

(٤)

## البيوتكنولوجيا فى الزراعة

### ( أ ) الزراعة النباتية

بدأ الانسان " الثورة الخضراء " الأولى منذ نحو إثني عشر ألف عام فى منطقة الهلال الخصيب ، عندما استقر وابتكر الزراعة . ثم عكف منذ ذلك التاريخ على محاولة تحسين محاصيله وحيواناته . يمكننا أن ندرج كل ما قام به الإنسان فى هذا الخصوص تحت عنوان " التحسين الوراثى " . ولقد تضاعفت خطى هذا التحسين فى بداية قرننا هذا مع إعادة اكتشاف مندل ، ليغدو التحسين الوراثى مهنة أثمرت فى الستينات " ثورة خضراء " جديدة أنتجت سلالات من القمح والذرة والأرز غزيرة المحصول بشكل مذهل ( ٤ - ١٠ أضعاف محصول السلالات المحلية ) - سلالات ساهمت حقاً فى توفير الغذاء لمواجهة الانفجار السكانى فى دول مثل الهند وبنجلاديش وباكستان .

تمكن مربو النبات إذن بطرق الانتخاب الوراثى من رفع إنتاجية المحاصيل الزراعية . استنبطوا معظم ما نراه الآن من سلالات وأصناف محاصيل الحقل والخضراوات والفاكهة والزينة ، بل وحتى السلالات الاقتصادية من البكتريا والخمائر والفطر . ولقد كان تقدمهم محكوماً بالمستودع الجينى للنوع الذى يعملون عليه وما يحويه من جينات - يفتشون فيه بطرقهم عن تباين وراثى ، عن جينات جديدة نافعة وطفرات مفيدة ، يفتتصونها ويكثرون منها ويثبتونها فى سلالاتهم . ولقد يلجأون إلى الأقارب

البرية بحثاً عن صفات وراثية لا تتوفر فيما بين أيديهم من نباتات ، فإذا وجدوها قاموا بتهجين سلالاتهم بها ، ثم طفقوا ينتخبون ثانية ، فى عملية مرهقة تستهلك المال والزمن . هم لم يستطيعوا أن ينتجوا سلالة من الذرة يتوفر فى دقيقتها حمض اللايسين الأمينى – الهام جدا فى تغذية الانسان – فليس فى المستودع الجينى لهذا النبات من التباين فى هذه الصفة ما يمكنهم اللجوء إليه . هم لم يستطيعوا أن ينتجوا أزهاراً زرقاء فى نباتات الورد أو القرنفل carnation أو الأقحوان chrysanthemum أو الجيربيريرا gerbera ، فالجهاز الوراثى لهذه الأنواع النباتية ببساطة لا يحمل من الأصل جينا للون الأزرق .

وبعد ما شهد هذا القرن من تحولات رفعت الإنتاج الزراعى النباتى بشكل ملحوظ – ميكنة الزراعة ، البذور الهجينة ، المخصبات الجديدة ، مبيدات الآفات – جاءت البيوتكنولوجيا الحديثة تحمل معها آمالا كبارا : ابتكرت تقنيات الدنا المُطعم ونقل الجينات وزراعة الأنسجة ودمج الخلايا ، وفتحت مجالاً جديداً تماما : فتحت أمام المربى المستودع الجينى لكل الأنواع – ميكروبية أو نباتية أو حيوانية – يأخذ منه ما يشاء وينقله إلى أى نوع نباتى يشاء . لم يعد من الضرورى أن نجد الجين المطلوب فى الجهاز الوراثى للنوع الذى نحسنه ، يكفى أن نعرف بوجوده فى أى نوع آخر ، فننقله . نستطيع أن نعزل الجين المسئول عن اللون الأزرق الذى تحمله نباتات البيتونيا petunia الزرقاء الزهرة ( وقد تم هذا ) ثم ننقله بطرق الهندسة الوراثية إلى سلالة الورد لدينا ، لينتج لدينا : نفس سلالة الورد بكل خصائصها ، سوى أن أغصانها ستحمل ورودا زرقاء .

يعتمد النجاح فى تطعيم خلايا النبات بالجينات الغريبة على النجاح فى استزراع الخلايا المطعمة جينيا ، بزراعة الأنسجة ، وإمكان تميمتها إلى نباتات كاملة تحمل الجين ( أو الجينات ) الغريبة – فزراعة الأنسجة هى التقنية الجديدة المكتملة للهندسة الوراثية فى النبات ، وسنعرض كلمة قصيرة عنها :

## زراعة الأنسجة tissue culture

من الممكن استنبات الأنسجة النباتية والخلايا فى بيئة مغذية يختلف تركيبها باختلاف نوع النبات وباختلاف الجزء المستبث ( جزء من ورقة أو من ساق أو من جذر ، أو قمة نامية ... إلخ ) ، لكن هذه البيئات جميعا لا بد أن توفر ما تحتاجه الأنسجة والخلايا من مواد غذائية وتنشيطية . فلما كانت الأنسجة النباتية المنفصلة لا تستطيع عادة توفير الكربوهيدرات لنفسها ، فمن اللازم أن يُوفَّر لها مصدر يمدّها به ، عادة ما يكون سكر السكروز sucrose . وهى تستطيع أن توفر بنفسها الأحماض الأمينية ، غير أن إضافة البعض منها قد يشجع النمو والتضاعف . ولقد تضاف أيضاً فيتامينات ومواد أخرى كلبن جوز الهند أو مستخلص الخميرة لنفس الغرض . هناك ستة عناصر غير عضوية يلزم أيضاً توفيرها هى : النتروجين ( على صورة نترات أو أمونيا ) ، والفسفور ( فى صورة فوسفات صوديوم أو بوتاسيوم ) ، والبوتاسيوم ( فى صورة كلوريد أو نترات بوتاسيوم ) ، والكالسيوم ( فى صورة كلوريد أو نترات كالسيوم ) ، والمغنسيوم والكبريت ( فى صورة سلفات مغنسيوم ) . وهناك أيضاً ستة عناصر أخرى صغرى لازمة هى النحاس والزنك والمنجنيز والحديد والبورون والمولبدينيوم – بالإضافة إلى منظمات النمو من الهرمونات النباتية : الأوكسين auxin والسيتوكينين cytokinin : فالأوكسين ينشط تكوين الأحماض النووية والكالس callus ونمو الخلايا وتكوين الجذور ، أما السيتوكينين فينشط انقسام الخلايا وتكوين النموات الخضرية ويثبط تكوين الجذور . يعتمد التشكيل المورفولوجى على نسبة هذين الهرمونين فى البيئة المغذية ، وعلى تركيز كل منهما – فزيادة نسبة الأوكسين إلى السيتوكينين تنشط الأجنة وتكوين الجذور والكالس ، والعكس ينشط النموات الخضرية والأفرع . يستخدم البكتين pectin فى إعطاء البيئة المغذية قوامها الصلب أو نصف الصلب ، بينما يستخدم الماء المقطر فى حالة البيئة السائلة .

عندما توضع القِطْع من أجزاء النبات المطلوب استزراعها في البيئة المغذية تنشط الخلايا بالأجزاء المجروحة الملامسة للبيئة ، فتتكون كتلة من الخلايا البرانشيمية تسمى كالأص في ظرف ٣ - ٤ أسابيع . تُترك هذه لتكبر حتى يصل قطرها إلى ٢ - ٣ سم ، فتُفصل وتُجزأ إلى قطع صغيرة تزرع في بيئة مغذية أخرى ذات تركيب هرموني ينشط تكوين الجذور والبراعم الخضرية والأفرع والأوراق ، لتُنقل النبيتات إلى الصوبة أو الحقل حيث تنمو إلى نباتات كاملة - وقد يصل ما تنتجه من كتلة كأص واحدة إلى خمسمائة نبات .

قد يواجه المربي عقبات كثيرة يلزم حلها بالنسبة للكثير من محاصيل الحقل التي لا تستجيب خلاياها بسهولة للتكاثر في مزارع الأنسجة . كما أن الكثير من الصفات الاقتصادية الهامة لمحاصيل الحقل صفات كمية quantitative traits ترتكز وراثتها على عدد كبير مجهول من الجينات ( تسمى بوليجينات polygenes ) ، لا على جين واحد كمثل ما قد يتمكن المهندس الوراثي من التعامل معه . والطريق لا يزال مفتوحاً أمام علماء الوراثة الجزيئية لمحاولة حل قضية الصفات البولييجينية هذه .

