carota*	أوروبا/حوض البحر المتوسط/أمريكا الشمالية	١	توجد
القطن	*Gossypium hirsutum*	برى *G. hirsutum*	أمركيا الوسطى/البحر الكاريبى	١	لا توجد
		G. barbadense	أمريكا الجنوبية	٢	توجد
		أنواع أخرى عديدة	محليًا فى عدة مواقع	٢-٣	توجد
التوت البرى	*Vaccinum macrocarpon*	برى *V. microcarpon*	شرق أمريكا الشمالية	١	توجد
		V. oxycoccus	المناطق الشمالية	٣	لا توجد
الخيار	*Cucumis sativus*	برى *C. sativus*	آسيا	١	توجد
الباذنجان	*Solanum melongena*	برى *S. melongena*	الهند	١	توجد
		S. incanum	الهند/أفريقيا/آسيا	١	توجد
		أنواع أخرى عديدة	الهند غالبًا	٢-٣	لا توجد
الخس	*Lactuca sativa*	*L. serriola*	حوض البحر المتوسط	١	توجد
		L. virosa	حوض البحر المتوسط	١	توجد
		L. saligna	حوض البحر المتوسط	١	توجد

تابع جدول (٢٠-١).

المحصول	الاسم العلمى	الأنواع البرية المتوافقة معه	أماكن تواجدها	مستوى التلقيح الخلطى[أ]	تواجد الهجن الطبيعية
الذرة	*Zea mays*	الـ teosinate المحلية وهى *Z. mays*	المكسيك	٢-٣	متباينة
الكنتالوب	*Cucumis melo*	*C. melo* برى	أفريقيا	١	توجد
		C. metuliferus	أفريقيا	٢	لا توجد
		C. anguria	أفريقيا	٢	لا توجد
البسلة	*Pisum sativum*	*P. sativum* برى	الشرق الأدنى/حوض البحر المتوسط	١	توجد
		P. fulvum	حوض البحر المتوسط	٢	لا توجد
الفول السودانى	*Arachis hypogea*	*A. monticola*	أمريكا الجنوبية	١	لا توجد
		أنواع أخرى عديدة	أمريكا الجنوبية	٣	لا توجد
الفلفل	*Capsicum annuum*	*C. annuum* برى	أمريكا الجنوبية/المكسيك/جنوب الولايات المتحدة	١	توجد
		أنواع عديدة	أمريكا الجنوبية/المكسيك	١-٣	توجد
البرقوق	*Prunus domestica*	*P. spinosa*	أوروبا	١	توجد
		P. insititia	آسيا	١	توجد
		P. cerasifera	آسيا	١	توجد
		أنواع أخرى عديدة	أوروبا/آسيا/الصين/أمريكا الشمالية	١-٢	توجد
البطاطس	*Solonun tuberosum*	*S. tuberosum* برى	أمريكا الجنوبية	١	توجد
		أنواع أخرى عديدة	أمريكا الجنوبية	٢-٣	توجد

تابع جدول (٢٠-١).

المحصول	الاسم العلمي	الأنواع البرية المتوافقة معه	أماكن تواجدها	مستوى التلقيح الخلطي[أ]	تواجد المجن الطبيعية
لفت الزيت	*Brassica napus*	*B. napus* برى	حوض البحر المتوسط	١	توجد
		B. campestris برى	حوض البحر المتوسط/أمريكا الشمالية	٢	توجد
		B. juncea	حوض البحر المتوسط	٢	توجد
		أنواع أخرى عديدة	حوض البحر المتوسط	٣-٢	متباينة
الأرز	*Oryiza sativa*	*O. sativa* برى	آسيا	١	توجد
		O. rufipogan	أفريقيا/الصين/أمريكا الجنوبية	١	توجد
		O. nivara	آسيا/الصين	١	توجد
		أنواع أخرى عديدة	آسيا/الصين/أفريقيا/أمريكا الوسطى	٣-٢	توجد
فول الصويا	*Glycine max*	*G. soya*	الصين	١	لا توجد (؟)
		G. gracilis	الصين	١	توجد (؟)
الكوسة	*Cucurbita pepo*	*C. texana*	جنوب شرق الولايات المتحدة/المكسيك	١	توجد
		C. fraterna	جنوب شرق الولايات المتحدة/المكسيك	١	توجد
الفراولة	*Fragaria* × *ananassa*	*F. virginiana*	أمريكا الشمالية	١	توجد
		F. chiloensis	شيلى/كاليفورنيا	١	توجد
قصب السكر	*Saccharum officinarum*	*S. spontaneum*	غينيا الجديدة/الهند/آسيا/أفريقيا	١	توجد
دوار الشمس	*Helianthus annuus*	*H. annuus* برى	غرب أمريكا الشمالية	١	توجد
		أنواع أخرى عديدة	غرب أمريكا الشمالية	٢-١	توجد
التبغ	*Nicotiana tabacum*	أنواع عديدة	الأمريكتين/أستراليا	٣-١	توجد

تابع جدول (٢٠-١).

المحصول	الاسم العلمي	الأنواع البرية المتوافقة معه	أماكن تواجدها	مستوى التلقيح الخلطي[أ]	تواجد المهجن الطبيعية
الطماطم	*Lycopersicon esculentum*	برى *L. esculentum*	أمريكا الجنوبية/المكسيك	١	توجد
		أنواع أخرى عديدة	أمريكا الجنوبية غالبًا	١-٣	متباينة
البطيخ	*Citrullus lanatus*	برى *C. lanatus*	أفريقيا	١	توجد
		C. colocynthis	شمال أفريقيا/غرب آسيا	١-٢	توجد
القمح	*Triticum aesativum*	برى *T. aesativum*	الشرق الأدنى	١	توجد
		عديد من الأنواع الثنائية والرباعية	الشرق الأدنى	٢-٣	توجد

أ - دلالات الأرقام: ١- التهجين سهل، و الهجن خصبة عمومًا، ٢ - عقد جزئى للثمار وخصوبة متباينة للجيل الأول الهجين، ٣ - التهجين محتمل ولكنه صعب، والهجن ضعيفة وذات خصوبة ضعيفة.

وقد اقترحت بعض التقنيات التى يمكن أن تُسهم فى منع انتقال الجينات من النباتات المعدلة وراثيًا إلى غيرها من النباتات، ومن أهمها ما يلى:

١ - إجراء التحويلات الوراثية على البلاستيدات الخضراء.

تتميز هذه الطريقة بأن البلاستيدات تورث عن طريق الأم، وبذا يستحيل انتقال جينات التحول الوراثى عن طريق حبوب اللقاح، كما لا توجد أى خطورة على الإنسان أو البيئة من حبوب اللقاح التى تنتجها تلك النباتات، وهى التى تكون خالية من جينات التحول الوراثى، ولكن يُعاب عليها أن البروتينات المُعَبرَّ عنها قد لا تعمل بكفاءة، وإن كان من الممكن أن يكون التعبير عنها بدرجة عالية

٢ - إدخال صفة العقم الذكرى.

تتميز هذه الطريقة باستحالة انتقال جينات التحول الوراثى عن طريق حبوب اللقاح، إذ إنها لا تتكون أصلاً أو تكون ضامرة

٣ - استخدام تقنية إنهاء حياة البذور.

نشرح هذه التقنية بالتفصيل فى موضع آخر من هذا الفصل، وهى تتميز بأن البذور التى تتكون بعد الجيل الذى زرعت بذوره المحولة وراثيًا تكون غير قادرة على الإنبات، إلا أن تلك التقنية لاقت اعتراضًا من قبل المهتمين بالجانب الإنسانى فى الزراعة

٤ - اللجوء إلى التكاثر اللاإخصابى apomixis.

تتميز تلك الطريقة بإمكان إكثار الهجن بواسطة المزارعين أنفسهم مع احتفاظها بقوة الهجين، ولكن يُعاب عليها أن صفة القدرة على التكاثر اللاإخصابى صفة معقدة، وليست شائعة كثيرًا (توجد فى حوالى ٤٠٠ نوع نباتى من ٤٠ عائلة)، فضلاً عن عدم وجود أى حافز لدى شركات البذور للاهتمام بها.

٥ - الاستفادة من ظاهرة اكتمال الإخصاب قبل تفتح الزهرة

تعرف هذه الظاهرة باسم cleistogamy، ولكن يعاب عليها أنها ليست كثيرة الشيوع فى المملكة النباتية، مع احتمال استمرار حدوث انتقال لحبوب اللقاح إلى النباتات الأخرى

٦ - الاستفادة من ظاهرة التخفيف أو التلطيف بالتحول الوراثى(transgenic mitigation).

بمقتضى هذه الظاهرة فإن تأثير جينات التحول الوراثى على المحصول المعدل وراثيًا بها يكون متعادلاً أو مفيدًا له، بينما يكون تأثيرها ضارًا على الحشائش. ولكن يعاب على تلك الطريقة أنها لا تمنع انتقال الجينات، وقد تتسبب فى اندثار طرز الحشائش القريبة من المحصول المزروع؛ مما يقلل من التنوع البيولوجى (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

٧ - ربما يمكن - مستقبلاً - التغلب على مشكلة انتقال الجينات - التى تحول بها المحاصيل الزراعية وراثيًا - من المحاصيل المعدلة إلى الحشائش أو الأنواع البرية القريبة منها باستعمال constructs تُفقد حبوب اللقاح أو البويضات خصوبتها فى الأفراد التى تكون خليطة فى الجين المنقول؛ بما يعنى أن انتقال حبوب اللقاح من المحاصيل المحولة وراثيًا إلى غيرها يؤدى إلى إنتاج هجن عقيمة. ويتطلب نجاح تلك الفكرة التأكد من أن الطفرات لن تُفقِد الـ constructs فاعليتها، وأنه لن يحدث عبور بين الـ construct والجين المنقول؛ الأمر الذى يترتب عليه - فى أى من الحالتين - إنتاج حبوب لقاح خصبة مع عدم تأثر خصوبة الهجن التى تتلقى الجينات المنقولة (عن Bergelson وآخرين ١٩٩٩).

وقد أوضحت الدراسات التى أجريت على نباتات البطاطس المحولة وراثيًا (McPartlan & Dale ١٩٩٤) أن مدى انتقال الجينات - بالتلقيح الخلطى - من النباتات المحولة وراثيًا إلى غير المحولة يتناقص بسرعة شديدة بزيادة المسافة بينهما إلى أن يصبح الانتقال معدومًا تقريبًا عند مسافة ١٠ أمتار، كما لم يكن هناك أى دليل على انتقال الجينات من البطاطس المحولة وراثيًا إلى أى من *S. dulcamara* أو *S. nigrum* تحت ظروف الحقل.

وتوصل Love (١٩٩٤) من دراسته على الأخطار البيئية التى يمكن أن تشكلها زراعة البطاطس المحولة وراثيًا - فى الولايات المتحدة وكندا - إلى أن انتقال الجينات المستخدمة فى عمليات التحول وانتشارها فى البيئة الطبيعية لا يشكل أى أهمية؛ ذلك لأن البطاطس ليست منافسًا للنباتات البرية فى خارج الحقول المزروعة، كما أنها لا

تتلقح طبيعيًا مع أنواع الجنس *Solanum* التى لا تكوِّن درنات، والتى تنتشر كحشائش فى مناطق إنتاج البطاطس. وعلى الرغم من تواجد ثلاثة أنواع مكونه للدرنات فى جنوب شرق الولايات المتحدة، هى: *S. fendleri*، و *S. jamesii*، و *S. pinnatisectum* فإن احتمال تلقح البطاطس معها يعد بعيدًا بسبب العزل الجغرافى، وعدم التوازن الإندوسبرمى، واختلاف مستويات التضاعف، وعدم التوافق

القول بأن النباتات المحولة وراثيًا يمكن أن تصبح - ذاتها - حشائش

من بين الانتقادات التى وجهت إلى تحسين النباتات بطرق الهندسة الوراثية أن النباتات المنتجة ذاتها يمكن أن تصبح حشائش فهل هذا ممكن؟. إن العلماء يقدرون وجود نحو ١٣ صفة تتميز بها الأنواع النباتية التى تنمو كحشائش. وبينما تحتوى كل حشيشة على نحو ١١ أو ١٢ من تلك الصفات، فإن معظم المحاصيل الزراعية لا يوجد بأى منها أكثر من ٥ أو ٦ من الصفات الثلاث عشرة. والسؤال الذى يتبادر إلى الذهن هو. هل مجرد إضافة صفة جديدة – لا تمت بأية صلة إلى أى من تلك الصفات – يمكن أن تجعل المحصول الاقتصادى حشيشة؟ الإجابة المنطقية هى أن ذلك أمر بعيد الاحتمال إلاّ فى حالة واحدة، وهى حالة هندسة النباتات وراثيًا لجعلها أكثر قدرة على تحمل مبيدات الحشائش.

وبالنسبة للنباتات المحولة وراثيًا لتحمل مبيدات الحشائش، فإن الانتقادات التى توجه لها تنحصر فى أمرين:

١ – أن يصبح المحصول المحول وراثيًا – ذاته –حشيشة

يمكن أن تصبح المحاصيل الزراعية حشائش إذا ما انتثرت بذورها قبل الحصاد وبقيت ساكنة فى التربة إلى حين زراعة المحصول التالى فى الدورة، حيث تنمو معه كحشيشة، وتحدث المشكلة الكبرى عندما يكون هذا النبات النامى كحشيشة مقاومًا لأحد مبيدات الحشائش المستعملة مع المحصول المزروع. وما من شك فى أن مشكلة ذلك

المحصول النامى كحشيشة تزداد تعقيدًا فيما لو كان مقاومًا لعدد من مبيدات الحشائش وليس لمبيد واحد؛ ولذا .. لا يوصى بتحويل المحاصيل الزراعية لمقاومة مبيدات الحشائش بنقل جينات المقاومة لعدة مبيدات - معًا - فى المحصول الواحد.

هذا .. إلا أن مشكلة المحصول الذى ينمو مع المحصول التالى له فى الدورة كحشيشة يمكن القضاء عليها بإكساب النباتات المحولة وراثيًّا جين إنهاء الحياة؛ وهو الجين الذى يفقد البذور الجديدة المتكونة على المحصول المحول وراثيًّا حيويتها؛ فلا يمكنها الإنبات، وهى تقنية لجأت إليها شركات إنتاج البذور لهدف آخر، وهو حماية منتجاتها من الإكثار غير المشروع.

٢ - أن ينتقل جين تحمل مبيدات الحشائش من المحصول إلى أصوله البرية التى نشأ منها؛ وبذا تصبح تلك الطرز البرية مقاومة - هى الأخرى - للمبيد. ولتجنب ذلك يوصى بإحاطة حقول المحاصيل المحولة وراثيًّا لمقاومة مبيدات الحشائش بحزام من النباتات العادية غير المحولة وراثيًّا (على اعتبار أن التلقيح الخلطى بين المحصول والحشائش يكون بين تلك التى توجد فى حواف الحقل والحشائش التى تنمو بريًّا فى المنطقة المجاورة للحقل (عن Gressel، و Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

المطالبة بالتخلص من الجينات المعلِّمة (مثل جينات المقاومة للمضادات الحيوية) من النباتات المحولة وراثيًّا

كانت جينات المقاومة لمضادات الحيوية التى تستعمل فى عمليات التحول الوراثى محل هجوم كبير من معارضى الهندسة الوراثية؛ حيث أثاروا احتمال انتقال تلك الجينات إلى الكائنات الدقيقة التى يرغب الإنسان فى مقاومتها بالمضادات الحيوية، وخاصة تلك التى قد تتواجد فى أمعاء الإنسان. وقد أوضح العلماء أنه على الرغم من انتقال الجينات من نوع بكتيرى لآخر، ومن أحد أنواع البكتيرية (الأجروباكتيريم) إلى النبات، فإن انتقالها من النبات إلى البكتيريا أمر لم يحدث أبدًا، ويستبعد حدوثه إلى شبه الاستحالة على الأقل إحصائيًّا. ففضلاً عن كون أن البكتيريا لها نظامها الخاص فى التعبير الجينى على المستوى الجزيئى للدنا الذى يختلف عما يوجد فى النباتات، فإن

تناول الإنسان للغذاء المعدل وراثيًّا، ومرور الدنا فى جهازه الهضمى دونما هضم وتفتت، ثم انتقال جينات التحول الوراثى كاملة - بطريقة تتناسب مع نظام التعبير الجينى فى البكتيريا - إلى البكتيريا التى تعيش فى أمعاء الإنسان يعد أمرًا أبعد من حدود التصور (عن Chripeels & Sadava ٢٠٠٣).

