

### تحوير النباتات والمحاصيل

#### تربية نباتات أفضل

يبدو أن أول وأهم أعمالنا الفذة في تربية النباتات هو تنمية الذرة منذ ما يقرب من ١٠,٠٠٠ سنة. والذرة تختلف تماما عن أقرب أقربائها من النباتات البرية وهما التيوسنت والتريساكوم. فهذه أعشاب تنتج بذوراً في شراية عند قمة النبات، بينما تنتج الذرة بذورها على كيزان كبيرة تنمو من الساق عند منتصف إرتفاعه. ولما كانت الذرة قد ظهرت في لحظة من لحظات التطور، فإنه يكاد يكون من المؤكد أنها نتاج لتدخل بشري تأسس أصلاً على الإنتخاب البسيط لبذور للإكثار وعلى التهجين البيئي للنباتات ذات المظهر الغريب، وذلك قبل أن تطبق التكنيكات الأرقى للتربية. الذرة لا يمكن أن تنمو كعشب، وهي لا توجد في البرية، لأن حباتها ملتصقة التصاقاً وثيقاً بالكيزان بحيث أنها لا تتساقط منها. ولما كانت الذرة ليس لها آلية طبيعية للإنتشار، فإنها تعتمد في الحفاظ على بقائها اعتماداً كلياً على أفراد البشر. وحتى لو تخلف أحد الكيزان في حقل وأصبح مدفوناً في الأرض، فإن النباتات عندما تنبت البذور ستكون متزاحمة معاً متزاحماً بالغا بحيث أنها عموماً لا تزهر.

وتربية النبات قد صارت فنا يتزايد دقة عبر القرون وخاصة أثناء عقود القرن

الماضى. وقد تم إنتاج أنواع ذات محاصيل أوفر من الذرة والقمح والأرز والمحاصيل الأخرى، وذلك باستخدام تكتيكات من الطفر والإنتخاب مثل تلك التى تستخدم مع الميكروبات. وهذه التطويرات، مصحوبة بتحسين المخصبات ومبيدات الآفات ومبيدات الأعشاب وتكتيكات الري، قد لعبت دوراً رئيسياً فى الوفاء بحاجة العالم المتنامية إلى الطعام. ولو أخذنا مثلاً واحداً من إحصاءات كثيرة متشابهة، فإن متوسط محصول الذرة للهكتار الواحد فى الولايات المتحدة قد زاد عن الثلاثة أمثال فيما بين عامى ١٩٣٠، ١٩٧٥. وقد ظهرت أوجه تقدم من هذا النوع أثناء الثورة الخضراء التى ساعدت على رفع مستوى إنتاج الطعام فى العالم الثالث أثناء الخمسينيات والستينيات.

ورغم أن تربية النبات فى القرن العشرين قد تفوقت بما له اعتباره على وسائل التهجين والإنتخاب البدائية فى القرون السابقة، إلا أن هناك مشاكل عديدة ظلت باقية. وإحدى هذه المشاكل هى أنه بينما يود المربون إدخال جينات معينة لها فائدتها زراعياً، إلا أن التربية التقليدية تعتمد على نقل وتوليف الطواقم الوراثية بأكملها. وإذن فإن الجينات المرغوبة قد تكون مربوطة مع جينات غير مرغوبة، وبالتالي فإنها تورث بالإشتراك معها. وثانياً، فإن فرز وإنتخاب أنواع جديدة مستقرة وراثياً هو عملية بطيئة أقصى البطء. وثالثاً، فإن الطفرات التى تؤدى إلى تحسين المحصول تحدث بتواترات منخفضة جداً فى معدلها، حتى عندما يتم إحداثها إصطناعياً. والتحويل الوراثى يطرح لنا الفرصة للتخلص من كل من هذه القيود.

### وضع جينات جديدة داخل النباتات:

فى أول الأمر أثبتت النباتات أن قابليتها للتعديل الوراثى أقل كثيراً من الميكروبات. على أن هناك الآن عدة طرائق متاحة لذلك، وأكثرها إستخداماً يتأسس على بكتريا أجروباكتريام تيوميفا سينس، وهى نوع من البكتريا يسبب أوراماً على كثير من النباتات الزهرية تسمى التدرن التاجى. وهذه الجرثومة تحوى بلازميداً يسمى محدث

الورم (م و)، وهو يسمى هكذا لأنه عندما يُنقل إلى كروموزومات نبات يعديه، فيشير نمو النبات نمواً مختلفاً. وقد تعلم علماء الوراثة الآن أن يعدلوا من بلازميد (م و) لخدمة أهدافهم الخاصة. فهم يزِيلون من البلازميد جيناته المحدثة للورم ويولجون بدلا منها الجينات المرغوبة التي تؤخذ من بكتريا أخرى، وبهذا فإنهم يستخدمون البلازميد كناقل يولجون معه داخل النباتات العديد من الجينات الجديدة.

