



ثانياً: ما هي التقانة الحيوية الزراعية؟

وقد استخدمت عدة تطبيقات للتقانة الحيوية، مثل التخمير والتخمّر، منذ آلاف السنين. وهناك تطبيقات أحدث ولكنها أصبحت راسخة أيضاً. فمثلاً، استخدمت الكائنات الدقيقة لعشرات السنين باعتبارها مصانع حية لإنتاج المضادات الحيوية التي تنقذ الحياة، ومنها البنسيلين المأخوذ من فطر البنسيليوم والستربتومايسين المأخوذ من بكتيريا ستربتوميسز. وتعتمد المنظفات الحديثة على إنزيمات تنتج بواسطة التقانة الحيوية، كما أن إنتاج الجبن الجامد يعتمد بدرجة كبيرة على

التقانة الحيوية، بمعناها الواسع، هي أي تقنية تستخدم كائنات حية أو مواد من تلك الكائنات لإنتاج منتج معين أو تعديله لغرض بعينه (الإطار ٢). ويمكن تطبيق التقانة الحيوية على جميع أنواع الكائنات - من الفيروسات والبكتيريا إلى النباتات والحيوانات - كما أنها أصبحت سمة رئيسية في النشاط العصري في كل من الطب والزراعة والصناعة. وتشمل التقانة الحيوية الزراعية الحديثة مجموعة واسعة من الأدوات التي يستخدمها العلماء لفهم التركيب الوراثي في الكائنات ومعالجته لاستخدامه في إنتاج المنتجات الزراعية أو تجهيزها.

الإطار ٢

تعريف التقانة الحيوية الزراعية

في اتفاقية التنوع البيولوجي، وتعريفًا ضيقًا على أنها "مجموعة من التقانات الجزيئية المختلفة مثل تغيير الجينات أو نقلها وطرز الدنا، واستنساخ النباتات والحيوانات" (FAO, 2001a).

وأساليب الحمض النووي المعاد تركيبه، والتي تعرف أيضًا باسم الهندسة الوراثية أو التعديل الوراثي (وهو الأكثر شيوعًا وإن كان أقل دقة)، فتشير إلى تعديل التركيب الوراثي لكائن ما، باستخدام طرق التحويل الوراثي، حيث يتم نقل "الدنا" من أحد الكائنات أو من خلية (وهو الجين المنقول) إلى كائن آخر دون تكاثر جنسي. والكائنات المحورة وراثيًا يتم تحويلها باستخدام تكنولوجيا التحويل الوراثي أو "الدنا" المعاد تركيبه، حيث يتم إدخال الجين المنقول إلى الجينوم العائل أو تعديل الجين الموجود في العائل من أجل تغيير مستوى تعبيره عن صفاته. وكثيرًا ما يستخدم مصطلحا "الكائن المحول وراثيًا" و "الكائن المهندس وراثيًا" بالتبادل، رغم أنهما ليسا متطابقين من الناحية الفنية. وسوف يستخدم المصطلحان في هذا التقرير باعتبارهما مترادفين.

تعرف اتفاقية التنوع البيولوجي التقانة الحيوية بأنها: "أي تطبيق تكنولوجي يستخدم نظم بيولوجية، أو كائنات حية أو مشتقاتها في صنع أو تعديل منتجات لاستخدام بعينه" (أمانة اتفاقية التنوع البيولوجي، ١٩٩٢). ويشمل هذا التعريف التطبيقات الطبية والصناعية، وكذلك الكثير من الأدوات والأساليب الشائعة في الزراعة وإنتاج الأغذية.

أما بروتوكول كرتاخينا للسلامة البيولوجية فيعرف "التقانة الحيوية الحديثة" بطريقة أضيق على أنها تطبيق:

- (أ) أساليب الحمض النووي في المختبرات، بما في ذلك "الدنا" (DNA) والحقن المباشر للحمض النووي في الخلايا أو العضيات؛
- (ب) دمج خلايا من خارج العائلة، بحيث تتغلب على التكاثر الفسيولوجي الطبيعي أو حواجز إعادة التركيب، وهي طرق غير مستخدمة في التربية أو الانتقاء الطبيعيين.

(أمانة اتفاقية التنوع البيولوجي، ٢٠٠٠).

أما مصطلحات منظمة الأغذية والزراعة فتعرف التقانة الحيوية تعريفًا واسعًا كما جاء

فهم الموارد الوراثية وتوصيفها وإدارتها

استخدم المزارعون والرعاة المادة الوراثية في النباتات والحيوانات منذ أن بدأت الزراعة قبل أكثر من ١٠٠٠٠ سنة. واستطاع المزارعون أن يستعملوا أسلوب الاستئناس خلال آلاف السنين في دورات متعددة من انتقاء أفضل العناصر المتكيفة مع الظروف. واستغلال التنوع الطبيعي في الكائنات الحيوية على هذا النحو هو الذي أنتج ما لدينا اليوم من المحاصيل والأشجار المزروعة وحيوانات المزرعة والأسماك المستزرعة، وهي كلها تختلف اختلافاً كبيراً عن أسلافها السابقة (انظر الجدول ١).

وهدف المربي العصري هو نفس هدف المزارعين الأوائل، أي إنتاج محاصيل وحيوانات أرقى. وكانت التربية التقليدية تعتمد على تطبيق مبادئ الوراثة التقليدية القائمة على الخصائص الحسية أو الفيزيائية في الكائنات، وقد نجحت نجاحاً كبيراً في إدخال السمات المرغوب فيها في أصول المحاصيل أو في سلالات حيوانات بفضل استئناس الأقارب البرية أو اللجوء إلى الطفرات (الإطار ٣). وفي التهجين التقليدي الذي تقدم فيه كل واحدة من الأسلاف نصف الصفات الوراثية قد تنتقل سمات غير مرغوب فيها إلى جانب السمات المطلوبة، ثم يجب استبعاد هذه السمات غير المرغوب فيها بعمليات تربية متتالية. وفي كل جيل يجب اختبار الأصل لمعرفة خصائص نموه وسماته التغذوية والتجهيزية، وقد يتطلب الأمر عدة عمليات وأجيال قبل الوصول إلى المزيج المطلوب من السمات. وقد تكون الفترات الزمنية المطلوبة طويلة جداً، وخصوصاً في حالة المحاصيل المعمرة مثل الأشجار، وحالة بعض أنواع الحيوانات. وهذا الانتقاء القائم على الخصائص الحسية يكون بطيئاً ويتطلب عمليات كثيرة ويكون باهظاً من حيث الوقت والمال. وتستطيع التقانة الحيوية أن تجعل تطبيق أساليب التربية التقليدية أكفأ بكثير.

علم الجينوم

تأتي أكبر إنطلاقات في التقانة الحيوية الزراعية من بحوث تركيب الجينوم والآليات الوراثية الكامنة وراء السمات المهمة من الناحية الاقتصادية (الإطار ٤). ودراسة الجينوم أخذة في التوسع بسرعة وهي تقدم معلومات عن هوية الجينات وموقعها وتأثيرها وطريقة عملها مما يؤثر في السمات - وكلها معارف ستزيد من تطبيق التقانة

الأنفحة المنتجة من خميرة بأساليب التقانة الحيوية، وينتج الأنسولين لعلاج مرضى السكر أيضاً باستعمال التقانة الحيوية.

وتستخدم التقانة الحيوية لمعالجة المشكلات في جميع مجالات الإنتاج الزراعي وتجهيز المنتوجات الزراعية. ومن هذه المجالات تربية النباتات لرفع الغلات واستقرارها، وتحسين مقاومة الآفات والأمراض والإجهاد الحيوي مثل الجفاف والبرد، وتعزيز المحتوى التغذوي في الأغذية. كما تستخدم التقانة الحيوية لإنتاج مواد غرس زهيدة الثمن وخالية من الأمراض لمحاصيل مثل الكسافا والموز والبطاطس، وهي تخلق أدوات جديدة لتشخيص أمراض الحيوانات والنباتات وعلاجها ولقياس الموارد الوراثية وصيانتها وأيضاً لتعجيل برامج تربية النباتات والحيوانات والأسماك ولتوسيع مدى السمات المطلوبة. وتمر الأعلاف الحيوانية وممارسات تربية الحيوان بتغيرات بسبب التقانة الحيوية التي تهدف إلى تحسين تغذية الحيوانات وتقليل الفقد البيئي. وهي تستخدم أيضاً في تشخيص الأمراض وفي إنتاج اللقاحات ضد أمراض الحيوان. ومن الواضح أن التقانة الحيوية أوسع من الهندسة الوراثية. والحقيقة أن بعض جوانب التقانة الحيوية الزراعية التي لا تثير خلافاً كبيراً هي التي تنطوي على أكبر إمكانات وأكبر منافع للفقراء. فمثلاً دراسة علم الجينوم تحدث ثورة في فهمنا لطريقة عمل الجينات والخلايا والكائنات والنظم الإيكولوجية، وتفتح آفاقاً جديدة للتربية بواسطة الواسمات وإدارة الموارد الوراثية. وفي الوقت نفسه تعتبر الهندسة الوراثية أداة قوية جداً يجب أن يخضع دورها لتقييم دقيق. فمن المهم أن نفهم كيف تستطيع التقانة الحيوية - وخصوصاً الهندسة الوراثية - أن تكمل وتوسع الأساليب الأخرى إذا أمكن اتخاذ قرارات حكيمة بشأن استخدامها.

ويقدم هذا الفصل وصفاً مختصراً للاستخدامات الجارية والممكنة للتقانة الحيوية في مجالات المحاصيل والإنتاج الحيواني والأسماك والغابات بهدف فهم هذه التقانات نفسها وطريقة تكميلها أو توسيعها للأساليب الأخرى. ونود أن نؤكد أن أدوات التقانة الحيوية ليست إلا أدوات وليست غايات في حد ذاتها. وهي كأدوات يجب أن تخضع للتقييم في السياق الذي ستستخدم فيه.