ويمكن أن نضيف إلى ذلك أن جينات المقاومة لمضادات الحيوية التى تستعمل فى عمليات التحول الوراثى يحصل عليها أصلاً من البكتيريا، وأن المقاومة للمضادات الحيوية تتواجد بصورة طبيعية فى البكتيريا، وغالبًا ما تُحمل على بلازميدات؛ مما ييسر انتقالها من سلالة بكتيرية لأخرى. ولذا .. يعد ظهور السلالات البكتيرية المقاومة للمضادات الحيوية مشكلة حقيقة فى المستشفيات، التى تستعمل فيها المضادات الحيوية بصورة روتينية؛ مما يشكل وسيلة انتخابية تعمل فى صالح السلالات المقاومة. وعلى ضوء هذه الخلفية، فإن انتقال جينات المقاومة للمضادات الحيوية من النباتات إلى البكتيريا - حتى وإن حدث (وهو أمر يكاد يكون مستحيلاً) - لن يغير جوهريًا من وضع المقاومة للمضادات الحيوية فى البيئة.

كذلك فإن كثيرًا من جينات المقاومة الحيوية التى تستعمل - عادة - فى النباتات المحولة وراثيًّا (مثل npt II) تعطى مقاومة خاصة بمضادات حيوية لم تعد تستخدم فى معالجة الأمراض فى الإنسان؛ إذا إن استعمالها قد توقف منذ أن ظهرت بدائل أخرى أقل سمية للإنسان، أو أكثر فاعلية ضد البكتيريا التى تصيبه (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣)

وعلى الرغم مما تقدم بيانه . فقد تردد أن زيادة استهلاك النباتات المحولة وراثيًّا يتطلب التخلص من تلك الجينات المعلمة marker genes من المحصول المستعمل تجاريًّا، الأمر الذى تتطلبه بعض الدوائر الحكومية المسئولة عن تلك الأمور، مثل معهد روبرت كوخ الألمانى على سبيل المثال. ولقد دُرس على نطاق واسع موضوع مخاطر الجينات المعلمة على مستهلكى المحاصيل المحولة وراثيًّا، ووجد أنها كانت منخفضة بشدة ولقد تركزت تلك الدراسات أساسًا على معلمات مثل الـ neomycin

phosphotransferase، وهو جين معلم يستعمل حاليًا، ويوجد – على سبيل المثال – فى الطماطم المحولة وراثيًا FlavrSavr وعلى الرغم من عدم توفر أى سبب علمى للحد من استعمال هذا الجين المعلم أو أى جين معلم آخر .. فإنه قد يكون من المرغوب فيه التخلص من تلك الجينات فى النباتات المحولة وراثيًا. هذا .. وتتوفر عدة طرق للتخلص من الجينات المعلمة تتباين فى درجة كفاءتها (عن Kempken ٢٠٠١).

ومن بين الطرق المتبعة لأجل التخلص من الجينات الانتخابية المعلمة، ما يلى:

١ – عدم استعمال الجينات الانتخابية المعلمة فى عملية التحول الوراثى من الأساس، والاستعانة باختبارات البيولوجيا الجزيئية – مثل الـ PCR – فى تقييم وغربلة الأفراد (النباتات) الناتجة من عملية التحول الوراثى لتحديد تلك التى تلقت الجين المعنى، إلاّ أن هذه الطريقة تعد مكلفة للغاية وتتطلب وقتًا وجهدًا كبيرين.

٢ – نقل الجين المرغوب فيه والجين الانتخابى المعلم على جزيئات T-DNA مستقلة، ثم – بعد تحليل الانعزالات التى تظهر فى النسل – يمكن تحديد النباتات التى تحتوى على الجين المعنى بالتحول الوراثى مع خلوها من الجين الانتخابى المعلم

٣ – استئصال الجين الانتخابى المعلم من النباتات المحولة وراثيًا بعد إنتاجها، الأمر الذى يمكن تحقيقه بالاستعانة بإنزيمات recombinase خاصة بمواقع محددة site-specific. ومن أمثلة ذلك الإنزيمات التالية:

phage: P1 Cre-lox
Saccharomyces cerevisiae: FLP-frt
Zagosaccharomyces rouxii: R-RS

٤ – أمكن – حديثًا – الحصول على انعزالات فى أنسال النباتات المحولة وراثيًا لا تحتوى على الجينات الانتخابية المعلمة، وذلك بإحاطة تلك الجينات – فى الـ vectors – بتتابعات ذات قدرة كبيرة على زيادة معدلات الانعزالات الكروموسومية.

ومن الآثار السلبية التى حدثت بالفعل من جراء تزايد تلك الاعتراضات على الهندسة الوراثية أنه فى عام ١٩٩٦ حاولت شركة نوفارتس Novartis (سنجنتا Synjenta حاليًا) تسجيل أحد أصناف الذرة المحولة وراثيًا، والذى يحتوى على جين لمقاومة الأمبسلين. وقد لاقى ذلك الأمر اعتراضًا كبيرًا – ولمدة طويلة – من قبل الجهات المعنية بتسجيل

مثل هذه الأصناف فى المملكة المتحدة، ولكنه سُجِّل فى نهاية الأمر للزراعة فى فرنسا هذا إلاّ أن ما تردد فى وسائل الإعلام بشأن احتواء هذا الصنف على جين لمقاومة الأمبسلين جعل المستهلكين يحجمون عن استهلاكه، ومن ثم فإنه لم يزرع أبدًا على نطاق واسع (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

أخطار محتملة لجينات المقاومة - للفيروسات - الفيروسية المنشأ

إنتاج فيروسات أكثر ضراوة أو أكثر قدرة على الانتشار

إن الفيروسات التى يمكن أن تصيب النباتات المحولة وراثيًّا لمقاومة فيرس ما قد يحدث فيها تغيرات فى التتابعات النيكليوتيدية بتبادل القواعد مع التتابعات المستخدمة فى عملية التحول الوراثى، مما يترتب عليه إنتاج فيروسات ذات صفات جديدة، مثل زيادة مدى العوائل، أو زيادة شدة الضراوة، فإذا ما انتشرت تلك الفيروسات الجديدة بعد ذلك، فإن أخطارها تكون كبيرة (عن Bergelson وآخرين ١٩٩٩).

تأثير جين الغلاف البروتينى الفيروسى على صحة الإنسان

فكر المهتمون بتأثير النباتات المحولة وراثيًّا على صحة الإنسان فى اعتبار الغلاف البروتينى – فى النباتات المحولة وراثيًّا لمقاومة الفيروسات – من المبيدات، نظرًا لأنه يحد من الإصابة الفيروسية، إلاّ أن مقارنة محتوى ثمار الكوسة العادية – مثلاً – غير المحولة وراثيًّا والمصابة بالفيرس (موزايك الزوكينى الأصفر) لا يقل أبدًا عن محتوى النباتات المحولة وراثيًّا من الفيرس، بل إنه قد يزيد فيها بمقدار ١٠٠ ضعف عما فى الثانية (عن Grumet & Gifford ١٩٩٨)

التخوف من أخطار محتملة للجين Bt

الأخطار المحتملة على صحة الإنسان

قصة ظهور وسقوط صنف الذرة استارلنك

كان استعمال الجين cry9C فى صنف الذرة المحول وراثيًّا استارلنك StarLink مثار

اهتمام الكثيرين فى كل من أوروبا والولايات المتحدة. بدأت المشكلة عندما طلبت شركة AgrEvo (التى تغير اسمها - فيما بعد - إلى Aventis) الحصول على تصريح لتسجيل الصنف استارلنك فى الولايات المتحدة. ولقد أبدت وكالة حماية البيئة الأمريكية شكوكًا حول صلاحية البروتين Cry9C للاستهلاك الآدمى، لأنه أكثر ثباتًا فى الوسط الحامضى عن بروتينات الـ Cry الأخرى (ومن ثم فهو أبطأ هضمًا فى المعدة)، وكذلك لعدم وجود أى بيانات عما إذا كان مسببًا للحساسية أم غير مسبب ولقد قبلت الشركة تصريحًا محدودًا ومشروطًا للصنف لأجل البدء فى الدعاية له فى سوق تنافسية شديدة. وتبعًا لهذا التصريح المحدود فإن الصنف استارلنك لا يمكن استعماله إلاّ فى تغذية الحيوانات، ولا يدخل فى أى غذاء مخصص للاستهلاك الآدمى. وبدأت الشركة فى الزراعات التجارية للصنف، خاصة وأن الجزء الأكبر من إنتاج الذرة فى الولايات المتحدة يوجه إلى تغذية الحيوانات على أية حال، وذلك مع الاستمرار فى إجراء اختبارات الحساسية.

ولسوء الحظ .. ظهرت فى عام ٢٠٠٠ آثار من صنف استارلنك فى منتجات غذائية صنعت بواسطة Kraft Foods، وذلك قبل اعتماد استارلنك للاستهلاك الآدمى. ولقد أدى ذلك إلى سرعة سحب المنتج من الأسواق، والتحذير من استعمال الصنف فى أى منتجات غذائية أخرى، مما أدى إلى التوقف عن زراعته.

ولقد أظهرت تلك الحالة أهمية ثلاثة أمور:

١ - عدم إعطاء اعتمادات مشروطة للأصناف المعدلة وراثيًّا.

٢ - عدم تقديم الصنف للاعتماد قبل إخضاعه لاختبارات الحساسية.

٣ - اختبار مدى تواجد المحاصيل المحولة وراثيًّا فى المنتجات الغذائية التى يفترض خلوها منها (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

الإثارة الإعلامية لمخاطر قيل أنها حدثت لفئران اعتمدت فى غذائها على بطاطس محولة وراثيًّا

إن القنبلة التى فجرها دكتور Pusztai فى برنامج تليفزيونى فى المملكة المتحدة عام

١٩٩٨ والتى ذكر فيها أن البطاطس المحولة وراثيًا سببت تغيرات (نموات غير طبيعية) فى أمعاء الفئران التى تغذت عليها - هذه القنبلة أدت خلال فترة قصيرة للغاية إلى سحب جميع الأغذية التى يدخل فى تكوينها منتجات محولة وراثيًا من أرفف السوبر ماركت فى المملكة المتحدة أذيع هذا البرنامج التليفزيونى قبل نشر البحث الذى توصل إلى تلك النتائج، وعلى أثره قام فريق من علماء الجمعية الملكية البريطانية بدراسة النتائج التى لم تكن قد نشرت بعد فى دورية علمية محكمة (نشرت تلك الدراسة - فيما بعد فى عام ١٩٩٩ - فى دورية The Lancet)، وذكرت فى تقريرها أن تلك الدراسة كانت معيوبة علميًا فيما يتعلق بكل من تفاصيل الطريقة البحثية والاستنتاجات؛ فمن حيث الطريقة البحثية كانت هناك أخطاء فى التصميم الإحصائى، وطرق القياس، مع نقص فى تفاصيل النتائج. ومن حيث الاستنتاجات (التى جاء بهاء أن عملية التحول الوراثى للبطاطس - فى حد ذاتها - هى التى أعطت تلك التأثيرات) فإنها لم تكن صحيحة؛ إذ إن عملية التحول الوراثى لم تكن أبدًا - فى حد ذاتها - مسئولة عن أى تأثيرات، وإنما كان مرد التأثير إلى لكتين نبات زهرة اللبن الثلجية snowdrop lectin (الاسم العلمى للنبات *Galanth nivalis*) الذى يُحدث تضخمًا فى خلايا الجهاز الهضمى للفئران التى تتغذى عليه سواء أكان فى بطاطس محولة وراثيًا، أم فى بطاطس أضيف إليها البروتين يدويًا (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

وبتتبع إقبال المزارعين على استعمال البطاطس المحولة وراثيًا بهدف مقاومة حشرة خنفساء بطاطس كلورادو *Leptinotarsa decemlineata* - الأمر الذى يعد انعكاسًا لإقبال جمهور المستهلكين على تقبل تلك البطاطس - لوحظ أن نصيب البطاطس المحولة وراثيًا من أسواق البطاطس فى الولايات المتحدة وكندا ارتفع من ١٪ فى عام ١٩٩٥ إلى ٢٪ فى ١٩٩٩، ثم انخفض إلى ٠,١٪ فى عام ٢٠٠٠. وعلى الرغم من رغبة منتجى البطاطس فى زراعة الأصناف المحولة وراثيًا، فإن مقاومة المستهلكين لها حدَّ من إنتاجها، خاصة وأن سلاسل مطاعم الوجبات السريعة كانت سريعة الاستجابة لاعتراضات الجمعيات الداعية لمقاطعة المنتجات المهندسة وراثيًا؛ الأمر الذى انعكس على كل سلسلة لتسويق والتصنيع (Guenthner ٢٠٠٢).

القول بوجود تأثيرات سلبية للجين Bt على الأعداء الطبيعية للحشرات

إن التوسع فى زراعة المحاصيل الزراعية المحولة وراثيًا بالجين Bt قد يكون له مردود سلبى على بعض الحشرات النافعة فى بيئة الزراعة، سواء أحدث ذلك من جراء تسرب Bt-toxin من جذور النباتات الحاملة للجين إلى التربة وبقاءه فيها لفترة طويلة، أو من جراء حرث بقايا النباتات المحولة وراثيًا – بكل ما تحمله من Bt-toxin – فى التربة (وذلك كما حدث بالنسبة للحشرة النافعة green lacewings التى تتغذى على حفار ساق الذرة الأوروبى)، وإما من خلال التغذية المباشرة للحشرة النافعة على النباتات الحاملة للجين Bt (كما حدث بالنسبة للـ Monarch caterpillars butterfly – وهى: *Danaus plexippus* – التى تعرض بقاءها للخطر عندما غُذيت بحبوب لقاح الذرة المحولة وراثيًا)، إلاّ أن الضرر الحادث فى أى من الحالتين يجب أن يقارن بالأضرار التى تحدثها المبيدات فى البيئة (عن Llewellyn & Higgins ٢٠٠٢).

وقد قام Birch وآخرون (١٩٩٩) باختبار تأثير تغذية الحشرة النافعة الـ 2-spot ladybird (وهى: *Adalia bipunctata*) على منّ الخوخ *Myzus persicae* الذى يتغذى على نباتات بطاطس محولة وراثيًا بالجين GNA، المتحصل عليه من نبات زهرة الثلج القطبية، والذى يتحكم فى إنتاج لِكتين lectin بروتينى مضاد للمنّ. بعد أن سُمح للحشرة النافعة بالتغذية على حشرة منّ الخوخ – المرباة على نباتات البطاطس المحولة وراثيًا – لمدة ١٢ يوم .. لوحظ تدهورًا فى خصوبتها، وفى حيوية بيضها، وفى فترة حياتها خلال فترة الأسبوعين إلى الثلاثة أسابيع التى أعقبت فترة التغذية. وعلى الرغم من عدم ظهور أعراض تسمم حادة على الحشرة النافعة، فإن فترة بقاء إناثها انخفضت بنسبة وصلت إلى ٥١٪. هذا .. وقد اختفت تلك التأثيرات الضارة لتغذية الحشرة النافعة على المنّ المربى على نباتات بطاطس محولة وراثيًا بالجين GNA .. اختفت بعد نقلها لتتغذى على حشرات من منّ البسلة سبقت تربيتها على نباتات فاصوليا غير محولة وراثيًا.

وفى المقابل .. وجد Riddick وآخرون (٢٠٠٠) من دراساتهم على البطاطس المحولة وراثيًا بالجين Cry3A من *Bacillus thuringensis* – بهدف مقاومة خنفساء بطاطس

كلورادو *Leptinotarsa decemlineata* – أن زراعة مساحات كبيرة منها تجاريًا – مع استعمال الحد الأدنى من المبيدات لمكافحة الآفات غير المستهدفة بالتحول الوراثى – لم تكن لها تأثيرات ضارة على عشائر الأعداء الطبيعية بمختلف أنواعها.