وأحد الملامح الرئيسية لتحويل النباتات وراثيا هي نمو نباتات بأكملها من خلية واحدة. وبالنسبة للجينات الحيوانية فإن ما يكون غير مطلوب منها في نسيج بعينه يتم إيقاف تشغيله أثناء سياق عملية التنامي، أما بالنسبة للنبات فإن خلية واحدة من ساق الطباقي مثلا يمكن استنباتها لتجديد إنماء النبات كله. وهذه العملية من التكاثر الخضري هي مما يمكن تشبيهه بيستاني قد أخذ شتلة من أحد الأنواع المرغوبة. على أن عالم الوراثة يستطيع إدخال جينات جديدة، وأن يسمح للخلايا بالتكاثر. ثم ينتج الآلاف من النباتات المحوّرة وراثيا.

وأحد القيود المحدّدة في مبحث بلازميد (م و) هو أنه في حين أن الأجرؤا كتريام يعدى البطاطس والطماطم والكثير من أشجار الغابات وغير ذلك من ذوات الفلقتين، إلا أنه لا يهاجم طبيعياً ذوات الفلقة الواحدة مثل الحبوب، والحبوب هدف رئيسي للتحسين الوراثي. على أنه أمكن التغلب على هذه العقبة في وقت حديث جداً. وبالإضافة، فقد انبثقت طرائق بديلة لنقل الجينات. ويشمل ذلك الإدخال المباشر لدنا في بروتوبلاستات عارية - أي في خلايا نباتية ينقصها جدارها الخارجى المتين، الذى يمكن إزالته بهضمه باستخدام الإنزيمات. وثمة عملية من التثقيب الكهربى، يتم فيها إمرار تيار كهربى نابض خلال خليط من دنا ومن البروتوبلاستات. ويفتح التيار الكهربى ثقوبا دقيقة فى الخلايا تسمح بدخول دنا، الذى يمكن إدماجه بعدها فى النواة. ورغم أن البروتوبلاستات تكون هشّة، إلا أن جدار الخلية قد ينمو مرة ثانية خلال يوم أو ما يقرب ويمكن بعدها إستنبات الخلايا المعدلة لتنتج نباتات بأكملها

تحمل الجينات المنقولة. وعلى كل، فإنه يحدث أحيانا ألا تنقسم فى أعقاب ذلك إلا خلية بروتوبلاست واحدة من كل ١٠٠,٠٠٠ من البروتوبلاستات، كما أن هذه الخلايا لن تكون كلها قد أخذت دنا لتدمجه فيها.

وفى حوالى نهاية الثمانينيات كانت هناك جماعات بحث مختلفة كثيرة مشغولة كلها بالنضال بهدف أن تضم معا التكنيكين التوأمين، أى التحوير الوراثى وتجديد إنماء النبات، لإستخدامهما فى النباتات ذوات الفلقة الواحدة التى لها أهميتها زراعية. وحدثت أوجه تقدم فى استخدام الأجرىوكتريام لتعديل الذرة واليام وراثيا، وفى تجديد نبات الأرز بإستزراع بروتوبلاست الأرز، وفى إحداث تعديل فى الذرة بالتثقيب الكهربي (وإن كانت النباتات الناجمة عقيمة). وفى عام ١٩٨٩ تم تجديد إنماء نباتات الذرة من البروتوبلاستات (وإن كان هذا التكنيك لم يفلح أصلا على الذرة المعدلة وراثيا). وفى عام ١٩٩٠ كان ثمة إعلان عن ذرة خصبة تم تعديلها بإستخدام جين أجنبى يجعل النبات مقاوما لمبيد الأعشاب المسمى بيافوس. واستخدم الباحثون فى هذه الحالة «مسدس جينى» لإطلاق طلقات معدنية دقيقة الصغر مغلفة بالجينات المناسبة تطلق مباشرة لداخل الخلية. وقد اتخذوا هذه الوسيلة لأنها تتيح أن ينفث دنا لداخل خلايا كاملة - وهذه بخلاف البروتوبلاست، تكون لها فرصة كبيرة لأن تنمو إلى نباتات بالغة. وفى عام ١٩٩٠ أيضا استخدم الأجرىوكتريام لتحوير كروم العنب وراثيا لأول مرة.