الجدول ١ الحدود الزمنية للتقانة الزراعية

التدخلات الوراثية	العصر	التقانة
استطاعت المهندبات حصاد المحاصيل بالاعتماد على التنوع البيولوجي، واستأنست المحاصيل والحيوانات، وبدأت في انتقاء مواد نباتية للإكثار وانتقاء الحيوانات للتربية	نحو ١٠٠٠٠ سنة قبل الميلاد	في التاريخ القديم
تخمير الجعة، وصناعة الجبن، وتخمير النبيذ	نحو ٣٠٠٠ سنة قبل الميلاد	
التعرف على مبادئ الوراثة بواسطة Gregor Mendel عام ١٨٦٥ مما أرسى أسس أساليب التربية التقليدية	نهاية القرن التاسع عشر	تقليدية
استنباط محاصيل مهجنة تجارياً	سنوات الثلاثين من القرن العشرين	
استخدام الطفرات الوراثية، وزرع الأنسجة، وإعادة إحياء النباتات. اكتشاف التغيير والاستقطاع. Crick و Watson يكتشفان تركيب الحامض النووي (الدنا) عام ١٩٥٣. التعرف على الجينات التي تنفصل وتتحرك، الناقل (ترانسبوزون)	من الأربعينات إلى الستينات	
ظهور نقل الجينات بفضل تقنيات الكائنات مترابطة "الدنا". استخدام إنقاذ الأجنة والدمج البروتوبلازمي في تربية النباتات والتلقيح الاصطناعي في تكاثر الحيوانات	السبعينات	عصرية
ظهور الأنسولين كأول منتج تجاري من نقل الجينات. زراعة الأنسجة لإكثار النباتات على نطاق واسع ونقل الأجنة في الإنتاج الحيواني	الثمانينات	
التوسع في عمل بصمات وراثية لمجموعة واسعة من الكائنات. أول تجارب حقلية على أصناف النباتات التي خضعت للهندسة الوراثية عام ١٩٩٠ ويعد ذلك إطلاقها لأول مرة تجارياً عام ١٩٩٢. ظهور لقاحات وهرمونات بواسطة الهندسة الوراثية واستنساخ الحيوانات	التسعينات	
الحاسوبيات الحيوية، ودراسة الجينوم، ودراسات البروتيوم، ودراسات التمثيل الغذائي	سنوات الألفين	

المصدر: مأخوذ بتصرف من FAO (2002a) و van der Walt (2000).

الإطار ٣ التربية بمساعدة الطفرات المستحثة

وقد أسفرت الطفرات المستحثة للمساعدة في التربية عن استنباط أصناف جديدة للكثير من المحاصيل مثل الأرز والقمح والشعير والتفاح والحمضيات وقصب السكر والموز (تضم قاعدة البيانات المشتركة بين منظمة الأغذية والزراعة والوكالة الدولية للطاقة الذرية للأصناف المستحثة أكثر من ٣٠٠ من الأصناف المعلنة رسمياً^(١)). وقد ترجمت الطفرات في تربية المحاصيل إلى نتائج اقتصادية هائلة على الزراعة وإنتاج الأغذية، وأصبحت تقدر الآن بمليارات الدولارات الأمريكية وملايين الهكتارات من الأراضي المزروعة. بل إن أساليب استحداث الطفرات شهدت مؤخرًا نهضة جديدة، قفزت إلى ما هو أكثر من مجرد استخدامها بصورة مباشرة في التربية إلى تطبيقات جديدة مثل اكتشاف جينات جديدة وجينات معكوسة.

الطفرات التلقائية هي المحرك "الطبيعي" للتطور، وهي المصدر الذي يلجأ إليه المربون لاستزراع المحاصيل و"لخلق" أصناف أفضل. فلولا الطفرات، لما كان هناك أرز ولا ذرة ولا أي محصول آخر. وقد شاركت الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الأغذية والزراعة، ابتداءً من السبعينات، في إجراء بحوث عن الطفرات المستحثة من أجل تحسين الصفات الوراثية للمحاصيل الغذائية والصناعية بهدف إنتاج أصناف جديدة محسنة. وتحدث الطفرات المستحثة بمعالجة أجزاء من النباتات بمستحضات كيميائية أو فيزيائية ثم انتقاء التغييرات المرغوب فيها، وذلك لمحاكاة الطفرات التلقائية ولتوسيع قاعدة التنوع الوراثي بصورة اصطناعية. ولم يكن هناك بشكل عام أي قلق بشأن الطبيعة الدقيقة للطفرات المستحثة، بغض النظر عما إذا كانت الأصناف المستحثة تستخدم استخداماً مباشراً أو كمصدر لاستنباط أصناف جديدة في برامج التهجين.

(١) يمكن الحصول على هذه القائمة من العنوان التالي:

<http://www-infocris.iaea.org/MVD/>

الإطار ٤

الحمض النووي من البداية

يمكن استخدامها بالنسبة لجميع الكائنات الحية فحسب، بل إنه أعطاها أيضا نموذجا للتعاون الدولي في معالجة الكثير من مشروعات تسلسل الجينوم لبعض النباتات النموذجية مثل الخردل والأرز. وللحصول على أحدث المعلومات عن "الدنا" والمواد الوراثية وعلم الوراثة، يمكن الرجوع إلى الموقع التالي على الإنترنت www.dnafromthebeginning.org وهو الموقع الذي أنشأه مختبر Cold Spring Harbor Laboratory في الولايات المتحدة، الذي يحتوى على الكثير من الأعمال الرائدة في مجال علم الوراثة والهندسة الوراثية.

كل شئ حي مكون من خلايا تسير حسب برنامج تضعه مادة وراثية يطلق عليها اسم الحمض النووي (الدنا). وجزء صغير فقط من سلسلة "الدنا" هو الذي يصنع الجينات التي تتحكم بدورها في البروتينات، أما الجزء الباقي من "الدنا" فيمثل سلاسل غير متحركة لا يعرف دورها بوضوح حتى الآن. وتنظم هذه المادة الوراثية في أزواج من الكروموسومات. وكمثال، فإن هناك خمسة أزواج في أصناف الخردل *Arabidopsis thaliana* التي أجريت عليها دراسات عديدة. ويطلق على مجموعة الكروموسومات في أي كائن اسم جينوم. فمشروع تسلسل الجينوم البشري لم يعط جهات البحوث الزراعية الكثير من التكنولوجيات الفرعية التي

بينها، كما أن جينوم الفئران والمالريا يوفر نماذج للحيوانات ولبعض الأمراض التي تصيبها. وهناك الآن نماذج لأصناف أغلب المحاصيل والحيوانات والأمراض، كما أن معرفة جينوم هذه الأصناف كلها تتزايد بسرعة.

الواسمات الجزيئية

توافر معلومات موثوق بها عن توزيع التنوع الوراثي شرط أولي لسلامة برامج الانتقاء والتربية والصيانة. ويمكن تقييم التنوع الوراثي بين الأصناف أو بين الأفراد إما في الحقل أو بدراسة الواسمات الجزيئية وغيرها من الواسمات في المختبرات. ويتطلب الأمر المزج بين هاتين الطريقتين للتوصل إلى نتائج موثوق بها. والواسمات الجزيئية هي حلقات يمكن التعرف عليها في "الدنا" وتوجد في مواقع معينة من الجينوم وترتبط بوراثة سمة معينة أو الجين المتصل بها. ويمكن استخدام هذه الواسمات الجزيئية في (أ) التربية باستعمال هذه الواسمات: (ب) فهم الموارد الوراثية وصونها: (ج) التحقق من النوع الجيني. وهذه الأنشطة حاسمة في التحسين الوراثي لكل من المحاصيل والغابات والأشجار والحيوانات والأسماك.

التربية باستخدام الواسمات

يمكن استخدام خرائط الترابط الوراثي للتعرف على الجينات التي تؤثر في سمات ذات أهمية اقتصادية في النباتات أو الحيوانات، وفي اختيار هذه الجينات. وتكون إمكانات الاستفادة من الانتقاء بواسطة الواسمات أكبر ما تكون في السمات التي تخضع لعدة

الحيوية في جميع القطاعات الزراعية. ودراسة الجينوم هي التي تضع الأساس للأنشطة التالية لها، بما في ذلك تخصصات جديدة مثل علم البروتينات وعلم التمثيل الغذائي لتوليد معارف عن تركيب الجينات والبروتينات، وعن طريقة عملها وتفاعلها. وهذه التخصصات تسعى إلى فهم بيولوجيا الجزيئات في الكائنات حتى يمكن استخدامها استخداماً عملياً.

كذلك أمكن تطوير مجموعة واسعة من التقنيات والمعدات الجديدة وسريعة التقدم من أجل توليد ومعالجة المعلومات عن تركيب النظم البيولوجية وطريقة عملها. ويطلق على استخدام هذه المعلومات وتنظيمها اسم البرمجيات الحيوية. والتقدم في هذه البرمجيات قد يسمح بالتنبؤ بطريقة عمل الجين استناداً إلى بيانات تتابع الجينات: فبوضع قائمة جينات أي كائن يمكن إقامة إطار نظري عن بيولوجيته. وبمقارنة الخرائط الفيزيائية والجينية وتتابع "الدنا" بين مختلف الكائنات يمكن تقليل الوقت المطلوب للتعرف على الجينات المفيدة واختيارها.

ومن خلال إنتاج خرائط الجينات التي تعرض الموقع الدقيق للجينات وتتابعها يكون من الواضح أن مختلف أنواع الجينوم البعيدة فيما بينها تشترك في بعض الخصائص (الإطار ٥)، أي أن علم الجينوم المقارن يساعد على فهم الكثير عن الجينوم استناداً إلى دراسة مكثفة لعدد قليل فحسب من تلك الجينومات. فمثلاً تكون دراسة تتابع الجينوم في الأرز مفيدة في دراسة جينوم حبوب أخرى تشترك معه في بعض الخصائص بحسب درجة القرابة

أمر مفيد في توجيه أنشطة الصيانة الوراثية وفي استنباط أنواع للتربية من المحاصيل والحيوانات والغابات والأسماك. وقد كشفت الدراسات التي استخدمت هذه التقنيات في أصناف الأسماك وأنواع أشجار الغابات عن وجود مستويات عالية من التنوع الوراثي داخل الأفراد وفيما بينها. وتتميز أنواع الحيوانات بارتفاع درجة التنوع الوراثي في نفس المجموعة من الأفراد في حين أن المحاصيل بها درجة عالية من التنوع فيما بين الأصناف. ولا تستطيع البيانات المستقاة من أساليب أخرى، مثل المشاهدات الميدانية أن تقدم مثل هذه المعلومات، أو قد يكون جمعها بهذه الأساليب أمراً في غاية الصعوبة. ويتزايد استخدام الواسمات الجزيئية في دراسة توزيع التنوع الوراثي وأمنائه. فمثلاً تشير عمليات المسح العالمية إلى أن ٤٠ في المائة من السلالات

جينات مثل غلة الفاكهة، أو جودة الأخشاب، أو مقاومة الأمراض، أو إنتاج اللبن واللحم، أو دهون الجسم، وهي سمات يكون قياسها صعباً ويحتاج إلى وقت كبير وتكاليف باهظة. كما يمكن استخدام الواسمات لزيادة سرعة أو كفاءة إدخال جينات جديدة من أفراد إلى أفراد آخرين، مثلاً عند إدخال جينات من الأقارب البرية إلى الأصناف النباتية الحديثة. وإذا أمكن العثور على السمات المرغوبة في نفس الصنف (مثل صنفين من الدخن - الإطار ٦) يمكن نقلها بأساليب التربية التقليدية مع الاستفادة من الواسمات الجزيئية في تعقب الجين المطلوب.