أوعازات بتأثيرات سلبية للجين Bt على البيئة

أثار البحث الذى أجراه علماء جامعة كورنل ونشر عام ١٩٩٩ فى دورية Nature أثار جدلاً كبيرًا فى أوساط المهتمين بدراسات الهندسة الوراثية، حيث أعطى لمناهضى الهندسة الوراثية سندًا قويًا لاعتراضاتهم على نشر زراعة الأصناف المحولة وراثيًا. قام العلماء فى تلك الدراسة بنثر حبوب لقاح من نباتات ذرة محولة وراثيًا بالجين Bt على أوراق حشيشة اللبن فى المختبر وتقديم ذلك كغذاء ليرقات فراشة الملكة monarch butterfly (وهى فراشة ضخمة ذات ألوان زاهية وتعد من أبرز الفراشات التى تستوطن أمريكا الشمالية)، علمًا بأن يرقات تلك الفراشة لا تتغذى فى الطبيعة إلا على أوراق حشيشة اللبن فقط، وهى الحشيشة التى تنمو بصورة طبيعية فى مختلف الحقول الزراعية، ومن ثم تصلها حبوب لقاح ذرة تحتوى على الـ Cry protein. أوضحت الدراسة أن اليرقات التى تغذت على أوراق حشيشة اللبن التى نثر عليها حبوب لقاح من ذرة تحتوى على الجين Bt لم تنمو جيدًا كتلك التى تغذت على أوراق الكنترول

ونظرًا لخطورة الأمر – على الأقل بالنسبة لمواطنى أمريكا الشمالية الذين يعشقون تلك الفراشة – فقد قامت ست فرق بحثية بمتابعة الموضوع ونشرت فى عام ٢٠٠١ ما توصلت إليه فى تقرير جماعى فى وقائع الجمعية الوطنية للعلوم بالولايات المتحدة Proceedings of the National Academy of Sciences USA وقد خلصت تلك الفرق البحثية فى تقريرها إلى أن البحث الذى نشر عن الآثار السلبية للـ Cry protein على فراشة الملكة لا يمكن اعتباره أكثر من تقرير أولى، حيث تعرضت طريقة دراسة الموضوع للنقد، وكان الاستنتاج النهائى للتقرير قلة الخطر على عشائر فراشة الملكة من أصناف الذرة الـ Bt المزروعة حاليًا (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

جوانب إيجابية للجين Bt غير مكافحة الحشرات

خفض الإصابة ببعض الأعفان

أوضحت دراسات Catch وآخرون (٢٠٠٢) أن تأثير الجين Bt – فى أصناف الذرة المحولة وراثيًا – على الإصابة بأعفان الساق كان متباينًا، حيث خفّض الإصابة بالمرض فى بعض السنوات، ولم يكن له ذات التأثير فى سنوات أخرى. وتجدر الإشارة إلى أن الإصابة بعفن الساق فى الذرة الذى يسببه عدد من الفطريات (منها: *Gibberella zeae*، و *Colletotrichum graminicola*، و *Fusarium verticilloides*) تحدث من خلال الجروح وحالة الشدّ الفسيولوجى التى تحدثها الإصابة بحفار ساق الذرة الأوروبى *Ostrinia nubilalis*.

وفى المقابل .. لم يجد Donegan وآخرون (١٩٩٦) أى تأثيرات للجين Bt فى البطاطس على أعداد العشائر الميكروبية، أو تنوع الأنواع الفطرية، أو مستويات الفطريات الممرضة من أمثال *Pythium* spp.، و *Fusarium* spp.، و *Verticillium dahliae*، حيث تماثل التنوع البيولوجى الدقيق فى كل من حقول البطاطس المحولة وراثيًا بالجين Bt والحقول المعاملة بالمبيدات الحشرية الجهازية.

مزايا صحية محتملة للجين Bt

على خلاف ما أثير بشأن الأضرار الصحية والبيئية المحتملة للجين الـ Bt، فإن هناك من نادى بوجود مزايا صحية مؤكدة لهذا الجين فى بعض المحاصيل الغذائية، فقد أوضحت دراسات Schaafsma وآخرون (٢٠٠٢) أن نباتات الذرة المحولة وراثيًا بالجين Bt تقل فيها أخطار تواجد تركيزات عالية من الأفلاتوكسن: deoxynivalenol بالحبوب عند الحصاد، وخاصة فى المواسم التى تشتد فيها الإصابة بحفار ساق الذرة الأوروبى *Ostrinia nubilalis*، حيث تحدث الجروح بكثرة، وهى التى يمكن أن ينفذ منها الفطر *Fusarium graminearum* المسئول عن تكوين هذا الأفلاتوكسن وغيره. ولقد تبين من دراسات عديدة سابقة وجود علاقة قوية بين أعفان كيزان الذرة والإصابة بعدد من حشرات حرشفية الأجنحة.

وتعد هذه الدراسة امتدادًا لدراسات أخرى سابقة (عن Schaafsma وآخرين ٢٠٠٢) كان قد تبين منها أن مكافحة الحشرات القارضة بالمبيدات يقلل من الإصابة بأعفان الكيزان المسئولة عن تكوين عدد من الأفلاتوكسينات، والتى منها - إلى جانب الـ deoxynivalenol - الـ fumonisin، وأن حبوب هجن الذرة المقاومة لحفار ساق الذرة الأوروبى بالجين Bt أقل احتواء على الأفلاتوكسن الأخير

التخوف من أخطار محتملة لجينات المقاومة للأمراض الفطرية والبكتيرية

دُرِسَ تأثير زراعة البطاطس المحولة وراثيًا بجين البكتيروفاج T4 lysozyme - الذى يكسبها صفة المقاومة للبكتيريا *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* دُرِسَ تأثير زراعتها على كائنات التربة الدقيقة، بسبب إطلاقها للـ T4 lysozyme فى محيط الجذور، وهو الأمر الذى تحقق بالفعل - على الأقل - بالنسبة للبكتيريا *Bacillus subtilis* التى كانت متواجدة على الشعيرات الجذرية للنباتات المحولة وراثيًا والتى تأثرت سلبيًا، مقارنة بالحال فى النباتات التى لم تحول وراثيًا (Ahrenholtz وآخرون ٢٠٠٠)

التخوف من احتواء النباتات المحولة وراثيًا على بروتينات يمكن أن تسبب الحساسية للإنسان

بينما يمكن أن تؤدى التحولات الوراثية إلى إنتاج نباتات تحتوى على بروتينات يمكن أن تسبب حساسية للإنسان (كما حدث عندما عدلت فول الصويا وراثيًا بجين بروتين الكاجو الغنى بالحامض الأمينى الضرورى مثيونين، والذى جعل فول الصويا من الأغذية المسببة للحساسية لدى بعض الأفراد الحساسين للكاجو، مما أدى إلى وقف هذا البرنامج حال اكتشاف تلك الحالات). بينما يمكن أن يحدث ذلك. فإن الهندسة الوراثية ذاتها يمكن أن تستخدم فى وقف نشاط الجينات المسئولة عن إنتاج البروتينات التى تسبب الحساسية فى بعض النباتات مثل الفول السودانى، والنقل مثل الجوز والكاجو (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

الاعتراض على تقنية إنهاء حياة البذور

لجأت بعض شركات البذور إلى توفير الحماية لأصنافها الجديدة بآلية تعتمد على الهندسة الوراثية، وذلك بالاستعانة بما يعرف باسم "تقنية الإنهاء" terminator technology، وهى تقنية تجعل من المستحيل على أى مزارع إكثار بذور الأصناف الجديدة بنفسه، حيث تكون جميع البذور التى ينتجها المزارع لديه غير قادرة على الإنبات، وهى التقنية التى أطلق عليها الدكتور أحمد مستجير اسم تقنية "البذور الشيطانية".

تعتمد هذه التقنية على خاصية اعتماد الجنين فى نموه وتطوره على جينات خاصة، مثله فى ذلك مثل أى جزء نباتى آخر، وبذا .. فإنه يمكن وقف نمو الجنين فى أى مرحلة من تطوره بالتحكم فى الجينات المسئولة عن تطوره. تقود تلك العملية - تلقائيًا - إلى موت الجنين داخل البذرة دون التأثير على التكوين الطبيعى للبذرة أو على قيمتها الغذائية. ويعنى ذلك أن المزارع الذى يشترى التقاوى من شركات البذور يمكنه - مثلاً - إنتاج محصول جيد من الحبوب، لكنه لا يستطيع استعمال جزء من هذا المحصول فى زراعات تالية لأن أجنة البذور التى ينتجها تكون ميتة ولا يمكنها الإنبات.

ولأجل الاستمرار فى إنتاج بذور هذه الأصناف بمعرفة شركات البذور فإن على المربى أن يحتفظ بنباتات منها لا تحتوى على جين الإنهاء terminator gene، وهى التى تستخدم فى إنتاج بذور الهجن التى تستخدم فى الزراعة.

لقد طورت تقنية نظام الحماية technology protection بواسطة كل من وزارة الزراعة الأمريكية وشركة Delta & Pine Land Company، وهى تقنية أطلق عليها - كذلك - اسم الجين الناهى (أى واضع النهاية) terminator gene. وفى تلك التقنية تعدل الآباء وراثيًا لكلى تحتوى على جين يقوم بقتل البذور بعد انتهاء تكوينها فى جيل الإنتاج المحصولى، بما يفيد فى حماية الشركات المنتجة للأصناف الجديدة من الإكثار غير القانونى لبذورها.

ويتطلب ذلك النظام توفر عدة مكونات، كما يلى:

١ – جين DNA recombinase، وهو خاص بإنزيم التعرف على قطعة معينة من الدنا، وفصلها، ثم إعادة لصق الأطراف المقطوعة.

٢ – بروتين مثبط يمكنه وقف نشاط إنزيم الـ recombinase.

٣ – جين promoter يسمح لجين مجاور لأن يعبر عن ذاته فى مرحلة متأخرة من عملية تكوين البذرة.

٤ – قطعة من الدنا العائق blocking DNA التى يتعرف عليها جين الـ recombinase.

٥ – جين مسئول عن تمثيل مركب يؤدى – عند التعبير عنه – إلى قتل الخلية (lethal gene).

تولج قطعة الدنا العائق بين الجين الـ promoter والجين الميت lethal gene، مما يمنع الأخير من التعبير عن ذاته.

عند نقل تلك المكونات إلى نبات ما بطرق الهندسة الوراثية، فإن كلا من الـ recombinase والـ inhibitor يتم التعبير عنهما، بما يعنى أنه لا شئ يحدث، وتبقى البذور المنتجة حية. ولتفعيل النظام، تعامل البذور بمركب يمنع إنتاج البروتين المثبط، مما يؤدى إلى إطلاق الـ recombinase حرًّا لكى يفصل الدنا المانع، ويوصل الـ promoter – مباشرة – بالجين الميت. ومع ذلك فلا شئ يحدث على التو لأن الـ promoter لا ينشط إلاّ فى المراحل المتأخرة من عملية تكوين البذور

يمكن للبذور المعاملة أن تنبت بصورة طبيعية وتنمو حتى اكتمال التكوين والنضج، لتكوِّن جيلاً جديدًا من البذور. وهنا فقط – بعد اكتمال تكوين البذور – يبدأ الـ promoter فى النشاط، ليعبر الجين الميت عن ذاته، مما يفقد تلك البذور حيويتها (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

وتفصيلاً لما أسلفنا إجماله، فإن تقنية إنهاء حياة البذور تعتمد على المبنات التالية:

١ – جين قاتل lethal gene (أو الـ terminator)

الجين القاتل هو أى جين يمكنه إنتاج بروتين سام للنباتات ولا يسمح للبذور

بالإنبات. يشفر الجين السام لبروتين مثبط للريبوسومات ribosome inhibiting protein (اختصارًا: RIP). يتعارض الجين الذى يشفر للـ RIP مع تمثيل كل البروتينات فى الخلية النباتية دون أن يكون سامًا للكائنات الأخرى وعليه .. فإن التعبير عن جين الـ RIP فى خلايا الجنين يؤدى إلى منع إنبات البذور الحاملة له.

٢ – جين promoter:

يوْصّل الجين القاتل بجين منشط promoter خاص، يَنْشَط فقط فى المراحل المتأخرة من تكوين البذرة، وهو – بذلك – يعد مثاليًا إذا ما رُغب فى التعبير عن الصفة فى الجيل الثانى لتلك البذور؛ فهو لا ينشط إلا بعد إكمال الجيل الأول لنموه الخضرى.

٣ – جين الـ Recombinase:

يشفر هذا الجين لتمثيل إنزيم يعرف باسم recombinase، وهو ينشط أثناء إنبات بذور الجيل الأول الحاملة لجين إنهاء الحياة لضمان إنباتها.

٤ – جين كابح repressible gene:

يُنتج هذا الجين ما يعرف بالبروتين الكابح repressor protein الذى يكبح منشط جين الـ recombinase، وهذا البروتين يفقد نشاطه عندما يرتبط مع التتراسيكلين.

بعد نضج البذور التى سوف يشتريها المزارعين – وهى التى تكون طبيعية تمامًا – تتم معاملتها بالتتراسيكلين قبل عرضها للبيع. وفى هذه البذور المعاملة يتوقف نشاط البروتين الكابح، وينشط جين الـ recombinase، الذى يعمل سريعًا على إزالة معوقات نشاط الجين الأول، الذى لا يظهر تأثيره إلا بعد استكمال تلك النباتات لنموها واقتراب بذورها من الوصول إلى مرحلة اكتمال النضج.

هذا .. ويمكن استخدام تلك التقنية – لحماية مصالح شركات البذور – فى كل من الهجن والأصناف الصادقة التربية على حد سواء. وفى حالة الهجن يمكن أن يحتوى أحد الأبوين على الجينين الأول والثالث، بينما يحتوى الأب الآخر على الجين الثانى (عن Chawla ٢٠٠٠)

تفنيد الاعتراضات على الهندسة الوراثية

على الرغم من الاعتراضات الكثيرة التى أثارها غير المتخصصين وكثير من الباحثين ضد المحاصيل المحولة وراثيًا واستعمالها فى غذاء الإنسان، فإن تلك الاعتراضات ليس لها – فى أغلب الأحيان – ما يبررها.

وقد قام Chrispeels & Sadava (٢٠٠٣) باستعراض تلك الاعتراضات وتفنيدها، كما يلى:

١ – إن القول أن النباتات المحولة وراثيًا تحتوى على دنا غريب عن الهيئة الكروموسومية للنوع النباتى المحول لا يحمل معه أية مخاطر على صحة الإنسان؛ فالإنسان يستعمل فى غذائه العادى أكثر من ١٠٠٠٠٠ جين تهضم جميعها لدى تناولها ضمن غذائه، ولا يوجد أى دليل على عدم قدرة الإنسان على هضم أى دنا جديد.

٢ – إن القول بأن البروتين الذى تنتجه النباتات المحولة وراثيًا – والذى يتحكم فى إنتاجه الجينات المنقولة إليه – قد يكون ضارا بصحة الإنسان أمر وارد ولكن هذا الأمر يجب أن ينظر إليه من عده وجوه، كما يلى.

أ – إن التطور الطبيعى لمحاصيلنا الزراعية حدث على مدى عشرات الآلاف من السنين انتقلت خلالها آلاف مؤلفة من الجينات بين مختلف الأنواع النباتية إلى أن تطورت محاصيلنا الزراعية كما نعرفها الآن.

ب – إن تربية وتحسين النباتات بالطرق الكلاسيكية تضمنت نقل مئات – وربما آلاف – الجينات من الأنواع البرية إلى المحاصيل الزراعية

جـ – إن تلك البروتينات الجديدة على المحصول المحول وراثيًا توجد بالفعل فى محاصيل أخرى زراعية يستعملها الإنسان فى غذائه، ولكنه يعرف كيف يتعامل معها، مثل الجين المسئول عن إنتاج البروتين المثبط: إنزيم الألفا أميليز الموجود فى بذور الفاصوليا – والذى يثبط تطور خنافس البذور بوقف نشاط إنزيم الألفا أميليز بها – كما يُثبِّط – كذلك – الإنزيم ذاته فى الإنسان، ولكننا نعرف كيف نتعامل معه بصهى الفاصوليا جيدا قبل استهلاكها وهذا ما يجب فعله مع بذور أى محصول بقولى ينقل إليه هذا الجين

د - تخضع جميع الأصناف الجديدة المهندسة وراثيًا لاختبارات عديدة للتأكد من خلوها من أى من المركبات التى قد تسبب تسممًا للإنسان أو حساسية له، وتجرى تلك الاختبارات لكل حالة على حدة.

هـ - إن نقل جين واحد معلوم التأثير إلى أحد الأنواع التقليدية قد يكون أقل خطورة من نقل مثل هذا الجين بطرق التربية التقليدية، والتى تتضمن إجراء تلقيحات بين الأنواع المعنية تنتقل خلالها عديدًا من الجينات الأخرى - غير الجين المطلوب - والتى قد لا تعرف تأثيراتها.