### التوماتين taumatin

هناك نبات ينمو بغرب أفريقيا اسمه كاتيمف katemfe أو " فاكهة السودان الأعجوبة " ( واسمه العلمي : توماتوكوكص دانييلياى *Thaumatococcus daniellii* ) ، يعطي ثماراً حمراء صغيرة غاية في الحلاوة بسبب احتوائها على مادة تسمى التوماتين . تقول موسوعة جينيس للأرقام القياسية إن هذه المادة هي أحلى مادة يعرفها الإنسان ، إذ تبلغ حلاوتها ٢٠٠٠ - ٢٥٠٠ ضعف حلاوة السكر ( سكر القصب ) sucrose في محلول تركيزه ٨ - ١٠ % .

والتوماتين بروتين نباتي يعطى من السُّعرات مثل غيره من البروتينات ( ٤ كيلوكالورى / جرام ) ، غير أن استخدامه فى تركيبات تبلغ بضعة أجزاء فى المليون يعنى أنه فارغ حرارياً . والإنسان والحيوان يستطيعان هضمه كاملاً . وإذا جُفِّد ( جُفِّف بالتجميد ) freeze dried ظل مسحوقه ثابتاً تحت درجات الحرارة العادية ، كما يظل ثابتاً أيضاً فى عمليات التصنيع حتى درجة حرارة ١٢٠ مئوية . ولقد قامت إحدى الشركات بتحضيره تجارياً تحت اسم تالين Talin ، وهو يستخدم كمُحَلِّى sweetener طبيعى لمرضى السكر ، وقد أجاز استخدامه فى أسبانيا وأستراليا وإسرائيل وأمريكا وجنوب أفريقيا والدانيمرك ودول السوق الأوروبية وسويسره ونيوزيلنده واليابان .

للتوماتين خصائص فريدة بجانب كونه مُحَلِّياً ، فهو فى تركيبته الضعيفة جداً يحجب الطعم المر الكريه لأيونات المعادن ، كالصوديوم والحديد والبوتاسيوم ، وبذا يستخدم فى إخفاء المذاق المتأخر after taste للسكرين ولبعض العقاقير التى تحمل معادن مضافة . كما أنه يكبت الطعم المر لمنتجات ثمار الموالح وعصائرها . ثم إنه يرفع استجابة مستقبلات الذوق فى الفم للمُنكّهات من قبيل النعناع والزنجبيل والقرفة والبن ، فيعزز نكهتها كما يقلل أثرها الحريف أو اللاذع أو المر . وبالإضافة إلى ذلك فإنه يعزز حلاوة غيره من المُحليات : فمن الممكن أن نخفض ٣٠٪ من نسبة الأسبارتيم aspartame فى مشروباته ، بإضافة عشرة أجزاء فى المليون من التوماتين ، دون أن نخفض من مستوى الحلاوة الأصلية .

من الممكن بالطبع أن يستخدم التوماتين منفرداً فى إعداد الحلوى ، لولا أنه يذيع طعماً كالعرقسوس licorice إذا زاد تركيزه ، ومن ثم يقتصر استعماله على الحلوى التى لا تتطلب أكثر من ١٠٪ من السكروز .

التوماتين جزئياً بروتيني نباتي ثمين ، يتألف من سلسلتين من الأحماض الأمينية ، لاختلافان كثيراً عن بعضهما ، طول كل منهما ٢٠٧ حمضا ، تربطهما ثمان روابط من الدايسلفايد *disulfide* . ولقد أمكن عزل الجين المشفر للتوماتين من نبات الكاتيف ، وأمكن بالهندسة الوراثية إيلاجه في ميكروبات تقوم بإنتاجه بكميات تسويقية . يحاول بعض العلماء الآن إيلاج الجين في خلايا نبات الكاكاو ، لتنتج الشجرة الكاكاو حلواً بالفعل دون زيادة في سعرته . من الممكن بهذا الجين أن ننقذ نباتا كالشمام الذي كاد أن يختفى من أسواقنا في مواجهة الكانتالوب ، فايلاج هذا الجين فيه سيرفع من حلوة ثماره دون زيادة في السكر ، الأمر الذي قد يعيد هذه الثمرة إلى مكانها السابق على موثقتنا . ومن الممكن أيضا أن يولج جين التوماتين هذا في نبات غزير المحصول كالطماطم ، ليستخلص التوماتين من الثمار بكميات تسويقية .

ولقد يفيد هنا أن نذكر أن هناك عائلة من البروتينات تشبه التوماتين في تركيبها ، تسمى عائلة التوماتين *taumatin family* ، عثر عليها في بعض النباتات ، عادة في سوائل ما بين الأنسجة *intercellular fluid* ، وتشفر لها جينات خاصة ، ويُفترض أنها تعمل في الدفاع عن النبات ضد الفطريات . أمكن كشف أفراد من هذه العائلة في نباتات مثل الترمس *Lupinus albus* ، والشعير *Hordeum vulgare* والطباق *Nicotiana tabacum* والذرة ، والأرابيدوسيز *Arabidopsis* والكريز *Prunus avium* .

### البيوتكنولوجيا ومقاومة الآفات النباتية

ليس للنباتات جهاز مناعي - كالحوانات - تدافع به عن نفسها ، لكنها قد طوّرت حيلة وطرقا لتسعفها في مقاومة الحشرات والأمراض الفيروسية أو البكتيرية أو الفطرية . ربما أمكننا أن نقول إن الجينات المشفرة لبروتينات عائلة التوماتين ( وعائلات أربع أخرى غيرها معروفة ) تشكل ما يمكن اعتباره آلية للدفاع . وهناك نباتات تنتج بروتينات تقتل الحشرات أيضاً . من

بين هذه البروتينات المضادة للحشرات هناك مثبط التربسين trypsin inhibitor . هذا البروتين يثبط نشاط إنزيم التربسين الذى تفرزه بعض الحشرات لهضم خلايا النبات حتى تصبح فى صورة يمكنها أكلها ، مخالفة تقويا فى أورق النبات أو سوقه . فإذا ما تُثبط فعل هذا الإنزيم ماتت الحشرة جوعاً .

نجح العلماء فى كلونة جين مثبط التربسين من نبات اللوبيا cowpea ، وإيلاجه فى الجهاز الوراثى لنبات الطباق . ( نباتات الطباق – والعائلة الباذنجانية solanaceae عموماً – هى أفضل النباتات طواعية لتقنية نقل الجينات ) . ولقد ثبت أن نبات الطباق عبر الجينى transgenic هذا يميت بالفعل من الجوع ديدان البراعم budworms وديدان الحشد army worms . ومثبط التربسين هذا لا يؤثر فى الإنسان ، إذ يتحلل فى قناته الهضمية . ولقد عُرف أيضاً أن هناك حشرات ، تصيب بعض محاصيل الحقل الرئيسية ، حساسةً لفعل هذا المثبط ، منها دودة كيزان الذرة corn ear worm ودودة نمل الأرز rice ant worm وسوسة لوز القطن boll weevil ، ونقل الجين إلى نباتات الذرة والأرز قد يكون له أثر فعال فى تقليل ما تسببه هذه الحشرات من خسائر فى المحصول .

تقنية الهندسة الوراثية هنا – نقل الجينات – تقوم بعمل لا يمكن للمربي التقليدى القيام به – إنها تُدخل صفة جديدة تماماً إلى نبات لم يعرف بها أبداً . تماماً مثلما هو الوضع فى إنتاج الوردة الزرقاء .