قياس التنوع الوراثي وصونه

استخدام الواسمات الجزيئية لقياس مدى التنوع على المستوى الوراثي في داخل أنواع معينة أو فيما بينها.

الإطار ٥

السننينية هي الحياة!

بقلم Mike Gale^(١)

الكروموسومات الاثني عشر في الأرز وبين الكروموسومات العشرة في الذرة والكروموسومات السبعة الأساسية في القمح والشعير بطريقة تجعل أي نصف قطر يرسم في الدائرة يمر بنسخ مختلفة، تعرف باسم الأليلات، من نفس الجينات. ولا شك أن اكتشاف السننينية كان له تأثيره الهائل على طريقة تفكيرنا بشأن علم الوراثة النباتية. فهناك تطبيقات واضحة لدراسات التطور، مثل الأسهم البيضاء على دوائر القمح والذرة التي تصف انتقالات التطور الكروموسومي الذي يصف مجموعتي الحشائش Pooideae و Panicoideae. وهناك فرصة كبيرة لمعرفة وجود ومكان أي جين في صنف ما مما نعرفه من صنف آخر. فالآن، وبعض أن أصبحنا نملك التسلسل الكامل "للذرة" في الأرز، نستطيع أن نحدد ونعزل جينات أساسية من عدد كبير من جينومات الأصناف التي تصعب دراستها مثل القمح والشعير، بتوقع وجود نفس الجينات بنفس الترتيب الموجود في الأرز. فقد أمكن مؤخراً عزل جينات رئيسية لمقاومة الأمراض وتحمل التربة الحمضية من الشعير والرأي بهذه الطريقة. وبالنسبة للتربية العملية للنباتات، فإن معرفة السننينية تسمح للمربين بالحصول على جميع أليلات كل الحبوب مثلاً، بدلاً من

السننينية هي صون أو اتساق محتوى الجين ونظام الجين في كروموسومات جينومات النباتات المختلفة. فحتى وقت متأخر من الثمانينات كنا نتصور أن كل نبات محصولي له خريطته الوراثية الخاصة به. ولم ندرك أن الأصناف ذات الصلة ببعضها لها خرائط وراثية متماثلة بصورة ملحوظة إلا عندما استطعنا أن نرسم أول خرائط جزيئية باستخدام الطريقة التي تعرف باسم "اختلاف أطوال قطع الدنا بالأزيمات المقيدة". فقد أوضحت التجارب الأولى الاحتفاظ لعدة ملايين من السنين بتطور العلاقات بين البطاطس والطماطم في النباتات عريضة الأوراق، وبين الجينومات الثلاثة لقمح الخبز في الحشائش. ثم استطعنا بعد ذلك أن نبين أن نفس التشابه موجود في جينومات الأرز والقمح والذرة، وهي الجينومات التي انفصلت عن بعضها بفعل ما يقرب من ٦٠ مليون سنة من التطور. ويلخص الرسم البياني هذا البحث، مبيناً أن ٧٠ في المائة من أطعمة العالم ترتبط ببعضها في خريطة واحدة. فمن الممكن الربط بين

(١) البروفيسور Gale هو نائب مدير مركز جون اينز، الترويش، المملكة المتحدة.

من الضروري التعرف بدقة على أصول الاستنساخ من أجل الإكثار على نطاق واسع. كما استخدمت هذه الواسمات للتعرف على الأنواع البحرية المعرضة للخطر التي تصاد إما عرضاً أثناء الصيد، أو التي تصاد عن عمد بطريقة غير مشروعة. ويستخدم التحقق من النوع الوراثي على نطاق واسع في اختبار أقارب الحيوانات المستأنسة ولتعقب المشتقات الحيوانية في السلسلة الغذائية حتى التوصل إلى منشأ الحيوان والمزرعة.

المتبقية من الحيوانات المستأنسة معرضة للانقراض. ومعظم هذه السلالات لا يوجد إلا في البلدان النامية وبالتالي تكون المعلومات قليلة عنها وعن إمكانات تحسينها. وقد تحتوي هذه السلالات على جينات قيمة تسمح بالتأقلم أو بمقاومة الإجهاد، مثل تحمل الحرارة أو مقاومة الأمراض، وهذه سمات قد تكون مفيدة للأجيال المقبلة. وتستطيع التقانة الحيوية الحديثة أن تساعد على وقف الاتجاه نحو الانقراض الوراثي في جميع قطاعات الأغذية والزراعة.

التحقق من النوع الوراثي

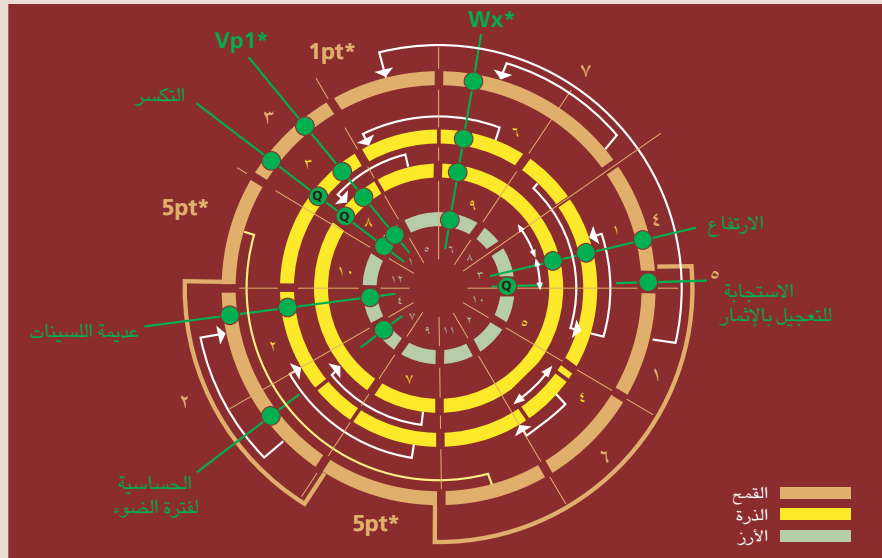
كانت الواسمات الجزيئية تستخدم استخداماً واسع النطاق للتعرف على النوع الوراثي ولعمل "بصمات وراثية" للكائنات. وقد استخدمت البصمات الوراثية في البرامج المتقدمة لتربية الأشجار التي يكون فيها

تربية المحاصيل والأشجار وإكثارها

إلى جانب الانتقاء بواسطة الواسمات، الذي سبق وصفه، هناك عدد من التقانات الحيوية التي

في أي صنف من أصناف الحبوب، بما في ذلك ما يسمى "بالمحاصيل اليتيمة" التي لم تجتذب دولارات البحوث التي استأثر بها الأخوة الثلاثة الكبار - القمح والأرز والذرة - طوال القرن الماضي. ولكن أهم شيء هنا هو أننا نستطيع الآن أن نجمع كل ما نعرفه عن الكيمياء الحيوية والفسولوجيا وعلم الوراثة، وأن ننقلها بين المحاصيل عن طريق السنتينية.

الاقتصار على الأصناف التي يزرعونها فقط. ومن أهم الأمثلة على ذلك نقل جينات تقزم القمح إلى الأرز، وهو الأمر الذي جعل الثورة الخضراء ممكنة. ففي هذه التجارب، تم إدخال هذا الجين إلى الأرز بواسطة السنتينية، ثم تم عزله وهندسته وتغيير تسلسل "الدنا" الذي كانت عليه جينات القمح قبل إحلال الجين المحور في الأرز. ومن الممكن استخدام هذا النهج بأي جين



* = الرمز الدليلي للجينوم.

الإطار ٦

الواسمات الجزيئية وانتقاء الدخن بمساعدة الواسمات في الهند

بقلم Tom Hash^(١)

الأصناف المهجنة الشائعة HHB 67 ثم استخدمنا الانتقاء بمساعدة الواسمات في استنباط صنفين جديدين هما ICMR 01004 و ICMR 01007، بمجموعتين مختلفتين من الجينات المقاومة للبياض الزغبي. وكان أداء هذه الأصناف مثل أداء الأصناف التي جاءت منها سواء في غلتها من الحبوب أو القش، إن لم يكن أفضل منها، كما أنها أحدثت تحسنا ملموسا وواضحا في مقاومتها للبياض الزغبي. كما احتفظت هذه الأصناف بالعديد من الصفات الجيدة، مثل سنبلة الألف حبة، وطول السنبلة وارتفاع النبات، ومقاومة الصدا. أما الأصناف المهجنة التي تقوم على تهجين صنف ICMR 01004 و ICMR 01007 فقد بدأت تجربتها في ولايات جوغارات وراجستان وهاريانا في إطار المشروع المنسق لتحسين الدخن في ربوع الهند. ويأتي ذلك في أعقاب التقييم الناجح لهذه الأصناف في عام ٢٠٠٢، حيث أظهرت تفوقا هامشيا في غلة الحبوب، وتفوقا كبيرا في مقاومة البياض الزغبي عن صنف HHB 67، في نفس الوقت الذي حافظت فيه على نضجها المبكر الذي ساهم في الإقبال عليها. وأصبح من الممكن الآن استخدام أحد هذين الصنفين المهجنين على الأقل بدلا عن صنف HHB 67، قبل أن يتعرض هذا الصنف الأخير (وهو ما سيحدث بالتأكيد) لوباء البياض الزغبي. ونظرا لأن صنف HHB 67 يزرع على نطاق واسع بمعرفة المزارعين الفقراء في الهند، فإن إحلاله في الوقت المناسب للوقاية من هذا المرض ولو لسنة واحدة يجعل الخسائر التي سيتم تجنبها تفوق القيمة الإجمالية للتمويل الذي تقدمه وزارة التنمية الدولية في المملكة المتحدة لدعم البحوث من أجل استنباط واستخدام مجموعة من أدوات الوراثة الجزيئية للدخن (٣،١) مليون جنيه إسترليني حتى تاريخه). أما جميع المكاسب المتأتية من البحوث التي يجريها المعهد الدولي لبحوث المحاصيل في المناطق الاستوائية شبه القاحلة، وشركاؤه الذين تدعمهم وزارة التنمية الدولية في المملكة المتحدة، والشركاء المتعاونون من البرامج القطرية في الهند، فسوف تعتبر مكاسب للمجتمع.