وهناك مسارات أخرى للتحوير الوراثى للنبات يجرى الآن استكشافها وتتضمن نقل الجينات داخل حبوب اللقاح، والحقن المباشر فى الأعضاء التناسلية. وثمة إمكانية ثالثة بازغة وهى أن الجينات الوائبة (ترانسبوزونات) التى إكتشفها أصلا باربارا ماكلنتوك، ربما سيمكن استغلالها كأدوات للتحوير الوراثى. ولما كانت هذه الجينات موجودة فى نباتات مهمة اقتصاديا مثل الذرة، فإنه مما يقبل التصور أنه سيمكن استخدامها لنقل جينات لصفات مرغوبة إلى هذه المحاصيل، مثل مقاومة الآفات والقدرة على مقاومة الجفاف.

وقد اكتسبت إحدى التجارب التي صممت لتقييم سلوك الترانسبوزونات أهمية تاريخية، لأنها تجربة تمت الموافقة عليها عام ١٩٨٩ في ألمانيا (الغربية سابقاً) ولكن ذلك كان بعد نشاط محموم قام به معارضو التحوير الوراثي لمنع استخدام ٤٠,٠٠٠ من نبات البتونيا فى التجربة. وقد قام الباحثون فى معهد ماكس بلانك فى كولونيا بإدخال جين ذرة فى البتونيا فحولها إلى لون وردى غير طبيعى. ولو حدث وقفز ترانسبوزون وسط هذا الجين الملون، فإن من المحتمل أنه سيجعل أجزاء من الزهرة بيضاء. وينبغى أن تبيّن النتائج مدى تحرك الترانسبوزونات إلى أماكن معينة بما يمكن التنبؤ به، أو وثوبها بما هو أكثر عشوائية. ويجب أن تتم الدراسة فى الهواء الطلق لأن ما كان متوقعا هو أن يحدث ثوب الجينات داخل البتونيا بمعدل بتونيا واحدة فقط من كل ٥,٠٠٠ إلى ١٠,٠٠٠ بتونيا، وهذا يستلزم استخدام أعداد كبيرة جدا من النباتات. ولما كان الإذن بالبحث لم يمنح إلا فى وقت جد متأخر بالنسبة لموسم الزرع فى عام ١٩٨٩، فإن الزرع قد تم فى عام ١٩٩٠.

#### التباين الجسدى - الخضرى:

النباتات التى يُجددُ إنمائها من خلايا وحيدة لا تكون متطابقة على نحو جازم كما كان يُظن من قبل. والنباتات التى تنتج بهذه الطريقة تُظهر اختلافات لها اعتبارها، وسبب ذلك إما وجود اختلافات رقيقة بين خلايا النبات الوالد، أو حدوث تغيرات أثناء عملية الإسترزاع. وهذا التباين الجسدى - الخضرى رغم أنه ليس شكلا من التحوير الوراثى، إلا أنه قد زدنا بمادة يمكن أن ننتخب منها أنواعا مرغوبة، مثل الأنواع ذات المحصول الوفير، وغير ذلك، ويكون الانتخاب هنا أسرع كثيرا مما يمكن إنتاجه بالطرائق التقليدية لتربية النبات - بل أسرع حتى مما بواسطة تكتيكات دنا المؤلف. وقد إتخذ بعض العلماء فى شركة بونيليفر هذا التناول لإنماء نخيل زيوت فائق، يحوى زيتا أكثر وأنواعا من نكهة الزيوت هى مفضلة أكثر. والتباين الجسدى - الخضرى قد استخدم أيضا لإنماء الطماطم التى لها محتوى أكبر

من الجوامد، وهي مما يستخدم الآن فى صنع الحساء وكتشب الطماطم. وخلايا أى من هذه النباتات المنتقاه «تكون» متطابقة، بحيث يمكن أن تستزرع نسخ خضرية من هذا النوع المختار.