ولقد يأتى الجين المُفضّل من بكتريا ، لا من نبات . ثمة بكتيرة من بكتريا التربة اسمها باسيلُص تورنجينسز ( بى تى ) *Bacillus thuringiensis* ( Bt ) . تحمل هذه البكتيرة جينا يشفر لبروتين سام ليرقات حشرات حرشفيات الأجنحة lepidoptra ( ومنها دودة ورق القطن cotton leaf worm ) . وكان قد كُشِف عن سمية هذا الجزىء البروتينى ، واستُخدم كمبيد

حشرى بيولوجى منذ أكثر من خمسة وثلاثين عاما . وهذه المادة لا تؤذى الإنسان ولا الثدييات ، وتعمل بأن ترتبط بالمستقبلات على أسطح خلايا القناة الهضمية الوسطية للدودة ، وتوقف عملها ، فتموت الحشرة . تمكنت إحدى الشركات الأمريكية ( مونسانتو Monsanto ) من عزل هذا الجين من البكتيرية و كلونته ، بعد أن وضعت سميته ثلاثمائة مرة ، ثم أولج فى نبات القطن الأمريكى ، كما أولج فى الطماطم والطماطم وغيرها ، ونتجت نباتات تقاوم الحشرات مقاومة ذاتية - دون مبيدات . وتجرى الآن محاولات لتحويل هذا السم البروتينى بحيث يصلح لمقاومة مجال أوسع من الحشرات .

تقوم الأجهزة العلمية المعنية فى مصر بمحاولات لإيلاج جين البى تى هذا فى نبات القطن المصرى ( وهو من نوع species غير نوع القطن الأمريكى ) وفى البرسيم . ولاشك أن هذا المشروع يعتبر مشروعاً قومياً ، بكل ما فى هذه الكلمة من معنى ، يمكن به على الأقل تخفيض الكم الهائل من المبيدات ، المكلفة والملوثة للبيئة ، التى تُنشر سنوياً فى الريف وتعرض المزارعين لمخاطر صحية لا يستهان بها .

ستسهم البيوتكنولوجيا فعلاً فى تنظيف البيئة ، ولقد فتحت مجالاً جديداً تماماً فى مقاومة الآفات النباتية لم يكن له قط وجود قبلها ، مجالاً لايزال يتسع فى الحقيقة . ثمة من قد عزل وكتون جينات حشرية تنتج بالحشرات أجساماً مضادة تقاوم بها بعض ما يصيبها من بكتريا ، ثم أولج الجينات فى الجهاز الوراثى لنباتات البطاطس ، بعد أن عرِف أنه من الممكن علاج بعض أمراضها البكتيرية بنفس هذه الأجسام المضادة .

وتقنية زراعة الأنسجة فى حد ذاتها قد توفر لمربي النبات وسيلة جيدة وسريعة حقاً لإنتاج سلالات نباتية تقاوم بعض الأمراض ، إذا وجدت بعشيرة هذا النبات جينات " تشفر لبروتينات مقاومتها ( إنما بتكرار منخفض )

فلقد يلاحظ المربي في حقل أصيب بمرض ما أن بعضاً قليلاً من النباتات قد قاومه . يستطيع المربي أن يستخدم خلايا هذه النباتات ، فيستزرعها في مستنبت يحمل المادة السامة التي يفرزها الكائن الممرض ، لينتخب منها ما يستطيع أن يتحمل السم ، فيستزرعه ثانية ربما بعد أن يرفع تركيز السم في المستنبت . وهكذا جيلاً خلويًا وراء جيل سيتمكن المربي من إنتاج سلالة من الخلايا مقاومة ، ينميتها إلى نباتات كاملة من سلالة مقاومة للمرض . سنلاحظ هنا سرعة إجراء عملية الانتخاب ، مقارنةً بما كان للمربي أن يفعله إذا كان عليه أن يُعدى النباتات في الحقل بالكائن الممرض (بما في ذلك من خطورة) لينتخب منها ما يقاوم ، لبضعة أجيال . إن كل مايلزمه للانتخاب في مزارع الأنسجة هو أن يعرف السم أو أن يستخلصه . ولقد نجحت هذه الطريقة بالفعل في انتخاب سلالة من البطاطس مقاومة للفحة البطاطس potato blight وفي انتخاب سلالات مقاومة للأمراض في الكثير من النباتات كالطماطم والجزر والبطاطا وغيرها . بل ولقد نجحت في تطوير سلالة من الذرة مقاومة لبعض أنواع مبيدات الحشائش غير الضارة بالبيئة أو بالإنسان أو الحيوان ، والتي كثيراً ما " تُبيد " المحصول نفسه - وانتخاب مثل هذه السلالة من الذرة سينجئها من فعل مبيد الأعشاب عند استخدامه .

كثيراً ما تظهر عن زراعة نسيج نباتي واحد في مستنبت ، نباتات تتباين كثيراً ( وهذه ظاهرة تسمى " التباين الخضري الكلوني " somaclonal variation ) على الرغم من أنها ، فرضاً ، متطابقة وراثياً . يبدو أن هذا الفرض ليس صحيحاً تماماً ، فمن الممكن للمربي أن ينتخب بينها وينتج سلالات مختلفة ثابتة وراثياً . ولقد أمكن بالفعل استغلال هذه التباينات الخضرية الكلونية في استنباط سلالة من قصب السكر مقاومة لمرض العين eyespot disease الذي يسببه الفطر هلمنتوسبوريام سكاراي *Helminthosporium sacchari* ، إذ أضيف السم الذي يفرزه هذا الفطر إلى مكونات البيئة المغذية بالمستنبت ، لترفع نسبته في كل جيل نسيجي ، حتى

أمكن إنتاج السلالة في ظرف عام لا أكثر ، وهي المهمة التي لم يكن لمربي النبات التقليدي أن ينجزها في أقل من عشرة أعوام .

### تكنولوجيا زراعة الأنسجة كوسيلة لرفع الإنتاج

وقد تستخدم تقنية زراعة الأنسجة ذاتها في التكاثر الخضري لنباتات أشجار ممتازة دون اللجوء إلى البذور التي قد تخذل المربي كثيرا . فأنت إذا عثرت على نخلة واحدة أثمرت بلحا أكثر حلاوة ، أمكنك بتقنية زراعة الأنسجة أن تتسخ منها ملايين الأشجار إن أردت ، وأممكنك أن تعرّض الأنسجة في المستنبتات لضغوط ( مَرَضِيَّة أو ملحية أو حرارية ) لتتخبط الأفضل من الخلايا - بينما لا يمكنك بطرق الفلاحة التقليدية ( الفسائل ) ، أو بطرق التربية المعروفة ، أن تنتج من مثل هذا النبات الطيب إلا عدداً محدوداً من النسل . ولقد نجحت هذه الطريقة نجاحاً باهراً في نخيل الزيت oil palm الذي كان حتى عهد قريب يُكاثَر بالبذرة ، فلقد طورت إحدى الشركات العالمية بانجلترا تكتيك زراعة أنسجة هذا النخيل ، لترسل أولى شتلاتها للزراعة في ماليزيا عام ١٩٧٦ ، فنتشر عام ١٩٧٨ ، بزيادة في غلة الزيت تبلغ ٣٠٪ . كما نجحت الآن تقنية زراعة أنسجة نخيل البلح ، وقد يعنى هذا توقعاً بزيادة جودة الثمار والمحصول ، وزيادة في أعداد ما يزرع من الأصناف الممتازة بطينة التكاثر ، وإغراءً بزيادة المساحات الصحراوية التي تزرع نخيلاً .

وقد تستخدم تقنية زراعة خلايا النبات وأنسجته أيضا في توفير بعض المنتجات الزراعية - دون نبات . من الممكن أن تستزرع في المستنبت مثلا أنسجة نبات الفانيليا ، وأنسجة أشجار الصمغ ، لنتج منها الفانيليا والصمغ في المعمل دون مزارع ، ونوفر الأرض لزراعة محاصيل أخرى . ( لكن مثل هذا الأمر قد يشكل بالفعل خطراً بالنسبة لمدغشقر التي تعتمد على تصدير

الفانيليا فى توفير جانب كبير من دخلها من النقد الأجنبي ، وبالنسبة للسودان المُصدِّر للصمغ العربى ) . ولقد تمكنت إحدى الشركات بالفعل عام ١٩٩١ من إنتاج الفانيليا من مزارع الأنسجة — والفانيليا التى تنتجها بالطبع ليست اصطناعية ، إنما هى مطابقة تماماً لما تنتجه بذور أوركيده الفانيليا . وهناك الآن من العلماء من يحاول إنتاج ألياف القطن من مزارع الأنسجة . بل وهناك مَنْ قد تمكّن فعلاً من تنمية الحويصلات التى تحمل العصير فى ثمار البرتقال والليمون والجريب فروت — لِيُنتَج عصائر الموالح من مزارع الأنسجة — دون ثمار ، دون أشجار . كما نجح آخرون فى تنمية الجزء المأكول من ثمار الكريز . إن تقنية زراعة الأنسجة قد تُخدم كثيراً فى توفير الأرض لزراعات أخرى ، وفى توفير منتجات زراعية لبعض النباتات ، حتى فى بلاد ومناطق لا تصلح زراعتها فيها أصلاً لاختلاف المناخ مثلاً أو التربة.

