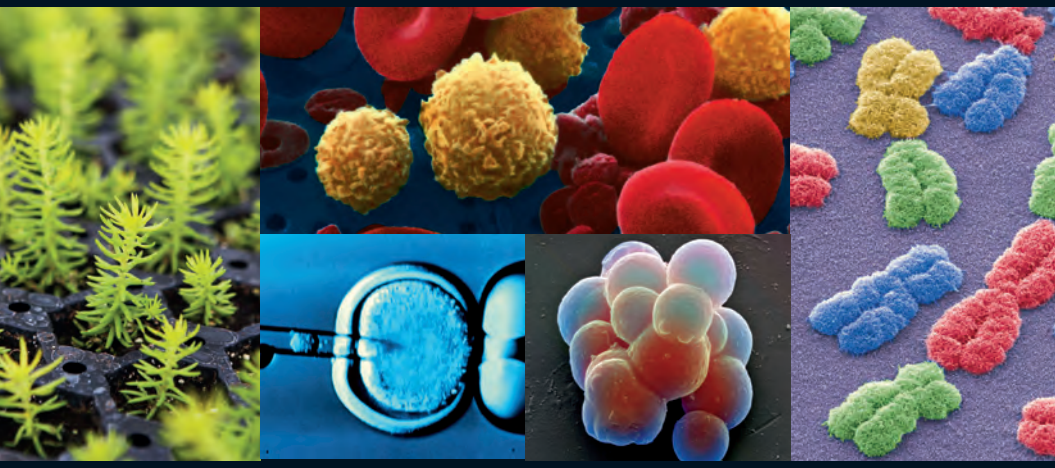
PETITE ENCYCLOPÉDIE
LAROUSSE

أوديل روبير

الاستنساخ والكائنات المعدّلة وراثياً

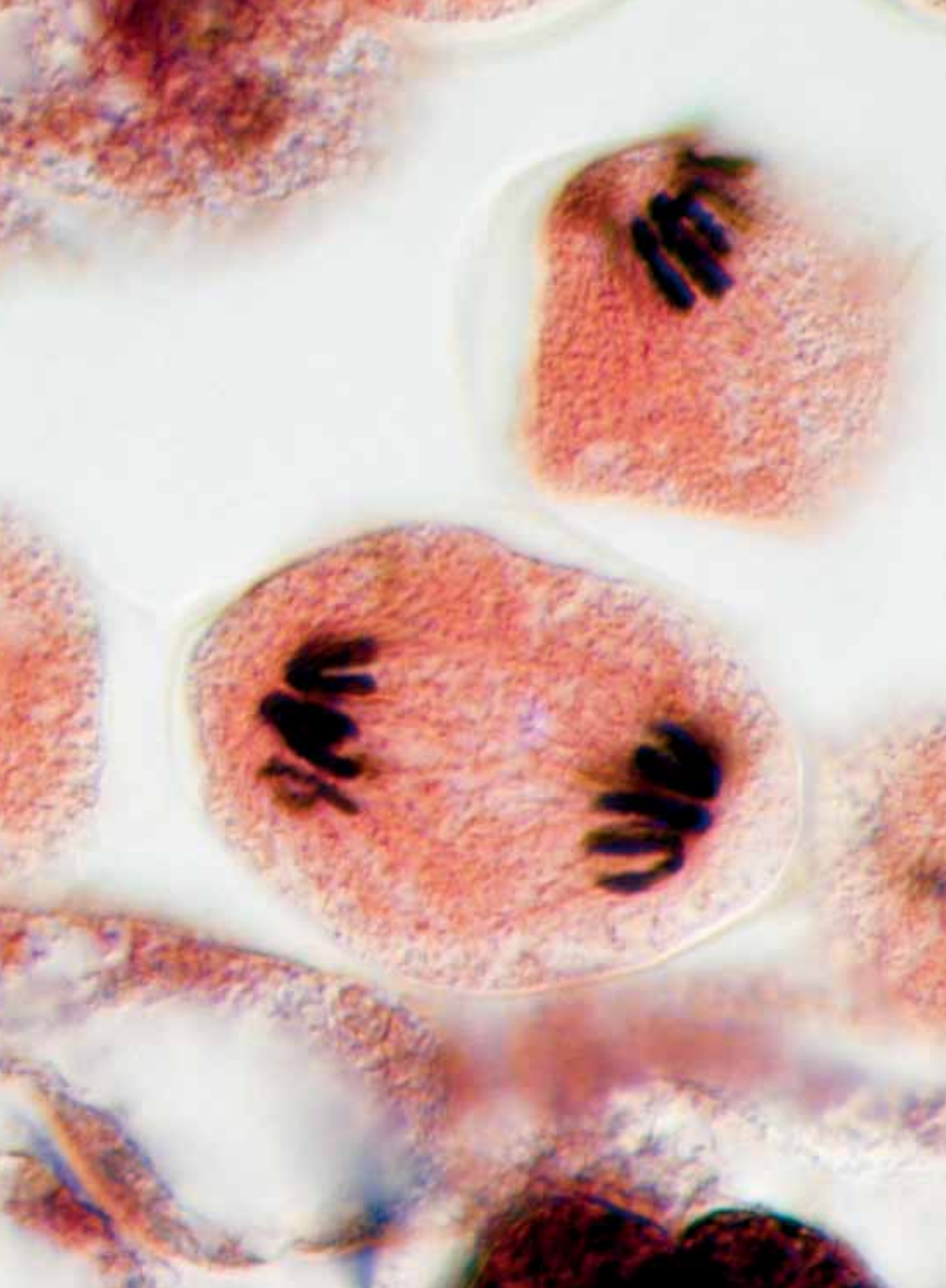
مفاهيم أساسية مبسطة ■ بين الطبيعي والصناعي ■ النباتات في المختبر ■ حيوانات مستنسخة في المزارع ■ التلاعب بالبشر ■ أعضاء مستولدة ■ كيف نحصل على كائن معدّل وراثياً؟ ■ كيف نستولد نسخة طبق الأصل من البشر؟ ■ الخلايا الجذعية



كتاب العربية
152

الثقافة العلمية للجميع (ثقافتك)

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST



مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

الثقافة العلمية للجميع (ثقافتك)

باتك العربية

152

© المجلة العربية، ١٤٣٦هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

روبير، أوديل

الاستنساخ والكائنات المعدّلة وراثياً. / أوديل روبير؛ زينة دهيبي - الرياض، ١٤٣٦هـ

١٢٨ ص ؛ ١٤ × ١٩ سم

ردمك : ٥-٠٣-٨١٦٨-٦٠٣-٩٧٨

١- الاستنساخ ٢- المورثات ٣- هندسة الوراثة أ. دهيبي، زينة(مترجم)

ب. العنوان ج. السلسلة

ديوي ٥٧٥,١٠٧٢٤ ٨٩٠٦ / ١٤٣٥

رقم الإيداع: ٨٩٠٦ / ١٤٣٥

ردمك: ٥-٠٣-٨١٦٨-٦٠٣-٩٧٨

الطبعة الأولى 1436هـ 2015م

جميع حقوق الطبع محفوظة، غير مسموح بطبع أي جزء من أجزاء هذا الكتاب، أو اختزانه في أي نظام لاختزان المعلومات واسترجاعها، أو نقله على أي هيئة أو بأي وسيلة، سواء كانت إلكترونية أو شرائط ممغنطة أو ميكانيكية، أو استنساخاً، أو تسجيلاً، أو غيرها إلا في حالات الاقتباس المحدودة بغرض الدراسة مع وجوب ذكر المصدر.

رئيس التحرير: **د. عبد الله نعمان الحاج**

لمراسلة المجلة على الإنترنت:

info@arabicmagazine.com www.arabicmagazine.com

الرياض: طريق صلاح الدين الأيوبي (الستين) شارع المنفلوطي

تليفون: 4778990 1-966فاكس: 4766464 -1-966. ص.ب: 5973 الرياض 11432

هذا الكتاب من إصدار: **Larousse**

Clonage et OMG

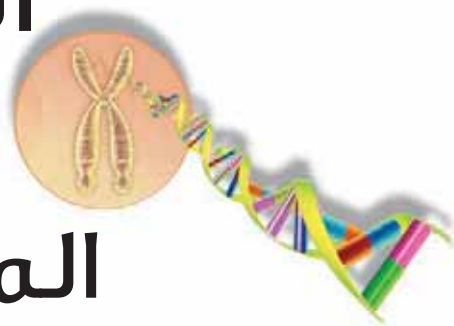
Copyrights ©2010 All rights reserved.

تأليف: Odile Robert

رسم الخرائط: Frédéric Mazuy

أوديل روبير

الاستنساخ والكائنات المعدّلة وراثياً



ترجمة: زينة دهيبي

المحتويات

المقدمة 7

أساسيات لفهم المسألة 9

بين الطبيعة والحيلة 10
الخلية أصل الكائنات الحية 14
الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين، شريط الحياة 18
إنتاج الكائنات المتشابهة الجينات 22
التكاثر الجنسي، مصدر تنوع 24
خلية ووظيفة 28
أعضاء تتجدد 32
التلاعب بالجينوم 34

النباتات في المختبر 39

الاستنساخ النباتي، تكاثر طبيعي 40
آلاف الأجسام المتشابهة جينيا 42
جينوم النباتات 46
كيف ننتج كائنات معدلة وراثياً؟ 48
الأجسام المعدلة وراثياً: حالة الأماكن 50
ما الفائدة من المواد المعدلة وراثياً؟ 52
مخاطر المواد المعدلة وراثيا 54

حيوانات مستنسخة 61

لمحة عن الاستنساخ 62

كيف يُستنسخ الكائن الحي؟ 64
النعجة الأشهر حول العالم 68
عمر النعجة دوللي ووفاتها 70
عائلة الكائنات المستنسخة الصغيرة 72
نجاح محدود جداً 76
الكائنات المستنسخة: 78
نسخ غير متطابقة 78
تطبيقات الاستنساخ 80
مشتقات الاستنساخ الإنتاجي 84
المستنسخات المعدلة وراثياً 86

التلاعب بالبشر 93
الاستنساخ التكاثري والإستنساخ العلاجي 94
هل من الممكن استنساخ كائن بشري؟ 96
الاستنساخ البشري: هل هو فكرة مقبولة؟ 98
الخلايا الجذعية أو البحث عن الكأس المقدس 100
نحو طب التجديد 104
تشريعات متنوعة 108
الاستنساخ في الخيال العلمي 112

وجهات نظر ونقاشات
مراجعة قوانين أخلاقيات علوم الأحياء في فرنسا 116
الأجسام المعدلة وراثياً، ملف حساس 118
معجم المصطلحات 121
فهرس 126

مقدمة

غيّرت ولادة النعجة دوللي في العام 1996 العالم بأكلمه: عرفت البشرية فجأة أنها تمتلك القدرة على تغيير الحياة. ظهر الحديث عن الاستنساخ والكائنات المعدلة وراثياً والتحولات الوراثية في الواقع اليومي. إلا أن الاستنساخ بحدّ ذاته ليس بالأمر الجديد، فقد شكّل نمط ولادة الكائنات الحية قبل ظهور الجنسانية، وكان توليد النباتات أمراً ممكناً بفضل عملية الاستنساخ. يتجلى الاستنساخ الاصطناعي، الذي يتدخل فيه الإنسان، في إعادة إنتاج عنصر حيّ (جين، خلية أو جسم) مشابه. تمكن الإنسان في البداية من استنساخ البرمائيات ثم الثدييات من دون الإعلان عن هذه الأعمال الرائدة. فكيف يمكن فهم المشاعر الكبيرة والمخاوف وأحياناً الأوهام، التي أعقبت ولادة النعجة دوللي؟ وما الجديد الذي أتت به فكرة هذه النعجة ؟

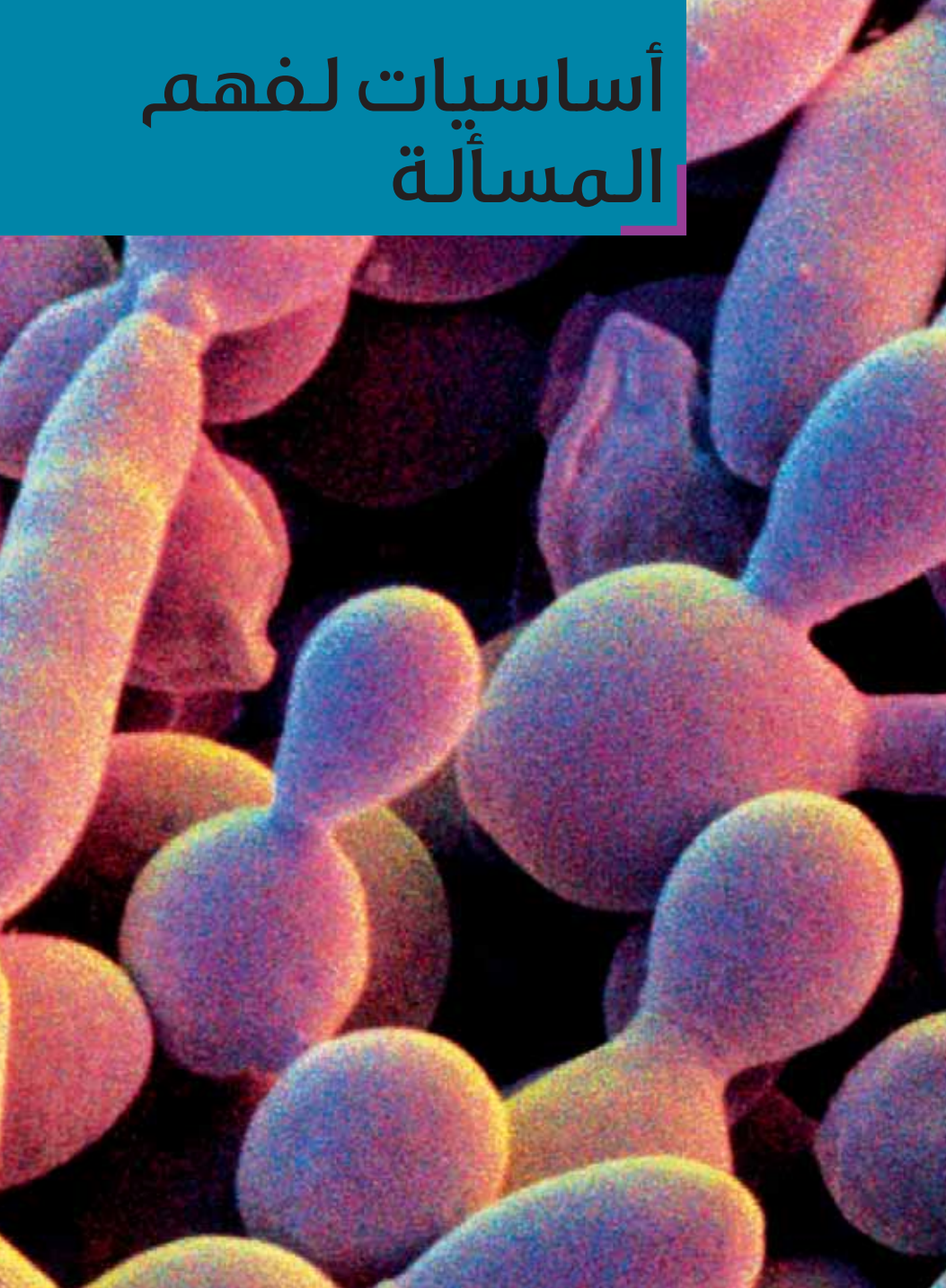
دوللي حيوان وُلِد من دون عملية جنسية. توصل العلم للمرة الأولى إلى خلق كائن متطور (حيوان ثديي)، متخطياً مسألة الجنسانية والتقاء الشريكين الوراثيين المختلفين، الذين يشكلان أساساً أصل تنوع الكائنات. أدى مبدأ تطبيق هذه التقنية المحتمل على الإنسان إلى مخاوف جمّة، وغذّى الأوهام ذات الصلة بالخلود. جاء الوعي فجائياً وعالمياً في آن معاً. تخطت دوللي الهيئات الأخلاقية، ودفعت العلماء والناس جميعاً للتفكير في النتائج المترتبة على الاستنساخ والقضايا المرتبطة به. وللتوصل إلى رأي بشأن هذه المسائل المعقدة جداً، من الضروري أن نتطلع على طبيعة التطور العلمي الذي أدى إلى ولادة النعجة دوللي، والكائنات المعدلة وراثياً، وكذلك إلى ظهور تقنيات جديدة لمعالجة الأمراض الشائعة. من المهم أن يتمكن كلّ مواطن من فهم الآمال المترتبة على الاستنساخ والكائنات المعدلة وراثياً، وكذلك المخاطر الناجمة عنها.

تجربة الاستنساخ النباتي في المعهد الوطني للبحوث الزراعية: نبتة تنمو في أنبوب تجارب.

الاستنساخ هو توليد كائن حيّ مشابه لكائن حيّ آخر. والاستنساخ ظاهرة موجودة أساساً في الطبيعة. فعن طريق هذه العملية تتكاثر الكائنات الأحادية الخلية. وقد يحصل أن يولد لدى الحيوانات الأكثر تطوراً كائنان متشابهان وراثياً (التوأم المتماثل). اليوم، تتيح الاكتشافات العلمية للكائنات الحية أن تحلّ محل الطبيعة، وأن تتدخل في عملية الخلق، من خلال خلق سلسلة من الأحياء الحيوانية والنباتية المتطابقة جينياً، أي كائنات جديدة وراثياً. لفهم المسألة لا بدّ من معرفة العناصر الأساسية التي تشكل الحياة والآليات المختلفة التي تديرها.

صورة مأخوذة عن طريق المجهر الإلكتروني لمعسكر من فطريات الخميرة (خميرة البيرة أو الخبز). تتكاثر هذه الخلايا بسرعة كبيرة عن طريق الانقسام البسيط.

أساسيات لفهم المسألة



بين الطبيعة والحيلة

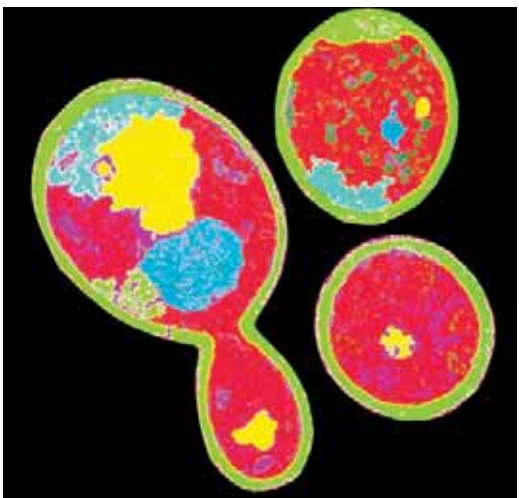
لم يكن «والدا» النعجة الشهيرة دوللي من اخترع الاستنساخ، فما قام به هؤلاء الباحثون، إنما تجلى في إعادة تشكيل ظاهرة طبيعية قديمة جدا: التوالد المتشابه.

ظاهرة قديمة قدم الزمان

يمكن مقارنة الاستنساخ بآلة تصوير، تقدّم نسخاً مشابهة تماماً للكائنات الحية الأصلية. في الواقع، منذ نشوء الحياة على الأرض، أي منذ حوالي 3.5 مليار عام، تتكاثر الكائنات الحية المؤلفة من خلية واحدة عن طريق انقسام هذه الخلية، لتكون النتيجة كائناً جديداً مشابهاً للأصل، أي يتألف من مجموعة مشابهة تماماً من الجينات. يقتصر التكاثر اللاجنسي هذا على الكائنات الأحادية الخلية التي لا تزال منتشرة حتى يومنا هذا. تشهد عملية التكاثر اللاجنسي تطوراً منذ مليار عام. أما الكائنات المتعددة الخلايا سواء الحيوانية منها أو النباتية، فإنها تتكاثر في أغلب الأحيان عن طريق عملية جنسية. يعطي شريكان جنسيان مختلفان جينياً الحياة لكائنات حية أصلية. تنجم مجموعة الجينات لدى الأطفال عن تبادل مجموعات الوالدين الجينية. خلافاً للكائنات المتشابهة جينياً، يختلف هؤلاء الأطفال عن الوالدين ويتميزان بتفردهما.