### نباتات بمبيدات حشرية فى بنيتها:

هناك خيار بديل لإستخدام البكتريا أو الفيروسات كمبيدات حشرية بيولوجية، وهذا الخيار الآخر هو إدماج الجينات الواقية داخل النباتات نفسها. وهكذا فإن الباحثين، فى كل من مونساتو بالولايات المتحدة والأنظمة النباتية الوراثية فى بلجيكا، قد أضافوا الجين السمى المأخوذ من ب. ثورينجينسيس إلى الطباق والطماطم وغير ذلك من النباتات، وأثبتوا أن هذا يحمى النباتات من أن تتلفها الآفات. وهذه النباتات «غير الجينية» تعزز من مقاومة آفات مثل أبو دقيق والقراش. فالطماطم مثلا يمكن أن تجعل طماطم مقاومة للدودة القرنية للطباق، وأن تقاوم إلى حد أقل دودة الفاكهة للطماطم والدودة الدبوسية للطماطم.

وهذه التطورات تلقى ضوء كاشفا على ما هناك من منافسة بين مزايا وسائل للوقاية فعاليتها ذات خصوصية عالية، إزاء الوقاية غير المتخصصة ذات الفعاليات المتعددة. ووجود درجة عالية من الخصوصية بين السم والحشرة يمكن أن ينظر إليه كوسيلة لصياغة مقاومة الآفات على نحو مختلف عن الحرب الكيماوية الزراعية، ذلك أن هذه الوسيلة ذات قدرة لأن توجه إلى الهدف بدقة هائلة. وبكلمات أخرى، فإنه يمكن النظر إليها على أنها آمن كثيرا لأنها ببساطة لا تؤثر إلا فى نوع واحد، أو فى عدد قليل جدا من الأنواع.

ومن الأوجه الأخرى للتناول، طريقة أن تجعل النباتات تقاوم عددا كبيرا من المهاجمين المحتملين. وقد بدأ أحد هذه المشروعات عندما طلب من الباحثين فى جامعة درهام أن يدرسوا تزايد مقاومة سلالة معينة من اللوبيا *Vigna unguiculate*

لخفساء البروكيد، الأمر الذى تعرف عليه المعهد القومى للزراعة الإستوائية فى نيجيريا. وقد ثبت أن الأساس البيوكيميائى لهذه المقاومة هو زيادة فى مستوى أحد كوابح إنزيم التريسين الهضمى. وقد تم منذ ذلك الوقت إكتشاف كوابح عديدة من هذا النوع، ويعتقد أنها تعمل بالتدخل فى قدرة الحشرة على هضم البروتين.

وقد عمل الباحثون فى درهام بالإشتراك مع شركة كمبردج للوراثيات الزراعية، فأمكنهم تحديد تتابعات دنا فى عائلة من أربعة من هذه الكوابح. وإختاروا بعدها نسخا خضريا لدنا التكميلى لأحد كوابح التريسين وذلك من مكتبة دنا التكميلى للوبيا، ووضعوه تحت تحكم حاث جينى ونقلوه إلى داخل خلايا طباق مستخدمين الأجرىوبكتريام لهذا الغرض. ويتعرض النباتات المحورة لدودة برعم الطباق، فإن مايقرب من ٢٠ فى المائة منها أبدت مقاومة زائدة للدودة.. ومن الواضح أن الجين المولج يعمل على نحو جيد فى هذه النباتات - فالكابح يصل مقداره على الأقل إلى ٥,٠ فى المائة من كل البروتين الذائب الذى يتم إنتاجه فى الأوراق الصغيرة. ويتم توارث المقاومة على منوال مندلى بسيط، وثبت أن النباتات تقاوم مدى من الآفات الحشرية. يشير الإعجاب.

### سرقة ملابس الفيروس:

مقاومة الفيروس هى هدف رئيسى للتحويل الوراثى للنبات، وذلك نظراً للتكلفة الإقتصادية الهائلة للعدوى الفيروسية. وتقدر الخسائر السنوية فى بريطانيا نتيجة مهاجمة الفيروسات للبطاطس وبنجر السكر بما يبلغ ٥٠ مليون جنيه لكل محصول. وفى جنوب شرق آسيا يسبب مرض تنجرو للأرز خسائر تبلغ حوالى ١,٥٠٠ مليون دولار فى كل سنة، بينما تم فى غانا إزالة ما يزيد عن ١٩٠ مليون شجرة كاكاو منذ عام ١٩٤٦ فى محاولة لمكافحة مرض التفرع المتورم للكاكاو. وإحدى طرائق تناول المشكلة هى أن يولج فى خلايا النبات الجين الذى يشفر للبروتين المغلف لجسيم الفيروس. وتطبيق ذلك على الطباق وفيروس الطباق