### البيوتكنولوجيا وتسميد النبات

النتروجين ( الأزوت ) واحد من أهم العناصر التى يحتاجها النبات لبناء أنسجته — فكل حامض أمينى فى بروتين يحتوى ، بجانب الكربون والأيدروجين والأكسجين ، على ذرة نتروجين على الأقل . يشكل النتروجين نحو أربعة أخماس الهواء الذى نتنفسه ، لكن النباتات لا تستطيع أن تستفيد منه إلا إذا كان فى صورة أزوت " مُثَبَّت " fixed ، إما متحداً مع الأكسجين فى صورة نترات أو مع الأيدروجين فى صورة أمونيا . يوفر المزارع لنباتاته الأزوت فى شكل أسمدة اصطناعية غالية الثمن . ولقد تَضَاعَف المستهلكُ من مثل هذه الأسمدة بصورة هائلة مع تطوير السلالات غزيرة الإنتاج من محاصيل الحقل ، فمثل هذه السلالات تحتاج من الأزوت ما يزيد كثيراً عما توفره التربة طبيعياً .

ليس هناك من الكائنات الحية ما يمكنه تثبيت النتروجين سوى بعض أنواع البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة blue green algae — لكن بعض

النباتات قد تمكنت من خدعة . ثمة عائلة من النباتات يمكنها أن توفر لنفسها الأزوت : عائلة البقوليات التي تضم الفول والبقول السوداني والعدس والبسلة والفاصوليا واللوبيا والحمص والترمس والبرسيم . تؤوى جذور هذه النباتات أنواعا مختلفة من بكتريا الريزوبيوم *Rhizopium* المثبتة للنتروجين ، التي تعيش فى صورة تكافل مع هذه النباتات : النبات يوفر المأوى والطاقة ، والبكتريا توفر له الأزوت . عندما تدخل البكتريا الشعيرات الجذرية ، وتتحرك نحو لحاء الجذر ، تنشط بها جينات *nod genes* تؤدي إلى ظهور نتوءات تسمى العقد الجذرية *nodules* سرعان ما تمتلئ بملايين البكتريا التي تقوم بتثبيت النتروجين ، وتعمل كمصنع لتوفير الأزوت للنبات العائل . ولما كانت البكتريا تختلف فى قدرتها على تثبيت النتروجين ، فقد تمكن المربون من استنباط سلالات منها أكثر كفاءة . لكن الحقيقة هى أن جذور أهم محاصيل الحقل من النجيليات ( القمح والذرة والأرز ) لا تؤوى مثل هذه البكتريا . ولقد اتضح أن أنواع نباتات البقول المختلفة تفرز موادا معينة تجذب بها إليها أنواع الريزوبيوم الخاصة بها . من الممكن إذن التفكير فى تطعيم المادة الوراثية للنباتات النجيلية بالجينات المشفرة لمواد الجذب هذه .

تثبتت البكتريا الأزوت عن طريق إنزيم النتروجينيز *nitrogenase* وجهاز وراثي يسمى " جهاز تثبيت النتروجين - نيف " *Nif* مؤلف من نحو إثني عشر جينا . أمكن بالفعل نقل هذا الجهاز على بلازميدة إلى بكتريا *E. coli* فأصبحت هذه البكتريا تثبت النتروجين . ومن الطبيعي أن تجرى المحاولات لنقل هذا الجهاز إلى النباتات غير البقولية لتثبت هى ذاتها النتروجين ، أو أن يُنقل جهاز نيف هذا إلى بعض البكتريا الحرة فى التربة لتثرى التربة بالنتروجين المثبت .

[ من المثير هنا أن نذكر أن بعض العلماء قد اكتشفوا ، منذ عام ١٩٣٨ ، أن دخول الريزوبيوم إلى الشعيرات الجذرية لنبات الفول *Vicia faba* ( وغيره من البقوليات كما اتضح فيما بعد ) يدفع بعض الجينات

الصامئة في جينوم النبات إلى العمل والتعبير عن نفسها ، فتنتج داخل العقد الجذرية صبغة حمراء ثبت أنها هيوجلوبين دم . تتكون هذه الصبغة من أربع سلاسل من الأحماض الأمينية ( أ ، ب ، ج ، د ) – السلسلتان أ ، ج تشبهان سلاسل الجلوبيين في الحيوانات العليا ، أما السلسلة أ بالذات فتشبه كثيرا سلسلة جاما في هيوجلوبين الأجنة البشرية ] .

والواقع أن بالتربة – كما ذكرنا – بكتريا حرة يمكن أن تُستخدم كمصدر أزوت للنبات . من هذه النوع كلبسيلا *Klebsiella* . ولقد أمكن استنباط سلالة من هذه البكتريا تحمل طفرة من جين بها تجعلها تتطوق تنتج أيونات الأمونيا في البيئة حولها دون توقف ، بغض النظر عما وصل إليه تركيز هذه الأيونات – فالجين الطافر يغلق آلية التغذية المرتدة .

وهناك مشاريع هدفها تحسين علاقة تكافل ثلاثي معروفة من زمان طويل لدى مزارعي الأرز في فيتنام والصين ، وذلك لتوفير الأزوت لنبات الأرز ، إذ ينمو في حقول الأرز سرخس مائي *water fern* اسمه أزولاً *Azolla* يعيش في أوراقه طحلب أخضر مزرق اسمه أنابينا أزولياً *Anabaena azollae* . ومع تحلل سرخس أزولاً يصبح الأزوت الذي ثبت به الطحلب متاحاً لنبات الأرز . يعمل المهندسون الوراثيون على دفع هذا النظام التكافلي إلى إنتاج مستويات من الأزوت المثبت أعلى ليخدم في تسمين الأرز وزيادة إنتاجه .

### التمثيل الضوئي photosynthesis

ثمة محاولات تجرى الآن لرفع التمثيل الضوئي للنباتات بهدف رفع معدل النمو . يتألف الإنزيم الذي يثبت ثاني أكسيد الكربون [ واسمه روبيسكو (*rubisco* ( *ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase* ) من ثمانية

بروتينات كبيرة تشفر لها جينات موجودة بالبلاستيدات الخضراء ( الكلورو بلاستات ) ، وثمانية صغيرة تشفر لها جينات بالنواة . وليس ثمة طريقة سهلة يمكن بها تحويل جينات الكلوروبلاستات ، وإن كان مسدس الجسيمات قد يعطى أملاً ، غير أن الأمر قد يتطلب بعض الوقت للوصول إلى نتائج إيجابية .

### التلون البني ( الاسمرار ) browning

من بين أهم الصفات التي تهتم مزارع الخضراوات والفاكهة بعد الجنى أو القطف : صفة التلون البني التي تقلل من سعر منتجاته عند التسويق. وقد اتضح أن المسئول عن هذه الصفة هو إنزيم بوليفينول أكسيداز ( PPO ) polyphenol oxidase الذي يوجد في النباتات في صورتين : صورة خاملة وأخرى نشطة . تتحول الصورة الخاملة – طبيعياً – إلى الصورة النشطة لتظهر صفة الاسمرار . ولقد عثر العلماء على جين بإحدى سلالات العنب يعطل عملية التحول هذه ، ومن ثم يطيل عمر الثمرة معروضة في السوق . كلون الجين من العنب والتفاح والبطاطس ، ويتم نقله إلى جينومات الكثير من أنواع الخضراوات والفواكه .