إلا أن بعض الكائنات التي تتكاثر عن طريق التزاوج، تستطيع التكاثر عن طريق الاستنساخ. هذه هي حالة العديد من النباتات، التي يمكنها أن تولد نبتةً كاملة عن طريق جزيء بسيط (فرع، برعم...). يؤدي نمط التكاثر اللاجنسي هذا الذي يُعرف باسم الترقيد، إلى إنتاج نبتة جديدة مشابهة جينياً للنبتة التي انبثقت عنها. من هنا لا بدّ أن نبحث عن أصل كلمة clone من اليونانية klôn التي تعني نبتة صغيرة أو برعم.

إلى ذلك، تشكل التوائم البشرية الناتجة عن البويضة عينها، التي تُعرف باسم التوائم الصحيحة، مثالاً آخر عن الاستنساخ الطبيعي:



صورة مقطعية لثلاث من فطريات الخميرة. تتكاثر هذه الخلية ذات النواة (باللون الأزرق) بشكلٍ لا جنسي، لتعطي خلية أنثى عن طريق التبرعم البسيط.

تنتج التوائم عن الاستنساخ الطبيعي، فهي تنبث من المضغة عينها التي تنقسم إلى قسمين متساويين ومتشابهين. وتكون المجموعة الجينية لدى الطفلين متشابهة تماماً.

إذ تنجم هذه التوائم عن انقسام عرضي لجنين صغير إلى قسمين متباينين ومتشابهين.

صناعة الكائنات المتشابهة جينياً

يستخدم الاستنساخ، الذي تدور مجرياته في المختبرات، تقنيات مختلفة بهدف توليد كائن حيّ مشابه للأصل. بهذا، يبدو استنساخ أجسام كاملة على غرار البكتيريا أمراً سهلاً نسبياً، لأنها كائنات أحادية الخلية، تتكاثر لوحدها عن طريق الانقسام البسيط كما سبق وأردفنا. كذلك، من السهل جداً توليد بعض الخلايا النباتية عن طريق الزراعة، ومنها الخلايا الجنينية، وعدد كبير من الخلايا الحيوانية، التي تتكاثر إلى خلايا متشابهة عن طريق الانقسام المتتالي.

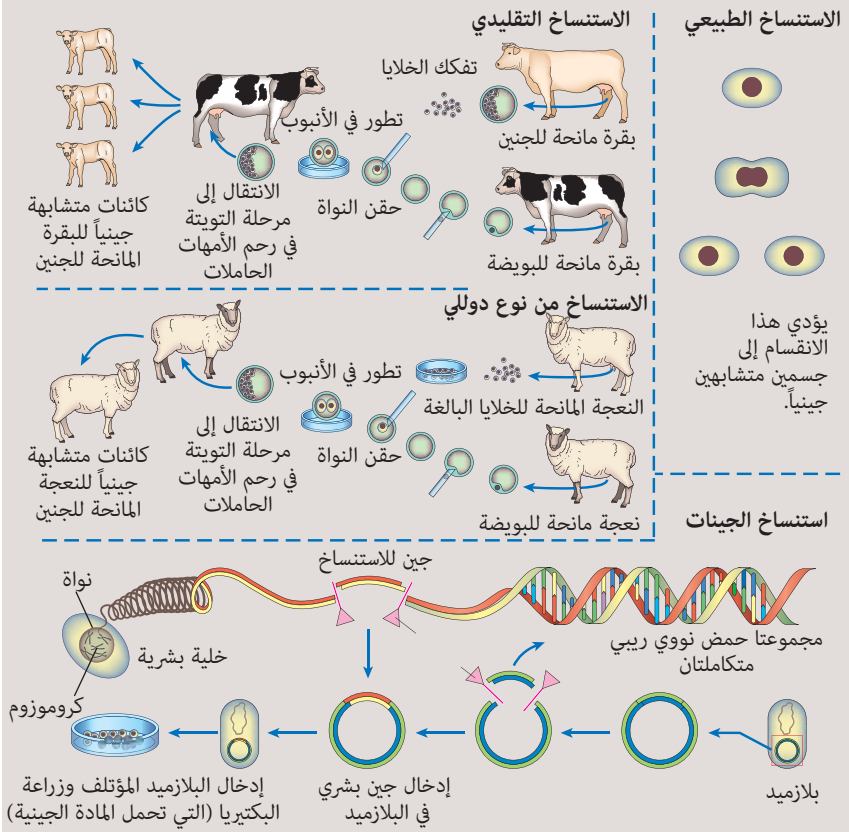
بالإضافة إلى تقنيات زراعة الخلايا، التي بات استعمالها اليوم رائجاً في مختبرات العالم أجمع بهدف إتمام التجارب، ظهر الاستنساخ الذي يُعرف باسم التوليد. يرمي التوليد إلى إنتاج نسخ متشابهة من الأجسام الكاملة وليس من الخلايا فقط. في حالة النباتات، يتجلى الأمر نوعاً ما في إعادة إنتاج عملية تقدمها الطبيعة، الترقيد، داخل المختبر. في المقابل، يُعتبر استنساخ الحيوانات الذي يتم تطبيقه اليوم أمراً مخالفاً للطبيعة.

معجم

الخلية: عنصر تكويني أساسي من عناصر أجسام الكائنات الحية يخزن المعلومات الجينية.

المجموعة الجينية: دعامة مادية للعناصر الوراثية

أنماط مختلفة للاستنساخ



أربعة أنماط مختلفة للاستنساخ: طبيعي (انقسام الخلية عينها)؛ في المختبر (استنساخ تقليدي عن طريق نقل نواة خلية جنينية؛ استنساخ من نوع "دوللي" عن طريق نقل نواة من خلية بالغة متمايزة؛ واستنساخ الجينات.

الاستنساخ الحيواني، اختراع تقني

تتجلى الوسيلة التي يستخدمها العلماء اليوم للاستنساخ في تقصير دورة التلقيح، وهي إحدى مراحل الإنتاج اللاجنسي المتمثلة في اندماج نوى، خلية جنسية أنثوية (البويضة)

معجم

المضغة: مرحلة مبكرة (بضع خلايا) من مراحل نمو الجسم الحيّ عبر الخلية الملحة (الخلية البويضة).

منزوعة النواة: خلية تمّ استئصال نواتها.

وخلية جنسية ذكورية (المني)، في ما يُعرف باسم تقنية نقل النواة. نأخذ من المضغة المتشكلة أصلاً نواة إحدى الخلايا، ثم ندخل هذه النواة إلى بويضة سبق وأفرغنا نواتها الأصلية (خلية منزوعة النواة). بعد ذلك، نكرر العملية، من خلال حقن نواة خلية أخرى ناتجة عن المضغة عينها، في خلية أخرى منزوعة النواة... وهلم جرا. ما أن يبدأ التطور الجنيني لكلّ بويضة، يتمّ زراعة الأجنة داخل رحم الأمهات الحاملات. لما كانت خلايا المضغة عند الانطلاق متشابهة جينياً، نحصل أثناء الحمل على عدة حيوانات تحمل المجموعة الجينية نفسها، إنها الكائنات المتشابهة جينياً أو التوائم الصحيحة. استناداً إلى هذه التقنية، أصبح بالإمكان نظرياً (احتمال الوفاة مرتفع) الحصول على كائنات متشابهة جينياً بدل الأجنة المعاد تشكيلها. تعود أولى تجارب الاستنساخ على الحيوان إلى نهاية القرن التاسع عشر، لتكون الحيوانات البرمائية أولى الحيوانات المستنسخة في الخمسينيات، ولتتبعها الثدييات بعد ذلك في الثمانينيات. في الواقع، ذكرتنا مراحل بدايات الاستنساخ الأساسية بتقنية نقل النواة. وقد بقيت مخفية عن العامة إلى حين اكتسحت النعجة دوللي، التي ولدت عن طريق نقل النواة، صفحات الإعلانات. ما سبب هذه السرية؟

النعجة دوللي: شهرة منقطعة النظير

لم يتجسد الجديد الذي أتت به النعجة دوللي في التقنية، إنما في الخلية التي منها وُلدت. لأول مرة في تاريخ الاستنساخ، لم نستعمل نواة خلية جنين، إنما خلية بالغة، التي خَلافاً لكل التوقعات، بدت قادرة على خلق جسم كامل حي. بهذا، بات بالإمكان خلق فرد، ليس عن طريق خلايا جنينية ذات المجموعة الجينية الجديدة، إنما عن طريق خلايا بالغة تمتلك أصلاً مجموعة جينية. إذاً، كانت النعجة دوللي أول حيوان ثديي مستنسخ عن حيوان معروف: فجاءت مشابهة جينياً للنعجة الأصلية البالغة من العمر ستة أعوام، التي استُعملت نواتها لإتمام هذه التجربة.

التلاعب الجيني

بالإضافة إلى الاستنساخ، إنكبّ العلماء على عدد من التقنيات التي تتحدى قوانين الطبيعة، ومنها على سبيل المثال التلاعب الجيني، الذي يُعرف أيضاً باسم الهندسة الوراثية. ترمي هذه التقنيات إلى تغيير المجموعة الجينية للكائن الحي.

يستطيع العلماء اليوم عزل جزيئات من هذه المجموعة (أو الجينوم). ما إن يتم تحديد هذه الجزيئات، أي الجينات، يصبح بالإمكان نقل جينوم من كائن حي آخر. يمكن أيضاً تغيير المجموعة الجينية الخاصة بالبكتيريا والنباتات والحيوانات، من أجل منح هذه الأجسام خصائص جديدة: كمنح بعض النباتات المعدلة وراثياً الشهيرة، القدرة على مقاومة مبيدات الأعشاب أو بعض أنواع البكتيريا، لإنتاج مادة علاجية (الإنسولين البشري).

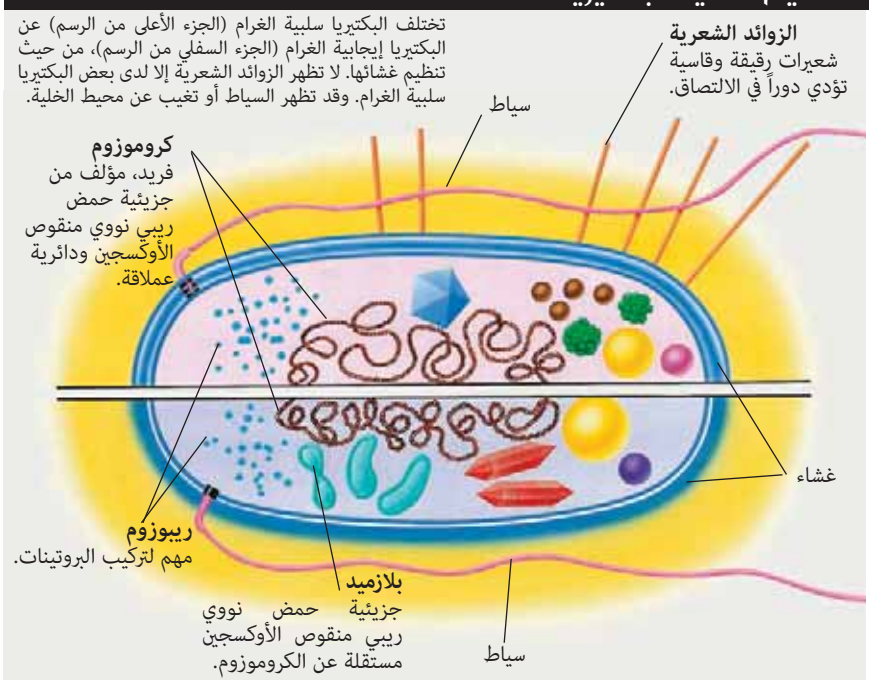
الخلية أصل الكائنات الحية

تُعتبر الخلية أساس الكائنات جميعها بدءاً من البكتيريا وصولاً إلى الإنسان. إلا أنها تنحدر في شكلٍ متنوع جداً، ما يفسر تنوع الكائنات الحية.

مع أو من دون خلية

الخلية هي العنصر الأساسي المشترك لدى مختلف أنواع الكائنات الحية، بدءاً من أبسط الكائنات كالبكيتريا، وصولاً إلى أكثرها تعقيداً كالحيوان والنباتات. والخلية هي عبارة عن مساحة مغلقة (يفصلها مكان)، يغلفها غشاء يُعرف بالغشاء البلازمي. تحتوي الخلية على المادة الجينية التي قد تكون حرة، أو داخل مقصورة تُعرف بالنواة.

تنظيم الخلية البكتيرية



البكتيريا هي كائنات من دون خلية يتراوح طولها بين 1000/1 و10000/1 ملم. لكل بكتيريا غشاء وكروموزوم دائري فريد، يصل طوله إلى ملم، ويسبح في القسم الداخلي من الخلية السيتوبلازم.

تحتوي البكتيريا، بالإضافة إلى الكروموزوم الوحيد الدائري، عناصر صغيرة تُعرف باسم بلازميد، تتكرر بشكل مستقل. تتمتع هذه البلازميد بالقدرة على الانتقال من خلية إلى أخرى، وهي خاصية استفاد منها الباحثون واستعملوها.

أدى هذا الاختلاف إلى تصنيف خلايا الأجسام إلى نوعين: الخلايا المنزوعة النواة كالبكتيريا؛ والخلايا التي تحتوي نواةً خاصة بالأجسام المتطورة.

مم تتألف البكتيريا؟

معجم

النواة: عنصر من عناصر الخلية الذي يحتوي على المادة الجينية (الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين).

تتألف الأجسام التي تُعرف باسم بدائيات النوى من خلية واحدة: نتحدث هنا عن البكتيريا والبكتيريا القديمة (التي يمتلك البعض منها قدرة على العيش في ظروف قاسية: مياه حارة أو باردة جداً، بيئة حمضية أو مالحة جداً). تحتوي هذه الخلية الوحيدة، غير المحدودة بغشاء بلازمي، على المعلومات الجينية المتواجدة على كروموزم وحيد دائري. تتكاثر هذه الأجسام عن طريق انقسام خليتها الوحيدة لتعطي كائنات متشابهة جينياً.

قد تتبادل البكتيريا أيضاً المادة الجينية، وفقاً لآلية ليست إلا نوعاً من الجنسانية البدائية. يحتوي البعض منها بالإضافة إلى الكروموزوم الوحيد، عناصر صغيرة

الانقسام والتكاثر

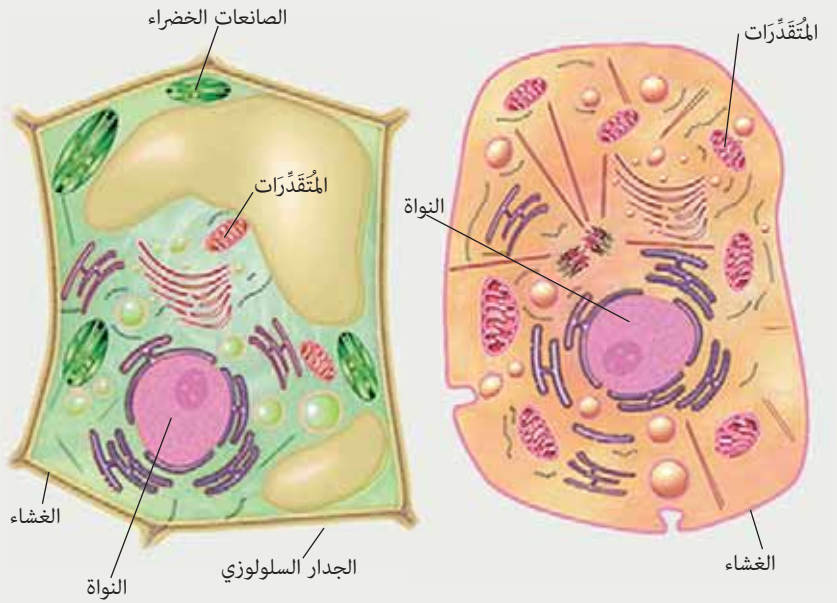
تتكاثر الخلايا عن طريق الانقسام إلى خليتين من خلية «أم». يترافق الانقسام الخلوي مع تكرار المادة الجينية التي تتوزع إلى خليتين أنثيين بشكل متساو. يُعتبر التكاثر الخلوي ضروريا لحياةَ الكائنات الحية. بالنسبة للكائنات الأحادية الخلية كالبكتيريا، يُعتبر الانقسام الخلوي آلية التوالد. أما بالنسبة للكائنات المتعددة الخلايا، فإن التوالد يتم بفضل عملية تطورها إلى أجسام كاملة من الخلية الملقحة. لدى البالغ، يُعد الانقسام الخلوي أمراً ضرورياً لاستبدال الخلايا التي تموت. بهذا، في كل ثانية، ينتج الجسم ملايين الخلايا الجديدة.

تُعرف باسم البلازميد، وهي عناصر غير ضرورية عموماً لحياة البكتيريا، إلا أنها قادرة على مقاومة بعض العناصر المعتدية.
حين تتقارب خليتان، تقوم الخلية التي تحتوي على بلازميد بنسخه، ثم تصدر النسخة الزائدة إلى الخلية الأخرى، لتشكل جسراً بين البكتيريا والأخرى، ما يسهل عبور نسخة البلازميد.

... وماذا عن الأجسام المتطورة؟

على مرّ أكثر من مليار عام، اقتصرت الحياة على الأجسام الأحادية الخلية أي بدائيات النوى. بعد ذلك، شكل بعض هذه الأجسام، أولى الأجسام الحقيقية النواة (أجسام تضم خلايا تحتوي نواةً وعناصر متخصصة أخرى، العضيات)، أحادية الخلية ثم متعددة الخلايا.

الخلايا الحيوانية والنباتية



الخلية النباتية **خلية حيوانية**

تحتوي الخلايا النباتية والحيوانية عضيات متعددة، ونواة تضم الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسيجين. تتميز الخلية النباتية بوجود جدار قاسٍ، تجويف في الخلية والصانعات الخضراء (حيث تحصل عملية التركيب الضوئي)

إن ظهور التوالد الجنسي، والتخصص المتنامي للخلايا في وظيفة ما، تشكل أصل التنوع والتعقيد الكبير الكامن في أشكال الحياة. تضمّ الكائنات البدائية النوى الكائنات الأحادية الخلية (كالخمائر)، والأجسام المتعددة الخلية كافة (النباتات والحيوانات).

تشكل الخلايا لدى الأجسام المتعددة الخلية مجموعة متنوعة كبيرة من حيث الشكل والبنية، إلا أنها مغلفة جميعها بغشاء يضبط تبادل المواد والطاقة، وتتميز جميعها بتنظيم داخلي مشابه: يُقسم داخل الخلية إلى مجموعة متنوعة من الحجيرات المغلقة والمتميزة (التي تُسمى عضيات). من ضمن العضيات المشتركة بين الخلايا الحيوانية والنباتية، يمكننا أن نأتي على ذكر النواة التي تحتوي على حمض نووي ريبي منقوص الأوكسجين، دعامة الوراثة، والمتَقَدِّرَات، شكل من أشكال المراكز التي تنتج الطاقة الضرورية لأنشطة الخلية. يكمن تفرد الخلَية النباتية في قدرتها على إتمام التركيب الضوئي، داخل عضيات خاصة تُعرف باسم الصانعات الخضراء.

يغلف جدار من السيلولوز الخلية النباتية، وهو مادة تؤمن لها بعض القساوة. من جهتها تمتلك الخلية الحيوانية هيكلاً خلوياً، أي هيكلاً داخلياً يتيح لها تغيير شكلها والتحرك. تنبثق الأجسام المتعددة الخلايا جميعها (نبات، حيوان وإنسان) من خلية أولية وحيدة، تنتج عن اتحاد خلية جنسية ذكر مع خلية جنسية أنثى. يكمن تعقيدها في شبكة من العلاقات البينية، التي تتيح لكل جسم أن يتأقلم بشكلٍ دائم مع مُحيطه.

خلايا متشابهة ومتمايزة في آنٍ معاً

تحتوي خلايا الجسم لدى جميع الكائنات الحية المؤلفة من أكثر من خلية (ونعني هنا الأجسام المتعددة الخلايا، الحيوانات أو النباتات)، المجموعة الجينية عينها. إلا أن هذه الخلايا تتميز بتخصصها داخل الجسم البالغ. في مرحلة مبكرة من حياة الجسم، تشهد هذه الخلايا نوعاً من التفاضل، أي سلسلة من العمليات البيوكيميائية التي تمنح لكلّ منها مزايا خاصة، تتيح لها أن تقوم بوظيفة ما. لذلك، تختلف خلية القلب عن خلية الدماغ، وتختلف خلية الساق عن خلية الورقة. يشكل هذا التخصص لدى الخلايا أصل تنوع الأغشية والأعضاء، التي تؤلف الأجسام المتعددة الخلايا. تتنوع الخلايا الحيوانية تنوعاً كبيراً، وتصل لدى الإنسان إلى أكثر من 200 نوع تنجز كلٌ منها وظيفة مختلفة.