الدخن صنف من أصناف الحبوب التي تزرع للحصول على الحبوب الغذائية وعلى القش في أشد المناطق حرارة وجفافا من أفريقيا وآسيا، حيث يمارس المزارعون الزراعة البعلية وزراعة الأراضي الجافة. وهو نبات يشبه الذرة في صفاته. والأصناف التي يزرعها المزارعون التقليديون هي أصناف مفتوحة للتلقيح والتزاوج الخارجي، وبالتالي للتغيير المستمر. وقد أمكن استنباط أصناف هجين موحدة وراثيا تعطى غلة وفيرة ولكنها أكثر تعرضا لمرض نباتي يعرف باسم البياض الزغبي. ويزرع الدخن في الهند في مساحة تسعة ملايين هكتار تقريبا، أكثر من ٧٠ في المائة منها يزرع بهذه الأصناف المهجنة. ومنذ أن وصلت أصناف الدخن الهجين لأول مرة إلى حقول المزارعين في الهند في أواخر الستينات، تعرض كل صنف شاع بين المزارعين لوباء البياض الزغبي. ومما يؤسف له، أنه عندما كان أحد المزارعين الفقراء في منطقة ما يقرر زراعة صنف بعينه، كانت أيامه معدودة عادة. وقد سعى المعهد الدولي لبحوث المحاصيل في المناطق الاستوائية شبه القاحلة إلى الحد من المخاطر المرتبطة بزراعة أصناف الدخن المهجنة وفيرة الغلة، وإطالة فترة الصلاحية الاقتصادية لهذا الأصناف، لاسيما بالنسبة للمنتجين الفقراء. وقد ساعدتنا التقانة الحيوية في تحقيق ذلك. فبفضل أدوات مركز جون اينز، وبدعم من برنامج بحوث العلوم النباتية في وزارة التنمية الدولية بالمملكة المتحدة، استطعنا استنباط أدوات وراثية جزيئية للدخن واستخدامها. وقمنا برسم خرائط للمناطق الجينومية في الدخن التي تتحكم في مقاومة البياض الزغبي وغلة القش وغلة الحبوب والقش في ظل ظروف الجفاف. ثم بعد ذلك استخدم مزارعو الدخن التربية التقليدية والانتقاء بمساعدة الواسمات من أجل نقل العديد من المناطق الجينومية التي تحسن مقاومة البياض الزغبي في صنفين ممتازين من

(١) Tom Hash هو كبير العلماء (التربية الجزيئية) في المعهد الدولي لبحوث المحاصيل في المناطق الاستوائية شبه القاحلة، باتانشيرو، ولاية أندرا براديش في الهند.

الانتقاء في المختبر

الانتقاء في المختبر يعني اختيار بلازم وراثي بتطبيق طريقة انتخاب معينة على الأنسجة المزروعة في ظروف المختبر. وقد أفادت مطبوعات كثيرة في الفترة الأخيرة بوجود رابطة مفيدة بين الاستجابات في المختبر والتعبير عن السمات الحقلية المرغوبة في نباتات المحاصيل، وأهمها سمة مقاومة الأمراض. كما ظهرت نتائج إيجابية أيضاً في تحمل مبيدات الأعشاب والمعادن والأملاح وانخفاض درجات الحرارة. وبالنسبة لمعايير الانتخاب ذات الأهمية الرئيسية في أشجار الغابات (وعلى الأخص الحيوية وشكل الجذع ونوع وجودة الخشب) فإن ضعف الصلات مع الاستجابات الحقلية لا يزال يعوق الاستفادة من الانتخاب في المختبر. ولكن هذا الأسلوب قد يكون مفيداً في برامج الغابات من أجل التعرف على مقاومة الأمراض وتحمل الأملاح والصقيع والجفاف.

الهندسة الوراثية

عندما توجد السمة المطلوبة في كائن لا يتوافق جنسياً مع العائل يمكن نقل هذه السمة باستخدام الهندسة الوراثية. وأشيع طريقة للهندسة الوراثية في مجال النباتات هي استخدام بكتيريا التربة *Agrobacterium tumefaciens* كناقل. ويعمل الباحثون على إدخال الجينات المطلوبة إلى البكتيريا ثم ينقلونها إلى النبات العائل. وبذلك تنتقل الجينات المطلوبة إلى العائل مع هذه الإصابة. وتستخدم هذه

تستخدم في تربية المحاصيل والأشجار وفي إكثارها. وغالباً ما تستخدم هذه التقانات إلى جانب بعضها البعض وإلى جانب أساليب التربية التقليدية.

زراعة الخلايا والأنسجة والإكثار الدقيق

الإكثار الدقيق يعني أخذ مقاطع صغيرة من نسيج النبات أو أجزاء بأكملها مثل البراعم، ثم زراعتها في ظروف اصطناعية من أجل استزراع النبات الكامل. ويكون لهذا الإكثار الدقيق فائدة خاصة في حفظ النباتات النفيسة، وفي تربية أنواع يصعب تربيتها بطرق أخرى (مثل الكثير من الأشجار)، وفي تعجيل تربية النبات وتوفير مادة نباتية كبيرة من أجل البحوث. وبالنسبة للأصناف المحصولية والبستانية أصبح هذا النوع من الإكثار هو أساس أنشطة تجارية كبيرة في مئات من المختبرات في العالم بأكمله. وهو يتميز بسرعة الإكثار كما يمكن استخدامه لتوليد مواد نباتية خالية من الأمراض (الإطار ٧)، خصوصاً عند الجمع بينه وبين حزم تشخيص الأمراض وكشفها. وقد جرت عدة محاولات لاستخدامه على نطاق واسع في الغابات. وعند مقارنته بالإكثار النباتي باستعمال العقل، يتبين أن ارتفاع معدلات الإكثار في هذا النوع يضمن سرعة توزيع مادة الغرس، وإن كانت محدودة وقلّة توافر أصول الاستنساخ تمثل عقبة أمام التوسع في تطبيقها على الغابات.

الإطار ٧**الإكثار الدقيق للموز الخالي من الأمراض في كينيا**

تعالج حرارياً للقضاء على أي كائنات معدية، ثم تستخدم خلال عدة دوائر للإكثار من أجل إنتاج نباتات جديدة. ويمكن استخدام جزء واحد من النسيج لإنتاج ١ ٥٠٠ نبات جديد عن طريق ١٠ دورات للإكثار. وكان للإكثار الدقيق للموز نتائج هائلة في كينيا، وفي عدد كبير من البلدان الأخرى، حيث ساهم في تحسين الأمن الغذائي وزيادة الدخل. فهذه الطريقة تتمتع بجميع فوائد التكنولوجيا الرخيصة والسهلة نسبياً، بالإضافة إلى فوائدها البيئية الملموسة.

يزرع الموز عادة في البلدان النامية، حيث يشكل مصدراً للعمل والدخل والطعام. ولكن إنتاج الموز يتدهور في كثير من المناطق بسبب مشكلات الأمراض والآفات التي لا تعالج بصورة ناجحة بالمكافحة الكيماوية لأسباب تتعلق بالتكاليف والآثار السلبية على البيئة. وتزداد المشكلة تفاقمًا لأن الموز يتكاثر خضرياً، بحيث تزيد فرص انتقال المرض من النبات الأم إلى النبات الابن. ويمثل الإكثار الدقيق وسيلة لاستنباط شتلات الموز الخالية من الأمراض باستخدام أنسجة سليمة. وقد نجحت زراعة الأنسجة في قمع أشجار الموز في كينيا. فالقمة الأصلية

كائنات من ممالك مختلفة (مثل بكتيريا إلى نباتات): (ب) "النقل القريب"، حيث تنقل الجينات من صنف إلى صنف آخر من نفس المملكة (مثل نقلها من نبات إلى نبات آخر): (ج) "القرص"، حيث تكون الجينات موجودة بالفعل في جينوم الكائنات ولكن تعالج لتغيير مستوى التعبير عنها أو نمط تعبيرها. وبعد نقل الجين يجب اختبار المحصول للتأكد من أن الجين أصبح في تعبير سليم وأنه مستقر لعدة أجيال من التربية. وهذا الفرز يمكن إجراؤه في العادة بطريقة أكفأ مما في حالة التهجين التقليدي لأن طبيعة الجين معروفة ولأن الأساليب الجزيئية متوافرة لتحديد موقعه في الجينوم ولأن التغيرات الوراثية التي تحدث تكون قليلة.

الطريقة أساساً في الأصناف مزدوجة الفلقات مثل الطماطم والبطاطس. وهناك محاصيل أخرى، وخصوصاً الأصناف عديدة الفلقات، مثل القمح والشوفان، لا تكون قابلة بطبيعتها للنقل بواسطة البكتيريا المذكورة، وإن كانت هذه الطريقة قد استخدمت بنجاح في الفترة الأخيرة على القمح وغيره من الحبوب. وفي أشيع تقنيات النقل في هذه المحاصيل يوضع الجين المطلوب في قذيفة من ذرات الذهب أو التنغستن وتستخدم "بندقية" مماثلة للبندقية الحقيقية لقذف الجين إلى العائل بسرعة فائقة. وهناك ثلاثة أنواع متميزة من المحاصيل المحورة وراثياً: (أ) "النقل البعيد"، حيث تنقل الجينات بين

الإطار ٨

الزراعة في التربة الحمضية: تحسين مقاومة الحبوب لعنصر الألومنيوم

بقلم Miftahudin^(٢٠١) و M.A. Rodriguez Milla^(٢) و K. Ross^(٣) و J.P. Gustafson^(٤)

استخدمت الواسمات من القمح والشعير والأرز في إيجاد علاقة وثيقة وتقسيم جين الراي، ووضع خريطة وراثية دقيقة. واستخدم أحد الجينات المرشحة للتعبير عن جينات الجذور، وأجريت دراسات زمنية وأوضحت حالة جذور الراي تحت ظروف الإجهاد بسبب عنصر الألومنيوم فقط. ولاشك أن استهداف الجين المقاوم لعنصر الألومنيوم هو أحد أمثلة استخدام النهج القائم على المشكلة وحلها للجمع بين الأدوات الجزيئية وأدوات التربية بهدف تحسين إنتاج القمح. فاستخدام العلاقة الوراثية (السنينية) بين الحبوب لتوفير واسمات من أجل تحديد وتشخيص الصفات ذات القيمة المضافة، يدفع بالنهج التكميلية لتحسين إنتاج القمح إلى الظهور. فبإمكان المربين استخدام الواسمات المحيطة بجين الراي في برامج التربية التي تستعين بالواسمات في المناطق التي لا يمكن تربية كائنات محورة وراثياً فيها، أو حيث لا تتوافر سوى أدوات تقليدية للتربية. وبالإضافة إلى ذلك، فمن الممكن استخدام هذه الواسمات في الاستنساخ القائم على الخرائط من أجل عزل الجين المطلوب في طرق التحول الوراثي لتحسين القمح. وأخيراً، فإن استخدام العلاقات السنينية يوفر لنا تكنولوجيا للاستفادة من الكثير من الصفات ذات القيمة المضافة في تحسين محاصيل الأصناف الأخرى.