### تكنولوجيا التعطيل antisense technology

من الممكن أن تستخدم تكنولوجيا التعطيل في وقف عمل الجينات المشفرة للإنزيمات التي تحلل جدر خلايا النبات وتهضمها بحيث تصبح مهيأة للعطب السريع . تتلخص هذه التقنية في إيلاج جين مُصنَّع synthesized في الدنا الكروموزومي للنبات ، يكون تتابعه هو التتابع على الجديلة البطالة للجين العامل المشفر لإنزيم التحليل ، ( بعد إضافة المنشط promoter )

مقلوباً . من شأن هذا الجين المصنَّع أن ينتج رنا مرسال يكون هو النسخة المكملة للـرنا المرسال للجين الأصلي ، ومن ثم يقترن المرسالان ، فلا يترجم المرسال الأصلي إلى بروتين الإنزيم المحلّل .

دعنا نتخيل لمجرد التوضيح أن الجين الأصلي مكون من ست

نوتيدات فقط :

الجديلة العمالة : ٥ - س أس ث ج ج - ٣

الجديلة البطالة : ٣ - ج ث ج أس س - ٥

نعرف مما سبق أن الرنا المرسال يتخذ الجديلة البطالة قالباً :

الجديلة البطالة : ٣ - ج ث ج أس س - ٥

الجديلة المفردة للـرنا المرسال : ٥ - س أس ي ج ج - ٣

سنصنّع الآن جينا له ترتيب الجديلة البطالة للجين الأصلي ، ستكون

جديلتاه :

الجديلة العمالة : ٥ - س س أ ج ث ج - ٣ (وهي الجديلة البطالة للجين الأصلي)

الجديلة البطالة : ٣ - ج ج ث س أس - ٥

ستتخذ الجديلة البطالة الأخيرة قالباً لصناعة الجديلة المفردة للـرنا

المرسال لهذا الجين المصنَّع :

الجديلة البطالة : ٣ - ج ج ث س أس - ٥

الـرنا المرسال للجين المصنَّع : ٥ - س س أ ج ي ج - ٣

جديلتا الرنا المرسال إذن تقترنان

الـرنا المرسال للجين الأصلي : ٥ - س أس ي ج ج - ٣

الـرنا المرسال للجين المصنَّع : ٣ - ج ي ج أس س - ٥

فببطل عمل الرنا المرسال للجين الأصلي ولا يترجم إلى بروتين الإنزيم

المحلّل لجدر الخلايا .

ولقد استخدمت هذه الطريقة لإنتاج سلالة من الطماطم تبقى على الرف أسابيع قبل التلف . والواقع أنه من الممكن أن تُحَقَّن جدائل الرنا المكمل ، أو جدائل مفردة من الدنا لها التتابع المكمل ، أو حتى بلازميدات تحمل الجين المعكوس لينتج الرنا المكمل ، وذلك لتعطيل ترجمة الرنا المرسال للجين . ( وقد نجحت هذه الطريقة فى وقف عمل بعض جينات السرطنة oncogenes فى الإنسان ) .

### نباتات مطعمة بجينات بشرية

الضرب (١) من مرض السكر diabetes فى الانسان ينشأ عندما يهاجم الجهازُ المناعىُ خطأً بعض بروتينات الجسم ، وبالذات بروتيناً يسمى جاد GAD ، على الخلايا المفترزة للإنسولين بالبنكرياس — الهرمون الضرورى لحفظ المستوى الصحيح من السكر فى الدم . إذا ما تحطمت هذه الخلايا ، أصبح على المريض أن يلجأ يومياً إلى حقن الإنسولين . ركزت دراسات كثيرة على تعاطى المريض بالفم لكميات وفيرة من بروتين جاد هذا حتى يُمنع الجهاز المناعى من تدمير خلايا البنكرياس ، وكانت المشكلة هى صعوبة تصنيع هذا البروتين بكميات تسويقية .

نجح بعض الباحثين الكنديين مؤخراً ( يوليو ١٩٩٧ ) فى إيلاج الجين المشفر لبروتين جاد فى دنا نباتات البطاطس ، وأنتجوا بطاطس تحمل مستويات عالية من هذا البروتين . ثمّة سلالة من فئران انتُخبت للحساسية العالية لمرض السكر ، وتعتبر نموذجاً ممتازاً لحاملى الضرب (١) من مرض السكر — فلها نفس تركيب البنكرياس ولها نفس الاستجابة المناعية . غذيت عينة من فئران هذه السلالة بالبطاطس المهندسة وراثياً ، وكانت النتائج مشجعة جداً ، ويجرى الآن تجربتها على البشر . يعتقد الباحثون أن أكل النباتات المهندسة وراثياً هندسةً ملائمةً قد تتجح حتى فى منع طرد الجسم للأعضاء المزروعة فيه .

ولقد أمكن بالفعل إنتاج الكثير من النباتات المطعمة بجينات بشرية تشفر لبروتينات بشرية : بطاطس تنتج أليومين الدم ، لفت ينتج الإنكفالين ، الذى يفرزه المخ لمنع الألم ، نبات تبغ ينتج إنترلوكين - ٢ ، وخضراوات وفواكه ( كالموز والطماطم والبطاطس ) تحمل فاكسينات بشرية للسعال الديكى والالتهاب الكبدى الوبائى ب ، وأمراض الإسهال والتيتانوس والدفتريا ، بل وتحمل أجساماً مضادة لبكتريا تسوس الأسنان .

( ب )

## الزراعة الحيوانية

هرمون النمو البقرى ( السوماتوتروبين البقرى )  
bovine somatotropin ( BST )

هرمون النمو البقرى ( السوماتوتروبين ) - مثل نظيره البشرى - تفرزه الغدة النخامية ، وهو يقوم بتوجيه النمو وإنتاج اللبن . والواقع أن لكل نوع من الثدييات هرمون النمو الخاص به ، والذى لايعمل فى غيره من الحيوانات " الأعلى " - نعى أن هرمون النمو البقرى يعمل فى الفئران ولكنه لايعمل فى الإنسان . ولقد عُرِف فى انجلترا منذ أيام الحرب العالمية الثانية أن هذا الهرمون البقرى يرفع من كفاءة إنتاج اللبن من الماشية ، غير أن الكميات التى يمكن الحصول عليها من الغدد النخامية للحيوانات المذبوحة لم تكن تسمح بالتوسع فى استخدامه . ولقد قدمت بيوتكنولوجيا الدنا المَطْعَم الحل ، فأصبح من الممكن الآن انتاجه من البكتريا بكميات تكفى حاجة السوق ، وذلك بعد أن طُعمت المادة الوراثية للبكتريا بالجين البقرى المسئول .

يرفع هذا الهرمون إنتاج اللبن من الأبقار فى القطعان التجارية إذا

حَقَّنت به يومياً ( فإنزيمات الهضم تحلله إذا أخذ عن طريق الفم ) بنسبة تبلغ ١٠ - ١٥% ( وتصل هذه النسبة إلى ٤٠% فى قطعان التجارب ) ، كما يرفع كفاءة التحويل الغذائى feed efficiency بنسبة ٥ - ١٠% - بينما تظل نسب مكونات اللبن المختلفة ( من دهون وكربوهيدرات وبروتين ) دون تغيير ، ومثلها أيضاً مستوى الهرمون ذاته فى اللبن ( فهو يَمُر طبيعياً إلى اللبن ) واستخدام هذا الهرمون البقرى الطبيعى ( الذى تنتجه البكتريا ) يَعدُّ الآن بزيادة حَقِيقية ملموسة فى إنتاج الألبان من القطعان التجارية ، ويُعامل به الآن ١٥ - ٢٠% من الأبقار بالولايات المتحدة .

### بكتريا الكرش

والواقع أن هناك أبحاثاً مكثفة تجرى لرفع كفاءة التحويل الغذائى للأبقار عن طريق تحسين وتحويل التركيب الوراثى للكائنات الحية الدقيقة الموجودة بالكرش ، فهذه الكائنات هى التى تمكّن الحيوان من الاستفادة من اللجنين بمواد العلف الخشنة التى يتعاطاها ، ومن استخدام كميات كبيرة من النتروجين غير البروتينى . من الممكن بتكنولوجيا الدنا المطعم أن يُحسَّن أداء هذه الكائنات الدقيقة فى تحليل السليولوز واللجنين ، وفى إنتاج مواد نافعة غذائياً للحيوان ، مثل الفيتامينات والأحماض الأمينية ، وفى توجيه الناتج بالكرش من غازات ثانى أكسيد الكربون والميثان إلى خلاى acetate ، بدلاً من خروجها كعادم .