الخلية والوراثة

يتميز كلّ كائن حيّ بمجموعته الجينية المتواجدة داخل الخلايا. خلافاً للبكتيريا التي لا تملك إلا خلية واحدة، تتألف الحيوانات والنباتات والإنسان من مجموعة متنوعة من الخلايا قد يصل عددها إلى أكثر من بضعة مليارات. تضم خلايا الجسم كافة المجموعة الجينية عينها. في الواقع، تنبثق مليارات الخلايا هذه، التي تؤلف النبتة أو الحيوان، عن انقسامات متتالية للخلية الأولى (الخلية البويضة) الناتجة عن بويضة يلقحها حيوان منوي.

معجم

كروموزوم: عنصر من الخلية يتألف من جزيئية طويلة من الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسيجين (المرتبط بالبروتينات).

الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين: جزيئية مؤلفة من مجموعتين لولبيتين متضاعفتين تحتويان على المعلومات الجينية والتي تشكل الكروموزومات.

الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين، شريط الحياة

يخزن الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين المعلومات الجينية الخاصة بكل كائن حيّ. وهذا الحمض هو عبارة عن جزيئية كبيرة تأخذ شكلاً لولبياً اكتشف العلماء بنيتها في العام 1953.

معجم

جينوم: مجموعة المواد الجينية (الجينات) الخاصة بالخلية أو بالجسم والتي يحملها الكروموزوم.
الجين: قسم من الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين، يتميز بطوله نوعاً ما ويُرمز إليه ببروتين معين.

الحياة ترتبط بشريط

تحتوي خلايا الكائنات الحية جميعها حمضاً نووياً ريبياً، جزيئية عالمية وفريدة إليها يُعزى الاختلاف بين الكائن الحي والكائن غير الحي. تتألف هذه الجزيئية الطويلة جداً نظرياً من سلسلتين تلتف الواحدة على الأخرى لتشكل لولباً.

تتألف كلّ متوالية من خلايا كيميائية صغيرة تجتمع الواحدة مع الأخرى: النيوكليوتيدات. يحتوي كلّ نيوكليوتيد على ثلاثة عناصر أساسية: سكر (ديُوكسي ريبوز)، فوسفات وقاعدة آزوتية وهي أربعة أنواع: أدينين، تيمينَ، سيتوزين وغوانين. ترتبط متواليتا الحمض

من الخلية إلى الجينة

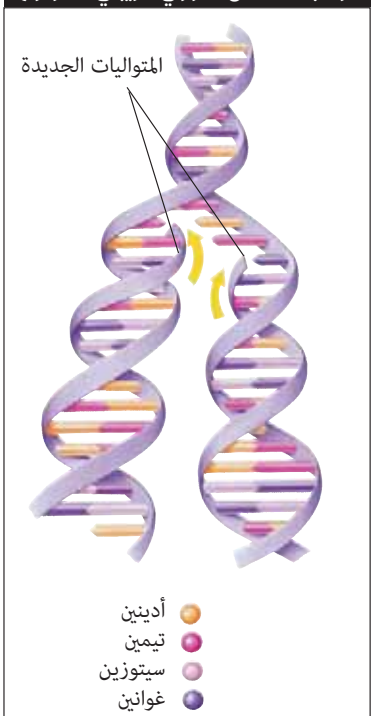
يُعتبر خيط الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين قاعدة الوراثة، وهو مدمج دمجاً قوياً بالكروموزومات: جزيئية الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين التي يصل طولها إلى 1.5 متر طولاً، وتتواجد في نواة كلّ خلية من خلايا الجسم.

???????

في الخلية، تتكدس جزيئيات الحمض النووي الطويلة داخل البروتينات التي تعمل على حمايتها. خلال الانقسام الخلوي، تتكثف المجموعة بقوة على شكل قضبان صغيرة أي الكروموزومات. في حالة البكتيريا، يحمل كروموزوما واحداً المعلومات الوراثية. أما لدى الأجسام التي تتألف من خلية ذات نواة، فتتوزع المعلومات على عدة كروموزومات. يتألف الجينوم البشري على سبيل المثال من 46 كروموزوما أي 23 زوجا. تتماثل كروموزومات الكائنات البشرية والحيوانية والنباتية بفعل التزاوج الجنسي: يضم كل زوج كروموزما من الأب وآخرا من الأم.

النووي الريبي المنقوص الأوكسجين الواحدة بالأخرى، بفضل القواعد التي يتزاوج كلّ اثنان منها وفقاً للقاعدة التالية: ترتبط قاعدة الأدينين دائماً بقاعدة ..... التيمين، وترتبط قاعدة الغوانين بقاعدة السيتوزين. غالباً ما نصف سلسلتي جزيئية الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسيجين بأنها مكملة. يؤمن تزاوج القواعد التي تشكل قضباناً، تلاحم سلسلتي الحمض النووي، إذ تؤلف ركائز السلم. تشكل القواعد جزءاً متغيراً داخل الحمض النووي: إنها تسلسله العشوائي على طول متوالية الحمض النووي التي تحدد هوية الفرد الجينية.

لولب الحمض النووي الريبي المزدوج



حين يتوالد الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين

تتناسخ الخلايا عن طريق الانقسام المتتالي. في كلّ مرة تنقسم فيها الخلية إلى قسمين، يتعين عليها أن تنقل المادة الجينية (أي الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين) إلى كلّ خلية جديدة.

تتم عملية النقل هذه بفضل خاصية التكرار التي يتميز بها الحمض النووي، أي خاصية صنع جزيئيتين أنثيين تشبه الجزيئية الأم تماماً. يتم هذا التكرار بفعل التفاف اللولب المزدوج الأصلي، ثم انعزال كل واحدة من السلسلتين، التي تتحول لاحقاً إلى دعامة لصنع متواليات جديدة مكملة. تتزاوج قواعد النوكليوتيد بعد ذلك وفقاً لمبدأ سبق وأشرنا إليه: الأدينين مع التيمين، والغوانين مع السيتوزين.

الجينات، كلمات لها معنى

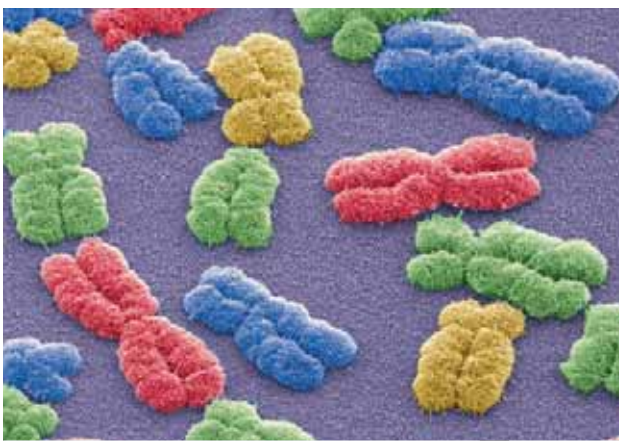
يمكن مقارنة الرسالة التي يحملها لولب الحمض النووي المزدوج إلى نص مكتوب بأربعة أحرف فقط (أ للأدينين، ت للتيمين، غ للغوانين وس للسيتوزين). أما التسلسل الذي تتبعه هذه الأحرف على طول متوالية الحمض النووي، فيكون خاصاً

بكل فئة وبكل فرد.
وهو يمثل المعلومات الجينية. تشكل بعض مقاطع الرسالة الطويلة التي يحملها الحمض النووي الريبي كلمات لها معنى: إنها الجينات المرمزة، لأنها تحمل رمزا ضروريا لصناعة بروتين أو أكثر (جزيئيات تضمن عمل الخلايا). يقدّر العلماء أن هذه الجينات المرمزة، لا تمثل لدى الكائنات البشرية والثدييات الأخرى، إلا 5 % من مجموع الحمض النووي الريبي، الموجود في نواة الخلية (في حين أنها تمثل 85 % من الحمض النووي الموجود لدى البكتيريا). لذلك لا بدّ من أن نتخيل أن الثلاثين ألف جينة المرمزة الموجودة في نواة كل خلية بشرية، مشتتة في محيط ضخم من التسلسلات (95 % من العناصر المتبقية في الحمض النووي) والتي لا تزال وظيفتها غير واضحة. وقد نجح العلماء في تحديد ما يُسمى بالجينات القافزة: أجزاء متحركة من الحمض النووي تتنقل داخل المادة الجينية (الجينوم)، وهي مسؤولة عن تنوع التحولات الجينية.

بعد 50 عاماً

انطلقت الأبحاث حول الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسيجين في العام 1928، ليكتشف العالمان جايمس واطسن وفرنسيس كريك في العام 1953 تركيبته، استنادا إلى أعمال عدد من الزملاء، ومنهم موريس ويلكينز وروزاليند فرانكلّين. افتتح هذا الاكتشاف عصر علم الأحياء الجزيئي. في العام 1996، حل العلماء معضلة الرمز الجيني الذي يحدد التوافق بين الجينات والبروتينات، أي أبجدية الجينات المؤلفة من أربعة أحرف (قواعد)، وأبجدية البروتنيات المؤلفة من 20 حرف (الأحماض الأمينية). إن الرمز الجيني رمز عالمي، أي أنه صحيح لمختلف الكائنات الحية، وهو الذي أتاح تطور الهندسة الوراثية، لا سيما انتقال الجينات بين الكائنات المختلفة.

جينات بروتينية



لا يمكن رؤية الكروموزومات المنقسمة أثناء انقسام الخلية. تتألف الكروموزومات من الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين المضغوط المرتبط بالبروتينات.

تُعتبر البروتينات عناصر أساسية في عمل الأجسام الحية. إنها جزيئيات كبيرة الحجم (نتحدث هنا عن الجزيئيات الماكرو)، التي تؤدي عدة وظائف: مناعية (أجسام مضادة)، ضبط (هورمونات) أو غير ذلك. ويتمّ تشكيل متوالية من العناصر التي تُعرف باسم الأحماض الأمينية التي تتوفر بنحو عشرين نسخة مختلفة. تحدد جينة بنية كلّ بروتين أي تسلسل الأحماض الأمينية. تمرّ صناعة البروتينات عبر الجينات بمرحلتين كبيرتين: نسخ الجينة ثم ترجمتها. في البداية، يتم نسخ متوالية

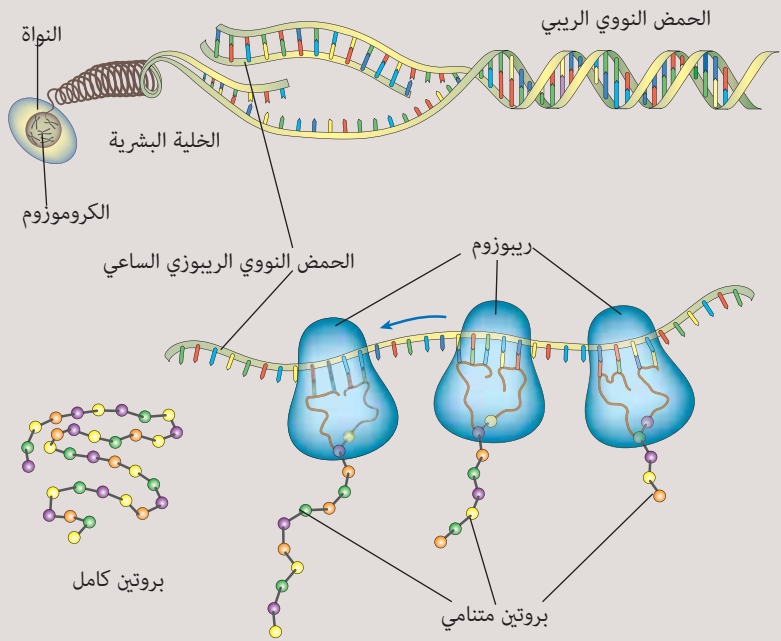
الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين الخاص بالجينة (مرحلة النسخ)، إلى مجموعة مكملة تُعرف باسم الحمض النووي الريبوزي، وهي جزيئية تؤدي دور الساعي وتشكل أساس إنتاج البروتين (مرحلة الترجمة). داخل جزيئية الحمض النووي الريبوزي، تحدد كلّ متوالية مؤلفة من ثلاثة نوكليوتيد الحمض الأميني؛ وتشكل هذه الأحماض الأمينية كلها، مرتبطة الواحدة بالأخرى، البروتين الذي يؤدي بالتالي وظيفة تناسب برنامج الجينة المنبثقة عنها: فعلى سبيل المثال، يتولى هيموغلوبين الدم مهمة نقل الأوكسيجين إلى الخلايا؛ ويتولى الإنسولين الذي ينتجه البنكرياس تحسين دخول الجلوكوز إلى الخلايا.

معجم

الحمض النووي الريبوزي: جزيئية ماكرو مؤلفة من متوالية من النوكليوتيد الضرورية لتركيب البروتينات، عن طريق برنامج وراثي يحمله الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسيجين.

الحمض الأميني: جزيئية عضوية التي تؤلف البروتينات.

إنتاج البروتينات



تشرف جينة على إنتاج كل بروتين. تتم هذه العملية على مرحلتين كبيرتين: نسخ متوالية من الحمض النووي الريبي عن طريق الحمض النووي الريبوزي الساعي بواسطة الريبوزوم.

إنتاج الكائنات المتشابهة الجينات

يتيح الانقسام الخلوي المشترك بين البكتيريا والأجسام المتطورة للخلايا أن تتناسخ. يُطلق على هذه العملية أيضا اسم التكاثر الاستنساخي أو اللاجنسي.

تكاثر البكتيريا

تتكاثر البكتيريا بالطريقة عينها التي تعتمدها الخلايا الحية للتكاثر: تنمو، تتناسخ موادها الجينية ثم تنقسم إلى اثنين. تكون آلية الانقسام بسيطة نسبياً لدى الأجسام التي لا تمتلك إلا كروموزوماً دائرياً: بعد تناسخ الكروموزوم، تتمدد البكتيريا ويتقلص وسطها، ثم تنقسم موزعةً نسخة عن الكروموزوم إلى كل واحدة من الخلايا الجديدة. وبهذا، يتشكل زوج من البكتيريا شبيهان بالبكتيريا الأساسية. تتكاثر البكتيريا طالما أن الغذاء متوافر. حين يُصار إلى زراعتها بوجود المغذيات الأساسية لنموها، يمكن لهذه الخلايا أن تتضاعف لتبلغ أعداداً خيالية: فتشكل بالتالي كائناً جينياً مشابهاً.

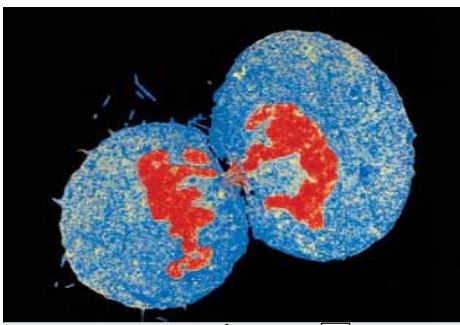
معجم

الخلية البدائية النواة: جسم صغير (أحادي الخلية عموماً) منزوع النواة ذو بنية متميزة.

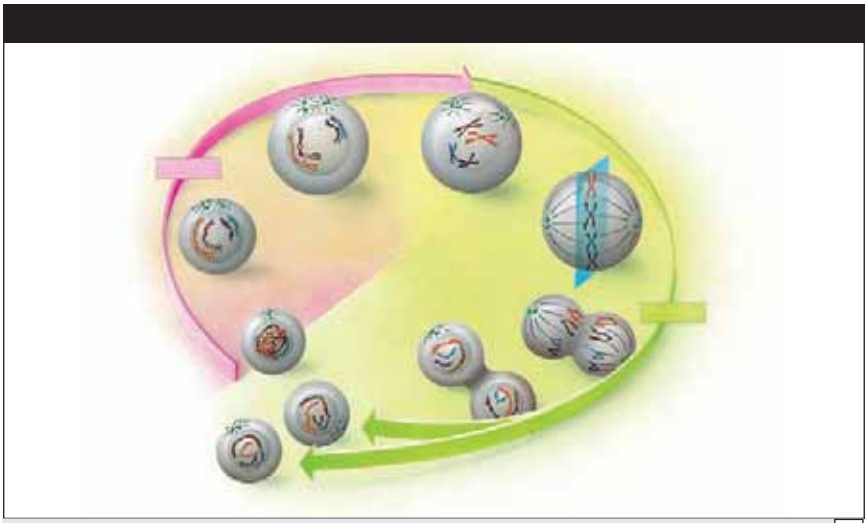
حقيقيات النوى: أي الأجسام الحية التي تضم خلايا ذات بنى خاصة ونواة يحدها غشاء.

مضاعفة الخلايا جميعها

تُعرف عملية الإنقسام الخلوي لدى الأجسام التي تحتوي على خلايا ذات نواة باسم الانقسام الخيطي المتساوي. على غرار ما يحصل في البكتيريا، تنمو الخلية وتضاعف كمية حمضها النووي الريبي المنقوص الأوكسجين، ثم تنقسم إلى قسمين. إلا أن عملية انقسام المعلومات الوراثية تبدو أكثر تعقيداً، لأن هذه الأخيرة تتوزع على عدد من الكروموزومات. يرتبط تتالي مراحل هذه العملية بشكل وثيق، ويعتمد على آليات دقيقة عالمية، أي مشتركة وذات تفاصيل مشابهة جداً للأجسام الحيوانية والنباتية التي تحتوي خلايا ذات نواة. تنقسم عملية الانقسام الخيطي المتساوي إلى عدة مراحل: أولاً تتضخم الخلية وتنسخ كل واحدة من كروموزوماتها على شكل عصي. إننا هنا بصدد الكروموزومات ثنائية الأذرع، مع بقاء النسخ متحدة في الوسط. في الخلية، تسحب شبكة من الخيوط المتحركة الشبيهة بالسكك كلّ كروموزوم مزدوج إلى



المرحلة الأخيرة من مراحل انقسام الخلية البشرية: يتم نسخ مادة الخلية الجينية (باللون الأحمر) ويتوزع بين خليتين أنثيين تكونا على وشك الانفصال.



تتيح عملية الانقسام الطولي المتساوي تطور المضغة، النمو بعد الولادة وتجدد الأنسجة لدى البالغ. تمر هذه العملية في أربعة مراحل تؤدي إلى تشكل خليتين أنثيين تشبهان الخلية الأصلية شبهاً تاماً.

وسط الخلية. ثم ينفصل ذراعا الكروموزومات فتتجهان باتجاه طرفي الخلية المتناقضين. تنقسم الخلية الأساسية في نهاية المطاف إلى خليتين تحتوي كلٌ منهما على مجموعة من الكروموزومات المشابهة. تتغير مدة الانقسام الخيطي المتساوي وفقاً للخلايا، فتتراوح بين بضع دقائق للخلايا التي لا تتجدد سريعاً كالخلايا الدموية، وسنوات لأنواع أخرى من الخلايا كالخلايا العصبية.

نمط انقسام شائع جداً

يُعتبر الانقسام الخيطي المتساوي عملية تتألف من انقسامات متتالية، تتيح للكائنات المتعددة الخلايا التطور إلى جسم كامل. وإذ تنبثق عن خلية أساسية (الخلية الملقحة)، يُعد الجسم البشري البالغ نوعاً من أنواع الأجسام المتشابهة جينياً، المؤلفة من 100 ألف مليار خلية، تحتوي كل واحدة منها على المجموعة الوراثية عينها، إلا أنها تتوزع إلى أكثر من 200 نوع مختلف (خلايا الكبد، العضلات، الأعصاب، إلخ).

في الجسم البشري، يتيح الانقسام الخلوي كذلك استبدال بضع 200 مليار خلية تموت يومياً. أخيراً، تتدخل أيضاً في عملية إعادة التوليد لدى بعض الحيوانات القادرة على إعادة إنتاج الأجزاء المبتورة في جسمها.