الموزايكى، فإن هذا ينتج عنه نباتات محصنة ضد العدوى بالفيروس. وعند تلقيح النباتات بفيروس الطباق الموزايكى لا يبدو عليها أى نقص فى المحصول، بينما يقل محصول النباتات غير المحورة بمقدار ٢٣ - ٦٩ فى المائة. وقد سجلت نجاحات مشابهة فى جعل نباتات الطماطم والبطاطس تقاوم مدى واسع من الفيروسات بما فى ذلك فيروس إكس للبطاطس وفيروس وى للبطاطس وفيروس ألفا ألفا الموزايكى، وفيروس الخيار الموزايكى. ومن المعتقد أن الوقاية - التهجينية ناجمة عن التدخل بتربية جسيمات الفيروس داخل الخلية قبل عملية التناسخ.

### نباتات مقاومة لمبيدات الأعشاب:

أحد الأهداف الأخرى للتحوير الوراثى هو إنماء محاصيل ذات مقاومة عالية لمبيدات الأعشاب، مثل قاتلات العشب الإنتخابية التى تستخدم لمنع النباتات ذات الأوراق العريضة من النمو فى الممرات. والمبيدات العشبية مهمة أقصى الأهمية فى الزراعة لأنها تقلل من معدل تواتر عمليات الحرث لإقتلاع الأعشاب، وبالتالي تقلل من تكلفتها، كما أنها تعزز إنتاج المحصول بتقليل المنافسين، وتساعد المزارعين على منع التأخير فى الزراعة. وبالطبع فإن المحاصيل يجب أن تكون مقاومة للمبيدات العشبية المستخدمة لحمايتها، وهذه المقاومة هى هدف رئيسى للتربية التقليدية للنبات. على أن ثمة معوقات هنا. فالعديد من المبيدات العشبية التى ترش مثلا على الذرة فى الولايات المتحدة تظل باقية لما يكفى للتأثير فى فول الصويا الذى يئدر فى السنة التالية. والطرائق التقليدية لتربية فول صويا عنده المقاومة المناسبة هى طرائق محدودة.

على أن تكتيكات دنا المؤلف تتيح تخليق نباتات تقاوم المبيدات العشبية بسرعة أكبر كثيراً ودقة أعظم كثيرا. وأحد المبيدات العشبية الشائع استخدامها هو الجلايفوزيت، وهو يعمل بأن يعوق مفعول إنزيم ضرورى لنمو النباتات. وقد تم باستخدام الأجرىوكتريام نقل الجينات المسؤولة عن مقاومة الجلايفوزيت فى إ. كولاى

لداخل نباتات عديدة، بما فيها الطباق واللفت والبتونيا. وأصبح لهذه النباتات القدرة على النمو على نحو سوى حتى عندما ترش بالمبيد العشبي.

ويحاج النقاد الذين يعارضون إنماء نباتات مقاومة للمبيدات العشبية بأن زراعتها على نطاق واسع يحتمل أن تؤدي إلى زيادة، وليس نقصان، كميات المواد الكيميائية التي تستخدم كمبيدات عشبية. ومن الناحية الأخرى، يعتقد من يجذون هذا الخط من الأبحاث أن النباتات المقاومة للمبيدات العشبية سيكون لها تأثير إيجابي بالإقلال من الإستخدام الكلى للمبيدات العشبية من خلال أن يحل محلها منتجات أكثر فعالية وأكثر قبولا من الناحية البيئية.