يحد وجود عنصر الألومنيوم في التربة الحمضية من نمو النباتات في أكثر من ٣٠ في المائة من جميع الأراضي الصالحة للزراعة، خصوصاً في البلدان النامية. وهناك طريقتان لزيادة إنتاج المحاصيل في التربة الحمضية. فمن الممكن إضافة الجير إلى التربة لزيادة تركيز أيون الأيدروجين، وإن كانت هذه الطريقة مكلفة ومؤقتة. أما البديل فهو استنباط أصناف محسنة وراثياً تتحمل عنصر الألومنيوم. ولكن أصناف القمح الموجودة لا تحتوي على قدر كبير من التنوع الوراثي الذي يسمح بزيادة تحملها لعنصر الألومنيوم. ولذا لا بد من تحسين قدرة القمح على تحمل هذا العنصر من المجموعات الجينية للأصناف ذات الصلة الأكثر تحملاً. وقد أمكن وضع خريطة للارتباط الجيني للقمح باستخدام الواسمات المتاحة لجين موجود يتحمل الألومنيوم.

ويتحمل نبات الراي عنصر الألومنيوم بأكثر مما يتحملة القمح أربع مرات. ولذا تم التعرف على جين الراي الذي يتحمل عنصر الألومنيوم. ثم

(١) قسم الزراعة، جامعة ميسوري، كولومبيا، الولايات المتحدة

(٢) قسم البيولوجيا، جامعة بوغور الزراعية، بوغور، إندونيسيا

(٣) إدارة البحوث الزراعية بوزارة الزراعة الأمريكية، وحدة بحوث علوم الوراثة النباتية وقسم الزراعة، جامعة ميسوري، كولومبيا، الولايات المتحدة.

(الجدول ٢). ويمكن بعد ذلك نقل هذه الجينات إلى الأصول المعروفة بواسطة طرق التربية التقليدية وبواسطة الانتقاء بالواسمات، فإذا لم يكن التنوع الطبيعي كافياً في داخل صنف واحد يمكن اللجوء إلى الهندسة الوراثية. فمثلاً تستخدم الأساليب الأخرى غير التحوير الوراثي لتعزيز المحتوى البروتيني في الذرة ومحتوى الحديد في الأرز والكاروتين في البطاطا الحلوة والكسافا. ويمكن استخدام الهندسة الوراثية عندما يكون التنوع الطبيعي في المغذيات المطلوبة غير كاف في صنف بعينه. ويصف الإطار ٩ المناقشة حول مشروع لتعزيز المحتوى البروتيني في البطاطس باستخدام الهندسة الوراثية. كما أن الأرز الذهبي Golden Rice المحور وراثيا والمعروف تماما يضم ثلاثة جينات أجنبية - اثنان من النرجس البري وواحد من بكتيريا - وهي تنتج شبيه الفيتامين "ألف" (انظر الإطار ١٣). وقد قطع العلماء شوطا كبيرا نحو استنباط أرز محور وراثيا مع تعظيم قيمته الغذائية، إذ يحتوي على جينات تنتج شبيه الفيتامين "ألف" والحديد ومزجاً من البروتين (Potrykus, 2003). كما يجري استنباط أغذية أخرى معززة غذائياً مثل الزيوت التي تنخفض فيها مستويات الأحماض الدهنية غير المطلوبة. يضاف إلى ذلك أن الأغذية التي يُعرف عنها أنها مسببة للحساسية (مثل الأريبيان والفلو السوداني والصويا والأرز وغير ذلك) يجري تحويرها لتخفيض محتواها من المركبات المسببة للحساسية.

ومعظم المحاصيل المحورة وراثياً التي زُرعت حتى الآن لم تكن تضم إلا عدداً محدوداً جداً من الجينات التي ترفع من مقاومتها للحشرات وتحمل مبيدات الأعشاب أو الاثنين معاً (انظر الفصل الثالث لمزيد من المعلومات عن المحاصيل المحورة وراثياً التي تجري عليها الأبحاث في الوقت الحاضر والتي تزرع بالطرق التجارية). ولكن هناك عدداً من المحاصيل والسماح المحورة وراثيا التي أمكن تطويرها والتي بها إمكانيات كبيرة للبلدان النامية ولكنها لم تدخل النطاق التجاري بعد. ويصف الإطار ٨ أحد مشروعات البحث لتحسين تحمل القمح للألومنيوم، وهي مشكلة تؤثر في التربة المتأثرة بالحموضة في كثير من بلدان أمريكا اللاتينية وأفريقيا. وهناك عمل مماثل يجري لتحسين تحمل النباتات الإجهاد من مصادر أخرى مثل الجفاف والتربة المتأثرة بالملوحة ودرجات الحرارة القصوى.

ويمكن أن تساهم المحاصيل ذات القيمة الغذائية المعززة مساهمة كبيرة في تخفيف سوء التغذية ونقص المغذيات الدقيقة في البلدان النامية. فالدعم البيولوجي، أي استنباط أغذية ذات قيمة غذائية معززة، يمكن أن يتقدم بفضل تطبيق عدة تقانات حيوية جنباً إلى جنب. ويتطلب الأمر تحليل الجينوم وعمل خرائط الارتباطات الوراثية للتعرف على الجينات المسؤولة عن التنوع الطبيعي في مستوى المغذيات الموجودة في الأغذية الشائعة

الجدول ٢

التنوع الوراثي في تركيزات الحديد والزنك والبيتا-كاروتين وحمض الأسكوربيك في البلازم الوراثي في خمسة أغذية أساسية، بحسب الوزن الجاف

(ملغم/كغم)			
الحمض الأسكوربيك	البيتا-كاروتين ^(١)	الزنك	الحديد
الأرز:			
الخام	١-٠	٥٩-١٤	٢٥-٦
المضروب	٠	٣٨-١٤	١٤-١
الكسافا:			
الجذور	١-٢٤ ^(٢)	٣٨-٣	٧٦-٤
الأوراق	١٧-٢٠٠ ^(٣)	١٠٩-١٥	٢٣٦-٣٩
الفاصوليا	٠	٥٤-٢١	١١١-٣٤ ^(١)
الذرة	١٠-٠	٥٨-١٢	٦٣-١٠
القمح	٢٠-٠	١٧٧-٨ ^(٢)	٩٩-١٠ ^(٣)

(١) يكون المدى أوسع بكثير في مجموع الكاروتينات.

(٢) على أساس وزن الطازج.

(٣) تشمل الأقارب البرية.

المصدر: المركز الدولي للزراعة الاستوائية، ٢٠٠٠.

الإطار ٩

"البروطاطس": نجدة للفقراء أم حصان طرواده؟

للأطفال دون أي خطر من الحساسية، لأن البطاطس والبطاطس يستهلكان بالفعل على نطاق واسع. كما أنه ليس هناك أي تهديد للبيئة لأنه ليس للبطاطس ولا للبطاطس أقارب برية في الهند، كما أن إنتاج البروطاطس لا ينطوي على أي تغيير في الأساليب المعتادة لإنتاج البطاطس. وبالإضافة إلى ذلك، فإن "البروطاطس" استنبطت بمعرفة علماء من القطاع العام في الهند، وبالتالي فليس هناك أي مخاوف من سيطرة مؤسسات أجنبية على هذه التقنية. وإزاء كل هذه الفوائد، كان تعليق Padmanaban: "أعتقد أن معارضة هذا الموضوع أمر لا يمكن الدفاع عنه أخلاقياً" (Coghlan, 2003). أما المعارضون مثل Charlie Kronick من Greenpeace فيقولون إن البطاطس لا تحتوي بطبيعتها إلا على كمية ضئيلة من البروتين (٢ في المائة تقريباً)، وبالتالي فإن مضاعفة هذا المحتوى البروتيني لن تساهم إلا بقدر ضئيل في حل مشكلة سوء التغذية في الهند. وهو يزعم أن الجهود التي بذلت في استنباط "البروطاطس" كانت تهدف إلى الحصول على قبول الجماهير للهندسة الوراثية أكثر مما تهدف إلى معالجة مشكلة سوء التغذية: "فسبب الجوع ليس نقص الأغذية، إنه نقص النقود وفرص الحصول على هذه الأغذية. وقيمة المحاصيل المحورة وراثياً هي جاذبيتها بينما الفائدة الفعلية من أكلها ضئيلة جداً. ومن الصعب تماماً التكهّن بأنها في حد ذاتها ستغير وجه الفقر" (Charles, 2003).