زراعة الخلايا

أتاحت زراعة الخلايا الحية في وسط اصطناعي تطور التكنولوجيا الحيوية. في حال توالدت الخلايا الميكروبية سريعاً، تتطلب الخلايا الحيوانية والنباتية وسطاً غذائياً معقداً. اكتسبت زراعة الخلايا أهمية في الأبحاث الأساسية وفي صناعة الأدوية.

التكاثر الجنسي، مصدر تنوع

ينجم التكاثر الجنسي عن اتحاد آليتين أساسيتين: إنتاج الخلايا الجنسية والتلقيح. يؤمن هذا النوع من التكاثر تنوع الكائنات الحية.

للاختلاف مكانة خاصة!

تتكاثر معظم الأجسام الحية عبر الطريقة الجنسية، بمعنى أن تكاثرها يتطلب اشتراك جسمين أبويين مختلفين، ولكن ينتميان إلى الفصيلة عينها. كان للتكاثر الجنسي تأثيراً هاماً أثناء مراحل التطور؛ فبفضله، حمل كل جيل جديداً وشكل مصدراً للابتكار. يحصل التكاثر الجنسي بفضل عمليتي إنتاج خلايا جنسية (المشيج) تُعرف باسم الانقسام المنصف، والتلقيح الذي يمثل التحام خلية جنسية ذكر مع خلية جنسية أنثى، لتشكلان معاً الخلية المضغة الأولى، والتي تُسمى الخلية البيضة. تتميز مختلف الخلايا لدى الأجسام الجنسية (باستثناء الخلايا الجنسية) بمجموعة وراثية متشابهة تتألف من مجموعة من الكروموزومات، يعود جزء منها إلى الأم والجزء الآخر إلى الأب. تنقسم الخلايا الجنسية إلى خلايا ذكر وأخرى أنثى، بمعنى أن لكلّ منها مجموعة فريدة من الكروموزومات. تتحد مجموعات الكروموزومات لدى الخلايا الذكر والأنثى أثناء التلقيح. تدمج الخلية البيضة الناتجة عن اتحادهما مجموعتي الكروموزومات الأبوية المقسمة إلى أزواج. بعد ذلك، يولد تتابع انقسامات هذه الخلية البيضة جسماً بالغاً.

تتناسب مرحلة التلقيح مع التحام الخلايا الجنسية الذكر والأنثى (البويضة والمني).

معجم

المشيج: خلية تكاثرية أنثى (بويضة) أو ذكر (مني) لا تحتوي نواتها إلا على كروموزوم واحد من كلّ زوج، والتي تتحد بمشيج الجنس الآخر (التلقيح) لتولد البيضة.

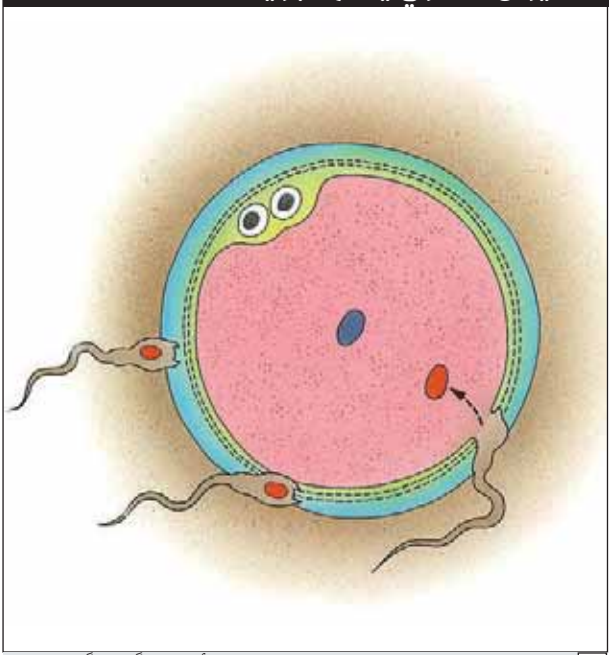
إنتاج الخلايا الجنسية البشرية

تتألف المجموعة الوراثية لدى الإنسان من 23 زوجاً من الكروموزمات (أي 46 كروموزوماً). يضم كلّ زوج كروموزومين: أحدهما من الأب والآخر من الأم. لا تملك الخلايا الجنسية، المشيج، (الخلايا الذكر هي

المني والخلايا الأنثى هي البويضة) إلى 23 كروموزماً، بدلاً من 23 زوجاً. فكيف تولد؟

يشمل الانقسام المنصف الذي يشير إلى عملية إنتاج الأمشاج انقسامين متتاليين يتيحان خفض عدد كروموزومات الخلية الأصلية إلى النصف. تبدأ العملية بمضاعفة كلّ زوج كروموزومات. بعد ذلك، ينفصل الأصل عن النسخة ليشكلا جزأي الخلية المتناقضين، الخلية التي ستنقسم بدورها مجدداً، لتعطي في نهاية عملية الانقسام المنصف أربعة أمشاج (خلايا جنسية)، بويضة أو مني، يحتوي كلّ منهما على 23 كروموزوماً.

الحيوان المنوي يلقح البويضة



تتجه ملايين الحيوانات المنوية إلى البويضة، إلا أن حيواناً واحداً منها يصل إلى نواتها. يشكل اندماج نوى الخليتين الخلية البيضة.

التقاء الكروموزومات

أثناء عملية التلقيح، تتقارب الخلايا الجنسية الذكر والأنثى وتتلاحم، لتعطيا الخلية الأولى التي منها يتكون الجسم الجديد.

تتنوع أشكال التلقيح وفقاً لمجموعة الكائنات الحية الجنسية. تتلاحم الخلايا لدى مختلف أنواع الكائنات الحية لتدمج مجموعاتها الجينية من خلال دمج الكروموزومات. فتشكل بهذا جسماً يتميز بمجموعة جينية كاملة ناتجة عن جسمين مختلفين. يتيح التلقيح إذاً خلق أفراد فريدة يحتوي كلّ منها على مجموعة فريدة من الكروموزومات. غير ذلك، ينتج فرد عن مجموعتين أبويتينً، ولا يمكنه لوحده أن ينتج نسباً ضمن عملية طبيعية.

معجم

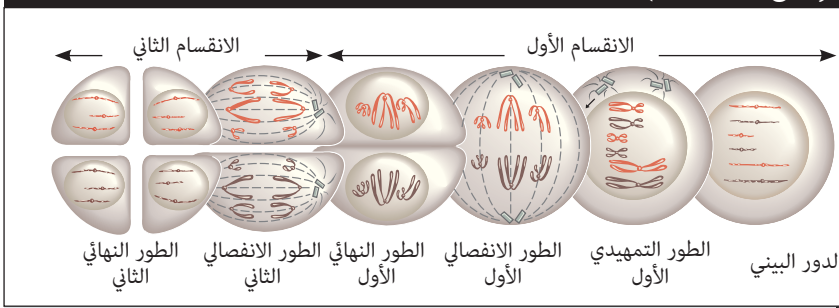
التلقيح: اندماج خلية جنسية ذكر مع خلية جنسية أنثى لتشكيل خلية المضغة الأولى التي تتطور لتكوّن الطفل.
الخلية الطفل: الخلية الملقحة وخلية المضغة الأولى.

مصدر غريب للتنوع الوراثي

تتكاثر خلايا الجسم كافةً (باستثناء الخلايا الجنسية) عن طريق الانقسام الخيطي المتساوي، وهي عملية تولد الخلايا المتشابهة جينياً. أما الانقسام المنصف، الذي يقتصر على الخلايا الجنسية فقط، فهو انقسام غير متشابه: إذ يتيح ظهور مجموعات لا مثيل لها من الجينات الأبوية داخل الخلايا الجنسية. في الحقيقة، أثناء الانقسام الأول، يمكن للكروموزومات

عندما تصل الخلايا الجنسية الذكر، التي تتشكل في الأنابيب المنوية (في الصورة) داخل الخصيتين إلى مرحلة البلوغ، تتحول إلى حيوانات منوية قادرة على التلقيح.

مراحل الانقسام المنصف



تؤدي عملية الانقسام المنصف إلى تكون الخلايا الجنسية، البويضة والمني، وتتكون من مرحلتين متتاليتين. تُنتج خلية واحدة أربع خلايا جنسية (الأمشاج)، كل منها مزودة بعددٍ من الكروموزومات أقل بمرتين من خلية البداية.

المنتمية إلى الزوج عينه أن تتبادل بعض أجزائها. يُعتبر هذا التبادل، التركيب الوراثي، أساس الخلايا الجنسية المركبة وراثياً، التي بإمكانها أن تسمح بظهور المزايا الجديدة لدى الذرية. إذاً، تختلط المعلومات الوراثية للمرة الأولى داخل كلّ خلية جنسية بفضل التركيب الوراثي، تماماً كما يحصل على مدى عملية التوالد الجنسي. تُعتبر عملية التلقيح مصدراً ثانياً للاختلاط الوراثي، فهي تدمج مشيجاً ذكراً بمشيج أنثى، يمكنها بدورها إنتاج أكثر من 64 مليار عملية تركيب محتملة لتشكيل الطفل. وبهذا تخلق آلية الإنتاج الجنسي في كل جيل مجموعة وراثية متنوعة: يمكن اعتبار المادة الجينية الخاصة بكلّ خلية بيضة فريدة على الصعيد التاريخي. مروراً بالتكاثر الجنسي، يلغي الاستنساخ بالمقابل كلّ تجدد وراثي ممكن لدى الجسم الجديد.

مزايا التكاثر الجنسي

في حال كانت أغلبية خلايا الأجسام تتكاثر عن طريق الانقسام الخيطي المتساوي (انقسام بسيط استنساخي)، ما الغاية من التكاثر الجنسي؟ في الواقع، يعتبر الاختصاصيون أن فائدة التكاثر الجنسي تُعزى إلى التركيب الوراثي، مصدر التنوع. تظهر هذه الفائدة في عملية الاختيار الطبيعي لدى الكائنات التي تستفيد منها. في الحقيقة، يشكل الاختلاط الوراثي عامل تكيّف، لأنه يحسّن تشكّل الأفراد المتنوعين، ويزيد احتمال ظهور الأفراد الذي يقاومون تغيرات المكان والمحيط.

حالة دراسية

لدى أغلبية الكائنات، يتحد الانقسام الخيطي المتساوي والانقسام المنصف ليتيحا إنتاج الخلايا، لكن بأوقات مختلفة ودقيقة من مراحل حياتها. لكن بعض الأجسام تبدو قادرة على التكاثر بفعالية استناداً إلى نمطي التكاثر. تُعتبر هذه الخاصية مثيرة للاهتمام، لأنها تتيح دراسة المزايا على مدى الحالتين. هذه هي حالة خميرة الخبز التي تشمل نموذجاً يُستعمل في المختبرات.

خلية ووظيفة

رغم أن الخلايا كافةً التي تؤلف جسماً حيوانياً تمتلك المادة الجينية عينها، فإنها تتوزع إلى أشكال ووظائف مختلفة.

خلايا تملأ مختلف الوظائف

إن الخلايا البالغ عددها نحو 100 ألف مليار خلية والتي تشكل الجسم البشري، تماماً كما هو الأمر لدى مختلف أنواع الحيوانات، هي خلايا مختلفة على صعيد الشكل والوظيفة. نتحدث هنا عن الخلايا المتمايزة: أي أن هذه الخلايا تختص بإتمام وظيفة معينة داخل النسيج. تشكل أنسجة مختلفة عضواً كاملاً كالرئة، الكلية أو حتى الدماغ. تتحد أعضاء عديدة ضمن أنظمة (الدماغ، النخاع الشوكي والأعصاب تشكل على سبيل المثال النظام العصبي) لتقوم بوظائف هامة في الجسم كالحركة والتنفس والتكاثر وحماية الجسم من العناصر الغريبة، والهضم والتواصل.... فمن أين يأتي هذا التنوع، مع العلم أن الجسم هو مادة متشابهة جينياً، أي مجموعة من الخلايا التي تنبثق عن خلية فريدة، البيضة، التي تمتلك مجموعات جينية متشابهة جداً؟

الخلايا الجذعية

إنها الخلايا غير المختصة بوظيفة معينة، والمختلفة من حيث أنواع الخلايا التي يمكن أن تولدها. الخلايا المكتملة النمو هي الخلايا القادرة على التطور لتتحول كلّ واحدة منها إلى جسم كامل: وهذه هي حالة الخلايا الست عشرة الأولى التي تشكل المضغة. تتمتع الخلايا المحفزة التي تؤلف المضغة ومن ثم الجنين بتشكيل، ليس جسماً كاملاً، إنما مجموعة متنوعة من الأنسجة التي تؤلفه. لدى البالغ، تكون الخلايا الجذعية وحيدة القدرة، أي قادرة على إنتاج نوع واحد من الخلايا المتمايزة، أو متعددة القدرات، أي قادرة على إنتاج خلايا مختلفة من النسيج عينه، فعلى سبيل المثال، تنتج الخلايا الجذعية في النخاع العظمي خلايا الدم كافة، الكريات الحمراء، الكريات البيضاء، إلخ.

على طريق التخصص

خلال عملية التلقيح، تتحد خليتان، ذكر وأنثى، لتعطي خلية بيضة. تمر البيضة بثلاث مراحل انقسام، فتعطي في البداية خليتين ثم أربع خلايا ثم ثماني خلايا. يُطلق على مرحلة التطور هذه اسم التوتية، لأن المضغة تشبه خلالها حبة التوت الصغيرة. في هذه المرحلة، تتمتع خلية واحدة من خلايا المضغة الثماني بميزة توليد جسم جديد (وبهذا لا بدّ من عزلها واستبدالها في الرحم). تُعرف خلايا التوتية الثماني باسم الخلايا المكتملة النمو: أي أن كلّ واحدة منها تكون قادرة على إنتاج جسم كامل. لا تدوم خاصية (اكتمال النمو) إلا لفترة قصيرة: إذ تختفي تماماً في غضون عشرة أيام لدى الحيوانات (ستة أيام لدى الإنسان)، بعد عملية الانقسام الخلوي الثالثة.

تتحول البيضة إلى أريمة، أي إلى دائرة جوفاء تتألف من مئات

معجم

تمايز: عملية تكتسب من خلالها الخلية غير المتمايزة أشكال ووظائف خاصة.

الخلايا، تحتوي عند أحد الأطراف على كومة من الخلايا المضغية التي تعطي الجنين.

تُعرف مجموعة خلايا المضغة هذه باسم البرعم الجنيني، وهو يتألف من خلايا تبدأ بالتخصص بوظيفة معينة. وبالتالي لا مجال أن تشكل كلٍ واحدة منها جسماً كاملاً، علماً أن هذه القدرة هي ميزة من مزايا الخلايا المكتملة النمو. خلافاً لذلك، تتمتع هذه الخلايا بالقدرة على إنتاج خلايا أي نسيج في الجسم: وتُعرف باسم الخلايا المتعددة القدرات. حين تستقر البويضة (في مرحلة الأريمة) في غشاء الرحم المخاطي، تشارك كلّ خلية من خلايا البرعم الجنيني في برنامج تباين معتمدة على موقعه الجغرافي والإشارات التي تتلقاها من محيطها.

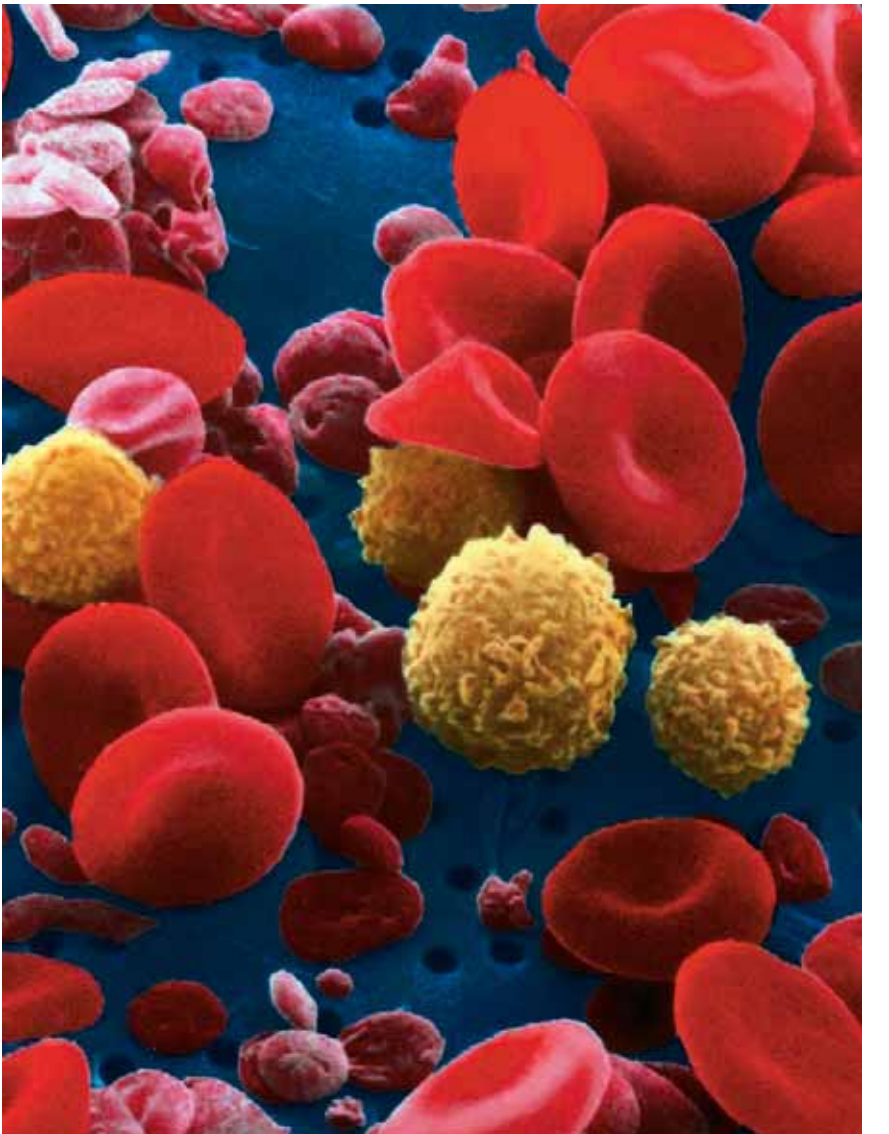
بعد مرور ثلاثة أيام على التلقيح، تحتوي المضغة على نحو عشر خلايا. في اليوم الرابع، تكون شبيهة بثمرة التوت، ثم بعد يومين تتحول إلى دلو أجوف مع برعم جنيني (الأريمة).

تؤدي عملية التمايز هذه إلى تشكل لدى المضغة ثم الجنين، الأنسجة المتخصصة أكثر فأكثر، التي تفقد الخلايا في داخلها تعددية قدراتها بشكلٍ تدريجي، أي قدرتها على تشكيل أي نسيج من أنسجة الجسم.

في النهاية، نقع على فئتين كبيرتين من الخلايا المتمايزة في الجسم البالغ: الخلايا الجرثومية التي تعطي الخلايا الجنسية (المني والبويضة)، والخلايا الجسدية التي تضم مختلف أنواع خلايا الجسم الأخرى، والتي تؤلف مختلف الأنسجة والأعضاء (الدم، البشرة، العظام والدماغ...).

جينات فاعلة أو معاقة

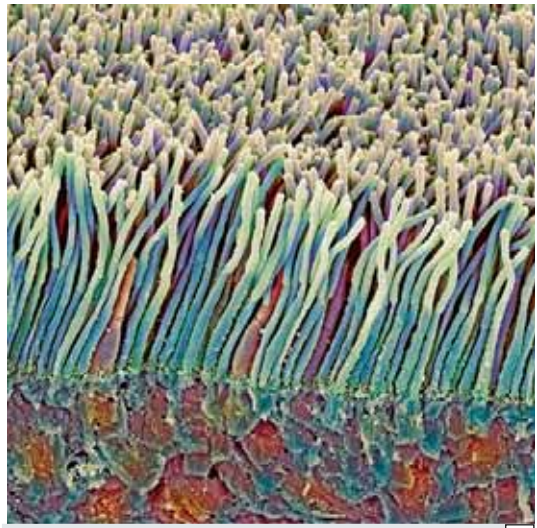
باستثناء الخلايا الجنسية (التي تحتوي على نصف المجموعة الجينية لتتمكن من الاندماج



خلايا الدم الثلاثة: الكريات الحمراء التي تنقل الأوكسجين، الكريات البيضاء التي تتدخل في ردة فعل المناعة، والصفائح الدموية التي تشارك في تجلط الدم.