### طماطم «الجين المخرب» :

ابتكر الباحثون على الجانبين المتقابلين من الأطنطى - باحثو جامعة نوتنجهام وشركة الصناعات الكيماوية الأمبراطورية بالملكة المتحدة، وكذلك باحثو شركة كامبل للحساء وشركة كالجين فى الولايات المتحدة - ابتكروا طريقة مستحدثة لمنع الفاكهة من أن تصبح طرية وعفنة. وكانت إستراتيجيتهم هى تعويق إنتاج إنزيم بوليغا - لاكتوبورونيز، وهو الإنزيم الذى يقوم طبيعيا لتحليل البكتين الموجود فى جدران الخلايا وبهذا يجعل الفاكهة طرية. أما تكتيكاتهم لذلك فكانت بالتدخل فى عملية إستنساخ الجين وذلك بأن أولجوا فى خلايا الطماطم قطعة مخلقة ملائمة من دنا تحوى «معنى مضاد»، أى أنها قطعة قد صممت بحيث تلتصق برنا الرسول المختص بإنزيم بوليغا لاكتوبورونيز وبهذا فإنها تمنعه من صنع الإنزيم. ورغم أنه قد حدث فى التجارب الأولى أن ظل ١٠ فى المائة من الإنزيم نشطا، إلا أن استخدام التلقيح الذاتى بين النباتات التى ظهر فيها أعلى مستوى كبح للإنزيم أدى إلى إنتاج نباتات وصلت نسبة كبح الإنزيم فيها إلى ٩٩ فى المائة. وأصبحت الطماطم أفضل عند تداولها من الطماطم العادية، ويقال أيضا أنها أفضل طعما. وسجلت كالجين شعار «جين النكهة والنجدة» كعلامة تجارية.

## نباتات تثبت النيتروجين:

من أكثر الأهداف إغراء في التحويل الوراثي العمل على إكساب النباتات القدرة على تثبيت النيتروجين اللازم لها من الهواء، بدلا من الاعتماد على الريزوبيات المتعايشة. ولن يكون هذا أمراً سهلاً. وسبب ذلك في جزء منه أن الريزوبيات تحتاج لما يزيد عن إثني عشر نوعاً مختلفاً من جينات تثبيت النيتروجين حتى تقوم بهذه المهمة. والصعوبة الأخرى هي في حث خلايا أحد النباتات (وهي خلايا ذات نواة حقيقية) على أن تشغل جينات منقولة من خلية بكتريا (أى خلية من ذوات النواة البدائية). ورغم أن خططاً مشابهة قد تم إنجازها في حالات مثل التعبير عن جين الإنسولين البشرى فى إ. كولاى، إلا أنه قد ثبت أن التعبير عن الجينات بعد نقلها هكذا للنبات هو مما يصعب إنجازها.

## تحسينات غذائية:

أحد الدوافع الأخرى لإدخال جينات جديدة إلى النباتات هو العمل على الإرتقاء بنوعيتها غذائياً. وجسم الإنسان يمكنه أن يخلق فحسب نصف الأحماض الأمينية العشرين الموجودة فى البروتينات. وحيث أنه ينبغي أن نحصل على الأحماض العشرة الأخرى فى طعامنا، فإن من المهم أن يتضمن غذاؤنا كميات كافية من البروتينات تستطيع أن تزودنا بهذه المواد الضرورية. والأخطار من عدم توفير ذلك هى أعظم كثيراً فى تلك المناطق من العالم التى يكون فيها محصول وحيد هو الذى يزود بالجزء الرئيسى من مادة الغذاء. وكمثل، نجد فى أجزاء من أفريقيا وأمريكا الجنوبية أن البروتينات الموجودة فى الكثير من البقول فقيرة فى الأحماض الأمينية التى تحوى الكبريت. ونقص الأحماض التى من هذا النوع يمكن تعويضه بأن تطعم هذه المحاصيل بجينات تؤخذ من نبات مثل جوز البرازيل الذى يحوى كميات كبيرة من هذه الأحماض الأمينية. ويمكن استخدام تحويلات مشابهة لزيادة محتويات النبات من الزيوت والدهون وغير ذلك من العناصر الغذائية.

## أدوية من النباتات:

سجل باحثون أمريكيون فى عام ١٩٨٩، أنهم قد حوروا خلايا ورقة الطباق باستخدام حمض نووى مأخوذ من هيريدوما (\*) فأر. وقد أكسب ذلك خلايا الطباق القدرة على إنتاج نفس الأجسام المضادة التى كانت تصنعها خلايا الهيريدوما. وثمة تطويرات أخرى أيضا، تدل على أن النباتات يمكن تحويرها ثم زرعها لتعمل كمصانع لإنتاج بروتينات ذات فائدة طبية مما يتم إنتاجه طبيعياً بواسطة الحيوانات. وقد حورت البطاطس لتنتج زلال السيرم، وهو بروتين من بروتينات الدم البشرى يستخدم للتغلب على الصدمة ولزيادة حجم الدم عندما ينقص بسبب الجراحة أو الحروق. كما أن نباتات اللفت قد برمجت لإنتاج الإنكفالين، وهو مادة طبيعية لإزالة الألم يتم تخليقها فى مخ الإنسان. وفى حين أن إنتاج هذه المواد باستخدام الميكروبات يمثل تقدماً رئيسياً بالمقارنة لإستخلاصها من الأنسجة الحيوانية بطرائق هى أكثر مشقة (وأحيانا أكثر خطراً)، إلا أن بعض علماء البيوتكنولوجيا يؤمنون بأنه يمكن إنتاج هذه المواد بأرخص من ذلك عندما نستخدم النباتات.