استطاع الباحثون في جامعة جواهرلال نهرو بالهند استنباط بطاطس بالهندسة الوراثية، تحتوي على كمية من البروتينات تزيد بمقدار الثلث أو النصف عن المعتاد، بالإضافة إلى كميات ملموسة من جميع الأحماض الأمينية الأساسية مثل الليسين والمثيونين. والمعروف أن نقص البروتين ينتشر في الهند على نطاق واسع، بالإضافة إلى أن البطاطس هي الطعام الأساسي لأفقر السكان هناك. وقد تم استنباط "البروطاطس" بواسطة ائتلاف من الجمعيات الخيرية الهندية والعلماء والمعاهد الحكومية والمراكز الصناعية، كجزء من حملة تستمر ١٥ عاماً لتقليل الوفيات بين الأطفال. وتهدف هذه الحملة إلى القضاء على وفيات الأطفال عن طريق توفير مياه الشرب النظيفة وتحسين تغذيتهم وتوفير اللقاحات لهم. ويحتوي "البروطاطس" على جين من نبات القطيفة، وهو نبات غني بالبروتين وموطنه الأصلي أمريكا الجنوبية ويباع على نطاق واسع في الغرب في المحال التي تباع الأغذية الصحية. وقد نجح "البروطاطس" في التجارب الميدانية الأولية وفي اختبارات الحساسية والسموم الفطرية. أما الموافقة النهائية عليه من جانب الحكومة الهندية فربما جاءت بعد ٥ سنوات على الأقل. ويقول مؤيدو هذا الصنف الجديد من البطاطس، مثل Govindarajan Padmanaban، إن "البروطاطس" سيمثل انفراجة تغذوية مهمة

تربية الحيوانات والأسمك وإكثارها

منذ زمن بعيد كانت التقنية الحيوية مصدر تجديد في إنتاج الحيوانات وتربية الأحياء المائية، وفي عمليات تجهيزها، وكان لها تأثير عميق على هذين القطاعين. ويوفر التقدم السريع في بيولوجيا الجزيئات والتطورات الجديدة في بيولوجيا التكاثر أدوات جديدة قوية لإحداث مزيد من التجديد. وهناك تقنيات مثل دراسة الجينوم والواسمات الجزيئية، التي سبق وصفها، تعتبر مفيدة جداً في توصيف وإدارة الموارد الوراثية في قطاعي الحيوان والأسمك، مثلما في قطاعي المحاصيل والغابات (الإطار ١٠). كما أن الهندسة الوراثية لها صلة وثيقة أيضاً بقطاعي الحيوانات والأسمك، وإن كانت التقنيات تختلف

وهناك عامل فني رئيسي يقلل من تطبيقات التحويل الوراثي على أشجار الغابات هو انخفاض مستوى المعرفة في الوقت الحاضر عن التحكم الجزيئي في أهم السمات. ومن أولى التجارب التي أجريت على أشجار الغابات المحورة وراثياً تلك التي بدأت في بلجيكا عام ١٩٨٨ على أشجار الحور. ومنذ ذلك الحين جاءت التقارير عن أكثر من ١٠٠ تجربة شملت على الأقل ٢٤ من أصناف الأشجار، وخصوصاً المنتجة للخشب. وكانت السمات التي يسعى إليها التحويل الوراثي في أشجار الغابات هي مقاومة الحشرات والفيروسات، وتحمل مبيدات الأعشاب، وتقليل المحتوى من اللجنين. ويعتبر تقليل اللجنين هدفاً ذا قيمة كبيرة في الأصناف المنتجة للورق لأن ذلك يعني تقليل استخدام المواد الكيميائية في هذه العملية.

الإطار ١٠

حالة الموارد الوراثية الحيوانية في العالم

يشكل تهديداً محتملاً للمحافظة على السلالات المحلية. ورغم الإشارة إلى استخدام الإباضة المتعددة/نقل الجنين وإبداء الرغبة في التوسع فيه، لم تكن هناك أي إشارة واضحة إلى أغراض هذا الأسلوب. وأبدت جميع البلدان رغبتها في إدخال وتطوير تقنيات جزيئية، استكمالاً لتشخيص الصفات الظاهرة للسلالات في أغلب الأحيان. وحددت كافة البلدان المحافظة على الأجنة باعتبارها أمراً له أولويته، كما أوصت بإنشاء بنوك للجينات، وإن كانت مسألة التمويل ظلت عقبة كؤود. وعندما كانت هناك إشارة إلى الحيوانات المعدلة وراثياً، فقد كانت للإعراب أساساً عن عدم وجود لوائح وخطوط توجيهية مناسبة لإنتاج مثل هذه الحيوانات واستخدامها وتبادلها في نهاية الأمر. وأعرب بعض البلدان عن اهتمامه بضرورة أن تكون التقانة الحيوية في قطاع الثروة الحيوانية جزءاً لا يتجزأ من استراتيجية شاملة لتحسين الصفات الوراثية، وإن لم يشترط أن يكون ذلك في جميع الأحوال.

طالبت الدول الأعضاء في منظمة الأغذية والزراعة بأن تقوم المنظمة بوضع وتنفيذ استراتيجية عالمية لإدارة الموارد الوراثية لحيوانات المزرعة. وكجزء من هذه الاستراتيجية القطرية لإدارة الموارد الوراثية لحيوانات المزرعة، دعت المنظمة ١٨٨ بلداً للمشاركة في إعداد التقرير الأول عن حالة الموارد الوراثية الحيوانية في العالم، الذي من المقرر استكمالها قبل عام ٢٠٠٦. وقد وافق ١٤٥ بلداً حتى الآن على تقديم تقارير قطرية، بينما تم بالفعل استلام ٣٠ تقريراً قارئاً والانتهاج من تحليلها (Cardellino, Hoffmann, Templeman, 2003). ومن الواضح من هذه التقارير أن التلقيح الاصطناعي في قطاع الثروة الحيوانية هو أكثر وسائل التقانة الحيوية شيوعاً في البلدان النامية. وقد طلب عدد كبير من البلدان الحصول على فرص للتدريب على التوسع في استخدام التلقيح الاصطناعي، مع التعبير في الوقت نفسه عن مخاوفهم من استخدام هذه الطريقة في أغلب الأحيان دون تخطيط سليم، الأمر الذي قد

وتوجد تقنيات أخرى للتكاثر في هذين القطاعين. ويصف هذا القسم التقانة الحيوية للتكاثر النوعي في قطاعي الحيوان والأسماك. والهدف الرئيسي من التقانات الحيوية التكاثرية في القطاع الحيواني هو زيادة كفاءة التكاثر ومعدلات التحسين الوراثي بين الحيوانات. وسيكون التحسين الوراثي للسلالات المتأقلمة محلياً أمراً ذا أهمية في استدامة نظم الإنتاج ضمن النطاق العام لبيئة الإنتاج في أي بلد نامٍ، وربما تكون أحسن طريقة لتنفيذه هي استخدام التدخلات غير الوراثية والوراثية في وقت واحد بصورة استراتيجية. أما التقانة الحيوية لإكثار الأسماك فهي تتيح فرصاً لزيادة معدلات النمو وتحسين إدارة الأنواع المزروعة والحد من إمكانات التكاثر في الأنواع التي خضعت للهندسة الوراثية.

التلقيح الاصطناعي والإباضة المتعددة/نقل الجنين

ولا يكون التلقيح الاصطناعي فعالاً إلا إذا كان القطاع الزراعي يستطيع الوصول إلى طاقات كبيرة جداً من الناحية الفنية والتنظيمية والمؤسسية تجاوز ما يحتاج إليه استخدام ذكور الحيوانات في التربية بصورة مباشرة. ومن الناحية الإيجابية لا يحتاج المزارعون الذين يستخدمون التلقيح

أصبح للتقدم في التلقيح الاصطناعي والإباضة المتعددة التي يعقبها نقل الجنين تأثير رئيسي في برامج تحسين الحيوانات في البلدان المتقدمة وفي بلدان نامية كثيرة، لأنها تعجل بعملية التحسين الوراثي وتقلل من أخطار نقل الأمراض وتزيد عدد

العوامل. ففي حالة التحكم في مجموعة الكروموزومات يمكن استخدام الحرارة والمواد الكيميائية والصدمات على بيض الأسماك لإنتاج أنواع تحتوي على ثلاث مجموعات من الكروموزومات بدلاً من المجموعتين المعتادتين. وهذه الكائنات ذات المجموعات الثلاث ليس لها طاقة على التكاثر وبذلك فإنها تكون عقيمة من الناحية العملية. ويمكن تحقيق تغيير الجنس بعدة أساليب منها استعمال الهرمونات المناسبة. فمثلاً يمكن تغيير الذكور الوراثية من أسماك التلابيا لتصبح إناثاً من خلال معالجات بالأستروجين. وهذه الذكور الوراثية قد تقتزن مع ذكور طبيعية فتنتج مجموعة من الذكور فقط.

الهندسة الوراثية في الحيوانات والأسماك

يمكن استخدام الهندسة الوراثية في الحيوانات لإدخال جينات أجنبية إلى جينوم الحيوان أو لإخراج جينات أخرى منه. وأكثر الطرق استعمالاً في الوقت الحاضر هي حقن "الدنا" حقناً مباشراً في نواة البيض المخصب، ولكن التقدم جارٍ في استعمال أساليب جديدة مثل نقل النواة واستخدام فيروسات صغيرة كناقلات للحمض النووي. وفي أول تجارب الهندسة الوراثية على حيوانات المزرعة أدخلت الجينات المسؤولة عن النمو إلى أجسام الخنازير لزيادة النمو وتحسين جودة الذبيحة. وتشمل الأبحاث الجارية الآن هندسة مقاومة أمراض الحيوان، مثل مرض ماريك في الدواجن، ومرض الرعشة في الأغنام، والتهاب الضرع في الأبقار، والأمراض التي تؤثر في صحة الإنسان مثل سلمونيلا الدواجن. وهناك أمثلة أخرى تشمل زيادة محتوى الكازيين في اللبن، وإنتاج مستحضرات صيدلية أو كيميائيات صناعية في اللبن أو في منى الحيوانات. وإذا كانت هذه الأساليب بسيطة من الناحية النظرية، فإن ما يستخدم منها لهندسة وراثية الحيوان يتطلب معدات خاصة ومهارة فائقة، ولم يثبت حتى الآن أن هناك تطبيقات زراعية ناجحة تجارياً. ومعنى هذا أن التطبيقات في المستقبل القريب قد تكون مقتصرة على إنتاج حيوانات محورة وراثياً لاستخدامها في إنتاج مستحضرات صناعية أو صيدلية. وفي تربية الأحياء المائية تكون الهندسة الوراثية مجالاً نشيطاً من مجالات البحث والتطوير. فضخامة حجم بيض كثير من الأسماك وطبيعتها الصلبة تتيح بسهولة معالجة البيض ونقل الجينات بحقن جين أجنبي بصورة مباشرة أو بفتح المسام كهربائياً والاستعانة بمجال كهربائي في نقل الجينات. وكان نقل الجينات في الأسماك يعني في

الاصطناعي إلى تحمل تكاليف أو أخطار في تربية حيوانات ذكور، ويستطيعون الحصول على المنى من أي مكان في العالم.