مع خلية جنسية)، تتميز مختلف خلايا الجسم بالمجموعة الجينية عينها. كيف تتخصص كل خلية إذاً بوظيفة معينة؟ وعند أي مستوى يظهر تخصصها؟

في الواقع، حين تتحول إلى خلايا الكبد، أو خلايا الدم، أو الخلايا العصبية، إلخ، تكتسب الخلايا هوية خاصة. تُترجم هذه الهوية عن طريق استعمال جزء واحد من جيناتها فقط. تتواجد هذه الجينات في نواة كل خلية. وحدها تلك التي تكون ضرورية لضمان وظيفة الخلية المتخصصة المستقبلية، هي التي ستُستعمل (فتكون فاعلة). بعبارة أخرى، نظراً لتخصصها، تُشغّل الخلايا بعض الجينات وتقصي البعض الآخر. فعلى سبيل المثال، يكون جين الأنسولين، المتواجد في مختلف الخلايا، فاعلاً في البنكرياس وساكناً في العصب أو الخلية العضلية.



تحتوي شبكة العين على خلايا حساسة تجاه الضوء: المخاريط والعيدان. ترى العيدان (في الصورة) الأبيض والأسود، في حين تسمح المخاريط التي تكون أكثر عدداً برؤية الألوان.

مبادئ تثير بعض التساؤلات

حتى ولادة النعجة دوللي، كان معروفاً أنه لا يمكن إعادة عملية تباين الخلايا إلى مراحلها الأولى لدى الثدييات. اعتقد العلماء أنه بعد مرحلة التوتية والأريمة، حين تكتسب الخلايا هويتها النهائية، تصبح العودة إلى المراحل الأولى أمراً مستحيلاً. يمكن تفسير سوء سمعة هذه النعجة، التي تبدو عادية في الظاهر، ليس لأنها حيوان مستنسخ (علماً أنها لم تكن الأول)، إنما لأنها طرحت مجدداً التساؤلات حول عقيدة طرحت منذ زمن بعيد، بشأن عدم إمكانية إعادة عملية التمايز إلى مراحلها الأولى. في حالة دوللي، تمّ استخراج نواة خلية ثديية تابعة لنعجة بالغة، أي خلية متخصصة. بعد حقنها في بويضة غير ملقحة ومن دون نواة، أتاح تحفيز كهربائي لهذه النواة فرصة إطلاق عملية تشكّل المضغة.

وُضع هذا الأخير في الرحم، وانقسم ليعطي الخلايا المتمايزة كافةً (الخلايا الدموية، الخلايا العصبية، إلخ)، ليؤدي إلى ولادة النعجة دوللي.

معجم

الجنين: ناتج الحمل غير المكتمل بعد، الذي كان يمثل مسبقاً مزايا الفئة المميزة، لدى الحيوانات المولودة (ابتداءً من الشهر الثالث للحمل لدى الإنسان).

أعضاء تتجدد

الهيدرا أو السحلية هي حيوانات قادرة على تجديد أجزاء من أجسامها. إنها خاصية مدهشة وعظيمة من الناحية الطبية.

أصل ضائع أثناء عملية التطور؟

التجدد هو القدرة على إعادة إنتاج الأجزاء المبتورة في الجسم، مع إستعادة الوظيفة والشكل. أوضح عالم الطبيعة السويسري أبراهام ترامبلي هذه الظاهرة، بعد أن درس بالتفصيل الهيدرا، وهو حيوان لا فقري يعيش في المياه العذبة. عند قطعه إلى قسمين، يستطيع هذا الحيوان بعد فترة ثلاثة إلى أربعة أيام تجديد رأسه المختفي أو قدمه المبتورة. بالإضافة إلى الهيدرا الشهيرة، كثيرة هي الحيوانات اللافقرية التي تتمتع بهذه الخاصية بدرجات متنوعة: الحشرات، الرخويات، الديدان المسطحة، ديدان البلاناريا، وجميعها قادرة على التجدد لتستعيد سريعاً جسمها كاملاً. تبدو بعض الفقريات على غرار العظاية، السحلية، الزرد، سمندل الماء، قادرة على تجديد بعض أعضائها كالذنب أو العين. يبدو أن التجدد هو خاصية منتشرة بين الأجسام المتعددة الخلايا البدائية، ولكن التي تكون قد فُقدت لدى الأجسام العليا أثناء عملية التطور.

تُعرف الهيدرا منذ زمنٍ طويل بقدرتها على التجدد.

مساهمة الخلايا الجذعية

إلى ماذا تُعزى خصائص التجدد هذه التي أدهشت الباحثين؟ تلجأ بعض الحيوانات (بلاناريا أو الهيدرا) إلى الخلايا الجذعية المكتملة النمو المتواجدة في الأنسجة البالغة: تحتفظ هذه الخلايا بمختلف ميزات الخلية الجنينية، ويمكنها أن تتخصص في إنتاج أي خلية من خلايا الجسم.

تتجدد الخلايا الجذعية في جسم الهيدرا دائماً وتسمح بالتجدد شبه الفوري، في حين تحتاج الكائنات الأخرى (سمندل الماء على سبيل المثال) إلى عدة مراحل. تمثل الخلايا

الجذعية لدى البلاناريا 20 إلى 30 % من خلايا الجسم (للمقارنة، نعتقد أن الخلايا الجذعية تكون في جسم الإنسان أقل بمليون مرة من خلايا الجسم الأخرى). وقد تبيّن أنه لدى الهيدرا، تستطيع الخلايا الجذعية بعد الانتقال إلى موقع البتر، التمايز لتشكيل الجزء المقطوع. تقوم حيوانات أخرى، على غرار العظاية وسمندل الماء والزرد والسحلية، بتعبئة الخلايا المتخصصة، التي تتحول إلى خلايا جذعية قادرة على تجديد الجزء المبتور من الجسم، حين تفقد خاصية التمايز (نتحدث هنا عن إلغاء التمايز).

التبرعم لدى الهيدرا

غالباً ما تتوالد هيدرا المياه العذبة عن طريق عملية لا جنسية: إذ يتشكل تبرعم، أي شكل من أشكال النمو الزائد وينفصل عن الأب.

مبادئ طبية هامة

يميل الباحثون اليوم إلى اكتشاف الجينات والبروتينات، التي تشارك في استمرار وجود الخلايا الجذعية في جسم البالغ، وفي عملية إلغاء تباين الخلايا المتخصصة. لا بدّ أن تسمح هذه الأبحاث بفهم القدرة المحدودة لبعض الكائنات الفقرية كالإنسان على التجدد (الشفاء من الجروح مثلاً)، بشكل أفضل. إننا نرى هنا، على المدى الطويل، إمكانية تفعيل عملية التجدد في بعض أنواع خلايا جسم الإنسان والثدييات الأخرى، لتتمكن على سبيل المثال من إعادة تشكيل الأعضاء المبتورة. يميل الباحثون حالياً إلى تحديث مجال العلاج الخلوي. تتوقف هذه التقنية على استخراج الخلايا الجذعية من جسم المريض، وحثها على التمايز نحو النوع الخلوي المرغوب به، وزرعها في النسيج المريض. لا تتمتع الخلايا الجذعية البالغة في جسم الإنسان بالقدرة على إنتاج إلا عدد محدود من الأنواع الخلوية، التي تلائم نوعاً محدداً من الأنسجة. يعمل الباحثون حالياً على أساليب إعادة برمجة مصير الخلية الجذعية، بشكل يتيح لها اتباع دروب تباين جديدة، وبالتالي تجديد خلايا البشرة، العضلات، العظام، إلخ... عند الطلب.

معجم

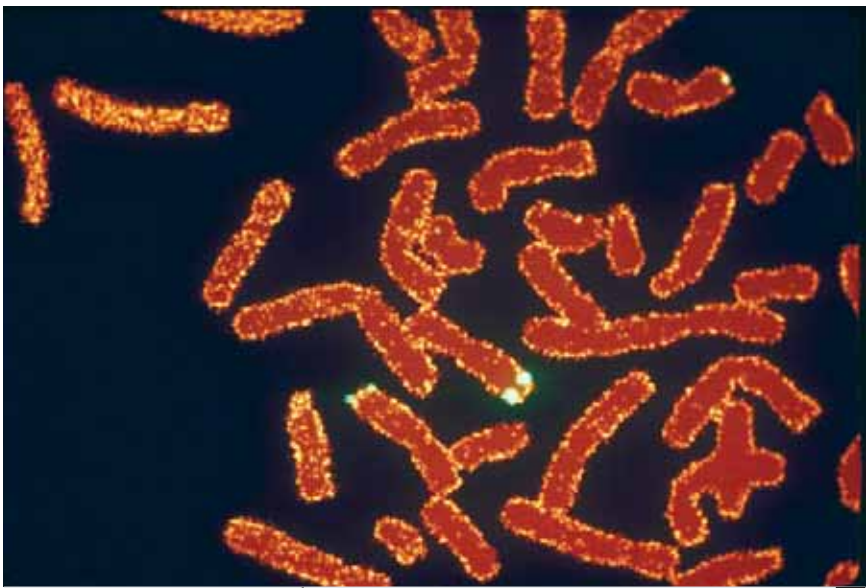
الخلية الجذعية: خلية متمايزة قادرة على التكاثر أو توليد خلايا متمايزة بعد سلسلة من الانقسامات.

التلاعب بالجينوم

وجد العلماء تقنيات كثيرة أتاحت لهم التلاعب بالمادة الجينية لدى الكائنات الحية، بما في ذلك نقل الجينات من جسم لآخر.

بدايات ثورة كبيرة

بقيت المادة الجينية (الجينوم) في الأجسام عصيةً على العلماء، فعجزوا عن دراستها وتحليلها. كان لا بدّ من الانتظار حتى بداية السبعينيات ليشهدوا على ظهور أولى بوادر التلاعب الجيني (وهي عبارة حلت محلها لاحقاً الهندسة الجينية). كان ذلك بداية ثورة كبيرة في مجال علم الأحياء: فبعد معرفة بنية المادة الجينية ووظيفتها وتنظيمها في أجسام الكائنات الحية كافةً البسيطة والمعقدة، تمكن العلماء من تطوير مجموعة من التقنيات، تتيح عزل المادة الجينية في خلية معينة أو تغييرها. في العام 1972، حصل العلماء الأمريكيون الروادِ في هذا المجال، ستانلي كوهين، هيربيرت بوير وبول بيرغ، على أول جسم معدل وراثياً: بكتيريا تحتوي على جين جسم برمائي.



يرمي علم رسم خرائط الجينوم إلى تحديد موقع الجينات مادياً على الكروموزومات (على هذه الصورة: بفضل جزءٍ متوهج من الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين).

استنساخ الجينات

يُعتبر استنساخ الجينات المرحلة الأولى من مراحل عملية التلاعب بجينوم الجسم: في الواقع، بهدف إتمام هذا التلاعب، من الضروري الحصول على كميات كبيرة من هذه الجينات. وحده التلاعب بالجينات في نظام بيولوجي محدد، كذلك الموجود في البكتيريا، يتيح الحصول على الكمية الكبيرة الضرورية لتحليلها في المختبر. في البداية لا بدّ من عزل كلّ جين عن مجموعة الجينوم. ولقص أجزاء متعددة من جزيئية الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين الطويلة، لا بدّ من مقص: بروتينات خاصة، الأنزيمات، التي تمّ اكتشافها في البكتيريا. تتمتع هذه البروتينات بالقدرة على قص الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين، على مستوى بعض متواليات النوكليوتيدات. وجد علماء الأحياء أكثر من 300 نوع من هذه الأنزيمات، الأمر الذي ساهم في الحصول على مئات ملايين الأجزاء، عبر جزيئية الحمض النووي الريبي.

معجم

البروتين: جزيئية ماكرو تتألف من متوالية أحماض أمينية طويلة، ترجمة جزء من الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسيجين.

عندئذ أدرج العلماء في العملية بكتيريا، الإشريكية القولونية، التي تتميز بالقدرة على إنتاج مليار بكتيريا في 15 ساعة عند زرعها، بمعدل انقسام كلّ 20 دقيقة،! وبهذا يتمّ إدخال كلّ جزء من الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين، المقطوع بالأنزيمات المقص، في بكتيريا الإشريكية القولونية، التي عند تكاثرها تضاعف في الوقت عينه جزء الحمض النووي الغريب. تشكل السلالات الناتجة المتشابهة جينياً جسماً متشابهاً جينياً. تُكرر العملية لمختلف أجزاء الحمض النووي الريبي، علماً أن كلّ بكتيريا متشابهة جينياً تحتوي على جزء واحد من الحمض النووي. بعد ذلك، يحدد الباحث بين هذه الأجسام المتشابهة جينياً، المستعمرة البكتيرية التي تحمل جيناً معيناً يرغب بتحليله. يتمّ بعد ذلك زراعة هذه المستعمرة بكثرة: ويُستنسخ الجين موضع البحث.

تحديد الجينات: التسلسل

يُعتبر تسلسل بعض جينات الجسم مرحلة أساسية في عملية التلاعب الجيني: بهذه الطريقة تحدد المادة التي تُستعمل. نتحدث عن التسلسل حين نصل إلى قراءة متوالية النوكليوتيدات التي تؤلف الجين (تسلسله). يُصار إلى إجراء تسلسل الجينوم، حين يتم تحديد النظام المادي لتسلسل النوكليوتيدات (أو القواعد) على جزيئية الحمض النووي. يتألف الجينوم من 5 % فقط من الجينات، في حين أن الباقي(95 %)، المعروف بالحمض النووي الخردة، لا يحتوي على أي أمر يساعد على تركيب البروتين. يتطلب تسلسل الجينوم بشكل كامل، إنشاء خريطة جينية تحدد نظام الجينات في الكروموزومات،

الأجسام الطبية المعدلة وراثياً

على الصعيد الطبي، أدت تقنيات الهندسة الجينية إلى إنتاج جزيئيات متعددة، تتميز بقدرة علاجية هامة: الأنسولين لعلاج السكري، هورمون النمو لعلاج الأنيميا، أو حتى عوامل التخثر لعلاج نزيف الدم. علاوةً على ذلك، سهلت الهندسة الوراثية الحصول على مضادات حيوية، لقاحات (لقاح التهاب الكبد ب) وأجسام مضادة.

باحثون يدرسون متواليات الجينات، يتيح تحليل جزيئية الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين، اللولب المزدوج المؤلف من قواعد كيميائية، فك رموز الجينوم.

وخريطة مادية تصف الفروقات بين الجينات المختلفة. في العام 2004، تمت إجراء عمليات تسلسل لجينوم 180 جسم مع أو من دون نواة. هذه هي حالة جينوم البكتيريا المسؤولة عن السل، الكوليرا والجذام، ومن ضمن الأجسام التي تحتوي نواة، نذكر جينوم الطفيلي المسؤول عن الملاريا، وجينوم نبتة صليبية (الأربيدوبسيس)، وذبابة الفاكهة والفأرة.
أما في يتعلق بفك رموز الجينوم البشري، فقد بدأ العلماء بالعمل على الأمر في العام 1996، ليصلوا أخيراً إلى نتيجة مرضية في العام 2003، معتمدين كذلك على عملية التسلسل التي بدت ضرورية ولا بدّ منها. ما إن يحدد الباحثون موقع الجينات في مجموعة سلة النوكليوتيد، يبقى أن يحددوا مهمته، ساعين إلى فهم أين ومتى تعمل الجينات في الجسم. أطلِق على حقل التجارب الضخم هذا اسم الجينومية الوظيفية.

تعديل المجموعة الوراثية: نقل الجينات

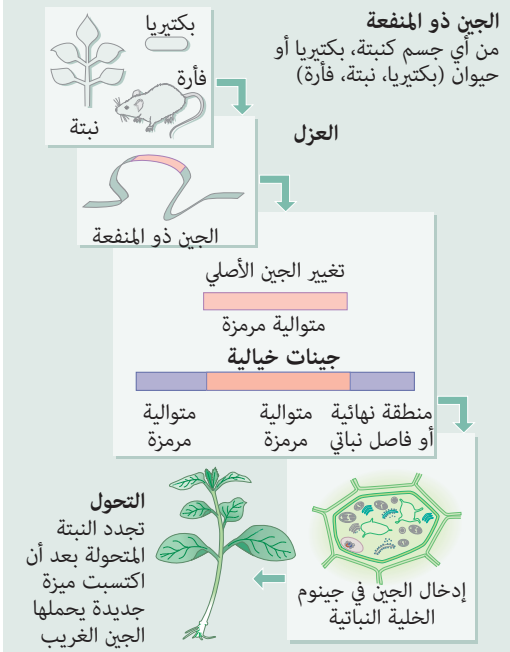
أتاحت إمكانية عزل الجينات وتحديدها للعلماء تغيير المجموعة الوراثية لدى الكائنات الحية (البكتيريا، النباتات أو الحيوانات)، من خلال إدراج جين غريب في جينومها. إننا هنا بصدد الحديث عن نقل الجينات. تتم عملية تغيير الجينوم في خلية مكتملة النمو، تنشأ عنها خلايا الجسم الجديد: وبهذا يحمل الجسم الحيواني أو النباتي الناتج عن هذه الخلية التغييرات الوراثية في خلاياه كافة، ويمكنه أن ينقلها إلى سلالته. تُعرف الأجسام التي تلقت الجين الغريب باسم المعدل وراثياً، ومن هنا أتت تسمية الأجسام المعدلة وراثياً، التي تشير في أغلب الأحيان إلى النباتات التي نتحدث عنها حالياً (علماً أن هذه التسمية تشير أيضاً إلى الحيوانات).

معجم

اكتمال النمو: خاصية الخلية الجنينية التي تتيح لها إنتاج جسم كامل.

تُعتبر عملية نقل الجينات وسيلة قوية لاكتشاف الكائن الحي، وفهم دور الجينات في تشكل الجسم ووظيفته، إنها كذلك وسيلة مهمة لفهم الأمراض البشرية والتغلب عليها والشفاء منها. إذاً، ينتج العلماء نماذج حيوانية تساعد في عملية البحث التي تتناول الأمراض البشرية: في جينوم الحيوان (غالباً ما يكون فأرة) يتم استبدال الجين السليم بجين مفسد يُحدد لدى المرضى. إلا أن نقل الجينات يقدم أيضاً فرصة إنتاج كميات كبيرة من البروتينات، لاستعمالها في العلاجات من خلال نقل الجين المناسب إلى البكتيريا، النباتات أو الحيوانات. يحصل العلماء اليوم على الإنسولين وهرومون النمو البشري عبر بكتيريا مماثلة تُعرف باسم بكتيريا معدلة وراثياً. تتراجع فعالية عملية نقل الجينات لدى الثدييات باستثناء الفأرة. أخيراً في الزراعة، لجأ الباحثون إلى نقل الجينات لدى النباتات لمنحها خصائص جديدة: قدرة أفضل على مقاومة الأمراض، زيادة قيمتها الغذائية... أحياناً، يعبّر بعض المزارعين والمستهلكين بشدة عن خشيتهم من أي خطر قد يشكّله هذا التنوع البيولوجي على الصحة.

نقل الجينات



يتناسب نقل الجينات مع تحول الجسم الوراثي (نبتة، بكتيريا، حيوان)، عن طريق جلب جين جديد يُعرف باسم جين ذي منفعة، إلى هذه الخلايا كافةً. تتيح هذه الوسيلة اكتشاف وظيفة الجين ومنح الجسم ميزة جديدة.

الجينات المعالجة

تُعزى الأمراض الوراثية إلى خلية واحدة مفسدة أو غائبة أو أكثر. يقوم ما نُطلق عليه اسم العلاج الوراثي على استبدال الجين الناقص أو المفسد بشبيه له سليم في خلايا المرض في الجسم. يتطلب كل علاج وراثي جيني، محوراً لنقل الجين والخلية الهدف. حالياً، تتناول الأبحاث الأمراض الوراثية كالاعتلال العضلي، الهموفيليا والأمراض المكتسبة كالسرطان (سرطان الجلد، الرئة، الكلى...)، السيدا، والباركنسون. سُجل أول نجاح على الصعيد العالمي في فرنسا، حيث تمكن الأطباء من معالجة الأطفال المصابين بنقص المناعة، بحيث تمكنوا من مغادرة الفقاعة المعقمة التي نعموا بداخلها منذ ولادتهم بالحماية.