٣ - الاعتبارات الأخلاقية:

يقول معارضوا الهندسة الوراثية أن مجرد نقل الجينات من كائنات حية مختلفة - نباتية كانت، أم حيوانية - يعد أمرًا غير أخلاقى، إلا أن تلك المقولة تتجاهل حقيقة أن الإنسان كان ولا يزال له تأثير كبير على تطور عديد من الأنواع بطرق التربية التقليدية.

٤ - المخاطر البيئية:

يقول المعارضون للهندسة الوراثية أنها تحمل فى طياتها مخاطر بيئية غير منظورة، ولكن تلك المخاطر ليست بأكثر من المخاطر غير المنظورة - والمخاطر التى حدثت بالفعل - من جراء نقل الكائنات الحية بين الدول والقارات، والتى أمكن التغلب عليها باستعمال الأعداء الحيوية لإعادة التوازن.

وبالنسبة لمشكلة الحشائش التى قد توجدها زراعة نباتات مهندسة وراثيًا فقد سبقت مناقشتها فى موضع آخر.

٥ - عدم الثقة فى المؤسسات الكبيرة المهتمة بالهندسة الوراثية:

تأتى عدم الثقة فى القول بأن تلك المؤسسات تبغى الربح على حساب صحة الإنسان ورفاهيته، ويضرب المناهضون للهندسة الوراثية المثل على ذلك بإنتاج الأصناف المتحملة لمبيدات حشائش معينة بهدف تحقيق الشركات لأرباح طائلة من وراء بيع بذور

الأصناف الجديدة والمبيدات معًا .. ومن ثم يزيد استهلاك المبيدات ويزداد تلوث البيئة، وتلك أمور واردة .. إلاّ أن المبيدات التى تحول النباتات وراثيًّا لأجل تحملها يتم اختيارها من بين أسرع المبيدات تحللاً وأقلها خطرًا على البيئة، كما أن المؤسسات ذاتها تنتج أصنافًا أخرى مقاومة للأمراض والحشرات، بهدف تجنب استعمال المبيدات الفطرية والبكتيرية والحشرية. ويمكن القول إجمالاً بأن المؤسسات الكبيرة المهتمة بالهندسة الوراثية ليست أكثر جشعًا عن المؤسسات الأخرى

٦ - اعتبارات التواصل sustainability considerations

بالاعتماد على المحاصيل المحولة وراثيًّا - يقول المعارضون للهندسة الوراثية أن ذلك يبعدنا أكثر وأكثر عن الزراعة المتواصلة التى يقل فيها الاعتماد على المبيدات والعودة إلى الطبيعة، إلاّ أن تلك السيارات لا تتحدد بوساطة الهندسة الوراثية بقدر ما تحددها الحكومات والنظم المعمول بها (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

وعلى خلاف المعترضين على الهندسة الوراثية، فإن هناك من نادى بأنها تعمل على تأصيل مبدأ الزراعة المتكاملة، وهى الزراعة التى تكون قويمة بيئيًّا، وقابلة للتطبيق اقتصاديًّا، وعادلة اجتماعيًّا، وإنسانية تطبيقيًّا ولنأخذ مثالاً على ذلك محصول الطماطم وهو محصول يتطلب استثمارًا مكثفًا فى إنتاجه، إلاّ أن الهندسة الوراثية تتيح لنا فرصة للعودة إلى الطبيعة فى إنتاج ذلك المحصول، ذلك لأن استخدام الأصناف المحولة وراثيًّا لمقاومة الأمراض والحشرات سوف تقلل من الاعتماد على استعمال المبيدات فى مكافحتها، وتلك التى حولت وراثيًّا لأجل تأخير فقد الثمار لصلابتها سوف تقلل من تكلفة النقل والتخزين، كما أن زراعة الأصناف المتحملة لمبيدات الحشائش يمكن أن يؤدى - وعلى خلاف الاعتقاد الشائع - إلى تقليل الاعتماد على مبيدات الحشائش (Hauptli وآخرون ١٩٩٠).

وتجنبًا للتكرار . فإننا لم نُعِد سرد الجهود التى بذلت، وأسفرت عن دحض العديد من الانتقادات التى وجهت للهندسة الوراثية كما جاءت فيما سبق بيانه فى هذا الفصل.

لقد أدت المعارضة التى لقيتها الهندسة الوراثية إلى بطء تقدم انتشار زراعة الأصناف المعدلة وراثيًا فى مختلف دول العالم، وخاصة فى أوروبا. وحتى فى الولايات المتحدة الأمريكية التى لا تلقى فيها زراعة تلك الأصناف معارضة قوية، فإن الحملة ضد استهلاك الأغذية التى تدخل ضمن مكوناتها محاصيل معدلة وراثيًا حدَّ بصورة معنوية من صادرات الولايات المتحدة من تلك الأغذية؛ ومن ثم كان لذلك بعض التأثير السلبى على زراعتها فى داخل الولايات المتحدة أيضًا. ويعتقد الكثيرون أن وقف تدفق الصادرات الأمريكية الزراعية إلى الدول الأوروبية كان من أهم الأسباب الخفية وراء الحملة الأوروبية ضد المحاصيل المعدلة وراثيًا، خاصة وأن أوروبا - على الرغم من تقدمها التكنولوجى الهائل - مازالت تلهث وراء الولايات المتحدة فى معظم مجالات بحوث الهندسة الوراثية.

أما الدعم الذى تلقاه الجماعات المناهضة للهندسة الوراثية من جمعيات منتجى الزراعات العضوية فإن نتيجته الحتمية هو زيادة اتجاه المستهلك نحو المنتجات العضوية، وهو الذى يجد نفسه - مع التوسع فى زراعة الأصناف المعدلة وراثيًا على حساب الأصناف التقليدية - أمام أحد خيارين: إما استهلاك الغذاء المعدل وراثيًا، وإما استهلاك المنتجات العضوية، ومع استمرار حملات التشكيك فى مدى أمان الأغذية المحولة وراثيًا يزداد الإقبال على استهلاك المنتجات العضوية، ولاشك أن ذلك سبب رئيسى للدعم القوى الذى تلقاه الجماعات المناهضة للهندسة الوراثية من جمعيات منتجى الزراعات العضوية، خاصة وأن حملات التشكيك التى تقودها تلك الجماعات تبنى على أسلوب الإثارة التى تفتقد - فى أغلب الأحيان - إلى أى سند علمى أو واقعى.

والغريب فى الأمر أن الأرز الذهبى - الغنى بالكاروتين - والذى يعد مثالاً متكاملاً للتطبيقات المثلى للهندسة الوراثية - قد لاقى هو الآخر اعتراضات كثيرة من قِبَل الجماعات المناهضة للهندسة الوراثية، مثل Greenpeace.

وقد لخص المسئول الأول عن إنتاج هذا الأرز - الباحث Ingo Potrykus - مزاياه فيما يلى،

١ - يستفيد منه بصفة أساسية الفقراء وغير القادرين.

٢ - يعطى لصغار المزارعين مجانًا ودونما أية قيود على زراعته

٣ - يمكن إعادة زراعته سنويًا بالاعتماد على البذور المتبقية من الموسم السابق

٤ - لا يشكل أى مزايا خاصة لكبار المزارعين الأغنياء على حساب صغار المزارعين.

٥ - لم يُنتج عن طريق شركات التكنولوجيا الحيوية أو لأجلها، ولا تستفيد تلك الشركات منه ماديًا

٦ - يُعد علاجًا مجانيًا دائمًا لنقص فيتامين أ، ولا يحتاج إلى أى موارد أخرى لأجل استخلاص الفيتامين منه، أو تصنيعه، أو توزيعه.

٧ - يتجنب كل الآثار الجانبية السلبية التى واكبت الثورة الخضراء.

٨ - يمكن زراعته دونما حاجة لأية موارد إضافية.

٩ - لا يقلل من التنوع البيولوجى الزراعى.

١٠ - لا يؤثر فى التنوع البيولوجى الطبيعى.

١١ - لا توجد له أى تأثيرات بيئية سلبية يمكن تخيلها.

١٢ - لا توجد له أى أخطار صحية على المستهلكين يمكن التفكير فيها.

١٣ - كان من المستحيل تطويره بطرق التربية التقليدية.

وعلى الرغم من كل ما تقدم بيانه من مزايا للأرز الذهبى، فقد تم الاعتراض عليه بقوة كما أسلفنا. وقد قيل فى تبرير ذلك أنه لا يوفر سوى ٢٠٪ من حاجة الإنسان اليومية من فيتامين أ، بينما سيؤدى الاعتماد عليه إلى ضعف الاهتمام بالأغذية الأخرى الغنية بهذا الفيتامين، وهو اعتراض لا يمكن الدفاع عنه إذا إنه يُسلَّم - ابتداءً - بأن مجرد الاستهلاك الآدمى العادى من هذا الأرز يوفر له ٢٠٪ من احتياجاته اليومية من فيتامين أ.

ويبدو أن السبب الرئيسى لاعتراض المعترضون على الأرز الذهبى هو أنه سيكون بمثابة حصان طروادة للمحاصيل الأخرى المعدلة وراثيًا، بمعنى أنه إذا ما كان هذا الأرز

المعدل وراثيًا مقبولاً، فإن ذلك سيفتح الباب أمام زراعة المحاصيل الأخرى المحولة وراثيًا (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

الاختبارات التى تجرى على الأصناف المحولة وراثيًا قبل إطلاق زراعتها

إن إنتاج صنف جديد محول وراثيًا لا ينتهى بمجرد عزل الجين المرغوب فيه وإيجاد وسيلة لإيلاجه فى جينوم المحصول المطلوب تحويله وراثيًا، ذلك لأنه ما أن يتحقق ذلك إلاّ ويلزم مرور الصنف الجديد بكل الأمور المتعلقة باختبارات تسجيله، كما هى الحال مع أى صنف آخر ينتج بطرق التربية التقليدية، كما يتعين قبول هذا الصنف من جانب المزارعين ومُصَنِّعى المحصول، ثم يتعين بعد ذلك خضوع الصنف الجديد لعمليات الإكثار التى تكفى للتوسع فى زراعته على نطاق تجارى.

وتصمم الاختبارات الحقلية التى تجرى على النباتات المحولة وراثيًا لكى تجيب على عديد من الأسئلة، منها ما يلى:

١ – هل يكون للجين المنقول أى تأثير على كائنات أخرى؟.

٢ – فى حالة نقل الجينات المتحكمة فى إنتاج البروتينات السامة للحشرات .. هل يكون لها أى تأثير على أنواع حشرية ليست معنية بهذا التحول (كالحشرات النافعة مثلاً). وهل يكون لها أى متبقيات تتخلف فى التربة بعد حصاد المحصول المحول وراثيًا؟ وإذا كان الأمر كذلك .. فهل يكون لها أى تأثير على الكائنات الدقيقة بالتربة.

٣ – هل يؤثر الجين المنقول على بقاء النبات فى البيئة الزراعية أو على زيادة قدرته على المنافسة إلى درجة إمكان غزوة للبيئة الطبيعية على حساب الأنواع الأخرى المتواجدة طبيعيًا؟ بمعنى آخر هل يمكن أن تصبح النباتات المحولة وراثيًا حشيشة غير مرغوب فيها؟.

٤ – ما هى احتمالات انتقال الجين من النبات المحول وراثيًا إلى العشائر الطبيعية، وما هى النتائج التى يمكن أن تترتب على ذلك؟ .. أى هل يمكن أن تنتقل جينات مثل المقاومة للحشرات وتحمل مبيدات الحشائش إلى الأنواع الأخرى القريبة (سواء أكانت

مزروعة أم برية) بالتلقيح الخلطي؟، علمًا بأن ذلك أمر ممكن، ولكن ما هي احتمالات بقاء تلك الأنسال التي تنتج من التلقيح الخلطي بين النباتات المحولة وراثيًا والأنواع القريبة منها وراثيًا ومكانيًا؟ إن الإجابة على ذلك تعتمد على مدى خصوبة تلك الأنسال (الهجن)، ومدى توفر الظروف التي تجعل التكاثر والانتخاب لتلك النباتات أكثر من غيرها، كتواجد الحشرات أو مبيدات الحشائش التي تقاومها، أو الظروف البيئية القاسية التي تتحملها أكثر من قدرة العشائر الطبيعية على تحملها (عن Dale & Irwin ١٩٩٥).

ويتباين كثيرًا الجهد المبذول في الاختبارات الحقلية الموسعة باختلاف المحصول، حيث يتوقف على أمرين رئيسيين، هما: مدى سهولة إجراء عمليات التحول الوراثي في المحصول، ومدى أهميته من الوجهة الزراعية. وعلى سبيل المثال .. تُعد الطماطم والبطاطس من أسهل المحاصيل في عمليات التحول الوراثي، بينما تعد الذرة وفول الصويا من أصعبها، إلاّ أن الأهمية الاقتصادية العالية جدًا للذرة تجعله يتقدم اهتمامات المشتغلين بالهندسة الوراثية.

وفي حصر للاختبارات الحقلية التي أجريت في الولايات المتحدة على مختلف المحاصيل المحولة وراثيًا خلال الفترة من ١٩٨٧ إلى ٢٠٠١، تبيّن ما يلي (عن Grumet ٢٠٠٢).

المحصول	عدد الاختبارات	المحصول	عدد الاختبارات
الذرة	٣٢٥٣	البطاطس	٦٩٥
فول الصويا	٥٧١	الطماطم	٥٠٤
القطن	٤٩١	القمح	٢١٢
التبغ	١٨٩	لفت الزيت	١٦٢
القاوون	١٣٠	بنجر السكر	١٢٦
الأرز	١٢٥	البرسيم الحجازي	١٠٢
الـ bentgrass	٩٧	الخس	٦٩
الكوسة	٦٠	الحور	٥٦
الفراولة	٤٠	العنب	٣٢
قصب السكر	٣١	دوار الشمس	٣٠

المحصول	عدد الاختبارات	المحصول	عدد الاختبارات
التفاح	٢٨	الشعير	٢٨
الخيار	٢٤	البسلة	٢٢
الفول السودانى	٢٠	*Brassica oleracea*	١٨
حشيشة كنتكى الزرقاء	١٨	الصنوبر	١٥
Sweet gum	١٤	الجزر	١٣
البيتونيا	١٣	الباباظ	١٣
الجوز	١٢	البطيخ	٩
الراسبرى	٩	البطاطا	٨
الباذنجان	٧	*Festuca arundinacea*	٧
bella dona	٦	الجريب فروت	٥
الكمثرى	٥	الغُرنوقى (البلارجونيم)	٥
حشيشة برمودا	٥	البصل	٤
البرسيمون	٤	الرودندرون	٣
البرقوق	٣	البن	٣
الأقحوان	٢	الجلاديولس	٢
الراى	٢	حشيشة سانت أوجستين	٢
الأناناس	١	البيسية spruce	١
النعناع	١	الشوفان	١
الكاسافا	١	الشيكوريا	١
الكرانبرى	١		

ولعل من أبرز مساوئ إنتاج الأصناف بطرق الهندسة الوراثية ضرورة خضوع تلك الأصناف لمئات التجارب وآلاف التحاليل التى تجرى لإثبات عدم اختلافها فى قيمتها الغذائية والطبية عن الأصناف المتداولة من نفس النوع المحصولى، وعدم وجود أى أضرار لها على الإنسان أو الحيوان أو البيئة. ومن الواضح أن هذا الكم الهائل من الدراسات لا يمكن أن تقوم به سوى الشركات الكبيرة؛ مما يترك الشركات الصغيرة ومؤسسات البحث الجامعية والحكومية غير قادرة – ماديًا – على الإسهام بجهدها العلمى فى إنتاج أصناف جديدة معدلة وراثيًا.

الانتشار الواسع لتطبيقات الهندسة الوراثية على أرض الواقع

لن أعيد هنا شرح المزايا التى تُجنى من تطبيقات الهندسة الوراثية فى مجالات التحسين الوراثى للنباتات، وتحقيق الأمن الغذائى للبشرية، فتلك أمور تناولناها بالتفصيل فى عديد من فصول سابقة من هذا الكتاب، وسنكتفى فى هذا المقام بمجرد إعادة التذكرة بهذا الموضوع، لكى يمكن الإحاطة بكل جوانبه، أما اهتمامنا الرئيسى الآن فإنه ينصبُّ على مدى الانتشار الذى حققته تطبيقات الهندسة الوراثية على أرض الواقع فى كافة المجالات، ففى ذلك إجابة على الأسئلة المستترة التى جاءت ضمن عنوان هذا الفصل هل التقدم فى تطبيقات الهندسة الوراثية حقيقة أم خيال؟ وهل هى مقبولة على أرض الواقع أم مرفوضة ؟

استعراض لأبرز إنجازات الهندسة الوراثية فى شتى المجالات

حصر موجز بالتقدمات

حققت الهندسة الوراثية تقدمًا ملموسًا فى المجالات التالية:

١ – تحسين المقاومة للأمراض والآفات وتسهيل مكافحة الحشائش:

- تحمل مبيدات الحشائش.
- مقاومة الفيروسات.
- مقاومة البكتيريا.
- مقاومة الفطريات
- مقاومة الحشائش.