### الحيوانات عبر الجينية transgenic animals

أعلن عن نجاح أولى تجارب إنتاج حيوانات عبر جينية فى ديسمبر ١٩٨٢ - فى تجربة غدت الآن كلاسيكية . والحيوان عبر الجينى هو حيوان

أولجت في مادته الوراثية جينات من كائن آخر . قام بهذه التجربة علماء من جامعتي واشنطن وبنسلفانيا ، وفيها أولج جين بشرى يشفر لهرمون النمو ، في فأر . أضيف إلى الجين البشرى قبل إيلاجه بتتابع دناوى " منشط " promoter من جين يعمل في الكبد ويخدم في ربط أيونات المعادن . يتسبب هذا المنشط في دفع جين هرمون النمو البشرى إلى العمل عند وجود معدن الزنك في الغذاء . عندما قُدم للفأر عبر الجينى الزنك في ماء الشرب تشط الجين بالفعل ، فأقرزت في جسمه كميات ضخمة من هرمون النمو (البشرى) حفزت نموه بدرجة كبيرة ، حتى ليبلغ وزنه عند تمام نموه ضعف وزن الفأر الطبيعى . ولقد احتفظت سلالة الحيوانات عبر الجينية بنفس هذه الصفة ، مما يؤكد أن الجين البشرى قد توطن واندمج بالفعل في جينوم الفأر . قام العلماء أيضا بإنتاج فئران عبر جينية أولج فيها فى الفئران الجين المشفر لإنتاج هرمون النمو فى الجرذ ، وأعطت نتائج شابهة .

[ ربما كان من المهم هنا أن نذكر أن لاختيار التتابع الدناوى المنشط للجين المنقول أهميته الخاصة ، فمن الممكن أن يُختار بحيث يقوم بتنشيط هذا الجين فى وجود عنصر لا يتوفر عادة فى غذاء الحيوان عبر الجينى ( كالزنك مثلا ) حتى يمكن فتح الجين ليعمل ، أو غلقه وابقاؤه صامتا ، بمجرد تغيير العليقة ] .

تتم عملية نقل الجينات إلى الحيوانات فى الزيجوت - فى الخلية التى تنشأ عن إخصاب الحيوان المنوى للبيضة - وذلك بالحقن المباشر للجين ، على أمل أن يندمج فى جينوم الجنين ، لينقل الجنين بعد ذلك إلى رحم أمٍ تحمله . وقد يتم نقل الجينات - كما سبق أن ذكرنا - عن طريق فيروس ارتجاعى يولج فيه الجين المطلوب نقله ، بعد تجريده ( الفيروس ) من القدرة على التضاعف والإيذاء . من الممكن عمليا إنتاج حيوانات عبر جينية أفضل

كفاءة فى النمو وفى تمثيل البروتين وفى مقاومة الأمراض – مثلاً دواجن مقاومة لمرض إنفلونزا الطيور avian influenza ، وحيوانات أكثر قدرة على إنتاج أغزر من السوماتوتروبين الخاص بها – بل لقد أمكن " إنتاج " عنز وأغنام وأبقار تحمل جينات بشرية تشفر لإنتاج عقاقير ثمينة فى ألبانها . وهنا تحقن فى أنوية بويضات هذه الحيوانات الثديية ، الجينات المشفرة للعقاقير بعد ربطها بمنشط بيتاللاكتوجلوبولين beta-lactoglobulin promoter الذى لايعمل إلا فى أنسجة الغدد اللبنية . ( ويمكن التأكد من استيعاب البويضة للجين المولج ، وذلك باستخدام التفاعل المتسلسل للبوليميريز على دنا الوليد ، يُستخدم فيه مطلقان primers من تتابع هذا الجين المولج ) . يمكن إذن عزل العقاقير من اللبن بعد الحلب ، وتفتيتها للاستعمال البشرى . وهناك الآن أغنام وأبقار وعنز تعمل هكذا كمفاعلات حيّة bioreactors تحمل جينات بشرية مثل الجين المشفر لمنشط بلازمينوجين الأنسجة ( الذى يذيب جلطات الدم بعد النوبات القلبية ) ، والجين المشفر للإريثروبويتين erythropoietin ( الهرمون الذى ينظم إنتاج كرات الدم الحمراء ) ، والجين المشفر لعامل التجلط رقم ٩ ( الذى يعالج به مرضى النزف الدموى hemophiliacs ) ، والمشفر لإنترلوكين-٢ . ولقد نجح إنتاج خنازير عبر جينية تنتج هيموجلوبين دم الإنسان ، بحيث يمكن استخلاصه من كرات الدم الحمراء للخنزير وحقنه فى من يحتاجه من البشر . يمكن أن يؤخذ من الخنزير كبير الحجم نحو اثنى عشر لتراً فى السنة دون آثار صحية سيئة عليه ، ومنها يمكن استخلاص ٥٠ - ١٠٠ كيلوجرام من الهيموجلوبين البشرى النقى . ( والحقيقة أن الخنازير أسهل فى استيعاب الجينات البشرية من الأغنام والأبقار ، كما أن عدد خلفتها litter size أكبر وفترة حملها أقصر ) .

يحدد محصول الصوف الذى تنتجه الأغنام بمقدار ما يتاح لها من الحمض الأمينى السستين cysteine ، فالأغنام لايمكنها تمثيل هذا الحمض ، ولا بد أن يقدم فى غذائها . ثمة أنواع من البكتريا يمكنها أن تصنع هذا

الحمض من آخر موجود بالجسم . ولقد كُوتت من هذه البكتريا الجينات المسئولة عن تصنيع المستيبين لتولج فى الجهاز الوراثى لبعض أغانم الصوف.

ولقد تستخدم بعض الثدييات عبر الجينية ، وبالذات الفأر ( وهذا واحد من الكائنات الخمسة النموذج التى يقوم مشروع الجينوم البشرى بسلسلة جينوماتها ) كنماذج تولج فيها جينات الإنسان المرضية التى أمكن عزلها وكتوتتها ، لدراسة الأثر الفسيولوجى والمرضى لهذه الأمراض وطرق التغلب عليها بتميز الوسائل العلاجية الملائمة .

### نقل أعضاء الحيوان إلى الإنسان

هناك الآن تحرك علمى واسع لدراسة إمكانية نقل أعضاء الحيوان إلى البشر ، وذلك لمواجهة نقص " المعروض " من الأعضاء البشرية عن المطلوب - حتى ليموت أكثر من نصف المرضى المحتاجين لعمليات نقل الأعضاء قبل التمكن من إجراء العملية بسبب عدم توفر العضو البشرى اللازم .

كانت أول عملية ناجحة لزرع الأعضاء فى البشر هى تلك التى قام بها جوزيف موراي Joseph E. Murray وزملاؤه فى بوسطن عام ١٩٥٤ ، وقاموا فيها بنقل كلية إلى مريض مأخوذة من توأمه الطيبق identical twin - فهنا لا يستطيع الجهاز المناعى للمريض أن يميز فى الكلية المزروعة ما هو غريب عنه . ثم بدأت بعد ذلك عمليات نقل أعضاء بشرية أخرى - كالقلب والرئة والكبد والبنكرياس - مأخوذة من واهبين donors من غير أقارب المرضى ، وذلك بعد معاملة المرضى بعقاقير تكبت الاستجابة المناعية لأجسامهم فلا ترفض العضو المزروع .

ثم تحول العلماء إلى دراسة نقل الأعضاء بين الحيوانات من أنواع مختلفة xenotransplantation سعياً وراء الخروج من مأزق صعوبة توفير العضو البشري المطلوب في الوقت الملائم ، فأتضح أن أجسام الحيوانات ترفض على الفور أى عضو مزروع من نوع آخر ، وظهر أن السبب في هذا الرفض هو أن جسم المتلقى recipient يحمل أجساماً مضادة تلتحم بالأنسجة الغريبة ، مما يؤدي إلى تنشيط بروتينات خاصة مكملة complement proteins في الدم تحطم ما بالعضو المزروع من أوعية دموية ، فتسبب نزيفاً خطيراً يقتل .