من المحتمل أن كلّ خلية نباتية تتمتع بالقدرة على إعطاء نبتة كاملة. تتيح هذه الخاصية المميزة، التي تشكل أساس التكاثر غير الجنسي، إنتاج أجسام طبيعية متشابهة جينياً مع النباتات الأم. على هذه الخاصية، يعتمد الاستنساخ الاصطناعي، الزراعة في الأنبوب والتقنيات الحيوية النباتية كافةً، لا سيما ذات الصلة بالأجسام المعدلة وراثياً، التي تجمع الاستنساخ ونقل الجينات. تلقي النقاشات الراهنة في الدول الغنية اليوم الضوء على المخاطر المحتملة التي قد تطرحها الأجسام المعدلة وراثياً؛ أما في الدول الفقيرة، فلا يُؤخذ بعين الاعتبار إلا الميزة التي تتيح مواجهة الأزمة الغذائية.

يمكن إنتاج الأوركيد بكميات كبيرة في أنابيب الاختبار: تسمح الزراعة المتتالية بإنتاج ملايين النباتات المتشابهة عن طريق برعم واحد.

النباتات في المختبر

الاستنساخ النباتي، تكاثر طبيعي

في الظروف الطبيعية، يتضاعف عدد النباتات بعيداً عن أية عملية جنسية، وتنتج أجساماً متشابهة جينياً معها.

طريقتان للتكاثر

تلجأ النباتات إلى التكاثر الجنسي عن طريق الحبوب، نتاج تلقيح البويضة بلقاح يحتوي الخلايا الذكر. إلا أن عدداً منها طوّر أيضاً بعض الاستراتيجيات التي تتيح التكاثر اللاجنسي، أي أنها لا تتطلب اجتماع أمشاج لتشكيل جسم جديد. إننا هنا بصدد الحديث عن التوالد أو التكاثر النباتي، لأنها لا تتطلب تدخل الأعضاء المسؤولة عن التكاثر (الأزهار)، إنما الأعضاء التي تعرف بالأعضاء النباتية: الجذع، الجذور والأوراق. لا يُعتبر هذا النوع من التكاثر اللاجنسي إلا شكلاً من الاستنساخ التكاثري، لأنه يسمح بانتشار النباتات المتشابهة جينياً مع النبتة الأم، التي استُنسخت عنها الأجسام الجديدة.

تتواجد داخل البراعم مجموعات من الخلايا، الأنسجة الإنشائية، المؤلفة من خلايا جذعية جنينية قادرة على إنتاج نبتة كاملة.

الأنسجة الإنشائية تحتوي على خلايا جذعية

يستند التكاثر النباتي على وجود الأنسجة الجنينية، التي خلافاً لما يحدث لدى الحيوانات، تدوم على مدى حياة النبتة. إننا هنا أمام مجموعات من الخلايا تُعرف بالأنسجة الإنشائية: وهي عبارة عن أجنة صغيرة تتيح تشكيل خلايا جذعية. تتركز الأنسجة الإنشائية في مناطق نمو كل نبتة: داخل البراعم، عند أطراف الجذور، الجذوع، والفروع. تحتوي هذه الأنسجة على نوعين من الخلايا الجذعية: منها ما يتجدد بشكل متطابق، في حين تتجدد الأخرى بشكل مغاير، لتأمين نمو الأعضاء (الأوراق، الجذوع، الجذور) على مدى حياة النبتة. تُعرف خلايا الأنسجة الإنشائية بالخلايا المكتملة النمو، وتتميز بالقدرة على إنتاج نبتة كاملة لها وحدها. وإذ تتميز بمجموعة جينية على غرار الخلايا الأخرى في النبتة التي تنتمي إليها، تكون الأنسجة الإنشائية قادرة على إعادة توليد نبتة كاملة متشابهة جينياً. بعبارة أخرى، إنها تتيح للنباتات التكاثر عن طريق الاستنساخ.

التقنيات التقليدية

تقوم التقنيات التقليدية البستانية على تضخيم عملية التكاثر النباتي الطبيعي. مع الافتسال، نضع في الأرض جزءاً من النبتة (العقل) الذي يحتوي على الأنسجة الإنشائية. يؤدي ظهور الجذور إلى ولادة نبتة جديدة تشبه جينياً تلك المبتورة.

الترقيد هو شكل من أشكال الافتسال، مع فارق أن العقل يبقى متصلاً بالنبتة الأم حتى تشكّل الجذور. في حالة التطعيم، يتمّ زرع برعم أو فرع من النبتة يُعرف باسم عسلوج التطعيم ، في الجزء الأسفل من الجذع الراسخ (حامل العسلوج) ليتكاثر. بفضل هذه التقنية، تمكن الباحثون من إنقاذ العنب الفرنسي من الفيلوكسرا في نهاية القرن التاسع عشر: إذ عمدوا إلى تطعيم العنب بنباتات أمريكية تقاوم هذه الحشرات.

ساق أرضية، جذمور وغير ذلك من الجذور الأفقية

يُعتبر الترقيد أحد أشكال الاستنساخ الأكثر بساطة. تُلاحظ هذه العملية لدى ثمار العليق: يشكّل فرع أو جذع عند احتكاكه بالأرض بشكل عفوي، جذوراً، حيث يمكن أن تنمو البراعم لتتطور إلى نبتة جديدة. في نبتة الفراولة أو قصب الرمان الرملي، توفر الجذوع التي تُسمى السيقان الأرضية، حين تزحف على الأرض، التكاثر النباتي. أما لدى البامبو والقزحية، فيُناط التكاثر بالجذوع الممتدة تحت الأرض أفقياً والتي تُسمى الجذمور. تلجأ نباتات التوت والحور الرجراج إلى الجذور الأفقية. أخيراً، تضمن حبات البطاطس، الناتجة عن تضخم السيقان الأرضية الممتدة تحت الأرض، التكاثر النباتي.

تقوم تقنية التطعيم القديمة على زراعة برعم نوع نباتي معين، يُعرف باسم العسلوج، في جذع شجرة من نوع آخر تُعرف بحامل الطعم. يتم حالياً تطعيم مختلف أنواع الليمون بليمون أبو صرة الذي، يُعتبر حامل طعم هجين.

آلاف الأجسام المتشابهة جينياً

استناداً إلى خصائص الخلايا النباتية، ألقى الباحثون الضوء على تقنيات التكاثر النباتي الاصطناعية، التي تتيح إنتاج أجسام متشابهة جينياً بطريقة سريعة.

التكاثر النباتي الاصطناعي

اكتشف علماء البستنة والمزارعون الاستنساخ النباتي منذ قرون: الافتسال، الترقيد والتطعيم، هي الممارسات التقليدية الأشهر. إلا أنه ومنذ الخمسينيات، أتاح اكتشاف الهورمونات النباتية التي تؤدي دوراً في تشكل الأعضاء (الجذوع والجذور)، التلاعب بالخلايا النباتية بشكلٍ مدروس وضمن ظروف اصطناعية تماماً. تتيحُ تقنيات الاستنساخ المستعملة في المختبر، إنتاج النباتات المتشابهة جينياً بشكلٍ سريع، خلال فترة زمنية قصيرة.

معجم

في الإنبوب: يُقال عن كلّ تجربة أو تلاعب بيولوجي يحصل خارج الجسم في مكان اصطناعي (أنبوب المختبر الزجاجي في أغلب الأحيان).

تستعمل هذه التقنيات الأنسجة الإنشائية المتواجدة في النبتة المراد استنساخها، أو في الخلايا المتمايزة أصلاً الموجودة في الأوراق والجذوع الخالية من الأنسجة الإنشائية. في الحالة الثانية، يُصار إلى اكتشاف الخاصية التي تُعرف باسم تباين الخلايا النباتية: أي أن الخلايا البالغة المتخصصة، تتمتع بالقدرة على خسارة طابعها المتباين، لتتحول بعد ذلك إلى خلايا جنينية قادرة على إنتاج خلية كاملة.

صورة عن زراعة المطاط في الأنبوب، نلاحظ الجذور والأوراق الأولى الناتجة عن الأنسجة الإنشائية.

الاستنساخ عن طريق الأنسجة الجنينية

الافتسال الصغري أو الانتشار الصغري في الأنبوب، هي تقنية تتيح صناعة كميات كبيرة من الأجسام المتشابهة جينياً في المختبر. يتم وضع جزء من النبتة المراد استنساخها والخالية من البراعم، وبالتالي من الأنسجة الإنشائية، في أنبوب زجاجي يحتوي وسطاً اصطناعياً،

تتيح التقنية الأكثر نجاحاً لتكاثر الصنوبريات، كالصنوبر، الحصول عبر بذرةٍ واحدة، على عددٍ محدود من النسخ، تكون كلّ واحدةٍ منها مشابهة لبذرة البداية على المستوى الوراثي والشكلي.

يتمّ التحكم به انطلاقاً من معايير مختلفة (طهارة، ضوء، حرارة، هورمونات نباتية). يؤدي البرعم إذاً دور العقل: خلايا الأنسجة الإنشائية الموجودة في البرعم تتكاثر وتتمايز، لتعطي نبتة صغيرة تحتوي براعم جديدة. يُستخرج من هذه النبتة الصغيرة عدداً من الأجزاء، التي عند زراعتها تتحول بدورها إلى عقول وهكذا دواليك. إن تجديد هذه العملية، يتيح نظرياً إنتاج عدة آلاف، لا بل عدة ملايين من النباتات الجديدة المتشابهة سنوياً، بواسطة برعم واحد.

تقنية قوية

يتيح التكاثر في الأنبوب إنتاج نباتات متشابهة جينياً بشكل سريع جداً. فعلى سبيل المثال، في الطبيعة تُنتج درنة البطاطس في الطبيعة عشر حبات سنوياً كمعدل عام. أما في الأنبوب، فإن عامل التكاثر يصل إلى عشر كل شهر، إذاً يمكن نظرياً الحصول على 1012 أي ألف مليار درنة بطاطس سنوياً بفضل هذه التقنية.

تطبيقات متنوعة

يشمل التكاثر في الأنبوب نحو 300 نوع نباتي على الصعيد الصناعي. تتيح هذه التقنية، التي تساعد في التكيّف مع الفصول، مضاعفة النباتات المعقمة (الكلمنيتن)، أو الأنواع التي يصعب تكاثرها بشكل طبيعي (أوركيدة)، أو المحافظة كذلك على أصناف قديمة في مكان محدد. وهي كذلك تُستعمل لإعادة تشجير

المناطق حيث تنمو نباتات تهددها الطفيليات أو الحرائق.
يتم تطعيم معظم أشجار الفاكهة أو أشجار الزينة بطعم: يتيح التلاعب بالخلايا الإنشائية في الأنبوب، بتخطي مرحلة التطعيم التي تُعد عملية حساسة جداً، لا يُكتب لها النجاح دائماً.
أخيراً، تُعتبر الزراعة في الأنبوب مرحلة أساسية تتيح التلاعب بالنباتات التي لا تزال في طور الخلية، مرحلة إلزامية في إطار نقل الجينات (لإنتاج نباتات معدلة وراثياً). ولكن الزراعة في الأنبوب تتطلب لكل فئة أو مجموعة جديدة، توسيع أماكن الزراعة الخاصة، ومن هنا يبدو زراعة بعض النباتات في الأنبوب أمراً صعباً.

النسيج اللين هو مجموعة من الخلايا النباتية المتمايزة في مرحلة الانقسام التي تنتج عن زراعة في الأنبوب، أو طبيعياً، بعد إحداث جرح في النسيج أو إصابة معينة. يمكن تجديد نبتة كاملة (في الصورة نبتة تبغ) عن طريق النسيج اللين المكتمل النمو.

حلّ لمعالجة النباتات

في العام 1950، اكتشف باحثو المعهد الوطني للبحوث الزراعية في فرنسا، أنه حين تُصاب النبتة بفيروس معين أو بكتيريا ما، تبقى خلايا النسيج الإنشائي سليمة، فأتوا بفكرة تجديد النبتة السليمة عبر خلاياها الإنشائية، من خلال زراعتها في الأنبوب. بفضل هذه الوسيلة، كُتب الشفاء للمرة الأولى لنبتة الدهلية في العام 1952.
في المقابل، تحسّن الزراعة، في ظلّ حرارة مرتفعة في المختبر، إمكانية التخلص من الفيروسات. وبهذا، باتت النباتات المطهرة تتمتع بقوة أكبر، لا سيما في ظلّ إمكانية المحافظة على قدرتها على إنتاج الأزهار والفاكهة. ولكنها تبقى مطابقة للفئة الأصلية، ما يتيح بالتالي مضاعفة أعدادها بشكل متشابه. يمكن استئصال الفيروسات بالاعتماد على هذه التقنية، على مختلف أنواع النباتات التي تتكاثر نباتياً: في الحقيقة، يحد التكاثر نباتياً من نقل الفيروسات إلى السلالة، لا سيما وأنها تتم عن طريق خلايا متمايزة، التي طالها الفيروس أكثر من غيرها، وليس عن طريق الخلايا الإنشائية التي تبقى بمنأى عن الفيروس. بفضل هذه التقنية، تمكن العلماء من المحافظة على عدد من الفئات النباتية التابعة لفصائل نباتية متعددة: البطاطس، الدهلية، العنب، السوسن، التوت وبنفسج تولوز.

استنساخ خلايا بالغة

معجم

متمايزة: التي تنتج عن التمايز، وتُقال بشكل خاص للخلايا التي تقوم بوظيفة معينة.

فقدان التمايز: تُقال حين تفقد الخلية أو النسيج التمايز.

الطريقة الثانية لإستنساخ النباتات تعتمد الخلايا الإنشائية في النسيج النباتي. بفضل هذه التقنية، لا تكون الخلايا الجنينية التي تشكل النسيج الإنشائي، هي وحدها التي تسمح بالحصول على النبتة الجديدة، إنما تتشارك مع الأوراق والجذع، إلخ. يستند المبدأ على حقيقة أن الخلايا النباتية تتميز بلدونة عالية: حتى وإن كانت ناضجة ومتمايزة تمايزاً تاماً، فبإمكانها في بعض الظروف أن تعود إلى حالتها المتمايزة، إلى المرحلة الجنينية.

في المختبر، تتخلص الخلايا في البداية من جدارها المكون من السلولوز؛ بعد ذلك، تشهد حالةً من الشباب تعطيها من جديد القدرة الجنينية. عند زراعتها، تصبح هذه الخلايا قادرة على تشكيل جنين، يؤدي حين يتطور، إلى تشكل الأنسجة الإنشائية القادرة على إنتاج النباتات كاملة. تعطي هذه النباتات إذاً البذور ويكون جنينها نسخة طبق الأصل عن النبتة الأصلية (يشبه الاستنساخ هذا إلى حدٍ ما الاستنساخ الحيواني الذي أدى إلى ولادة النعجة دوللي).

في الحقيقة، لا يُطبق نمط التكاثر النباتي إلا لدى عدد صغير من الفئات النباتية، كالجزر أو نخيل الزيت، المزروعة أساساً في آسيا الجنوبية الغربية. منذ العام 1996، بات هذا النمط مستعملاً في فرنسا، لإنقاذ النخيل الذي تعرض لهجوم طفيليات فطرية. وتجري حالياً تجارب أخرى على جوز الهند والصنوبر البحري.

في المختبر، تكون الخلايا البالغة المتمايزة (الأوراق أو الجذوع) قادرة على تشكيل أجنة مناسبة لإنتاج النباتات كاملةً (في الصورة جنين خشب الجوز).

جينوم النباتات

تشكل معرفة الجينوم مسألة هامة على صعيد البحث الأساسي، وكذلك على صعيد الصناعة الزراعية الغذائية.

زراعة خطوط شجيرات البلح (أرابيدوبسيس ثاليانا) في البيوت البلاستيكية.

الأرز والنبتة السيئة

إن فك رموز جينوم النباتات أمر أساسي لفهم وظيفة الجينات، نمط تنظيمها وتفاعلها الواحدة مع الأخرى. تُعتبر هذه المكتسبات أساسية لاكتشاف الآليات التي تساهم في نمو النبتة، وكذلك في الحصول على نباتات معدلة وراثياً.

تم تطبيق تحليل جينوم النباتات على نبتتين مزهرتين تشكلان نماذج للدراسة: الأرز، وهو نوع من الأعشاب، وعشبة الراهبات السيئة.

تمثل كلّ واحدة من هاتين النبتتين فئة نباتات كبيرة؛ فالأرز يمثل النباتات ذوات الفلقتين، في حين تمثل عشبة الراهبات النباتات ذوات الفلقة الواحدة. ولا بدّ من الإشارة إلى أن العمل على هاتين النبتتين، سيعود بالفائدة على أنواع أخرى من النبات من الفئة عينها، بفضل المحافظة النسبية على بنية المجموعة الوراثية.

معجم

المتوالية: نظام توالي النوكليوتيد في جزيئية الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين.

تحديد التسلسل: تحديد كل واحد من النوكليوتيدات المتتالية في جزيئية الحمض النووي الريبي.

مشروع عالمي

تشارك ثماني دول في مشروع دولي يرمي إلى تنظيم تسلسل جينوم الأرز: البرازيل، الصين، كوريا الجنوبية، الولايات المتحدة، فرنسا، الهند، اليابان وتايوان. تنتج آسيا 90 % من محصول الأرز العالمي الذي يصل إلى نحو 600 مليون طن سنوياً. ويمثل الأرز اليوم، وهو المحصول الثالث من حيث الإنتاج بعد القمح والذرة، نحو 30 % من إنتاج الحبوب العالمي. وقد تضاعف إنتاج الأرز خلال فترة الثلاثين عاماً المنصرمة، بفضل تزايد المحاصيل، إلا أن نموه لا يزال غير كاف لتلبية التحديات الديمغرافية: في العام 2025، سيعتمد 4.6 مليار نسمة على الأرز لاستهلاكهم اليومي مقابل 3 مليار اليوم.

عشبة الراهبات

تُعد عشبة الراهبات، التي تنتمي إلى فصيلة الخردل، نموذجاً جيداً لعلم الأحياء النباتي، منذ زمن طويل. وكان جينومها، الجينوم الأول الذي تمكّن العلماء من فكّ رموزه عند نهاية العام 2000. وتطلب تحديد متوالية النوكليوتيد (أو القواعد) التي تؤلف هذا الجينوم خمس سنوات على الأقل، بمساعدة عشرات المختبرات الدولية. يمكن تطبيق تقنية تحديد وظيفة كلّ واحدة من هذه الجينات (لا يعرف العلماء حالياً إلاّ وظيفة 5 % من الجينات البالغ عددها الإجمالي 26000 جين) على عدد كبير من النباتات الأخرى. ساهمت المعلومات المكتسبة عن هذا الجسم في إنتاج أولى المنتجات المعدلة وراثياً، منذ عشرين عاماً مضت: فقد تمّ إنتاج أول نبتة تبغ معدلة وراثياً في العام 1983، وأول نبتة مقاومة للحشرات في العام 1985، وأول نبتة مقاومة لمبيدات الأعشاب في العام 1987.

الحبوب الثمينة

فرضت متوالية جينوم الأرز (أوريزا ساتيفا)، الحبوب التي تشكل قاعدة غذائية لنحو نصف البشرية، نفسها كأولوية. شكل هذا المشروع الذي أوشك على نهايته (تمّ تنظيم 95 % من الجينوم في كانون الأول/ ديسمبر من العام 2004)، موضوع حراك دولي شابه ما تُحدثه المسائل العلمية والاقتصادية. من ضمن الحبوب كافةً، يتمتع الأرز بأصغر جينوم (فجينوم القمح يفوق جينوم الأرز بأربعين مرة)، إلا أنه معقد كفاية. في العام 2002، وضع العلماء عددًا من المسودات الدقيقة لجينوم هذه النبتة. وبهذا، تمكن الباحثون من تحديد الجين المسؤول عن نضوج إزهار النبتة. أتاحت هذه المعرفة إنتاج أنواع معدلة وراثياً، تتأقلم بشكل أفضل مع المناخ والمرتفعات. من نوع معين من الحُبوب إلى نوع آخر، يمكن أن نقع علىَ مجموعات كبيرة من الجينات المتشابهة ذات الترتيب المتقارب. ويُشار إلى أنه بالإمكان تطبيق المعارف الناتجة عن تحليل الجينوم تحليلاً كاملاً على مختلف أنواع الحبوب، وتسمح بشكل خاص بتحسين نوعيتها الغذائية ونمو المحاصيل الزّراعية.