٢ – تحمل الظروف البيئية القاسية:

- تقليل الحساسية للبرودة.
- تحمل الشد الرطوبى.
- تحمل الملوحة.

٣ – تحسين الجودة والنوعية بعد الحصاد:

- تأخير فقد الثمار لصلابتها.

- تأخير شيخوخة أزهار القطف.
- زيادة محتوى ثمار الطماطم من المواد الصلبة.
- زيادة محتوى درنات البطاطس من النشا.
- زيادة نسبة السكر بالخضروات.

٤ – تحسين إجراءات تربية النبات:

العقم الذكرى وإنتاج بذور الهجن.

٥ – تحسين القيمة الغذائية:

- زيادة محتوى البذور من الحامضين الأمينيين الضروريين مثيونين methionine وليسين lysine.
- إنتاج نباتات مراعى غنية فى الأحماض الأمينية الكبريتية.

٦ – الزراعة الجزيئية molecular farming بهدف إنتاج:

- الزيوت.
- النشا.
- البلاستيك.
- الإنزيمات.
- المركبات الدوائية.

٧ – إصلاح الأراضى الملوثة بالسموم detoxifying contaminated soils (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

تحسين الدخل والحالة الغذائية فى الدول النامية

إن من أبرز إنجازات الهندسة الوراثية فى مجال تحسين الدخل والحالة الغذائية فى الدول النامية، ما يلى:

١ – إنتاج بطاطا مقاومة لفيرس تبرقش البطاطا الريشى sweet potato feathery mottle virus، علمًا بأن البطاطا تعد المحصول الخامس فى الأهمية – من حيث الإنتاج – على مستوى العالم (بعد كل من القمح، والأرز، والذرة، والكاسافا)، وأن الفيرس

المعنى هو من أخطر فيروسات البطاطا فى المناطق الاستوائية. وقد تحققت المقاومة للفيرس بنقل جين الغلاف البروتينى للفيرس إلى البطاطا (عن Zeigler ٢٠٠١).

٢ - إنتاج الأرز الذهبى الغنى فى الكاروتين:

سبق لنا تناول هذا الموضوع بالشرح تحت عنوان آخر فى هذا الفصل، وما يعنينا هنا هو التأكيد على الأهمية الغذائية للأرز بالنسبة لبلايين البشر، وكيف أن هذا الأمر - وحده - يمكن أن يُسهم بصورة جوهرية فى تحسين المستوى الغذائى لمستهلكى الأرز.

لقد أنتج الأرز الذهبى فى مؤسسات أهلية لا تتبع أى من الشركات، وبدعم مالى عام لكى يمكن تزويد المزارعين به بحرية، دونما تحكم من الشركات التى تقوم - عادة - بإنتاج مثل تلك الأصناف. ولقد وجد بعد استكمال إنتاج السلالات المعدلة وراثيًا أن تطويره تضمن اللجوء إلى طرق وتقنيات تحميها ٧٠ من حقوق الملكية الفكرية intellectual propery rights، وحقوق حماية التقنيات technology protection rights، الأمر الذى حتَّم مفاوضة أصحاب تلك الحقوق للتنازل عنها فيما يتعلق باستخدامها فى إنتاج الأرز الذهبى، وهو ما تحقق بالفعل لأسباب متباينة، منها: إيمان بعض شركات التكنولوجيا الحيوية بالهدف النبيل من وراء فكرة زراعة الأرز الذهبى كغذاء غنى بالكاروتين لبلايين البشر، واعتقاد أكثريتها أن ذلك الأمر سوف يكون له - فيما لو تحقق - تأثيرات إيجابية يمكن أن تخفف من حدة المعارضة للهندسة الوراثية، بينما أدركت بعض الشركات الأخرى أن الوقوف ضد هدف إنتاج الأرز الذهبى سيزيد من نقمة شعوب العالم عليها.

ونظرًا لأن إنتاج سلالات الأرز الذهبى تم فى معامل سويسرية بعيدًا عن مناطق زراعة الأرز التقليدية فى آسيا وأفريقيا؛ لذا .. كان لزامًا تطوير تلك السلالات بكل الطرق الممكنة - بما فى ذلك طرق التربية التقليدية - لكى تتوائم مع الظروف البيئية وطرق الإنتاج ورغبات المستهلكين فى مناطق الإنتاج؛ وهو الهدف الذى يجرى العمل من أجل تحقيقه على قدم وساق، وذلك من خلال المجلس التى تم تشكيله لهذا الغرض، وهو: المجلس الخيِّر للأرز الذهبى Golden Rice Hunanitarian Board (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣)

المكافحة الحيوية

إن من بين التطبيقات الهامة للهندسة الوراثية زيادة كفاءة الكائنات الدقيقة المستخدمة فى المكافحة الحيوية للبكتيريا والفطريات المرضة للنباتات.

إن المكافحة الحيوية للأمراض النباتية تقوم على الأسس التالية:

١ – المقاومة المستحثة induced resistance، والحماية المكتسبة cross protection.

٢ – خفض شدة ضراوة سلالات الكائن المرض hypovirulence

٣ – زيادة شدة التنافس بين الكائنات المستخدمة فى المكافحة الحيوية والكائنات المرضة competition.

٤ – إنتاج مضادات الحيوية (كما يحدث بواسطة بعض أنواع الأكتينوميسيتات والبكتيريا والفطريات) antibiosis.

٥ – التطفل mycoparasitism.

ولقد أمكن الاستفادة من تقنيات الهندسة الوراثية فى جميع تلك الأمور، وفى كل من الأمراض التى تصيب النباتات عن طريق النموات الهوائية، وتلك التى تحدث فيها الإصابة عن طريق النمو الجذرى.

كما أمكن الاستفادة من الهندسة الوراثية – كذلك – فى زيادة كفاءة الميكوريزا (عن Estrella & Chet ١٩٩٨).

إنتاج العقاقير الطبية واللقاحات

لقد نجح استخدام التكنولوجيا الحيوية فى إنتاج الأدوية نجاحًا باهرًا، وذلك بالاعتماد على كائنات مثل *Escherichia coli*، والخمائر، حيث تستعمل حاليًا فى إنتاج الأنسولين البشرى erythropoeitin ومركبات أخرى كثيرة بكميات ضخمة. وتلى ذلك اتجاه الدراسات نحو ما أصبح يعرف باسم biopharming، الذى يُعنى به استعمال تكنولوجيا الهندسة الوراثية فى إنتاج بروتينات آدمية من النباتات أو الحيوانات الزراعية بعد تحويلها وراثيًا، حيث تصبح تلك النباتات والحيوانات مصانع لإنتاج البروتينات البشرية. وحاليًا ينتج ألبيومين سيرم الدم البشرى، والـ factor III (وهو

عامل ضرورى فى استجابة الجسم لإصلاح الأضرار التى تحدث فى الأوعية الدموية) بنتج هذان المركبان فى لبن الماعز المحولة وراثيًا. وهناك مركبات أخرى آدمية كثيرة أمكن إنتاجها فى الحيوانات والنباتات الزراعية (عن Meiri & Altman ١٩٩٨).

ولقد قطعت الهندسة الوراثية شوطًا بعيدًا فى إنتاج العقاقير الطبية والفكسينات (اللقاحات)، وهو أمر - على عكس الحال فى المحاصيل الزراعية المهندسة وراثيًا - لاقى قبولاً كبيرًا من العامة على مختلف توجهاتهم. ويذكر Persley (١٩٩٧) أنه فى عام ١٩٩٥ - بعد سنوات قليلة فقط من تطبيق الهندسة الوراثية عمليًا - كان هناك ٣٤ منتج صيدلانى مهندس وراثيًا ومعتمد من إدارة الغذاء والدواء الأمريكية إلى جانب ٢٨٤ من المنتجات المحتملة الأخرى التى كانت تحت التجارب الطبية فى الولايات المتحدة، كان ٤٠٪ منها لأجل علاج السرطان، ونحو ١٠٪ لعلاج الأيدز AIDS/HIV وتجدر الإشارة إلى أن هذه الأعداد من المنتجات الصيدلانية المهندسة وراثيًا فى ازدياد متسارع إلى درجة حدت ببعض الباحثين إلى التنبؤ بأن المنتجات الصيدلانية المهندسة وراثيًا سوف تشكل - مع بدايات القرن الحادى والعشرين - الغالبية العظمى من المنتجات الصيدلانية الجديدة وينعكس هذا الاتجاه - بدوره - على الميزانيات التى يخصصها القطاع الخاص فى الدول الغربية لأبحاث إنتاج الأدوية المهندسة وراثيًا، والتى بلغت فى الولايات المتحدة وحدها ٨ بلايين دولارًا فى عام ١٩٩٥، بينما بلغت ميزانية بحوث الهندسة الوراثية فى المجال الزراعى بليون دولار أمريكى - فقط - فى العام ذاته

تحويل النباتات إلى مفاعلات بيولوجية

أمكن من خلال تقنيات الهندسة الوراثية استعمال المحاصيل الزراعية فى إنتاج مركبات ذات أهمية تجارية كانت - فيما مضى - لا تنتج إلاّ بواسطة نباتات برية، أو بواسطة حيوانات أو كائنات دقيقة، أو لا تنتج تجاريًا وبذلك أمكن استعمال المحاصيل الزراعية المحولة وراثيًا كمفاعلات بيولوجية bioreactors لأجل الإنتاج الاقتصادى للمركبات الكيميائية والدوائية، وهو ما أصبح يعرف باسم الزراعة الجزيئية molecular farming.

ولقد أمكن الحصول على مجموعة كبيرة من المركبات الكيميائية من النباتات بعد تحويلها وراثيًا بجينات غريبة عنها، وهى مركبات لا تقتصر على البروتينات، وإنما تمتد لتشمل مركبات محورة من خلال التعبير الجينى لإنزيمات معينة. إن النمو النباتى ليس أمرًا مكلفًا، ويمكن للخلية النباتية بالنباتات الراقية توفير منتجات خاصة لا يتيسر إنتاجها عن طريق الكائنات الدقيقة، وتكون المنتجات المستخلصة منها خالية من التلوث البكتيرى. وبذا .. يمكن استعمال بذور النباتات المحولة وراثيًا كمخزن رخيص - يستعمل عند الحاجة - للمركبات المعنية، بزراعتها للحصول على المركبات المرغوب فيها.

ومن بين أهم المركبات التى أمكن إنتاجها فى نباتات حولت وراثيًا، ما يلى:

١ - البيبتيدات النشطة حيويًا bioactive peptides.

٢ - البروتين الإنسانى، مثل الـ human serum albumin (فى البطاطس)، والإنترفيرون الإنسانى human interferons الذى يفيد فى دفاع الجسم ضد الفيروسات (فى اللفت والتبغ).

٣ - الإنزيمات، مثل الألفا أميليز (فى التبغ المحول وراثيًا)، والفيتيز phytase (فى التبغ).

٤ - اللقاحات vaccines، مثل لقاح الالتهاب الكبدى الوبائى B (فى التبغ).

٥ - المنتجات الصناعية، مثل الـ cyclodextrins (فى البطاطس)، والبولى استر الذى يتحلل بيولوجيًا poly-D-(-)-3-hydroxybutyrate (فى *Arabidopsis thaliana*).

٦ - الأجسام المضادة antibodies، مثل الـ immunoglobulins، علمًا بأن الأجسام المضادة التى تنتج فى النباتات المحولة وراثيًا لا يمكن تمييزها عن تلك التى تنتج فى الحيوانات (عن Pueyo & Hiatt ١٩٩٨).

استعراض لنوعيات الجينات التى استخدمت فى عمليات التحول الوراثى فى شتى المحاصيل

نقدم فى جداول (٢٠-٢) إلى (٢٠-٤) استعراضًا لنوعيات الجينات التى استخدمت فى عمليات التحول الوراثى فى شتى الأنواع النباتية مرتبة، كما يلى:

- جدول (٢٠-٢) يقدم قائمة بالجينات مصنفة حسب الهدف من إجراء عملية التحول الوراثى، مع بيان مصادر الجينات المستعملة والبروتينات التى تتحكم فى إنتاجها.

- جدول (٢٠-٣) يقدم قائمة بالجينات كما فى جدول (٢٠-٢)، مضافًا إليها نوعيات الصفات التى تتحكم فيها تلك الجينات.

- جدول (٢٠-٤) يعد مكملاً للجدولين (٢٠-٢)، و (٢٠-٣).

جدول (٢٠-٢): أمثلة لجينات نقلت بطرق الهندسة الوراثية لمحاصيل زراعية متنوعة (عن Dale وآخرين ١٩٩٣، و Dale & Irwin ١٩٩٥).

الصفة النباتية المعدلة وراثيًا	ناتج الجين المستعمل فى التحول الوراثى	مصدر الجين	أمثلة لمحاصيل حولت وراثيًا
المقاومة للحشرات:			
آفات حشرية متنوعة	بروتين Bt القاتل للحشرات	*Bacillus thuringiensis*	القطن – الطماطم – الذرة
آفات حشرية متنوعة	بروتين مثبط للتربسين trypsin	اللوبيا	التبغ
المقاومة للفيروسات:			
فيرس تبقع الباباظ الحلقى	جين الغلاف البروتينى	فيرس تبقع الباباظ الحلقى	الباباظ
فيرس موزايك الخيار	جين الغلاف البروتينى	فيرس موزايك الخيار	الخيار
فيرس موزايك الطماطم	جين الغلاف البروتينى	فيرس موزايك الطماطم	الطماطم
فيرس التفاف أوراق البطاطس	جين الغلاف البروتينى	فيرس التفاف أوراق البطاطس	البطاطس
فيرس إكس البطاطس	جين الغلاف البروتينى	فيرس إكس البطاطس	البطاطس
فيرس واى البطاطس	جين الغلاف البروتينى	فيرس واى البطاطس	البطاطس
المقاومة للفطريات:			
Alternaria longipes	إنزيم الشيتينيز chitinase	*Serratia marcescens*	التبغ
Rhizoctonia solani	إنزيم endochitinase	الفاصوليا	التبغ
Rhizoctonia solani	بروتين مثبط للريبوسوم	الشعير	التبغ
تحمل الشد البيئى:			
تحمل الكادميم	بروتين رابط لـ metallothionein	الفئران	التبغ
تحمل الصقيع	بروتين مضاد للتجمد	نوع السمك *Pseudopleuronectes americans*	الطماطم – التبغ
تحمل البرودة	الإنزيم glycerol-3-phosphate acyltransferase	*Arabidopsis thaliana*	التبغ

تابع جدول (٢٠-٢):

الصفة النباتية المعدلة وراثيًا	ناتج الجين المستعمل فى التحول الوراثى	مصدر الجين	أمثلة لمحاصيل حولت وراثيًا
تحمل مبيدات الحشائش:			
الجلايفوسيت	نظير للإنزيم EPSP synthase	عدة جينات نباتية وميكروبية	فول الصويا – القطن – الكتان
السلفونيل يوريا sulfonylurea	الإنزيم acetolactate synthase	*A. thaliana*	الذرة – لفت الزيت – الكتان
الجلوفوسينيت glufosinate	الإنزيم phosphinothricin acetyltransferase	*Streptomyces hygroscopicus*	لفت الزيت – الكرنب – الطماطم – البرسيم الحجازى – البطاطس – القمح
بروموكسينيل bromoxynil	Bromoxinil-specific nitrilase	*Klebsiella ozaenae*	القطن
الـ ٢، ٤-د 2,4-dichloro phenoxyactic acid	2,4-D mono-oxygenase	*Alcaligenes eutrophus*	القطن – التبغ
صفات الجودة فى الأغذية:			
زيادة القدرة على التخزين	Antisense polygelacturonase	الطماطم	الطماطم
زيادة حامض الاستياريك Stearic	Antisense stearoyl- ACP desaturase	*Brassica rapa*	لفت الزيت
زيادة المانيتول mannitol	Mannitol dehydrogenasen	*Escherichia coli*	التبغ
زيادة المثيونين methionine	بروتين يخزن فى البذور	*Bertholletia excelsa*	فول الصويا – لفت الزيت
تحسين نوعية البروتين	Chicken ovalbumin	الدجاج	البرسيم الحجازى
زيادة محتوى النشا	ADP-glucose pyrophosphorylase	*E. coli*	البطاطس
مُحَسِّن للطعم	Synthesized monellin	ممثل صناعيًا	الطماطم
زيادة حامض اللوريك lauric	Lauroyl-ACP	*Umbellularia californica*	لفت الزيت