ورغم استعمال التلقيح الاصطناعي على نطاق واسع في البلدان المتقدمة وفي كثير من البلدان النامية، ومنهم صغار الحائزين المتقدمين، فإنه لا يطبق إلا في المزارع التي تتبع أسلوب الإدارة الكثيفة في تربية حيوانات ذات قيمة عالية. ومن الواضح أن ذلك لا يرجع إلى مشكلات فنية في إنتاج المنى وتخزينه لأن معظم الإجراءات أصبحت الآن نمطية وأثبتت فاعليتها في ظروف البلدان النامية الاستوائية، بل إنه يرجع إلى تعدد القيود التنظيمية والسوقية ودورة تدريب المزارعين مما يؤثر على جودة هذه التقانة وعلى مدى كفاءتها.

وتقانة الإباضة المتعددة ونقل الجنين تعني نقل تقانة التلقيح الاصطناعي خطوة جديدة إلى الأمام سواء من ناحية المكاسب الوراثية الممكنة تحقيقها أو من ناحية مستوى الطاقة الفنية والتنظيم المطلوب. وهي من التقانات الأساسية عند تطبيق مختلف التقانات الحيوية التكاثرية المتقدمة مثل الاستنساخ والتحوير الوراثي. وفي عام ٢٠٠١ بلغ عدد الأجنة المنقولة في العالم ٤٥٠ ٠٠٠ معظمها في أبقار اللبن، وكان ٦٢ في المائة منها في أمريكا الشمالية وأوروبا، وتأتي بعدهما أمريكا الجنوبية (١٦ في المائة) وآسيا (١١ في المائة). وكان نحو ٨٠ في المائة من الثيران المستخدمة في التلقيح الاصطناعي منشؤها من عمليات إباضة متعددة ونقل الأجنة. والفائدة الممكنة الرئيسية من هذه التقانة أمام البلدان النامية هي إمكان استيراد أجنة مجمدة بدلاً من حيوانات حية، مثلاً عند تكوين قطيع التربية الأساسي من موارد وراثية مكيفة محلياً، مع تقليل المخاطر الصحية المرتبطة بهذه العملية.

معالجة مجموعة الكروموزومات

وتغيير الجنس في الأسماك

قد يكون التحكم في جنس الأسماك وفي قدرتها التكاثرية أمراً مهماً لأسباب تجارية وبيئية. ففي الغالب يكون أحد الجنسين مطلوباً أكثر من الآخر؛ فمثلاً إنتاج الكافيار لا يأتي إلا من إناث أسماك الأستروجون، كما أن ذكور أسماك التلابيا تنمو أسرع من الإناث. وقد يكون التعقيم أمراً مطلوباً إذا كان التكاثر يؤثر في مذاق المنتوجات (مثل المحاريات) أو إذا كانت الأنواع المستزرعة (سواء كانت محورة وراثياً أم لا) قد تتكاثر مع أفراد برية. وتعتبر تقانات التحكم في مجموعة الكروموزومات وتغيير الجنس تقنيات متقدمة للتحكم في هذه

تطوير اللقاحات

يجري إنتاج لقاحات بطريقة الهندسة الوراثية لحماية الأسماك والحيوانات من مسببات الأمراض والطفيليات. وإذا كانت اللقاحات المنتجة بالأساليب التقليدية قد أثرت تأثيراً كبيراً في مكافحة مرض الحمى القلاعية والأمراض المنقولة بالقراد والطاعون البقري وغيرها من أمراض الحيوان، فإن لقاحات الكائنات مترابطة "الدنا" يمكن أن تمتاز بمزايا مختلفة عن اللقاحات التقليدية من حيث السلامة ودرجة النوعية والثبات. والمهم أن هذه اللقاحات، إذا كانت مصحوبة باختبار تشخيصي سليم، تسمح بالتمييز بين الحيوانات المحصنة والحيوانات المصابة بالعدوى الطبيعية. وهذا أمر مهم في برامج مكافحة الأمراض لأنه يسمح بالاستمرار في التحصين حتى عند الرغبة في الانتقال من مرحلة المكافحة إلى مرحلة استئصال المرض. وتتوافر اليوم لقاحات جيدة ومحسنة لأمراض مثل نيوكاسل وحمى الخنازير التقليدية والطاعون البقري. وبالإضافة إلى التحسينات التقنية التي أدخلت على التقانة الحيوية فإن تقدم هذه التقانة سيجعل إنتاج اللقاحات أرخص وبالتالي يتحسن عرضها وتوافرها لصغار الحائزين.

تغذية الحيوان

أدت التقانة الحيوية بالفعل إلى ظهور معينات إضافية لتغذية الحيوانات مثل الأنزيمات والبروتينات المضادة للحويوية والبروتين وحيد الخلية والإضافات العلفية المضادة للحويوية، وكلها تستخدم بالفعل استخداماً واسعاً في نظم الإنتاج الكثيف من أجل تحسين توافر المغذيات في الأعلاف ورفع إنتاجية القطاع الحيواني وقطاع تربية الأحياء المائية. ويتزايد استخدام التقانات القائمة على الجينات من أجل تحسين تغذية الحيوان، إما بتعديل الأعلاف حتى تصبح أسهل في الهضم، أو بتعديل أجهزة الهضم والتمثيل لدى الحيوانات حتى تستطيع أن ترفع درجة استخدامها للأعلاف المتوافرة. وإذا كان التقدم في الأسلوب الأخير ربما يكون ضئيلاً بسبب الثغرات في معارفنا الحالية للعناصر الوراثية التي ينطبق عليها هذا الأسلوب ولفيسيولوجيته وكيميائه الحيوية، فإن هناك مثلاً على النجاح التجاري في نظم الإنتاج الكثيفة ذات المدخلات الكثيرة هو استخدام هورمون النمو سوماتروبين، وهو هرمون يؤدي إلى زيادة إنتاج اللبن في أبقار اللبن وتعجيل نمو حيوانات اللحم وإلى خفة الذبائح.

العادة استخدام جينات تنتج هرمون النمو واتضح أنها تزيد من معدلات النمو بدرجة كبيرة في أسماك الكارب والسالمون والتلابيا وغيرها. يُضاف إلى ذلك في الفترة الأخيرة أخذ جين الأسماك الشتوية المفلطحة القادر على إنتاج بروتين مضاد للتجمد ووضع هذا الجين في أسماك السالمون على أمل توسيع نطاق تربية هذه الأسماك الأخيرة. ولكن الجين لم ينتج ما يكفي من البروتين لتوسيع نطاق تربية السالمون إلى مياه أبرد ولكنه سمح لأسماك السالمون بالاستمرار في النمو أثناء الشهر الباردة حين لم تكن أسماك السالمون غير المحورة وراثياً تستطيع أن تنمو. وهذه التطبيقات لا تزال في مرحلة البحث والتطوير ولا تتوافر الآن أمام المستهلكين حيوانات مائية محورة وراثياً.

تقانات حيوية أخرى

التشخيص والوبائيات

يصعب تشخيص أمراض النبات والحيوان لأن الأعراض قد تكون مضملة أو قد لا تكون هناك أعراض على الإطلاق، ثم تظهر أضرار كبيرة. ومن الممكن بفضل اختبارات التشخيص المتقدمة القائمة على التقانات الحيوية التعرف على العوامل المسببة للمرض ورصد تأثير برامج مكافحة الأمراض بدرجة من الدقة لم تكن معروفة من قبل. وتستطيع الوبائيات الجزيئية توصيف الكائنات المسببة للأمراض (فيروسات، بكتيريا، طفيليات وفطريات) وذلك بترتيب النويدات مما يسمح بتعقب منشئها. وهذا مهم بوجه خاص في الأمراض الوبائية التي يكون من المهم فيها التعرف على مصدر الإصابة بما يساهم مساهمة كبيرة في تحسين مكافحة المرض. فمثلاً كان التحليل الجزيئي لفيروسات الطاعون البقري حاسماً في تحديد الأنساب المنتشرة في العالم وحاسماً في مساعدة البرنامج العالمي لاستئصال الطاعون البقري (الإطار ١١). وقد أصبحت تجارب المناعة الأنزيمية هي المنهجية المتبعة عادة في تشخيص ومراقبة كثير من أمراض الحيوانات في العالم بأكمله، وتعتبر تقنيات سلسلة ردود فعل أنزيم البلمرة مفيدة بوجه خاص في تشخيص أمراض النبات وتتزايد أهميتها أيضاً بالنسبة لأمراض الحيوانات والأسماك. كما تتعزز فاعلية برامج صحة النبات والحيوانات بدرجة كبيرة بتطوير فحوص وراثية تسمح بتمييز مسببات الأمراض النوعية واكتشافها في الأنسجة أو في حيوانات بأكملها أو حتى في عينات من المياه والترربة.

الإطار ١١

التقانة الحيوية: تخلص العالم من الطاعون البقري

البلدان، والإدارات البيطرية، والمجتمعات الزراعية المحلية معا من أجل وضع وتنفيذ سياسات واستراتيجيات قائمة على النتائج. وحملة مكافحة الطاعون البقري في عموم أفريقيا التي يشرف عليها الاتحاد الأفريقي، والبرنامج العالمي لاستئصال الطاعون البقري الذي تشرف عليه المنظمة، هما أهم مؤسستين للتنسيق في المعركة ضد الطاعون البقري. وتحتل التقانة الحيوية مكان القلب في هذه الجهود. فهي، أولا، سمحت باستنباط اللقاحات وإنتاجها على نطاق واسع لاستخدامها في وقاية الملايين العديدة من الحيوانات في حملات قومية واسعة للتحصين. واللقاح الأول الذي صنعه دكتور Walter Plowright وزملاؤه في كينيا بدعم من المملكة المتحدة، كان يقوم على فيروس تم تخفيفه عن طريق عمليات زراعة أنسجة متتالية. وقد حصل دكتور Plowright على جائزة الأغذية العالمية عام ١٩٩٩ لعمله هذا. ورغم الفعالية والأمان الشديدين لهذا اللقاح، فإنه يفقد بعض قوته عندما يتعرض للحرارة. ولذا استمرت البحوث لإنتاج لقاح يتحمل الحرارة لاستخدامه في المناطق النائية. وتحقق النجاح من خلال البحوث التي أجراها دكتور Jeffery Mariner وزملاؤه في إثيوبيا بدعم من الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية.