إثبات وجود جين (باللون الأزرق) بعد إدخاله في أرز معدل وراثياً.

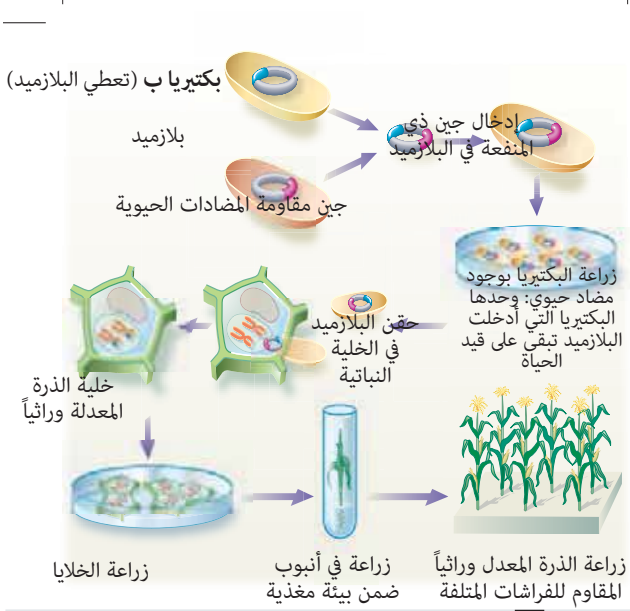
كيف ننتج كائنات معدلة وراثياً؟

إن الكائنات المعدلة وراثياً هي نتيجة أبحاث أُجريت في إطار التعديل الوراثي. تُستوحى هذه التقنية بالنسبة للنباتات من الخصائص الطبيعية التي تميز بكتيريا الأرض.

ما هي الكائنات المعدلة وراثياً؟

تشير هذه التسمية إلى الأجسام الحية، التي أُدرج فيها ، بشكل اصطناعي، جيناً غريباً يُعرف باسم جين ذي منفعة أو جين غريب. يقدم هذا الجين للجسم خاصية جديدة كالقدرة على مقاومة الطفيليات على سبيل المثال. ما إن يتم حقنه في المجموعة الجينية، ينتشر هذا الجين في مختلف خلايا الجسم المعدلة وراثياً، وبالتالي ينتقل إلى سلالته. رغم أن الأجسام المعدلة وراثيا تشمل النباتات وكذلك الحيوانات أو الأجسام الدقيقة، إلا أن مصطلح الأجسام المعدلة وراثياً المستعمل في الإعلام، يشير بشكل أساسي إلى النباتات التي خصصنا هذه الصفحات للحديث عنها.

مختلف مراحل إنتاج الذرة المقاوم للحشرات المتلفة



تقنية حصان طروادة

ثمة العديد من الطرق المستعملة لنقل جين أجنبي إلى نبتة معينة، إلا أن الطريقة الأفضل والأكثر استعمالاً، هي تلك التي تعتمد على الخصائص الطبيعية لبعض أنواع بكتيريا الأرض (أجروبكتيريوم– الأجرعية). تتمتع هذه الكائنات الدقيقة

تتمتع بكتيريا أكروبكتيروم طبيعياً بالقدرة على إدخال المادة الوراثية إلى الخلايا النباتية. أحياناً، تؤدي عملية الإدخال هذه إلى إصابة النبتة بسرطان نباتي (في الصورة نبتة الطماطم).

بالقدرة على نقل آلاف العناصر الصغيرة الوراثية، البلازميد، في نوى الخلايا النباتية الجريحة. من وقت لآخر، يندمج جزء من هذه البلازميد في مجموعة الخلية الوراثية، ما يؤدي إلى انقسام غير مراقب للخلية وتشكل الأورام. استفاد العلماء من هذه المزايا الطبيعية التي تتمتع بها البكتيريا الأجرعية، واستعملوها لنقل جين ذي منفعة إلى النباتات.

في الواقع، أدت هذه التقنية دور الجيش اليوناني مع حصان طروادة، الذي مكن الجنود المختبئين في داخله من غزو المدينة. تتجلى التقنية في إستئصال بلازميد البكتيريا المهاجمة، وإدخال الجين ذي المنفعة الذي يمكن نقله إلى النبتة، وإعادة إدخال البلازميد الذي تشكل داخل البكتيريا. عند زراعتها مع جزء من النسيج النباتي، تنقل البكتيريا، تماماً كما تفعل في الحالات الطبيعية، الجين الجديد إلى نواة الخلايا النباتية. لا يكون إدخال الجين في جينوم الخلايا النباتية منهجياً، إلا أنه يحدث بكثرة كفيلة بجعل هذه التقنية فعالة. وبهذا، تصبح الخلايا التي أدرجت الجين الجديد في جينومها معدلة وراثياً. عند زراعتها، تصبح قادرة على إعطاء نباتات كاملة معدلة وراثياً. منذ نجاح العملية في إنتاج أول نبتة تبغ معدلة وراثياً في العام 1983، لاقت هذه التقنية رواجاً. اليوم، يمكن تغيير الكائنات النباتية كلها تقريباً بفضل هذه التقنية، بما في ذلك الحبوب التي تُعتبر نباتات مقاومة طبيعياً للتحول عن طريق البكتيريا.

الوسائل الميكانيكية

ثمة تقنيات أخرى مستعملة لنقل الجين ذي المنفعة إلى النبات. نذكر منها تقنية البيوليستيك التي تقوم على تفجير الخلايا النباتية، بواسطة ميكروبيلات معدنية مغلفة بجين ذي منفعة. تخترق هذه الميكروبيلات، التي تتجه عن طريق القذف السريع، الخلية لتصل إلى النواة، حيث تتم عملية اندماج الجين ذي المنفعة العشوائية. ومن التقنيات الميكانيكية المستعملة، نذكر أيضاً تقنية التثقيب الكهربائي، التي تتجلى بتعريض الخلايا لحوافز كهربائية سريعة ولكن قوية، تحوّل غشاء الخلايا إلى غشاء ذي نفاية مؤقتة: فتستفيد جزيئيات الحمض النووي الريبي من ذلك، لتدخل إلى الخلايا وتندمج بجينومها.

فعالية متزايدة

تشهد تقنيات صناعة الأجسام المعدلة وراثياً المزيد من التطور. وبالتالي، يتوقع الباحثون التوصل إلى التحكم بشكل دقيق بالمكان، حيث يتم حقن الجين ذي المنفعة في جينوم النبتة المعنية. لا بدّ من أن تزيد هذه التطورات من فعالية هذه التقنية.

الأجسام المعدلة وراثياً: حالة الأماكن

تمثل الصويا والذرة والقطن وحدها 95 % من المساحات المزروعة بكميات كبيرة من النباتات المعدلة وراثياً، في حين تتقاسم ست دول أغلبية السوق.

الأجسام المعدلة وراثياً نحو المزيد من التوسع

تزداد المساحات المزروعة بالنباتات المعدلة وراثياً بسرعة كبيرة. خلال الفترة الممتدة بين العام 1996 و2006، ارتفعت هذه المساحة من نحو 1.7 مليون هكتار إلى 102 مليون هكتار (6.7 % من الأراضي المزروعة). تشمل الدول المنتجة الأساسية الولايات المتحدة (52.6 %)، الأرجنتين (17.6 %)، البرازيل (11.2 %)، كندا (6 %)، الهند والصين (كل منهما أقل من 4 %). أما الأنواع المزروعة فتقتصر بشكل أساسي على أربعة أنواع: الصويا 58 %، الذرة 24 %، القطن 13 % والكولزا 5 %. في العام 2007، وصلت المساحات المزروعة بالنباتات المعدلة وراثياً إلى 114 مليون هكتار في العالم، مسجلةً زيادة وصلت إلى 12 % بالمقارنة مع العام 2006.

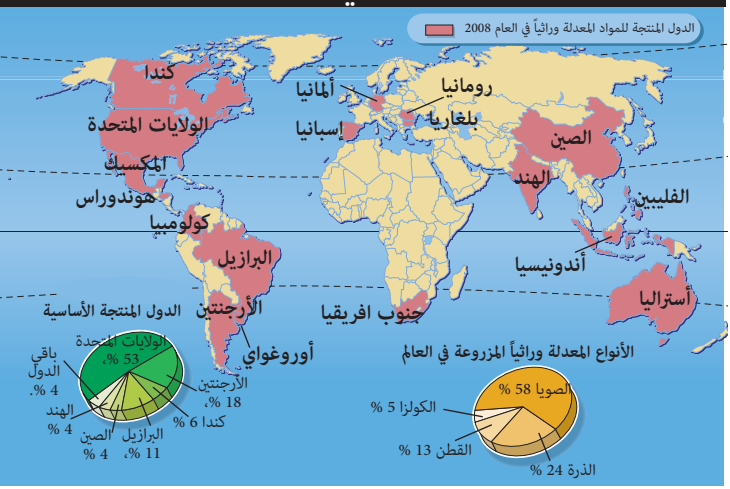
ميزات جديدة

تُستعمل النباتات المعدلة وراثياً بشكل أساسي لتغذية المواشي. في أغلب الأحيان (69 %)، يتيح الجين الغريب للنبتة المزروعة أن تتحمل مبيدات الأعشاب التي تقضي في المقابل على الأعشاب الضارة حولها. في حالات أخرى (19 %) يحمي الجين النبتة من الحشرات (تنتج هي بنفسها مبيداً للحشرات). أخيراً، تجمع بعض النباتات المعدلة وراثياً (13 %) ميزتين (التي تشهد أقوى معدل نمو: 30+ في السنة). تحمل النباتات التي تقاوم الحشرات جيناً ناتجاً عن بكتيرياً تُعرف باسم باسيلوس ثورينجينيس. يتيح هذا الجين إنتاج بروتين سام يقضي على يرقات الفراشات. هذا وقد تمكن العلماء من الحصول على فئات نباتية من نوعية باسيلوس ثورينجينيس: ذرة، قطن، أرز وبطاطس. وقد أريد من الذرة باسيلوس ثورينجينيس مكافحة الفراشة النارية التي قد تقضي يرقاتها على نحو 30 % من المحاصيل. أخيراً، يُعدل 1 % من النباتات لمقاومة العوامل المرضية كالفيروسات، الفطريات أو البكتيريا. تُعد هذه الأجسام المعدلة وراثياً (التبغ، الطماطم أو الخيار)، ثمرة الأبحاث التي أجريت على آليات الدفاع الطبيعية لدى النباتات

تتيح التجربة في الوسط الطبيعي دراسة ضخامة انتشار لقاح فئة معدلة وراثياً. (في الصورة الكولزا).

ضدّ العوامل المرضية؛ وتجلى الهدف المراد في منع انتشارها، من خلال تدمير الأنسجة القريبة من نقاط الهجوم عن طريق النخر. في المقابل، يميل الباحثون حالياً إلى شرح آليات تكيّف النباتات مع الظروف المناخية القصوى، بهدف إنتاج مجموعات متنوعة من الأجسام المعدلة وراثياً خلال أوقات الجفاف، الجليد وكذلك ملوحة التربة.

زراعة المواد المعدلة وراثياً في العالم



الوضع في أوروبا

في أوروبا، يُقصد بالنباتات المعدلة وراثياً تلك التي يتم دراستها بداية في البيوت البلاستيكية، في بيئة متاخمة. حين تتم الزراعة في العراء، يُصبح انتشارها أمراً محسوماً لا بدّ منه. تبدو التجارب في العراء، التي تتبع التجارب في البيوت البلاستيكية، ضرورية لتقييم المزايا التي من أجلها عمد العلماء إلى زراعة هذه النباتات المعدلة وراثياً، ولتحليل المخاطر المحتملة على البيئة. في حزيران/ يونيو 1999، علّقت أوروبا تجاربها في العراء، التي تقضي بزراعة النباتات المعدلة وراثياً وتسويقها. من جهتها، أوقفت فرنسا لمدة 3 سنوات التصاريح الجديدة كافةً التي تسمح بزراعة المواد المعدلة وراثياً. منذ العام 2002، جرى تطوير هذا القانون إلى حد كبير، وبات يتضمّن شروطاً ضيقة مانعاً استكمال التجارب. في العام 2003، تبنى البرلمان الأوروبي أحكاماً حول وسم المنتجات التي تحتوي على مواد معدلة وراثياً وتتبعها. في العام 2004، سمحت اللجنة الأوروبية للمرة الأولى منذ العام 1999 استيراد الذرة المعدلة وراثياً إلى الاتحاد الأوروبي. ولا بدّ من الإشارة إلى أن هذه الذرة التي لا يمكن زراعتها، قد طرحت للاستهلاك البشري خلال عشر سنوات.

إشراف عالي

خضعت الأبحاث التي أجريت على المواد المعدلة وراثياً لأحكام ضيقة جداً، شملت المراحل كافة: بدءاً من البحث في المختبر (حيث السرية تكون مطلوبة)، مروراً بمتطلبات الاختبار العملي، وصولاً إلى طرح النباتات المعدلة وراثياً في الأسواق، وتسجيل المنتجات المعدلة وراثياً في لائحة البذور الرسمية. قدّم عدد كبير من اللجان آراءً استندت إليها الوزارات المعنية (الأبحاث، الصحة، الزراعة، البيئة). إلى ذلك، يعتمد منح الترخيص للمنتجات المعدلة وراثية بدخول السوق، على المستوى الأوروبي بشكل كامل.

ما الفائدة من المواد المعدلة وراثياً؟

يفتح ظهور المواد المعدلة وراثياً آفاقاً واسعة في مجالات متعددة، لا سيما في البلدان النامية.

زيادة الإنتاج النباتي لإطعام البشر

يتيح إدخال الجين الذي يبطئ من بلوغ النباتات، المحافظة عليها ونقلها بشكل أفضل. يمكن المحافظة على الشمام المعدل وراثياً (إلى اليمين) لمدة تصل إلى 10 أيام على درجة حرارة تبلغ 25 درجة أكثر من الشمام الطبيعي (إلى اليسار).

يبلغ عدد سكان العالم الذين يعانون من سوء التغذية اليوم، حوالي ملياري نسمة. وفيما يُقدر أن يتضاعف التعداد السكاني العالمي بحلول العام 2050، وأن يشهد جنوب العالم 97 % من هذا النمو الديمغرافي، تُعد الإنتاجية الزراعية الضعيفة أحد الأسباب الأساسية لحالات الفقر وغياب الأمن الغذائي وسوء التغذية. فما السبيل إذاً لتأمين إنتاج زراعي كاف لإطعام البشر؟ تبدو زيادة المحاصيل الزراعية الحل الوحيد، ويبدو أن اللجوء إلى المواد المعدلة وراثياً هو الحل الأفضل المتاح الذي تفرضه هذه المشكلة الملحّة.

تقدم المواد المعدلة وراثياً إمكانية تحسين ظروف الزراعة، وقد اكتسبت بعض الأنواع الكبيرة القدرة على تحمل مبيدات الأعشاب ومقاومة الحشرات.

حالياً، تشمل التحديات الأساسية محاربة العوامل المرضية كالفيروسات التي، ورغم العلاجات المعتمدة على المبيدات الحشرية، لا تزال تؤثر بشكل ملحوظ على المحاصيل. يدرس الباحثون أيضاً آليات تكيّف النباتات مع العوائق المادية التي تطرحها البيئة، والتي تهدد 23 % من الأراضي المزروعة: الموارد المائية المحدودة، جفاف، جليد، ارتفاع ملوحة التربة بشكل تدريجي الناتج عن الري. لذلك فإن إنتاج هذه النباتات المقاومة لهذه الظروف يُعتبر مكسباً مهماً.

تحسين نوعية الأطعمة

تقدم تقنيات إنتاج المواد المعدلة وراثياً إمكانية زيادة نوعيات النباتات الغذائية. بهذا، يسعى العلماء إلى زيادة نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة (الضرورية للصحة)، في

النباتات التي يُستخرج منها الزيت. ويعملون على البطاطس التي يستطيع محتواها من النشويات امتصاص المواد الدهنية بمعدّل أقل؛ وعلى حبوب البن للتوصل إلى بن يحتوي على كميات قليلة من الكافيين. علاوةً على ذلك، يعمل العلماء على إغناء النباتات المختلفة بالفيتامينات ومضادات الأكسدة والمعادن.

في هذا الصدد، يُعتبر الأرز الذهبي أفضل مثال، فقد تمّ زيادة ما يحتويه من بيتاكاروتين الذي قد يتحول إلى فيتامين أ. وتمّ إنتاج هذه النبتة بهدف الحدّ من نقص فيتامين أ، المسؤول عن عدد من المشاكل البصرية الخطيرة التي تصيبُ، وفقاً لمنظمة الصحة العالمية، نحو مئة إلى مئتي مليون طفل في العالم. في العام 2005، التزمت وكالة سينجنتا التي طرحت هذا الأرز الذهبي، بتقديم بذور للمزارعين الذين يقل عائدهم السنوي عن 10 آلاف دولار.

إعلان في العراء يمدح مزايا بذار الصويا المعدلة وراثياً المزروعة في الأرجنتين. تمثل الصويا 61 % من المواد المعدلة وراثياً المزروعة في العالم.

النباتات: مصدر للأدوية

يُصنع ربع الأدوية تقريباً من النباتات: فيتامينات متنوعة، مسكنات كالأسبيرين والمورفين. تتيح التقنيات الحيوية النباتية تغيير النباتات بهدف استعمالها في صناعة مواد علاجية: لقاحات، أجسام مضادة، عوامل نمو، مضادات التخثر، هيموغلوبين... فعلى سبيل المثال، أتاحت تقنيات التعديل الوراثي إنشاء نوعية من التبغ تنتج شعيرات أوراقها التاكسول، وهو دواء يُستعمل في علاج بعض الأورام البشرية: يُعد هذا الإنتاج، الاقتصادي بسبب النمو السريع للتبغ، مفيداً للبيئة، لأنه يتيح حماية شجرة السرو التي تعتبر قشرتها مصدراً طبيعياً للذرة.

أجمل، أطول

تستطيع التعديلات الوراثية منح الجدار الخلوي القدرة على مقاومة التدهور بسبب تليين الفاكهة. علاوةً على ذلك، يمكنها أن تتدخل في عملية البلوغ. فنضوج النباتات بشكلٍ أبطأ، يساعد على الحصول على محصول متأخر، ما يزيد من النوعية الذوقية والغذائية للفاكهة التي استفادت من تعرضها لوقت طويل للشمس.

بالإضافة إلى ذلك، تتحمل الطماطم والشمام الأكثر قساوة النقل، وتحافظ لفترة طويلة على شكلها الجميل على رفوف المحال التجارية.

مخاطر المواد المعدلة وراثياً

تثير المواد المعدلة وراثياً الكثير من المخاوف. ولا يُخفى حق المستهلكين بالشعور بالقلق إزاء هذه النوعية من المواد؛ وحده التقييم العلمي للمخاطر يمكنه أن يبدد هذه المخاوف.

نقل الجينات، اختراع الطبيعة

تثير المواد المعدلة وراثياً الكثير من المخاوف، وقد عمد البعض إلى تشويه صورتها لصالح ما أطلق عليه اسم النباتات الطبيعية، متناسين حقيقة أن الطبيعةَ هي نفسها التي تنجز عملية التزاوج بين النباتات وبالتالي نقل الجينات، ما يؤدي إلى إنشاء نوعيات جديدة من النباتات. تشكل هذه الظاهرة الجديدة في المقابل، أحد محركات تطور أنواع جديدة. غير ذلك، منذ العصر الحجري الحديث، لم يتوقف المزارعون عن تدجين أنواع نباتية، في البداية بشكل تجريبي عبر المراقبة البسيطة، ثم بطريقة علمية عن طريقَ إحداث تلقيح بين نبتتين من نوعيتين مختلفتين. من الواضح أن هذه التزاوجات، التي تلاها اختيار صارم، أدت إلى تعديل ميزات النباتات الأصلية البرية تعديلاً عميقاً.