تابع جدول (٢٠-٢):

الصفة النباتية المعدلة وراثيًا	ناتج الجين المستعمل فى التحول الوراثى	مصدر الجين	أمثلة لمحاصيل حولت وراثيًا
إنتاج مركبات كيميائية خاصة:			
serum albumin	السيرم الإنسانى	الإنسان	البطاطس
Enkephalins	Leu-enkephalin	جين كيميرى يتكون جزء منه من الإنسان وجزء آخر من *Arabidiopsis thalina*	لفت الزيت
Cyclodextrin	Cyclodextrin glycosyltransferase	*Klebsiella pneumoniae*	البطاطس
بلاستيك يتحلل بيولوجيًا	Polyhydroxybutyrate	*Alcaligenes eutrophus*	*Arabidopsis*
نظم التربية:			
العقم الذكرى	Ribonuclease and ribonuclease inhibitor	*Bacillus amyloliquefaciens*	لفت الزيت
انتشار حبوب اللقاح	إنزيم acetolacetate synthase	*Arabidopsis thaliana*	البطاطس
	إنزيم Phosphinothricin acetyltransferase	*Streptomyces hygroscopicus*	لفت الزيت
لون الأزهار:	Dihydroflavonol 4-reductase	الذرة	البيتونيا
الدارسات الوراثية:			
التعبير الجينى	Chloramphenicol acetyl transferase	*Escherichia coli*	التبغ – لفت الزيت
	Neomycin phasphotransferase	*E. coli*	البطاطس – لفت الزيت
التنظيم الجينى	ADP glucose pyrophosphorylase	*E. coli*	البطاطس – الطماطم
	Sucrose phosphate synthase	الذرة	الطماطم

جدول (٢٠-٣) أمثلة متنوعة لبعض الجينات التى استخدمت فى عمليات التحول الوراثى لبعض المحاصيل الزراعية الهامة (عن Owens ١٩٩٥).

الجين المنقول	الصفة التى يتحكم فيها	المحصول المحول وراثيًا
تحسين النوعية أو المحصول:		
Antisense polygalacturonase	بطء فقد الثمار لصلابتها	الطماطم
Antisense ACC synthase	تأخر نضج الثمار	الطماطم
Antisense ACC oxidase	تأخر نضج الثمار	الطماطم
Antisense stearoyl-ACP desaturase	محتوى عال من حامض الاستياريك stearic (18:0) acid	بذور لفت الزيت
Omega-3 desaturase	محتوى عال من حامض اللينولينك Linolenic (18:3) acid	*Arabidopis*
Monellin	بروتين حلو	الطماطم
Maize sucrose-P synthase	محصول عال من الثمار	الطماطم
Escherichia coli ADP *glucose pyrophosphorylase*	محتوى عال من النشا والوزن الجاف	البطاطس
Ribonuclease	العقم الذكرى	التبغ – لفت الزيت
Dihydroflavenol reductase	لون الأزهار	البيتونيا Petunia
منتجات خاصة.		
Acetoacety-CoA reductase and PHB synthase	إنتاج البلاستيك (polyhyroxybutyrate)	*Arabidopsis*
Cyclodextrin glucosyl transferase	إنتاج الـ cyclodextrin	البطاطس
Human serum albumin	إنتاج الـ serum albumin	البطاطس
Enkephalin pentapeptide	إنتاج الـ Leu-enkephalin endorphin	لفت الزيت
Lauroyl-ACP thioesterase	محتوى عال من حامض اللوريك Laurie (12:0) acid	لفت الزيت
تحمل الظروف البيئية القاسية:		
Mannitol-1-P dehydregenase	تحمل الملوحة	التبغ
Glycerol-3-P acetytransferase	تحمل البرودة	التبغ
Fish antifreeze protein	تحمل التجمد	التبغ – الطماطم
Superoxide dismutase	تحمل التجمد ومبيد حشائش والأوزون	البرسيم الحجازى – التبغ
تحمل مبيدات الحشائش:		
2,4-D monooxygenase	تحمل المبيد 2,4-D	التبغ

تابع جدول (٢٠-٣):

الجين المنقول	الصفة التي يتحكم فيها	المحصول المحول وراثيًا
Bromoxynil-specific nitrilase	تحمل الـ bromoxynil	التبغ
Phosphinothricin acetyl transferase	تحمل الـ gluphosinate	البطاطس – الطماطم
Mutated EPSP synthase	تحمل الـ glyphosate	التبغ
Mutated acetolactate synthase	تحمل الـ sulfonylurea	التبغ
المقاومة لمسببات الأمراض والآفات:		
Specific virus coat protein	المقاومة للفيروسات ذات العلاقة	العديد
Viral replicase	المقاومة للفيروسات ذات العلاقة	التبغ
Viral-specific antisense	المقاومة للفيروسات ذات العلاقة	العديد
Pokeweed ribosome-inhibiting protein	المقاومة لعديد من الفيروسات	التبغ – البطاطس
Bacillus thuringensis (Bt) insecticidal protein	مقاومة يرقات حرشفية الأجنحة	التبغ – الطماطم
Cowpea trypsin inhibitor protein	المقاومة لعديد من الحشرات	التبغ
Isopentenyl transferase (ipt)	المقاومة لعديد من الحشرات	*Nicotiana plumbaginifolia*
Barley ribosome-inhibiting protein	المقاومة للفطر *Rhizoctonia solani*	التبغ
Bean chitinase	المقاومة للفطر *R. solani*	التبغ – لفت الزيت
Bacterial chitinase	المقاومة للفطر *Alternaria longipes*	التبغ
Tobacco osmatin	المقاومة للفطر *Phytophthora infestans*	البطاطس
Bacteriophage lyzozyme	المقاومة للبكتيريا *Erwinia carotovoral* subsp. *atroseptica*	البطاطس
Tomato Pto (a protein kinase)	المقاومة للبكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*	الطماطم
Barley α-thionin	المقاومة للبكتيريا *P. syringae* pv. *syringae*	التبغ
Insect cecropin	المقاومة للبكتيريا *E. carotovora*، و *P. solanaceorum*	البطاطس – التبغ

جدول (٢٠-٤): أهم الجينات ونواتج الجينات التى استخدمت فى عمليات التحول الوراثى فى المحاصيل الاقتصادية الهامة (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢)

الصفة الزراعية	الجين المنقول أو ناتج الجين
المقاومة للحشرات	Bt, CpTi, PIN I, PIN II, αAI, GNA, Mi-I
المقاومة لمبيدات الحشائش	bxn, bar, tfda, aroA, ALS
المقاومة للفيروسات	جينات الغلاف البروتينى، والرنا التابع Satellite RNAs
المقاومة للفطريات	جين الشيتينيز chitinase، وجين الجلوكانيز glucanase، وجين تثبيط بروتينات الريبوسوم (RIP)، وجين مضاد لبروتين الفطريات $RS\text{-}AFP_2$، وجين stilbene synthase، وجينات ميكروبية وأخرى نباتية لكل من الـ osmotin، والـ thionins، والـ lectins، والفيتوألاكسينات phytoalexins، وفوق أكسيد الأيدروجين H_2O_2.
المقاومة للبكتيريا	جين الـ α-thionin من الشعير، وجين البكتيروفاج T4 lysozyme، وجين الـ lysozyme الآدمى.
العقم الذكرى	جينات الـ Barnase والـ barstar، و arg-E، و BCP-I
تحسين القدرة التخزينية	الـ antisense polygalacturonase
نوعية البروتين	جينات الـ phaseolin (من الفاصوليا)، والـ ovalbumin (من الدجاج)، و phytotene synthase الخاص بفيتامين أ
تحمل البرودة	الجين الذى يشفر للـ glycerol-3 phosphate acetyltransferase من الـ *Arabidopsis*
الحماية من الصقيع	جين بروتين مضاد للتجمد antifreeze protein gene من السمك

استعراض للتطبيقات الفعلية للهندسة الوراثية فى الزراعة

نستعرض هنا ما آلت إليه الأوضاع فيما يتعلق بالتطبيقات العملية الفعلية للهندسة الوراثية فى الزراعة، علمًا بأن هذا الأمر آخذ فى التقدم بصورة متسارعة، وأن ما نقدمه من إحصائيات فى هذا المجال ليس أكثر من مؤشر لما كان عليه الحال خلال العقد الماضى (من ١٩٩٦ إلى ٢٠٠٥)، وأن الوضع سوف يختلف قطعًا - بالزيادة - فى المستقبل القريب عما نعرضه الآن.

الأنواع المحصولية التى حولت وراثيًا

إن من أبرز الأمثلة على الأنواع النباتية التى أمكن تحويلها وراثيًا باستخدام مختلف تقنيات التحويل الوراثى، ما يلى (عن Potrykus وآخرين ١٩٩٨):

١ – التحول الوراثى عن طريق الأجروباكيتريم:

البرسيم الحجازى	التفاح	المشمش
الأسبرجس	القرنفل	الجزر
القنبيط	الكرفس	الحمص
الشيكوريا	الأقحوان	القطن
الخيار	الكتان	الجربيرا
العنب	الكيوى	الخس
الكنتالوب	المسترد	لفت الزيت
الباباظ	البسلة	البيكان
البرقوق	الحور	البطاطس
الأرز	فول الصويا	القراولة
بنجر السكر	دوار الشمس	الطماطم
التبغ	الجوز	البطيخ

٢ – التحول الوراثى بطريقة القذف المدفعى الدقيق biolistic method:

الشعير	الفاصوليا	القطن
الذرة	الشوفان	لفت الزيت
الباباظ	الفول السودانى	الحور
الأرز	الراى	السورجم
فول الصويا	قصب السكر	دوار الشمس
التبغ	القمح	

٣ – النقل المباشر للجينات إلى البروبلاست:

القطن	البيتونيا	البطاطس
الأرز	التبغ	القمح

وحتى عام ١٩٩٧ تمكن الباحثون من تحويل ما لايقل عن ١٢٠ نوعًا نباتيًا بجينات غريبة عنها (عن Grumet & Gifford ١٩٩٨).

ونقدم – فيما يلى – أمثلة للمحاصيل التى تم تحويلها وراثيًا مصنفة حسب مجموعة النوع المحصولى (Prog Bot. – المجلد ٦٢ لعام ٢٠٠١ – صفحة ١١٦):

١ – الفاكهة:

التفاح – الموز – الكريز – الكرانبرى – العنب – الكيوى – البرتقال – الباباظ – الكمثرى – البرقوق – الراسبرى

٢ – الخضر:

الكنتالوب – الفراولة – الأسبرجس – الفاصوليا – البروكولى – الكرنب – الجزر – القنبيط – الشيكوريا – الخيار – الباذنجان – فجل الحصان – الخس – البسلة – البطاطس – البطاطا – الطماطم – الفلفل.

٣ – الحبوب:

الشعير – الذرة – الأرز – الجاودار (الراى) – السورجم – القمح.

٤ – المحاصيل الحقلية الأخرى:

البرسيم الحجازى – القطن – الكتان – لفت الزيت – فول الصويا – بنجر السكر – قصب السكر – دوار الشمس.

٥ – الأشجار الخشبية:

الكافور – الصنوبر – الحور – البيسية spruce.

٦ – الزهور ونباتات الزينة:

الأقحوان – الجربيرة – البيتونيا – الورد – النجيل – القرنفل – إبرة الراعى (الجيرانيم) geranium – نجمة الصباح morning glory.

٧ – النباتات الطبية

Atropa – العرق سوس licorice.

٨ – نباتات أخرى:

Arabidopsis thaliana.

الإنتاج الزراعى التجارى من المحاصيل المعدلة وراثيًا

كان صنف الطماطم البطئ النضج FlavrSavr أول الأصناف الغذائية المعدلة وراثيًا التى عرضت على جمهور المستهلكين ولاقت إقبالاً كبيرًا فى بداية الأمر - ربما لأنها كانت شيئًا جديدًا - إلا أن مبيعاتها انخفضت بشدة خلال فترة وجيزة إلى درجة أن إنتاجها التجارى توقف تمامًا فى خلال سنوات قليلة، ولم ينقذ الشركة Calgene - التى أنتجت هذا الصنف - من الإفلاس إلاّ بشراء شركة Monsanto لها (عن Janick ١٩٩٧).

وحاليًا .. تزرع الولايات المتحدة مساحات شاسعة من الأصناف المحولة وراثيًا من كل من الذرة، وفول الصويا، والقطن، والبطاطس، والتبغ تحمل صفات المقاومة لمبيدات الحشائش والحشرات، والفيروسات، ويتوقع إنتاج المزيد من الأصناف والمحاصيل المهندسة وراثيًا بصورة متزايدة.

لقد بلغت المساحة المزروعة بالأصناف المحولة وراثيًا فى عام ١٩٨٨ - أى فى بداية العهد بإنتاج تلك الأصناف - أكثر من ٣٥ مليون هكتار، وهى فى تزايد مستمر؛ ففى عام ١٩٩٩ بلغ إجمالى المساحة المنزرعة بتلك الأصناف ٤٠ مليون هكتار كان ٧٢٪ منها فى الولايات المتحدة فقط، وتلتها الأرجنتين بنسبة ١٦٪، وكندا بنسبة ١٠٪، مع مساحات صغيرة فى كل من: الصين، وأستراليا، وجنوب أفريقيا، والمكسيك، وإسبانيا، وفرنسا، والبرتغال، ورومانيا، وأوكرانيا.

وقد توزعت المساحة المنزرعة فى عام ١٩٩٩ بين فول الصويا بنسبة ٥٤٪، والذرة بنسبة ٢٨٪، بينما توزعت النسبة المتبقية بين كل من: القطن، ولفت الزيت، والبطاطس، والكوسة، والباباظ. ولقد بلغت المساحة المزروعة بالمحاصيل المحولة وراثيًا فى الصين فى عام ١٩٩٩ حوالى ٣٠٠٠٠٠ هكتار، مقارنة بنحو ٢٨,٧ مليون هكتار فى الولايات المتحدة (عن Ahloowali & Kush ٢٠٠١).

لقد ازدادت المساحات التى خصصت لزراعة المحاصيل المعدلة وراثيًا فى الولايات المتحدة زيادة كبيرة بعد وقت قصير من إدخال الأصناف الجديدة المحولة وراثيًا.

فمثلاً ازدادت المساحة التى زرعت بأصناف القطن المعدلة وراثيًّا من ١٠٪ فى عام ١٩٩٧ إلى ٢٦٪ فى عام ١٩٩٨، ثم إلى ٤٦٪ فى عام ٢٠٠٠، كذلك ازدادت المساحة التى زرعت بأصناف فول الصويا المحولة وراثيًّا من ١٥٪ فى عام ١٩٩٧ إلى أكثر من ٥٠٪ فى عام ٢٠٠٠ (عن Grumet ٢٠٠٢)، ومن المؤكد أن تلك النسب مازالت فى ازدياد.