تمكن فريق يرأسه دافيد هويت D . J . G White عام ١٩٩٢ بالهندسة الوراثية من إنتاج خنازير تحمل جيناً بشرياً يشفر لإنتاج بروتين يثبط البروتينات المكملة هذه . لم يجرب الفريق بعد نقل أعضاء من هذه الحيوانات إلى البشر ، لكن أعضاء مثل هذه الخنازير المهندسة وراثياً قد عملت جيداً لفترة تزيد على الشهرين بعد نقلها إلى القرود .

تمكن دافيد كوبر D . K . C . Cooper مع غيره من الباحثين عام ١٩٩١ من تحديد الأنتيجينات على أسطح الخلايا المبطنة للأوعية الدموية للخنازير ، والتي تستهدفها الأجسام المضادة البشرية ، واتضح أنها مؤلفة من مجموعة سكر معينة ، ومن ثم فقد نتمكن من أن نربي خطاً line من خنازير مهندسة وراثياً لا تحمل هذه المجموعة المعينة من السكر ، مثلاً بإزالة الإنزيم الذي يضيف هذا السكر ، أو بتطعيم المادة الوراثية للخنازير بجين يستبدل بهذا السكر سكرًا آخر .

يبدو أن الخنازير تقدم أفضل الحلول لنقل الأعضاء إلى البشر ، فبجانب غزارة تكاثرها ، فإن أعضاءها تقارب الأعضاء البشرية في الحجم والفيولوجيا . فقط يلزم التأكد من أنها خالية من أية كائنات مُمرضة قد تصيب الإنسان — وهناك الآن بالفعل سلالات من الخنازير خالية من

مُمرضات معروفة معينة . وربما أمكن في الشهور القادمة - أو السنين القليلة القادمة - التحول إلى الخزائير المهندسة وراثياً لنقل الأعضاء إلى البشر ( ثمة تجارب تجرى الآن أيضاً على الأغنام ) لنحل بذلك مشكلة هائلة نشأت أصلاً بسبب نجاح تكنولوجيا نقل الأعضاء بين البشر .

### كشف جينات الأمراض الوراثية في الحيوان

تخدم البيوتكنولوجيا في مساعدة مربى الحيوان في التخلص من بعض الأمراض الوراثية في حيواناته . هناك في أستراليا مرض وراثي بالماشية اسمه مرض بومب Pompe disease يسبب ضموراً خطيراً في العضلات يودي بحياة العجول بعد الفطام بنحو ستة أشهر ( ويوجد له مثيل في الانسان يقتل الوليد في سنته الأولى ، وإن كان مرضاً وراثياً نادراً : وليد بين كل ١٥٠٠٠٠ ) . وراء هذا المرض جين متح يتسبب في الأفراد الأصلية له في عجز الجسم عن إنتاج إنزيم ألفا جلوكوسيديز alpha glucosidase الذي يحرر الجلوكوز من الجليكوبين ليستخدمه الجسم في إنتاج الطاقة . الحيوان ذو التركيب الوراثي الأصلي لهذا الجين المتح يمتح يموت إذن مبكراً ، لكن الأفراد الخليطة heterozygotes ( التي تحمل الجين المعيب مع الجين الطبيعي ) تحيا ، وتبلغ نسبتها في عشيرة الماشية نحو ١٥٪ ( أى أن تكرار الجين المعيب في العشيرة يبلغ نحو ٨,٢٪ ) . من المهم لمربي الماشية breeder ألا يحدث تزاوج بين فردين خليطين ( يحمل كل منهما الجين المعيب ) لأن ربع النسل الناتج سيقتله المرض ، لكن من المهم جداً ألا يستخدم ذكر خليط في التلقيح الاصطناعي حتى لا ينتشر الجين ويزيد في العشيرة تكراره .

عثر الباحثون على إنزيم تحديد ( MspI ) له داخل الجين الطبيعي موقع تعرف - أما الجين المعيب فيحمل طفرة نقطية واحدة ( تحيل حمض البرولين في البروتين الذي يشفر له الجين الطبيعي ، إلى حمض جلوتامين )

فى موقع التعرف هذا ، فلاميزه الإنزيم ( تماما مثل الطفرة النقطية بالجين المشفر لجلوبين الدم فى الإنسان الذى سبق عرضه ) . لذا تختلف نتائج التشظية بالإنزيم بين الأفراد الأصيلة للجين الطبيعى وبين حاملى جين المرض . أمكن إنتاج المسبر المشع لكشف الجين المرضى ، وغدا من الممكن فى ظرف ساعات - عن طريق دنا مأخوذ من خلايا الدم - كشف وجود الجين من عدمه .

كذا تخدم البيوتكنولوجيا فى تشخيص الأمراض الوراثية بالحيوان - وهى تخدم أيضا فى زيادة دقة وكفاءة تشخيص الأمراض البكتيرية والفيروسية التى تصيب الحيوان ، وفى الوقاية منها والسيطرة عليها ، مثلما تخدم فى تطوير علاجات وفاكسينات للتحصين أكثر فعالية ضد مثل هذه الأمراض ، باستخدام الدنا المطعم والأجسام المضادة النقية - ولقد قدمت أيضا تشخيصيات يمكن بها كشف الشياح والحمل فى الأبقار ، وكشف سموم الأفلاتوكسين فى العلائق .

### التلقيح الاصطناعى ومناولة الأجنة

ربما كان أوسع استعمال معروف للبيوتكنولوجيا فى الإنتاج الحيوانى هو التلقيح الاصطناعى artificial insemination باستعمال السائل المنوى المجمد frozen semen ، فيه قد يصل عدد نسل الذكور الممتازة المنتخبة إلى الآلاف . فانتخاب الذكور التى تحمل تراكيب وراثية ممتازة لإنتاج اللبن أمر صعب يتطلب مجهودا وزمنا ومالاً كثيرا ، يُختبر فيه الذكر بإنتاج نسله الإناث من اللبن ، مع الاستعانة بما قد يتوفر من سجلات لإنتاج أسلافه الإناث وقربياته . يُجمع السائل المنوى من الذكور الواعدة وهى صغيرة مرتين أو ثلاث أسبوعيا ، ليخفف ثم يُجمد بعد تقسيمه إلى جرعات صغيرة

يحمل كل منها من الحيوانات المنوية ما يكفي للإخصاب . يتم التجميد فى النتروجين السائل ( - 196 درجة مئوية ) الذى يمكن أن يحفظ الحيوانات المنوية لعشرات السنين . ولقد يُجمع من الذكر الواحد عشرات الآلاف من الجرعات قبل التخلص منه ، لتُحفظ حتى يتم اختباره بنسله وتُقدَّر قيمته التربوية breeding value لتباع الجرعات بأسعار متباينة ، ويعدم منها ما نتج عن طلائق ثبت أن قيمتها التربوية أدنى من المطلوب .

أصبح السائل المنوى المجمد من طلائق حيوانات اللبن ( واللحم ) الممتازة سلعة عالمية ، يسهل تصديرها ، ذات سوق واسع ، ورفعت من قدر التحسين الوراثى بالانتخاب فى ماشية اللبن فى الكثير من السلالات بشكل مذهل .

لا يمكن بالطبع أن ننتج الآلاف من نسل أنثى ممتازة ، غير أننا قد نتمكن من إنتاج عشرة أو بضع عشرات ، إذ من الممكن أن تعالج أنثى عُرفت بتميزها ( بقرة كانت أو جاموسة أو نعجة أو عنزة ) ، تعالج بهرمونات خاصة لتزيد عدد ما تطلقه من بويضات تُجمع وتُخصَّب اصطناعياً ، وتحفظ فى صورة أجنة مجمدة إلى أن توضع فى أرحام أمهات بديلة . بهذه الطريقة يمكن أن ننتج من البقرة الممتازة الواحدة 20 - 30 جنينا كل عام . ( ولقد يمكن فى المراحل الأولى من انقسام الجنين أن تؤخذ منه بعض الخلايا لاختبار جنسه ، ذكر أم أنثى ، قبل تجميده ) . بهذه الطريقة يمكن أن ننقل أجنة أبقار فريزيان ممتازة ، من أمريكا مثلاً أو أوروبا ، لتحمل بها أبقار بلدية فى مصر وتلد عجلات فريزيان أصيلة دون الحاجة إلى نقل الأبقار نفسها من الخارج . والواقع أنه من الممكن فى المراحل الأولى من انقسام خلايا الجنين أن يَفصَّص ويُعاد تفصيله لنتج من الجنين الواحد عدداً من الأجنة المتطابقة identical وراثياً - ثلاثة أو أربعة أو عشرات . ولما كنا نستطيع أن نلقح بويضات الأم الممتازة بحيوانات منوية من طلائق ثبت امتيازها الوراثى ، ففى مقدور المربي إذن أن ينتج أعداداً كبيرة من التراكيب

الوراثية الممتازة ، ربما لينتقى منها من الذكور ما يختبره بالنسل .