### هل يمكن إطلاق نباتات محورة دون خطر؟

تنشأ فى حالة النبات المحور نفس شواغل البال التى نشأت بشأن الميكروبات المعدلة وراثيا ومدى سلامة أن يحدث تثارها فى البيئة. والنباتات يمكن تدميرها بالحرق أو بوسائل أخرى مدامت محصورة فى مشروع أو حقل، ورغم ذلك فإن هذه النباتات ربما يكون قد تم تثارها من قبل فى شكل حبوب لقاح أو بذور أو أنسجة أخرى وصلت لمكان بعيد تماماً عن موقع التجربة. ومرة أخرى، فإن تقييم الأخطار الممكنة من ذلك يعتمد على خبرتنا السابقة كما يعتمد أيضا على الإستدلال البديهي عن الطريقة المحتملة لسلوك نبات معين فى بيئة معينة.

(\*) خلايا هجينة مدمجة تستخدم لإنتاج أجسام مضادة نقية. (الترجم).

ويستشهد بعض العلماء بالذرة كممثل لنبات نفيس من صنع الإنسان يكذب الفكرة التي نودى بها أثناء السنوات الأولى لمناقشة أمر دنا المؤلف، وهي فكرة أن الكائنات الحية المخترعة إصطناعيا سوف تتكاثر تكاثراً غير محكوم. ويجادل آخرون بأن تغيرات البنية التي جعلت الذرة في حالة اعتماد على البشر هي تغيرات غير معتادة نسبياً، وأنه ينبغي ألا نستقى مبادئ عامة من هذه الخبرة. على أن هناك إتفاق عام على أن ما تم من تربية للنبات عبر القرون، جرى تنفيذها بفهم يتزايد تدريجياً، لم ينتج عنها أى نباتات لها القدرة على أن تسبب أضراراً بيئية. بل أن التربية التقليدية للنبات تستلزم الآن عمليات نقل للجينات فيها قدر من عدم التمييز وعدم اليقين أكبر كثيراً من التطعيم الدقيق الذى يمكن عمله الآن بواسطة تكتيكات دنا المؤلف، وهذه الحقيقة تطرح بالفعل أن هذه التحويلات ليست مما يحتمل أن يتسبب فى منتجات خطيرة لا يمكن التنبؤ بها.

وبالطبع فقد كان ثمة عواقب غير مواتية حين تناثرت نباتات معينة فى أراضى جديدة إما عن طريق الصدفة، أو عمداً ولكن دون فكر واف. وكمثل فإن شجرة أرز المالح قد أدت لضرر له قدره منذ أن غزت ولايات الجنوب الغربى القاحلة فى أمريكا فى أوائل هذا القرن. وأرز المالح له على وجه الخصوص جذور عميقة ويمتص الماء بمعدل هائل. ورغم أن هذا النبات يتطلب مناطق رطبة من أجل إنباته ونموه المبكر، إلا أنه ما إن يرسخ فى الأرض حتى يستطيع الحفاظ على حياته بإستخدام الماء الذى يأتيه من أعماق التربة. وأرز المالح يستعمر أيضاً الينابيع الطبيعية ومجارى المياه فى المناطق الصحراوية. وقد غزا أرز المالح أثناء الثلاثينيات نبع إيجل بوراكس فى وادى الموت، وبعد ذلك فإنه تسبب عند أواخر الستينيات فى إختفاء المياه السطحية بالكامل فيما كان ذات يوم مستنقعا كبيرا. وعندما أزيلت الأشجار عادت المياه.