إن أكثر من ٩٠٪ من المساحة المزروعة بالأصناف المحولة وراثيًّا - على المستوى العالمى - تقتصر على ثلاثة محاصيل، هى: فول الصويا، والذرة، والقطن، وهى التى تضاعفت فيها المساحة المزروعة بها ما بين عامى ١٩٩٧، و ١٩٩٨. وفى عام ٢٠٠٠ بلغت المساحة المزروعة بالأصناف المحولة وراثيًّا ٤٤.٢ مليون هكتار موزعة على أكثر من ١٣ دولة فى مختلف أنحاء العالم ويشكل فول الصويا - وحده - أكثر من ٥٠٪ من المساحة المنزرعة بالمحاصيل المحولة وراثيًّا. وتشكل المقاومة لمبيدات الحشائش وللحشرات أهم أهداف الهندسة الوراثية فى النباتات المحولة وراثيًّا (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢)

وكما أسلفنا فإن أصناف الذرة وفول الصويا المعدلة وراثيًّا تشغل فى الولايات المتحدة الجزء الأكبر من المساحة المزروعة بجميع المحاصيل التى تم تحويلها وراثيًّا، فإذا ما علمنا أن منتجات هذين المحصولين (مثل النشا والبروتين والزيت) تدخل فى تكوين ٧٠٪ من الأغذية المصنعة والتى تعرض فى محلات السوبر ماركت بالولايات المتحدة، لأدركنا كيف أن المحاصيل المعدلة وراثيًّا أصبحت تستعمل على نطاق واسع للغاية هذا مع العلم بأن فصل الأغذية التى يدخل ضمن مكوناتها محاصيل معدلة وراثيًّا عن تلك التى لا يدخل فى تكوينها تلك المحاصيل يضيف نحو ١٠٪ إلى تكلفة الإنتاج (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

وبينما كان حجم السوق العالمية للمحاصيل المحولة وراثيًّا ٣ بلايين دولار أمريكى فى عام ٢٠٠٠، فإنه يتوقع أن يصل إلى ٢٥ بليون دولار فى عام ٢٠١٠ (عن Ahloowalia & Khush ٢٠٠١)

هذا ونعرض – فيما يلى – بيانًا بالمساحات التى زرعت عالميًا بالمحاصيل المعدلة وراثيًا مقسمة حسب المحصول (جدول ٢٠–٥)، وحسب الصفة التى أجرى التعديل الوراثى من أجلها (جدول ٢٠–٦)؛ الأمر الذى ينعكس على أعداد الاختبارات الحقلية التى أجريت لكل صفة كنسبة مئوية من مجموع حالات التحول الوراثى (جدول ٢٠–٧).

جدول (٢٠–٥): المساحة المزروعة عالميًا بالنباتات المحولة وراثيًا فى عامى ١٩٩٨، و ١٩٩٩ (مليون هكتار)

المحصول	١٩٩٨		١٩٩٩		الزيادة	
	المساحة	(%)	المساحة	(%)	المساحة	النسبة
فول الصويا	١٤,٥	٥٢	٢١,٦	٥٤	٧,١	٠,٥
الذرة	٨,٣	٣٠	١١,١	٢٨	٢,٨	٠,٣
القطن	٢,٥	٩	٣,٧	٩	١,٢	٠,٥
لفت الزيت	٢,٤	٩	٣,٤	٩	١,٠	٠,٤
البطاطس	< ٠,١	< ١	< ٠,١	< ١	< ٠,١	—
الكوسة	صفر	صفر	< ٠,١	< ١	—	—
الباباظ	صفر	صفر	< ٠,١	< ١	—	—
الإجمالى	٢٧,٨	١٠٠	٣٩,٩	١٠٠	١٢,١	٠,٤

جدول (٢٠–٦): المساحة الإجمالية المزروعة عالميًا بالمحاصيل المحولة وراثيًا مقسمة حسب الصفات التى نقلت إليها.

الصفة	١٩٩٨		١٩٩٩		الزيادة	
	المساحة	(%)	المساحة	(%)	المساحة	%
تحمل مبيدات الحشائش	١٩,٨	٧١	٢٨,١	٧١	٨,٣	٠,٤
المقاومة للحشرات (Bt)	٧,٧	٢٨	٨,٩	٢٢	١,٢	٠,٢
Bt مع المقاومة لمبيدات الحشائش	٠,٣	١	٢,٩	٧	٢,٦	٨,٧
المقاومة للفيروسات وصفات أخرى	< ٠,١	< ١	< ٠,١	< ١	< ٠,١	—
الإجمالى	٢٧,٨	١٠٠	٣٩,٩	١٠٠	١٢,١	٠,٤

جدول (٢٠-٧): أكثر الصفات المحولة وراثيًا انتشارًا فى الاختبارات الحقلية والزراعات التجارية (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

الصفة	الاختبارات الحقلية (%) فى الولايات المتحدة (١٩٨٧-١٩٩٧)	المساحة المزروعة تجاريًا بالولايات المتحدة بالمليون هكتار (والنسب المئوية) لسنة ٢٠٠٠
تحمل مبيدات الحشائش	٣٠	٣٢,٧ (٧٤٪)
المقاومة للحشرات	٢٤	٨,٣ (١٩٪)
تحمل مبيدات الحشائش + مقاومة الحشرات		٣,١ (٧٪)
نوعية المنتج	٢١	
المقاومة للفيروسات	١٠	
المقاومة للفطريات	٤	
الصفات المحصولية	٤	
صفات أخرى	٧	

هذا ويلخص جدول (٢٠-٨) الوضع الذى كانت عليه زراعة المحاصيل المعدلة وراثيًا - على المستوى العالمى - فى عام ٢٠٠١.

جدول (٢٠-٨): ملخص بالزراعات التجارية للمحاصيل المعدلة وراثيًا على المستوى العالمى فى عام ٢٠٠١ (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

الدولة	المساحة المزروعة بالأصناف المعدلة وراثيًا (مليون هكتار)	النسبة المئوية المعدلة وراثيًا من المساحة الإجمالية المزروعة من المحاصيل التى عدلت وراثيًا بكل دولة
الولايات المتحدة	٣٥,٧	٦٨
الأرجنتين	١١,٨	٢٢
كندا	٣,٢	٦
الصين	١,٥	٣
بقية دول العالم	١,٠	—

المحصول	المساحة المزروعة بالأصناف المعدلة وراثيًا (مليون هكتار)	النسبة المئوية للمساحة المعدلة وراثيًا من المحصول من إجمالى المساحة المزروعة بالأصناف المعدلة وراثيًا كلها
فول الصويا	٣٣,٣	٦٣
الذرة	٩,٨	١٩
القطن	٦,٨	١٣
لفت الزيت	٢,٧	٥

الصفة المعدلة وراثيًا	المساحة المزروعة بالأصناف المعدلة وراثيًا (مليون هكتار)	النسبة المئوية من المساحة الإجمالية المزروعة بالأصناف المعدلة وراثيًا
تحمل مبيدات الحشائش	٤٠,٦	٧٧
مقاومة الحشرات	٧,٨	١٥
مقاومة الحشرات + تحمل مبيدات الحشائش	٤,٢	٨

المحصول	النسبة المئوية من المساحة المعدلة وراثيًا من المحصول من إجمالى المساحة المزروعة بالمحصول عالميًا (وفى الولايات المتحدة)
فول الصويا	٤٦ (٦٨)
القطن	٢٠ (٦٩)
لفت الزيت	١١
الذرة	٧ (٢٦)

ومن بين أبرز الأمثلة على الحالات الأولى للتحولات الوراثية التي تم إطلاقها كأصناف جديدة، ما يلي (عن Dale وآخرين ١٩٩٣):

المحصول	الصفة المنقولة
البرسيم الحجازي	المقاومة لفيرس موزايك البرسيم الحجازي
	المقاومة لفيرس موزايك الخيار
	المقاومة الحشرية بواسطة بروتين اللكتين lectin
	تحمل مبيد الحشائش جلوفوسينيت glufosinate
القاوون	المقاومة لفيرس مورايك الخيار
القنبيط	العقم الذكري
الشيكوريا	العقم الذكري
الأقحوان	لون الأزهار
القطن	المقاومة الحشرية بواسطة البروتين Bt
	تحمل مبيد الحشائش بروموكسينيل bromoxynil
	تحمل مبيد الحشائش جلايفوسيت glyphosate
	تحمل مبيد الحشائش سلفونيل يوريا sulfonylurea
الخيار	المقومة لفيرس موزايك الخيار
الكتان	تحمل مبيد الحشائش جلايفوسيت
	تحمل مبيد الحشائش سلفونيل يوريا
الذرة	المقاومة الحشرية بالبروتين Bt
	تحمل مبيد الحشائش جلايفوسيت
	تحمل مبيد الحشائش بروموكسينيل
	تحمل مبيد الحشائش سلفونيل يوريا
	تحمل مبيد الحشائش جلوفوسينيت
	العقم الذكري
لفت الزيت	المقاومة الحشرية بالبروتين Bt
	تحمل مبيد الحشائش جلوفوسينيت
	تحمل مبيد الحشائش جلايفوسيت
	البروتين المخزن بالبذور
	تركيب الزيت

المحصول	الصفة المنقولة
	العقم الذكرى
الباباظ •	المقاومة لفيرس تبقع الباباظ الحلقى
البطاطس	المقاومة لفيرس إكس البطاطس
	المقاومة لفيرس واى البطاطس
	المقاومة لفيرس التفاف أوراق البطاطس
	المقاومة الحشية بالبروتين Bt
	تحمل مبيد الحشائش بروموكسينيل
	تحمل مبيد الحشائش جلوفوسينيت
	زيادة محتوى النشا
	تحمل مبيد الحشائش سلفونيل يوريا
البرقوق	المقاومة لفيرس plum pox
الأرز	المقاومة الحشرية بالبروتين Bt
	البروتين المخزن بالحبوب
فول الصويا	تحمل مبيد الحشائش جلوفوسينيت
	تحمل مبيد الحشائش جلايفوسيت
	المقاومة لفيرس موزايك فول الصويا
	البروتين المخزن بالبذور
الكوسة	المقاومة لفيرس موزايك الخيار
بنجر السكر	تحمل مبيد الحشائش جلوفوسينيت
دوار الشمس	البروتين المخزن بالبذور
التبغ	المقاومة لفيرس موزايك التبغ
	المقاومة لفيرس tobacco etch
	تحمل مبيد الحشائش سلفونيل يوريا
	تحمل مبيد الحشائش جلوفوسينيت
	تحمل مبيد الحشائش جلايفوسيت
	تحمل مبيد الحشائش بروموكسينيل
	تحمل العناصر الثقيلة
الجوز	المقاومة الحشرية بالبروتين Bt

المحصول	الصفة المنقولة
الطماطم	المقاومة لفيرس موزايك التبغ
	المقاومة لفيرس موزايك الطماطم
	المقاومة الحشرية بالبروتين Bt
	تحمل مبيد الحشائش جلايفوسيت
	تحمل مبيد الحشائش سلفونيل يوريا
	تحمل مبيد الحشائش بروموكسينيل
	تحمل مبيد الحشائش جلوفوسينيت
	نضج الثمار

ومن بين المحاصيل المعدلة وراثيًا التي اعتمد إنتاجها تجاريًا في الولايات المتحدة، ما يلي (عن Malik ١٩٩٩):

المُنتج	المحصول	الصفة المميزة
Calgene، و Monsanto، و Agritope	الطماطم	بطء نضج الثمار
Calgene	القطن	تحمل مبيدات الحشائش
Monsanto	فول الصويا	تحمل مبيدات الحشائش
Calgane	لفت الزيت	جودة الزيت
Upjohn	الكوسة	مقاومة الفيروسات
DNA Plant Technology	الطماطم	بطء نضج الثمار
Monsanto	البطاطس	مقاومة الحشرات
Ciba-Geigy	الذرة	مقاومة الحشرات
Zeneca، و Petoseed	الطماطم	بطء نضج الثمار
AgrEvo، و Del Kalb	الذرة	تحمل مبيدات الحشائش
Monsanto	القطن	مقاومة الحشرات
Monsanto، و DuPont	القطن	تحمل مبيدات الحشائش
Monsanto، و Northrop King	الذرة	مقاومة الحشرات
Plant Genetic Systems	الذرة	العقم الذكرى وتحمل مبيدات الحشائش
جامعة كورنل وجامعة هاواى	الباباظ	مقاومة الفيروسات

ونستعرض – فيما يلى – بيانًا بأعداد الأصناف المعدلة وراثيًا التى أنتجت على المستوى العالمى مصنفة حسب المحصول والهدف من التحول الوراثى (جدول ٢٠–٩)، والدول التى أنتجت فيها تلك الأصناف (جدول ٢٠–١٠)، كما نقدم فى جدولى (٢٠–١١)، و (٢٠–١٢) بيانًا بأسماء الأصناف التى أنتجت فى الولايات المتحدة من مختلف المحاصيل، ومميزاتها، والشركات التى أنتجتها، وفى جدول (٢٠–١٣) بيانًا مماثلاً بالأصناف التى أنتجت فى الاتحاد الأوروبى.

جدول (٢٠–٩): عدد الأصناف المحولة وراثيًا التى تم إنتاجها – لمختلف الأغراض – حتى عام ١٩٩٢ (عن Dale وآخرين ١٩٩٣).

	مقاومة	مقاومة	مقاومة	تحمل مبيدات	صفات الجينات		جينات
المحصول	الأمراض	الحشرات	الفيروسات	الحشائش	الجودة	المعلمة	متعددة	غير محددة
البرسيم الحجازى			٤	١٠	٤	١		
التفاح		١						
الأسبرجس						١		
جنس *Brassica*				١				
القاوون			٤	٢				
القنبيط					١			
الشيكوريا					١			
الأقحوان					٢			
القطن		١١		١١				
الخيار			٣					
الكتان				٦		٢		
الخس			١					
الذرة		٥	٤	١٨	١	٧		١
لفت الزيت	١	١	١	٤٥	٢٤	٩		١
الباباظ								١
البيتونيا					٢			
البرقوق						١		
الحور				٧		١		
البطاطس	٤	٢٠	٢٥	١٢	٩	١٥	٤	

تابع جدول (٢٠-٩).

المحصول	مقاومة الأمراض	مقاومة الحشرات	مقاومة الفيروسات	تحمل مبيدات الحشائش	صفات الجودة	الجينات المعلمة	جينات متعددة	جينات غير محددة
الأرز		١			١	٢	١	
فول الصويا				١١	٢			
الكوسة			٣					
بنجر السكر			٧	٢١			١	١
الفراولة		١			١			
دوار الشمس								
التبغ	٦	١٤	٦	٢٦	١١	٢٠		
الطماطم	١	٩	١٤	١٨	١٣	٤		
الجوز		٢						

جدول (٢٠-١٠). عدد الأصناف المحولة وراثيًا والتى اختبرت حقليًا وتم إطلاقها فى مختلف دول العالم حتى عام ١٩٩٢ (عن Dale وآخرين ١٩٩٣).

الدولة	عام أول إطلاق صنفى	عدد الأصناف
الأرجنتين	١٩٩١	٣
أستراليا	١٩٩١	١
بلجيكا	١٩٨٧	٤٢
كندا	١٩٨٨	٥٢
شيلى	١٩٨٧	٤
الصين	١٩٩١	العديد
كوستاريكا	١٩٩١	١
الدانمرك	١٩٩٠	٣
فنلندا	١٩٩٠	٧
فرنسا	١٩٨٦	٨٣
ألمانيا	١٩٩٠	٢
إسرائيل	١٩٩١	١
إيطاليا	١٩٨٩	٢
اليابان	١٩٩١	١

تابع جدول (٢٠-١٠).

الدولة	عام أول إطلاق صنفي	عدد الأصناف
المكسيك	١٩٩١	١
نيوزيلندة	١٩٨٨	٧
إسبانيا	١٩٨٨	٧
السويد	١٩٨٩	٤
سويسرا	١٩٩١	١
هولندا	١٩٨٨	١٢
المملكة المتحدة	١٩٨٧	١٩
الولايات المتحدة	١٩٨٦	١٤١
المجموع	--	٣٩٥

جدول (٢٠-١١): بعض المحاصيل الزراعية المحولة وراثيًا التي أنتجت في الولايات المتحدة حتى عام ١٩٩٧، والشركات التي قامت بإنتاجها (عن Woodson ١٩٩٧).

المحصول	الصفة/المنتج	الشركة	سنة الإنتاج
الطماطم	الصنف Flavr-Savr	Calgene	١٩٩٤
الكوسة	المقاومة للفيرس	Asgrow	١٩٩٥
الطماطم	تأخير النضج	DNA Plant Technology	١٩٩٥
الطماطم	تأخير فقد الصلابة	Zeneca Seeds	١٩٩٥
القطن	المقاومة لمبيد الحشائش Bromoxynil	Calgene	١٩٩٥
فول الصويا	الصنف Roundup Ready	Monsanto	١٩٩٦
القطن	الصنف Bollgard	Monsanto	١٩٩٦
لفت الزيت	الصنف Roundup Ready	Monsanto	١٩٩٦
لفت الزيت	زيوت محورة	Calgene	١٩٩٦
البطاطس	نشا محور	AVEBE	١٩٩٧
الكوسة	المقاومة للفيرس	Asgrow	١٩٩٧
القاوون	المقاومة للفيرس	Asgrow	١٩٩٧

جدول (٢٠-١٢): الأصناف التجارية المعدلة وراثيًا التي أنتجت في الولايات المتحدة والشركات التي أنتجها (عن Chawla ٢٠٠١).