[ ربما أشارت هذه المناقشة إلى بعض ما يمكن للبيوتكنولوجيا أن تفعله بشأن الحفاظ على التنوع الحيوى biological diversity ومنع انقراض الأنواع البرية والسلالات - إذ يمكن أن تجمد البويضات والحيوانات المنوية والأجنة لأى نوع أو سلالة يخشى من انقراضها ] .

### تجنيس sexing الحيوانات المنوية

تجرى الآن محاولات أو شكت أن تنجح لتجنيس الحيوانات المنوية ، أى فرز ما يحمل منها الكروموزوم ص Y ، مما يحمل الكروموزوم س X وذلك للتحكم عند التلقيح فى جنس المولود ( فالحيوان المنوى هو الذى يحدد الجنس ) . فمربى ماشية اللبن لايهمه كثيرا أن تلد أبقاره ذكورا ، فهو يريد الإناث . أما مربى ماشية اللحم فيهمه أن تلد أبقاره ذكورا . وتجنيس الحيوانات المنوية إذا سيخدم برامج التحسين الوراثى فى ماشية اللبن ( أو اللحم ) خدمة هائلة حقاً ، إذ سيضاعف أعداد الحيوانات للاختبار وللانتاج .

تعتمد معظم تجارب تجنيس الحيوانات المنوية على ما هو معروف من أن الكروموزوم س X فى حيوانات المزرعة أكبر بعض الشيء من الكروموزوم ص Y ، وبذا تكون كتلة الدنا فى نواة الحيوان المنوى الحامل س أكبر بعض الشيء ( بنسبة ٣ - ٤ % ) من كتلة الدنا فى نواة الحيوان المنوى الحامل ص . يُكشَف هذا الفرق باستخدام صبغة لاصفة fluorescent تصبغ أنوية الحيوانات المنوية بحيث يمكن فصل نوعيها باستخدام تقنيات فرز الخلايا على أساس الفارق الصغير فى كثافة اللصف . عندما أجرى هذا على الحيوانات المنوية للأرانب كانت نسبة الإناث فى النسل الناتج عن الأمهات الملقحة بالحيوانات المنوية " الثقيلة " هى ٩٤ % ، أما الملقحة بالحيوانات

المنوية " الخفيفة " فكانت نسبة الذكور في نسلها ٨١٪ . لكن التطبيق الواسع لهذه الطريقة على حيوانات المزرعة لا يزال يحتاج إلى بحوث أخرى .

### الحساسية لشرب اللبن

يسبب شرب اللبن متاعب كثيرة لنسبة كبيرة من الناس قد تصل في بعض المجتمعات إلى ١٠٪ ، والسبب أنهم لا يستطيعون ( وراثيا ) هضم سكر اللبن ، اللاكتوز lactose ، بسهولة ، فأمعاؤهم لا تفرز إلا كميات ضئيلة من إنزيم اللاكتيز lactase الذي يحلل اللاكتوز إلى سكر دكستروز ( سكر العنب ) dextrose وسكر جالاكتوز galactose . يبقى سكر اللاكتوز إذن في الأمعاء فيتخمر ، لتمتليء البطن بالغازات مسببة الضيق والنفخ والقيء والإسهال . والواقع أن أمعاء هؤلاء الحساسين intolerants لشرب اللبن تفرز في سن الرضاعة ما يكفي من اللاكتوز ، ولكن هذه القدرة تختفي بعد الطفولة .

هناك فطر اسمه أسبرجِلص أوريزي *Aspergillus oryzae* يمكنه إنتاج إنزيم اللاكتيز هذا بكميات وفيرة . وقد أمكن استخلاص هذا الإنزيم وربطه بالراتينج resin ليعمل " كمرشّح " يمرر فيه اللبن ، فيتحلل اللاكتوز إلى مكوناته ، ليجفف بعد ذلك لبنا خاليا من اللاكتوز . أقيمت مصانع لهذا الغرض في استراليا لتسويق ألبانها في آسيا حيث ترتفع نسبة الحساسين لللاكتوز .

## الأشكال

\*\*\*

\* الشكل ١٢ مأخوذ من كتاب

Alberts et al ( 1994 ) Molecular biology of the cell.

\* الأشكال ١، ٢، ٤، ٥، ٦، ٧، ١١، ١٥ مأخوذة من كتاب

Berg & Singer ( 1992 ) : Dealing with genes .

\* الشكلان ١٣ ، ١٦ مأخوذان من كتاب

Morris ( 1995 ) : Biotechnology .

\* الشكل ١٤ مأخوذ من كتاب

Sinnot, Dunn & Dobzhansky ( 1958 ) : Principles of genetics .

\* الأشكال ٨ ، ٩ ، ١٠ مأخوذة من كتاب

Watson et al ( 1992 ) : Recombinant DNA .

\* الشكل ٣ مأخوذ من كتاب يوكسين E.Yoxen : صناعة الحياة ،

ترجمة أحمد مستجير ( ١٩٨٥ ) .

المراجع  
مراجع باللغة الانجليزية

\*\*\*

B. Alberts , D. Bray , J. Lewis , M. Raff , K . Roberts & J.D.Watson (1994) .

*Molecular biology of the cell* ,  
Garland Pub., Inc., N.Y.

W.T. Anderson ( 1996 )

*Evolution is 'nt what it used to be* ,  
W.H. Freeman & Co., N.Y.

P. Berg & M. Singer ( 1992 )

*Dealing with genes* ,  
University Science Books .

B. R. Baumgardt & M. A. Martin ( Editors ) ( 1991 )

*Agricultural biotechnology* ,  
Purdue Res. Foundation .

R.L. Lanza , D.K.C. Cooper & W.L. Chick (1997)

*Xenotransplation* ,  
Sci. Am. 276 : 40 - 45 .

B. Lewin ( 1994 )

*Genes* ,  
Oxford Univ. Press & Cell Press .

J. Lyon & P. Gerner ( 1996 )

*Altered fates* ,  
Norton , N. Y.

B. Morris ( 1995 )

*Biotechnology* ,  
Cambridge Univ. Press .

G. J. V. Nossal & R. L. Coppel ( 1989 )

*Reshaping life,*  
Cambridge Univ. Press.

E. W. Sinnott , L. C. Dunn & T. Dobzhansky ( 1958 )

*Principles of Genetics,*  
Mc Graw-Hill & Co., N. Y.

Staff report (1996)

Thaumatoin ,  
Food Technol . 51 : 74 - 75

J. D. Watson ( 1970 )

*The double helix*  
Penguin Books.

J. D. Watson , M. Gilman, J. Witkowski & M. Zoller (1992)

*Recombinant DNA,*  
W. H. Freeman & Co., N. Y.

P. Wheale & R. Mc Nally ( Editors ) ( 1995 )

*Animal genetic engineering,*  
Pluto Press, England .

## مراجع باللغة العربية

\*\*\*

أحمد مستجير ( مترجم ) :

- اللؤلؤ المزروع - مكتبة الأجلو المصرية - ١٩٧٣ ( تأليف  
جيمس واطسون )
- صناعة الحياة - مكتبة غريب - ١٩٨٥ ( تأليف أ. يوكسين ).
- طبيعة الحياة - سلسلة عالم المعرفة ، الكويت - ١٩٨٨  
( تأليف ف. كريك ) .
- البذور الكونية - الهيئة العامة للكتاب - ١٩٨٩ ( تأليف ف.  
هويل ، س. ويكراماسينج ) .
- الهندسة الوراثية وأمراض الانسان - دار النشر لجامعة  
القاهرة - ١٩٩٤ ( تأليف ف. فروسارد ) .

ماجد زكى وفوزى الفقى ( ١٩٩٦ )

- تقنيات زراعة الأنسجة النباتية - المكتبة التجارية الحديثة -  
القاهرة .