وثانيا، فإن التقانة الحيوية وفرت أساسا لتكنولوجيا (هو اختبار قياس المناعة الأنزيمية) للكشف عن الفيروسات ومراقبة فعالية حملات

الطاعون البقري من أخطر الأمراض التي تهدد الثروة الحيوانية في العالم، حيث يمثل تهديدا خطيرا للملايين من صغار المزارعين والرعاة الذين يعتمدون على قطعانهم في طعامهم ومعيشتهم. وقد تسبب هذا المرض الفيروسي الذي يصيب الأبقار بما فيها الجاموس والياك والأصناف البرية ذات الصلة، في القضاء على ٩٠ في المائة تقريبا من جميع الأبقار في أفريقيا جنوب الصحراء في التسعينات من القرن التاسع عشر. كما تسبب الوباء الذي انتشر فيما بين عامي ١٩٧٩ و ١٩٨٣ في نفوق أكثر من ١٠٠ مليون بقرة في أفريقيا، منها أكثر من ٥٠٠ ٠٠٠ بقرة في نيجيريا وحدها، مخلفا وراءه خسائر تقدر بنحو ١,٩ مليار دولار. كما ألحق هذا الوباء أضرارا جسيمة بآسيا والشرق الأدنى.

أما اليوم فإن العالم يكاد يكون خاليا من مرض الطاعون البقري: فآسيا والشرق الأدنى ربما أصبحا خاليين من فيروس هذا المرض، بينما ما زالت الجهود المضنية تبذل لضمان عدم انتشاره من آخر بؤرة محتملة له، والتي يعتقد أنها النظام الأيكولوجي الصومالي الرعوي الذي يضم شمال شرق كينيا وجنوب الصومال. وبإمكاننا تحقيق هدف تخلص العالم تماما من هذا المرض ليكون ثاني مرض يُقضى عليه في جميع أنحاء العالم بعد الطاعون. والإنجاز الذي حدث حتى الآن هو انتصار رائع للطب البيطري، ونموذج فذ لما يمكن تحقيقه عندما يتعاون المجتمع الدولي وأحد

الاستنتاجات

الحيوية يمكن النظر إليها على أنها توسيع أدق للمناهج التقليدية (Dreher et al., 2000). وفي الوقت نفسه يمكن النظر إلى الهندسة الوراثية على أنها نقلة كبيرة من التربية التقليدية لأنها توفر للعلماء القدرة على تحريك المواد الوراثية بين كائنات لم يكن من الممكن تربيتها بالوسائل التقليدية. والتقانة الحيوية تشمل عدة قطاعات وعدة تخصصات. فمعظم تقنيات الجزيئات وتطبيقاتها تكون مشتركة بين جميع قطاعات الأغذية والزراعة، ولكن التقانة الحيوية لا تستطيع أن تقف بمفردها. فمثلا لا يمكن للهندسة الوراثية في المحاصيل أن تتقدم بدون المعارف المشتقة من علم

التقانة الحيوية تكمل كثيراً من مجالات البحث الزراعي التقليدي، ولكن لا تحل محلها. فهي تقدم مجموعة من الأدوات لتحسين فهمنا للموارد الوراثية في الأغذية والزراعة، وتحسين إدارتنا لهذه الموارد. والأدوات المذكورة تساهم بالفعل الآن في برامج التربية والصيانة لتسهيل تشخيص أمراض النبات والحيوان ومعالجتها والوقاية منها. ويوفر تطبيق التقانة الحيوية معارف وأدوات جديدة للباحثين تجعل مهمتهم أكفأ وأفضل. ومن هذه الزاوية فإن برامج البحث القائمة على التقانة

ومع وجود قطعان يصل عددها في مجموعها إلى ١٢٠ مليون بقرة في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، فإن ذلك يعني نفوق ٨ ملايين رأس تقريبا في كل سنة. فإذا قدرنا قيمة الرأس بمبلغ ١٢٠ دولارا، فإن انتشار المرض بصورة كبيرة مرة أخرى معناه خسارة تقدر بمبلغ ٩٦٠ مليون دولار. وفي ظل حملة مكافحة الطاعون البقري في عموم أفريقيا، تم تحصين ٤٥ مليون رأس تقريبا في كل سنة بتكلفة تقدر بمبلغ ٣٦ مليون دولار، بالإضافة إلى مبلغ مليوني دولار لتكاليف متابعة الأمصال والإشراف عليها. ومعنى هذا أن النسبة بين التكلفة والفائدة السنوية هي ١:٢٢ تقريباً، مع حصول الإقليم على فائدة اقتصادية صافية في كل سنة تقدر بمبلغ ٩٢٠ مليون دولار على الأقل.

وكان لحملة مكافحة الطاعون البقري في عموم أفريقيا والبرنامج العالمي لاستئصال الطاعون البقري فوائد أخرى ملموسة. ليس أقلها أنه بالإضافة إلى السياسات والاستراتيجيات والترتيبات المؤسسية التي وضعت لمكافحة مرض الطاعون البقري، والتي سمحت بإيجاد روابط فعالة بين المزارعين والعاملين في الحقول والمختبرات والسلطات القطرية، فإنهما أتاحا الفرص أمام البلدان للسير قدماً ومواجهة تحديات مكافحة الأمراض الأخرى التي تضر بالثروة الحيوانية والأمن الغذائي في العالم أو استئصال مثل هذه الأمراض.

التحصين. فقبل هذه التقنيات وأخذ العينات واستراتيجيات الاختبار التي توصلت إليها منظمة الأغذية والزراعة والوكالة الدولية للطاقة الذرية بدعم من الوكالة السويدية للتعاون الدولي من أجل التنمية، لم يكن من الممكن التمييز بين الحيوانات التي تم تحصينها وتلك المصابة، وبالتالي لم يكن بإمكان البلدان أن تؤكد خلوها من الطاعون البقري. وعلى ذلك، ترتب عليها أن تنفذ برامج سنوية مستمرة للتحصين تكلفها الكثير، في الوقت الذي تظل تعاني القيود المفروضة على حركة حيواناتها وتجارتها منعا من انتشار المرض.

والنتائج الاقتصادية لهذه الجهود واضحة الآن بالفعل. فرغم أن تكاليف التحصين وأخذ عينات الدم واختبارها كانت مرتفعة سواء بالنسبة للبلدان النامية أو المتقدمة، فإن فعالية الحملات القطرية والتنسيق الإقليمي والعالمي تتجلى في أنه لم يعد هناك سوى بؤرة واحدة صغيرة لهذا المرض في كل أرجاء العالم. وعلى النقيض من ذلك، فإن المرض كان موجوداً في عام ١٩٨٧ مثلاً في ١٤ بلداً أفريقياً، بالإضافة إلى باكستان وبعض بلدان الشرق الأدنى.

ورغم أن التكاليف والفوائد تتفاوتت تفاوتاً شديداً من بلد إلى آخر، فإن الأرقام الخاصة بأفريقيا تبين الجدوى الاقتصادية لحملة مكافحة الطاعون البقري في عموم أفريقيا والبرنامج العالمي لاستئصال الطاعون البقري. فهذا المرض كان يظهر عادة لمدة خمس سنوات ويقضى على ٣٠ في المائة من الأبقار.

الجزئيات يجري في البلدان المتقدمة (انظر الفصل الثالث) فإن هذه البحوث يمكن أن تكون مفيدة للبلدان النامية لأنها توفر نظرة نافذة إلى فيسيولوجيا جميع النباتات والحيوانات. ويكون لاستنتاجات مشروعات دراسة جينوم الإنسان والفئران منافع مباشرة لحيوانات المزرعة، والعكس صحيح، كما أن دراسات الذرة والأرز يمكن الاستفادة منها بصورة موازية في تطبيقات على المحاصيل المعيشية مثل الذرة الرفيعة والتف. ولكن لا بد من عمل نوعي على السلالات والأصناف ذات الأهمية للبلدان النامية. فالبلدان النامية تستضيف أكبر مجموعة من التنوع البيولوجي الزراعي في العالم، ولكن العمل الذي

الجينوم ولن تكون لها فائدة عملية كبيرة في حالة عدم وجود برامج فعالة لتربية النباتات. وأي هدف بحثي بمفرده يتطلب امتلاك ناصية مجموعة كبيرة من العناصر التقنية. وينبغي أن تكون التقانة الحيوية جزءاً من برنامج بحث زراعي متكامل وشامل يستفيد من نتائج القطاعات الأخرى ومن برامج مختلف التخصصات على المستوى القطري. ولهذا انعكاسات واسعة على البلدان النامية وشركائها الإنمائيين أثناء تصميم وتنفيذ سياسات البحث القطرية ووضع برامج إقامة المؤسسات وبناء القدرات (انظر الفصل الثامن).

والتقانة الحيوية الزراعية دولية في طبيعتها. وإذا كان معظم البحوث الأساسية في بيولوجيا

الفنية والتشغيلية، وانخفاض القيمة التجارية للمحاصيل والسلالات، وعدم كفاية برامج التربية التقليدية، وضرورة الانتقاء بما يتناسب مع بيئات الإنتاج. ومع ذلك فإن البلدان النامية تواجه بالفعل الآن ضرورة تقييم المحاصيل المحورة وراثياً (انظر الفصول من الرابع إلى السادس). كما سيكون عليها يوماً ما تقييم إمكان استخدام المحور وراثياً من الأشجار والحيوانات والأسماك. وقد تكون في هذه الابتكارات فرص لزيادة الإنتاج ورفع الإنتاجية وتحسين جودة المنتوجات والتأقلم، ولكن من المؤكد أنها ستثير تحديات أمام قدرات البحث والتنظيم في البلدان النامية.

أجري على توصيف هذه الأنواع النباتية والحيوانية على المستوى الجزيئي من أجل تقييم إمكانياتها الإنتاجية وقدرتها على مقاومة الجفاف والإجهاد البيئي أو لضمان صيانتها في الأجل الطويل لا يزال عملاً قليلاً حتى الآن. ومن المحتمل أن يواجه تطبيق التقانات الحيوية الجزيئية الجديدة واستراتيجيات التربية الجديدة على سلالات المحاصيل والحيوانات ذات الأهمية الخاصة لنظم الإنتاج الصغير في البلدان النامية عقبات في المستقبل القريب لعدد من الأسباب (انظر الفصلين الثالث والسابع)، ومن هذه الأسباب نقص التمويل طويل الأجل للبحوث، وعدم كفاية القدرات