الصفة	المحصول	الصنف المنتج	الشركة المنتجة
المقاومة للحشرات			
Bt	القطن	Bollguard	Monsanto Co.
Bt	القطن	--	Calgene
Bt	البطاطس	Newleaf	Monsanto Co.
Bt	الذرة	Yield Guard	Monsanto Co.
Bt	الذرة	Maximizer	Ciba Seeds
Bt	الذرة	--	Novartis, Mycogen
			Pioneer Hi-Bred
المقاومة للفيروسات	الكوسة	Freedom II	Asgrow Seeds, Inc.
المقاومة للفيروسات	التبغ والطماطم والفلفل	--	(China)
المقاومة للفيروسات	الكنتالوب	--	Asgrow Seeds, Inc.
تحمل مبيدات الحشائش			
Glufosinate	الذرة	Liberty Link	AgrEvo Canada Inc.
Glufosinate	الذرة	Liberty Link	AgrEvo USA Co.
Sethoxydim	الذرة	--	BASF
Glufosinate	الذرة	--	DeKalb Genetic Corp.
Glyphosate	الذرة	Roundup Ready	Monsanto Co.
Glufosinate	الذرة	--	Plant Genetic Systems
Glufosinate	لفت الزيت	Innovator	AgrEvo Canada Inc.
Glufosinate	لفت الزيت	Innovator	AgrEvo USA Co.
Glyphosate	لفت الزيت	Roundup Ready	Monsanto Co.
Glufosinate	لفت الزيت	--	Plant Genetic Systems
Bromoxynil	لفت الزيت	--	Rhone-Poulenc
Bromoxynil	القطن	BXN	Calgene Inc.
Sulfonyl urea	القطن	--	Du Pont
Glyphosate	القطن	Roundup Ready	Monsanto Co.
Glyphosate	فول الصويا	Roundup Ready	Monsanto Co.
Sulfonyl urea	الكتان	Triffid	Univ. of Saskatchewan
Glufosinate	الكريز	--	Bejo-Zaden

تابع جدول (٢٠-١٢).

الصفة	المحصول	الصنف المنتج	الشركة المنتجة
صفات الجودة			
النضج على النبات والقدرة على التخزين	الطماطم	FlavrSavr	Calgene
النضج على النبات والقدرة على التخزين	الطماطم	Endless Summer	DNA Plant Technology
تأخير فقد الثمار لصلابتها	الطماطم		
زيادة لزوجة المعجون			Zeneca
تعديل النشا	البطاطس		AVEBE
زيادة فترة نضارة الأزهار بعد القطف	الأقحوان		Florigene
تغيرات لونية فى الأزهار	الأقحوان	--	Florigene
صفات الزيت	لفت الزيت	Laurical	Calgene
العقم الذكرى	لفت الزيت	--	Plant Genetics Systems

جدول (٢٠-١٣): بيان بالأصناف المعدلة وراثيًا التى أنتجت فى دول الاتحاد الأوروبى حتى عام ٢٠٠١، والشركات التى قامت بإنتاجها (Prog. Bot. - مجلد ٦٢ لعام ٢٠٠١ - صفحة ١١٣).

الشركة المنتجة	الدولة	المحصول	الصفة	سنة الاعتماد
Seita	فرنسا	التبغ	تحمل مبيدات الحشائش (bromoxynil)	١٩٩٤
Plant Genetic Systems	المملكة المتحدة	لفت الزيت	العقم الذكرى وتحمل مبيدات الحشائش (phosphinothricine)	١٩٩٦
Ciba Geigy	فرنسا	الذرة	المقاومة للحشرات وتحمل مبيدات الحشائش (phosphinothricine)	١٩٩٧
Bejo Zaden B. V.	هولندا	Radicchio	المقاومة للحشرات وتحمل مبيدات الحشائش (phosphinothricine)	١٩٩٦
Monsanto	المملكة المتحدة	فول الصويا	تحمل مبيدات الحشائش (glyphosate)	١٩٩٦
Plant Genetic Systems	فرنسا	لفت الزيت	العقم الذكرى وتحمل مبيدات الحشائش (phosphinothricine)	١٩٩٧

تابع جدول (٢٠-١٣).

الشركة المنتجة	الدولة	المحصول	الصفة	سنة الاعتماد
AgrEvo	المملكة المتحدة	لفت الزيت	تحمل مبيدات الحشائش (phosphinothricine)	١٩٩٨
	فرنسا	الذرة	تحمل مبيدات الحشائش (phosphinothricine)	١٩٩٨
Monsanto	فرنسا	الذرة	المقاومة للحشرات	١٩٩٨
Northrup	المملكة المتحدة	الدرة	المقاومة للحشرات	١٩٩٨
Florigene Europe B. V.	هولندا	القرنفل	تغير لون الزهرة	١٩٩٨
	هولندا	القرنفل	إطالة فترة احتفاظ الأزهار بنضارتها	١٩٩٨
	هولندا	القرنفل	تغيير لون الزهرة	١٩٩٨

أما اليابان - وهى التى كانت من أكثر دول العالم اعتراضًا على استعمال الأصناف المحصولية المعدلة وراثيًا فى الزراعة - فقد صرحت بتداول عديدًا من تلك الأصناف فى الزراعة، كما هو مبين فى جدول (٢٠-١٤).

جدول (٢٠-١٤): قائمة بأسماء المحاصيل المعدلة وراثيًا المسموح باستعمالها كغذاء فى اليابان حتى مايو ١٩٩٧ (عن Malik ١٩٩٩).

المحصول	الشركة المنتجة (والدولة)	الجين المستعمل فى التحول الوراثى
فول الصويا	Monsanto (الولايات المتحدة)	Glyphosate resistance gene
لفت الزيت	Monsanto (كندا)	Glyphosate resistance gene
لفت الزيت	AgrEvo (كندا)	*PAT* gene
لفت الزيت	Plant Genetic Systems (كندا)	*bar* gene male sterile gene
الدرة	Northrup King Company (الولايات المتحدة)	Insect resistance gene (Bt)
الدرة	Ciba-Geigy Corporation (الولايات المتحدة)	Insect resistance gene (Bt)
البطاطس	Monsanto (كندا)	Insect resistance gene (Bt)
الدرة	Monsanto (كندا)	Insect resistance gene (Bt)
البطاطس	Monsanto (كندا)	Insect resistance gene (Bt)
القطن	Monsanto (كندا)	Insect resistance gene (Bt)

تابع جدول (٢٠-١٤).

المحصول	الشركة المنتجة (والدولة)	الجين المستعمل فى التحول الوراثى
لفت الزيت	Hoechst Schering AgrEvo GmbH (ألمانيا)	*PAT* gene
لفت الزيت	Plant Genetic Systems (بلجيكا)	*PAT* gene male sterile gene
لفت الزيت	Plant Genetic Systems (بلجيكا)	*bar* gene male sterile gene
لفت الزيت	Plant Genetic Systems (كندا)	*PAT* gene male sterile gene
لفت الزيت	Hoechst Schering AgrEvo GmbH (ألمانيا)	*PAT* gene

هذا .. ويعطى جدول (٢٠-١٥) حصرًا شاملاً للأغذية المعدلة وراثيًا المتداولة فى الأسواق، والشركات التى أنتجتها، والهدف من إنتاجها، ومصادر الجينات التى استعملت فى التحول الوراثى بها، والجهات التى قيمتها ورأيها فيها، والأسماء التجارية للأصناف المنتجة (عن Malik ١٩٩٩).

جدول (٢٠-١٥) حصر بالأغذية المعدلة وراثيًا المتداولة بالأسواق

المحصول أو المنتج	الشركة	الصفة	الهدف	مصدر الجين	الجهة المقيمة ورأيها	الاسم التجارى للصنف أو المنتج
لفت الزيت	Calgene	تعديل تركيب الزيت - ارتفاع محتوى حامض اللوريك	توسيع مجال الاستعمال فى الصابون والصناعات الغذائية	شجرة California bay tree - لفت الزيت - بكتيريا - فيرس	USDA/Approved FDA/Approved FPA/Not required	Laurical
الذرة	Ciba-Geigy	المقاومة لحافرات الذرة - سُمّ الـ Bt	مقاومة الآفات الحشرية	الذرة - بكتيريا - فيرس	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Approved	Matinuzer
الذرة	Mycogen	المقاومة لحافرات الذرة - سُمّ الـ Bt	مقاومة الآفات الحشرية	الذرة - بكتيريا - فيرس	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Approved	NatureGard
القطن	Calgene/ Rhone Poulenc	المقاومة لمبيد الحشائش bromoxynil	مقاومة الحشائش	بكتيريا - فيرس	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Approved	BXN Cotton
القطن	Monsanto	المقاومة لديدان اللوز وديدان البراعم - سُمّ الـ Bt	مقاومة الآفات الحشرية	بكتيريا	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Approved	Bollgard
القطن	Monsanto	المقاومة لمبيد الحشائش glyphosate	مقاومة الحشائش	*Arabidopsis* - بكتيريا - فيرس	USDA/Approved FDA/Approved FPA/Approved	Roundup Ready

تابع جدول (٢٠-١٥).

المحصول أو المنتج	الشركة	الصفة	الهدف	مصدر الجين	الجهة المقيمة ورأيها	الاسم التجارى للصنف أو المنتج
البطاطس	Monsanto	المقاومة لخنفساء كلورادو - بسُمّ الـ Bt	مقاومة الآفات الحشرية	بكتيريا	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Approved	New Leaf
فول الصويا	Monsanto	المقاومة لمبيد الحشائش glyphosate	مقاومة الحشائش	البيتونيا - فول الصويا - بكتيريا - فيروسات	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Approved	Roundup Ready
الكوسة	Asgrow	المقاومة لفيروسين	مقاومة الفيروسات	فيروسات	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Not required	Freedom II
الطماطم (شيرى)	Agritope	التحكم فى سرعة النضج	تحسين القيمة التسويقية للمنتج الطازج	بكتيريا	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Not required	
الطماطم	Calgene	التحكم فى سرعة النضج	تحسين القيمة التسويقية للمنتج الطازج	الطماطم - بكتيريا - فيرس	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Not required	Flavr Savr (Mac Gregor)
الطماطم	DNA Plant Technology	التحكم فى سرعة النضج	تحسين القيمة التسويقية للمنتج الطازج	الطماطم - بكتيريا - فيرس	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Not required	Endless Summer

تابع جدول (٢٠-١٥).

المحصول أو المنتج	الشركة	الصفة	الهدف	مصدر الجين	الجهة المقيمة ورأيها	الاسم التجارى للصنف أو المنتج
الطماطم	Monsanto	التحكم فى سرعة النضج	تحسين القيمة التسويقية للمنتج الطازج	بكتيريا	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Not required	
الطماطم	Zeneca/Peto Seed	زيادة سمك الجلد - تغيرات بكتينية	تحسين القيمة التصنيعية	الطماطم - بكتيريا - فيرس	USDA/Approved FDA/Approved EPA/Not required	
Bacillus thuringiensis	Ecogen	السمية لحرشفيات الأجنحة - بُمّ الـ Bt	مقاومة الآفات الحشرية	بكتيريا	USDA/ Not required FDA/ Not required EPA/Approved	Crymat
Bacillus thuringiensis	Ecogen	المقاومة لخنفساء كلورادو - بُمّ الـ Bt	مقاومة الآفات الحشرية	بكتيريا	USDA/ Not required FDA/ Not required EPA/Approved	Raven
Pseduzonas fluorescens	Mycogen	السمية لحرشفيات الأجنحة - بُمّ الـ Bt	مقاومة الآفات الحشرية	بكتيريا	USDA/ Not required FDA/ Not required EPA/Approved	M-Peril, M-Trak MVP
Vaccinia virus vaccine	Rhone Merieux	المناعة ضد مرض الكلب	مقاومة وباء مرض الكلب المنقول بالراكون	فيرس الكلب	USDA/ Approved FDA/ Not required EPA/Approved	Raboral

تابع جدول (٢٠-١٥).

المحصول أو المنتج	الشركة	الصفة	الهدف	مصدر الجين	الجهة المقيمة ورأيها	الاسم التجاري للصنف أو المنتج
لفت الزيت	Hoechst/ AgrEvo	المقاومة لمبيد الحشائش glufosinate	مقاومة الحشائش	بكتيريا	USDA/ FDA/ Approved EPA/	
لفت الزيت	Monsanto	المقاومة لمبيد الحشائش glyphosate	مقاومة الحشائش	المعلومة غير متاحة	USDA/ FDA/ Approved EPA/	
لفت الزيت	Plant/Genetic Systems	العقم الذكرى / جين استعادة الخصوبة	تسهيل تربية المحصول	المعلومة غير متاحة	USDA/ FDA/ Approved EPA/	
الذرة	DeKalb	المقاومة لديدان اللوز وديدان البراعم - سُمّ الـ Bt	مقاومة الآفات الحشرية		USDA/ Pending	
الذرة	DeKalb	المقاومة لمبيد الحشائش glufosinate	مقاومة الحشائش	بكتيريا - فيرس	USDA/ Approved FDA/ Approved EPA/	
الذرة	Hoechst/ AgrEvo	المقاومة لمبيد الحشائش glufosinate	مقاومة الحشائش	بكتيريا - فيرس	USDA/ Approved FDA/ Approved EPA/ Pending	
الذرة	Monsato Pioneer	المقاومة لحافرات الذرة - سُمّ الـ Bt	مقاومة الآفات الحشرية	بكتيريا	USDA/ Approved FDA/ Approved EPA/ Approved	Yield Gard

تابع جدول (٢٠-١٥)

المحصول أو المنتج	الشركة	الصفة	الهدف	مصدر الجين	الجهة المقيمة ورأيها	الاسم التجارى للصنف أو المنتج
الذرة	Plant Genetic Systems	العقم الذكرى	تسهيل تربية المحصول	بكتيريا - فيرس	USDA/ Approved FDA/ Approved EPA/ Approved	
الذرة	Sandoz/ Northrup King	المقاومة لحافرات الذرة - سُمّ الـ Bt	مقاومة الآفات الحشرية	بكتيريا	USDA/ Approved FDA/ Approved EPA/ Pending	
الذرة	DuPont	المقاومة لمبيد الحشائش sulfonylurea	مقاومة الحشائش	التبغ - بكتيريا	USDA/ Approved FDA/ Approved EPA/ Approved	
الذرة	Monsanto	المقاومة لمبيد الحشائش Glyphosate/ مقاومة حفار الذرة			USDA/ Pending FDA/ Approved EPA	
لفت الزيت	Plant Genetic Systems	العقم الذكرى / جين استعادة الخصوبة	تسهيل تربية المحصول		USDA FDA/ Approved EPA	
فول الصويا	DuPont	تعديل تركيب الزيت			USDA/ Pending	
البابايا	Cornell Univ., Univ. of Hawaii	المقاومة للفيروسات	مقاومة الفيروسات		USDA/ Approved FDA/ EPA / Not required	

تابع جدول (٢٠-١٥).

المحصول أو المنتج	الشركة	الصفة	الهدف	مصدر الجين	الجهة المقيمة ورأيها	الاسم التجارى للصنف أو المنتج
فول الصويا	Hoechst/ AgrEvo	المقاومة لمبيد الحشائش glufosinate	مقاومة الحشائش	بكتيريا	USDA/ Approved FDA EPA/ Pending	
الكوسة	Asgrow/ Seminis	المقاومة لثلاثة فيروسات	مقاومة الفيروسات	بكتيريا - فيرس	USDA/ Approved FDA EPA/ Not required	
Bacillus thuringiensis	Ecogen	السمية لحرشفيات الأجنحة - سُمّ الـ Bt	مقاومة الآفات الحشرية	بكتيريا	USDA/ Not required FDA/ Not required EPA/ Pending	
Rhizobium meliloti	Research Seeds	زيادة القدرة على تثبيت آزوت الهواء الجوى	زيادة محصول البرسيم الحجازى	بكتيريا	USDA/ Not required FDA/ Not required EPA/ Pending	
الذرة	Monsanto	المقاومة لمبيد الحشائش glyphosate			USDA/ Pending	

USDA: وزارة الزراعة الأمريكية، و FDA: إدارة الغذاء والدواء بالولايات المتحدة، و approved: مصدق عليه، و pending: فى انتظار استكمال إجراءات التصديق، و not required: التصديق عليه غير ضرورى.