والتغيرات الوراثية فى النباتات قد تسبب أيضاً تغيرات إيكولوجية. وأحد أمثلة ذلك هو نوع من الحشائش الجبالية يسمى سباتينا أنجليكا، وأصل نشأته فى سولنت

بإنجلترا منذ حوالي القرن. وهذا يعد آفة مرعبة بسبب قدرته على النمو فوق المسطحات الموحلة القاحلة الناجمة عن المد والجذر، بحيث يضيق من المسالك المائية ويسد الموانئ وفي نفس الوقت فإن هذه الصفات نفسها تجعل من هذا النبات حليفاً عزيزاً عند زراعته لإستصلاح الأرض ومنع التآكل.

### هل يمكن صنع الأعشاب بالصدفة؟

أحد الأخطار الافتراضية للتحوير الوراثي هو أن تنتج بالصدفة أعشاب تنمو نمواً عدوانياً بحيث تمحو الأنواع المزروعة وغيرها من الأنواع المطلوبة. وهذا أمر ممكن نظرياً. ولكن الصفة العشبية في النباتات هي نتيجة فعل جينات عديدة تعمل معاً، وبالتالي فهي مما لا يحتمل أن ينتج بغير قصد عن التحوير بدنا المؤلف. وكما في حالة الميكروبات، فإن لنا خبرة بالنباتات لطيلة عقود قبل وفود الطريقة الحديثة للتطعيم بالجينات، وهذه الخبرة قد زودتنا أيضاً بقدر كبير من المعرفة يمكننا على أساسه أن نتنبأ بطريقة السلوك المحتمل للتوليفات المستحدثة للجينات، والطريقة التي يمكن بها أن يتشابه نبات محوّر مع والديه.

ورغم أن إنتاج الأعشاب صدفة في المعمل هو أمر غير محتمل، فما زالت هناك مسألة تخطي الآن بمزيد من الدراسة، وهي عما إذا كان من المحتمل أن تنتقل الجينات بواسطة حبوب لقاح من نبات محوّر إلى أقارب له موجودين من قبل كأعشاب. ومما لا شك فيه أن الكثير من الصفات التي ينظر في أمر إدخالها على المحاصيل ستكون مفيدة للأعشاب - كما مثلاً بالنسبة لمقاومة مبيدات الحشائش وتحمل الأملاح وتثبيت النيتروجين. وفوق ذلك، فإن الأبحاث الحديثة تدل على أن حبوب اللقاح يمكنها أن تنتقل لأبعد وأسرع مما كان يعتقد فيما مضى أنه من الممكن. والإستراتيجيات المحتملة لتوقى نقل الجينات للأقارب العشبية تتضمن إجراءات لتعزيز الإخصاب الذاتي وللإقلال من عمر حبوب اللقاح.

## إجهاض الوظيفة الطبيعية لحبوب اللقاح:

طبق العلماء البلجيكيون والأمريكيون في عام ١٩٩٠ تحويراً وراثياً لمنع حبوب اللقاح من أن تنامي إلى نبات الطباق أو نبات لفت بذور الزيت. فقد أضافوا إلى هذين النباتين جين يشفر إلى إنزيم ريبونيوكليز (إنزيم يؤدي إلى تحلل رنا). ويتم التعبير عن الجين من خلال المتك، حيث يدمر على نحو إنتخابي الخلايا التي تبطن كيس حبوب اللقاح، مما يؤدي إلى عقم ذكوري. وفي نفس الوقت قامت جماعة بحث أسترالية بتوصيف نسق يحدث طبيعياً بطريقة تماثل ذلك كثيراً. وهذا التكنيك ربما يستخدم في المستقبل للتأكد من أن المزارعين عندما يزرعوا بذورا تم الحصول عليها بتهجين خطين من والدين من الذرة مثلا، فإنهم سيكونوا واثقين من أنها ستعطي مهجنات ذات محصول وافر، وذلك بدلا من البذور المستقاة من التلقيح الذاتي أو التلقيح العشوائي. أما حاليا فإنه يلزم استخدام الإحصاء اليدوى بكل ما فيه من جهد بالغ (وتكلفة عالية) لإنتاج بذور مهجنة للذرة والطماطم والكرنب وغير ذلك من نباتات المحاصيل. وربما سيتمكن أيضا استغلال ما يماثل ذلك من طرائق لإحداث العقم حتى نتأكد من أن الجينات المدخلة لن تتناثر من خلال حبوب لقاح النباتات المعدلة وراثياً.