إذاً، تشكل الحبوب التي تُعتبر اليوم أساس الغذاء العالمي موضوع اختيار منذ آلاف السنين: عشرة آلاف عام بالنسبة للأرز في بلاد ما بين النهرين والصين، سبعة آلاف عام بالنسبة للذرة في المكسيك، أربعة آلاف عام بالنسبة للسرغوم في أفريقيا. إن عملية الاختيار عملية طويلة، لأنها تنطوي على التكاثر الجنسي عن طريق تزاوج نوعين متشابهين أو مختلفين. يتيح التلاعب الجيني أو الهندسة الوراثية تخطي هذه المرحلة الطبيعية، واختصار الوقت للحصول على نوعية جديدة.

معجم

التزاوج: تكاثر جنسي بين نوعين مختلفين (تعرف أيضاً باسم التلاقح).

الانتقاء: في الهندسة الزراعية، اختيار الأفراد المنتجين الذين تتيح نوعيتهم أو ميزاتهم تحسين الفصيلة.

تتيح الأبحاث التي أجريت حول النباتات الحصول على نوعيات ممتازة، هذه هي حالة الذرة (نبتة برية أصلاً إلى اليمين).

تطور المخاطر لكل حالة بحالتها

تشمل المخاوف المشار إليها تأثير المواد المعدلة جينياً على صحة المستهلكين، وكذلك على البيئة. في الحقيقة، تبدو هذه

المخاوف محقة إلى حد ما، وبرغم أن الشكوك متعددة، يبقى تقييم المخاطر في مقابل الفوائد أمراً معقداً. في العام 2008، حركت فرنسا أمام الاتحاد الأوروبي بند الحماية، ومنعت منعاً باتاً الذرة مونزانتو 810 (التي كانت حتى ذلك الوقت الذرة الوحيدة المعدلة وراثياً المزروعة). أما في ما يتعلق بتقييم المخاطر التي تهدد البيئة، وحدها الزراعات المعدلة وراثياً التي تتم في العراء هي القادرة على تقديم عناصر الأجابة. إلا أن تفسير نتائج هذه الاختبارات لا يزال صعباً، لأنها تعتمد على ظروف التجربة التي نُفذت في بيئة معينة، وفي ظل شروط مناخية خاصة (حرارة، رياح، إزهار). رغم الحدود التي تحكمها، تبقى الاختبارات التي تقام في العراء أمراً ضرورياً، لتحديد معدل انتشار الجينات في البيئة، ولملاحظة حالة تلقيح النباتات البرية باللقاحات المعدلة وراثياً.

النثر والتزاوج

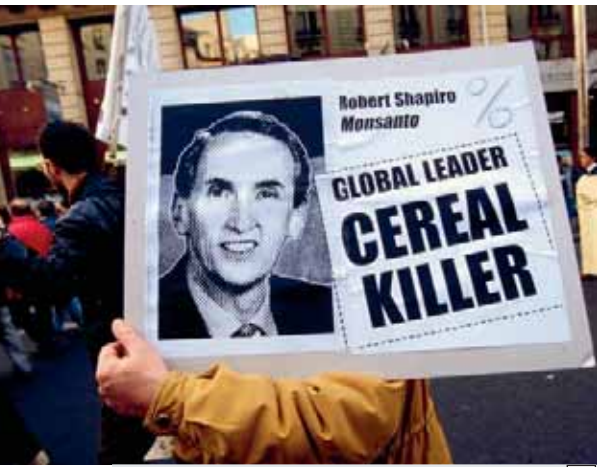
أجريت دراسات حول إنتشار الحبوب أو اللقاحات الناتجة عن نباتات معدلة وراثياً في المحيط. وقد تبين بالنسبة للذرة، أن سياجاً بسيطاً لا يتعدى ارتفاعه بضعة أمتار كفيل بمنع انتشار اللقاح.

في المقابل، ينتشر الكولزا بشكل محدود مع معدل تلوث في الجو يقل عن 1 %. إن إمكانية التزاوج بين النباتات المعدلة وراثياً وتلك غير المعدلة، تختلف وفقاً للأنواع النباتية وللنظام البيئي. في الحقيقة، لا تكون النباتات المعدلة وراثياً قابلةً للتزاوج إلا مع النباتات البرية المشابهة والمتواجدة على مقربة منها.

في أوروباً على سبيل المثال، لا يخشى الباحثون أمر التزاوج إلا بين بعض الأنواع كالكولزا الذي ينتمي إلى فئة

احتكار مقلق

يخضع تسويق المنتجات المعدلة وراثياً لإشراف بضع شركات زراعية كيميائية كبرى، عمدت إلى شراء شركات التقنيات الحيوية ثم شركات البذر، وحالياً الشركات الغذائية الزراعية. يسيطر عدد من المجموعات المتعددة الجنسيات والقوية جداً على تجارة الحبوب، وتحتكر 70 % من شهادات اختراع المواد المعدلة وراثياً. الأهم بين كل هذه الشركات والمجموعات، هي شركة مونزانتو الأمريكية التي تنتج نحو 90 % من البذور المعدلة جينياً. تشرف هذه الشركة على تسويق مبيد الأعشاب الشهير Roundup الأكثر مبيعاً حول العالم. أمام هذه الشركات التي تنتج في الوقت عينه البذور والمبيدات الحشرية، يتساءل عدد من المزارعين حول استقلاليتهم الاقتصادية الحقيقية. هل ستتحول الجينات إلى مادة أولية أهم وأثمن من البترول؟



مظاهرة معارضي منظمة التجارة العالمية ضد مدير عام شركة مونزانتو الأمريكية، التي تنتج 90 % من البذور المعدلة جينياً.

النباتات الصليبية التي تشمل أنواعاً متعددة مزروعة (كالملفوف والخردل واللفت)، وبرية من أصل محلي.
في المقابل، يختفي الخطر الذي يهدد النباتات الاستوائية كالذرة والبطاطس والطماطم، التي لا مثيل بري لها في النظام البيئي الأوروبي.
حصل العلماء على هذه المعطيات، الضرورية لتقييم المخاطر البيئية، بفضل التجارب التي قاموا بإجرائها في العراء؛ إلا أن قلع النباتات المبكر أدى إلى قطع منهجي لهذه التجارب.

معجم

المعدلة وراثياً: تُقال عن الأجسام التي تم تعديل جينومها عن طريق إدخال جين جديد فيه.
التتبع: إمكانية تتبع منتج في مختلف مراحل الإنتاج والنقل والتسويق.

هل من مخاطر تهدد الحشرات؟

لحماية نفسها من الحشرات، تفرز النباتات المعدلة وراثياً أنواعاً من السموم قد تؤدي، على المدى الطويل، إلى اختفاء الحشرات المقاومة لهذه المادة، حتى أن البعض يشك في إمكانية استعادة الفراشة النارية لقدرتها على مقاومة سم باسيلوس ثورينجينيس، الذي تفرزه الذرة المعدلة وراثياً. رغم عدم تأكيد هذه الظاهرة لدى الفراشة النارية حتى الآن، إلا أن العلماء لاحظوها في الولايات المتحدة على دودة الورد التي تقضي على القطن.

محصول الصويا المعدل وراثياً المقاوم للمبيدات الحشرية الأكثر استعمالاً في العالم، Roundup، الذي تنتجه شركة موزانتو الأمريكية.

هل يمكن أن تتأثر بعض الحشرات غير المضرة بنمو النباتات المعدلة وراثياً؟ في الولايات المتحدة، أشار العلماء، من دون أي دليل، إلى أن الفراشة الملكة الجميلة المتعددة الألوان، ذهبت ضحية السم المضاد للحشرات، الذي تفرزه الذرة المعدلة وراثياً. كذلك، في بريطانيا، عثر على لقاح دوار الشمس المعدل وراثياً (المبيد للحشرات) في قفير النحل على بعد بضعة كيلومترات. في الواقع، ألقت هذه المعلومات المنذرة بالخطر، الشك في نفوس المستهلكين، وزادت من مخاوفهم إزاء المنتجات المعدلة وراثياً في الولايات المتحدة وفي أوروبا بشكل خاص.

أثر المواد المعدلة وراثياً على الصحة

تشير التقارير الصادرة في ديسمبر/ كانون الأول من العام 2002 عن أكاديمية الطب في فرنسا، إلى أن تأثير المواد المعدلة وراثياً على صحة الإنسان تبقى محدودة. منذ العام 1996، لم يثبت العلماء أي تهديد معين في الدول التي تعمد إلى زراعة النباتات المعدلة وراثياً على نطاق واسع.

ولكن الاستطلاعات تشير إلى أن أغلبية الأشخاص يرفضون استهلاك المواد المعدلة وراثياً، مع العلم أن خطر الإصابة بالحساسية، وهو ما يتحدث عنه الناس غالباً، لا يكون أعلى عند استهلاك المنتجات المعدلة وراثياً، عما هو عليه عند استهلاك مواد أخرى. استناداً إلى أبحاث أجريت في الثمانينيات، اتضح وجود خطر ضئيل بالتلوث، يشمل نباتات الذرة المعدلة وراثياً، التي تحتوي على جين مقاوم للمضادات الحيوية: في تلك الفترة أقر العلماء بوجود خطر تلوث بكتيريا القناة الهضمية بهذا الجين.

علبة صلصة الطماطم المعدة من طماطم معدلة وراثياً. تمّ تسويق أول حبة طماطم (فلافر) ناتجة عن تأخير النضوج في العام 1994.

كيف يمكن اكتشاف وجود المواد المعدلة وراثياً؟

عند الحصاد، لا يتم التفريق بين النباتات المعدلة وراثياً عن النباتات الطبيعية، ما يجعل متابعة المواد المعدلة أمراً مستحيلاً. وحدها أبحاث الحمض النووي الريبي المعدل وراثياً في المأكولات، يسمح بتحديد وجودها من عدمه. في الحقيقة، يبدو اكتشاف وجود هذه المواد أمراً بسيطاً وسهلاً في ما يتعلق بالمنتجات في بداية السلسلة (البذور، الطحين، النشويات...)، إلا أنه يصبح صعباً، لا بل مستحيلاً، في نهاية سلسلة الإنتاج وفي المنتجات النهائية (زيوت، سكر، أطباق جاهزة). إلى ذلك، تؤدي إجراءات الكشف المتبعة إلى تغيير طبيعة الحمض النووي الموجود في المأكولات، وتقضي عليه أحياناً.

عمد بعض المدافعين عن البيئة، والمناهضين بشدة للمواد المعدلة وراثياً، إلى قلع النباتات المعدلة وراثياً، الأمر الذي منع الباحثين من دراسة مخاطر انتشار لقاحها في المحيط، دراسة علمية.

رغم أن احتمال التلوث يبقى ضئيلاً، إلا أن إرشادات أوروبية تكهنت، وحتى العام 2005، بمنع هذه المواد المقاومة للمضادات الحيوية منعاً باتاً. إذاً، لا يشمل هذا الخطر النباتات المعدلة وراثياً المسموح تناولها حالياً.

في المقابل، لا بدّ أن نقر، أننا نجهل اليوم أثر السموم التي تفرزها النباتات المبيدة للحشرات على الجسم، على المدى الطويل.

أنظمة مختلفة

في تموز/ يوليو 2003، تبنى البرلمان الأوروبي تدابيراً تقضي بمتابعة النباتات المعدلة جينياً ومشتقاتها (طحين، زيوت...) بعناية، لا سيما تلك التي تدخل ضمن تغذية البشر والحيوان (أحد الصور الأكثر استعمالاً من "المزرعة إلى المائدة). هذا ما نطلق عليه اسم تتبع الأغذية. بهذا، يتعين على مصنعي المنتجات التي تحتوي على مواد معدلة وراثياً بنسبة تزيد عن 0.9 %، أن يذكروا ذلك على الغلاف الخارجي لمنتجاتهم. في هذا الإطار، فرضت السلطات

تحليل عينات من لقاح دوار الشمس المعالج بمبيد للحشرات، بهدف تقييم الخطر السمي الذي قد يهدد النحل، الذي يمتص رحيق أزهار هذه النبتة.

الأوروبية تدابيراً أخرى، تتيح تأمين تتبع المواد المعدلة وراثياً بشكل دقيق، بدءاً من الحبوب أو البذور وصولاً إلى المنتجات المباعة. إلا أن تطبيق هذه التدابير وتنفيذها يتطلب وضع وسائل موثوق بها موضع التنفيذ. في نيسان/ أبريل 2004، دخل تنظيم مجتمعي حيّز التنفيذ، يقضي بفرض موسم المنتجات التي تحتوي على مواد معدلة وراثياً، المخصصة لتغذية البشر أو الحيوانات. هذا الإجراء لم يشمل المنتجات التي تحتوي على مواد معدلة وراثياً فقط، بل أيضاً تلك التي تمّ تطويرها عن طريق مواد معدلة وراثياً، حتى وإن لم يتم الكشف عن أي أثر لهذه المواد في المنتج النهائي.

خارج الاتحاد الأوروبي، تفرض بعض الدول كأستراليا ونيوزيلندا، وضع علامات على الأغذية والفاكهة والخضار التي تحتوي على موادٍ معدلة وراثيا. في الولايات المتحدة وكندا، تنظر السلطات المختصة إلى المواد المعدلة وراثياً، بالطريقة عينها التي تنظر فيها إلى المنتجات التي نمت بالطريقة التقليدية، فتُخضعها للتدابير عينها، ولا تفرض بالتالي وضع أية علامة على المنتجات التي تحتوي مواد معدلة وراثيا. في المقابل، في حال شكل طرح منتج معين (سواء معدلاً وراثياً أم لا)، أي خطر على الصحة بفعل مكوناته أو بفعل وجود مواد تثير الحساسية، يصبح وضع علامة تشير إلى ذلك أمراً إلزامياً. أما المكسيك فتعتمد المبدأ المتبع في أمريكا الشمالية.

الفشل كان دائماً هو القاعدة، فيما النجاح كان قاعدة استثنائية، حين يدور الحديث حول استنساخ الحيوان. أما ولادة النعجة دوللي، فالأمر حصل جراء إقدام تقني حقيقي! مذاك، ورغم كلّ شيء، لم تتوقف عائلة الحيوانات المستنسخة الصغيرة عن ضم أفراد جدد إليها، بدءاً من البقرة وصولاً إلى القطة. بعيداً عن الأسئلة التجارية، يفتح الاستنساخ آفاق هامة لحماية التنوع الحيوي، المحافظة على الأنواع المهددة، وإنتاج حيوانات معدلة وراثياً تُستخدم كنماذج لمعالجة أمراضنا، ولتشكل مصدراً للأدوية والأعضاء لخدمة البشر.

النعجة المستنسخة دوللي، وقد أصبحت نجمة حقيقية يلاحقها صيادو صور المشاهير من العالم أجمع.

حيوانات مستنسخة

لمحة عن الاستنساخ

في الخمسينيات، فتحت الدراسات التي أجريت على بعض آليات تطور الأجسام الحية (تمايز الخلايا)، المجال أمام استنساخ الحيوان.

لغز تخصص الخلايا

ما الذي حصل على مدى مراحل التطور الجنيني؟ وما هي الآليات التي نقلت الخلية من حالتها الأولية إلى الخلية البيضة ثم الخلايا المتخصصة (خلايا عصبية، خلايا الدم، الخلايا العضلية...)؟ تستطيع الخلية البيضة أن تعطي جسماً حياً كاملاً (فهي مكتملة النمو). مع نمو الجنين، تنخرط الخلايا في عملية تمايز، تحثها على التخصص تدريجياً إلى حين فقدان قابليتها للتطريق؛ فتصبح غير قادرة وحدها على إنتاج جسم حي كامل، خلافاً لكل الخلايا الأولى التي تؤلف البيضة. مع ذلك، فإنها تحتفظ بالقدرة على إنتاج أغلبية الخلايا في الجسم الحي. تُعرف هذه الخلايا بالخلايا المتوافرة القدرة. أخيراً، في الجسم البشري، تكون الخلايا جميعها متمايزة، ولا يمكن للواحدة منها أن تقوم إلا بعدد محدود من الوظائف. ولكن ما الفائدة من الجينات التي لا تكون ضرورية لعمل الخلية المتخصصة. هل يتم التخلص منها تماماً أم تبقى في حالتها غير الفاعلة؟ يعتقد عالم الأحياء الألماني أوغست ويزمان (1834 – 1914)، أحد مؤسسي علم الوراثة، أن الجينات غير المستعملة تضيع في مختلف خلايا الجسم، باستثناء الخلايا الجنسية التي تنتج المشيج (البويضة أو المني). ولكن ما أمرها بالضبط؟

جنين بشري مؤلف من 4 خلايا، 40 دقيقة بعد تلقيح البويضة من قبل الحيوان المنوي. في هذه المرحلة، تكون الخلايا مكتملة النمو، أي قادرة على تكوين كائن بشري.

الاستنساخ، وسيلة لفهم الكائنات الحية

للإجابة على هذا السؤال الأساسي، أجرت الشركات في الخمسينيات أولى تجارب الاستنساخ. لإثبات نظرية ويزمان، عمد العلماء، وقبل التلقيح، إلى زراعة نواة الخلية المتمايزة في بويضة سبق أن استأصلوا نواتها. لو حصلنا بهذه الطريقة على جسم بالغ، سنتوصل إلى إثبات أن جينوم الخلية المتمايزة، لم يشهد أي تغيير، لا سيما وأنه يحتفظ بقدرته على توجيه النمو الجنيني حتى ولادة الفرد كاملاً.

تمت التجارب الأولى في البداية على البرمائيات: نجح الباحثان الأمريكيان روبيرت بريغز وتوماس كينغ في استنساخ أول ضفدعة أمريكية شمالية نمرية، في العام 1952. بعد نقل نواة الخلايا الجنينية في البويضات التي سبق وتم نزع مادتها الجينية، حصل العالمان في نهاية المطاف على فرخي ضفدع. لكن، ومع متابعة التجارب بالاعتماد هذه المرة على

معجم

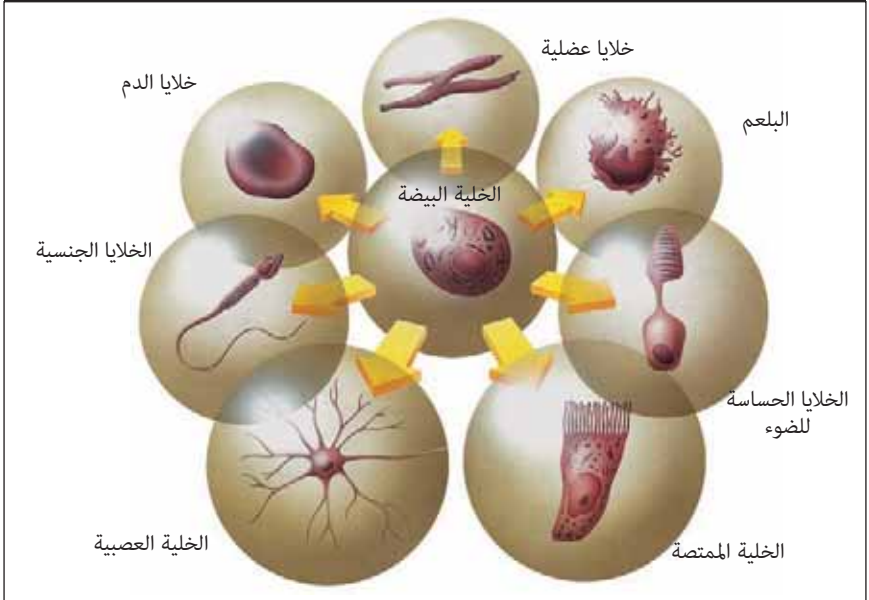
مكتملة النمو: تمتلك القدرة على تكوين كائن كامل.

خلايا متمايزة، لم يتوصلا إلى أية أجسام حية. وبهذا، بدت النتائج التي توصلا إليها، داعمةً لنظرية ويزمان، القائلة بفقدان الجينات في الخلايا المتمايزة في الجسم.

علجوم ضفدع لإثبات الأمر

في العام 1962، أنجز فريق عمل بريطاني يديره جون غوردون، خطوة جديدة على درب استنساخ حيوان برمائي آخر بنجاح، علجوم الضفدع الجنوب أفريقي، ليس عن طريق الخلايا الجنينية، إنما عن طريق الخلايا البالغة (الخلايا المعوية). أظهرت هذه التجربة للمرة الأولى، أن نواة الخلية المتمايزة، تستطيع أن تستعيد ميزتها كخلية مكتملة النمو، عند وضعها داخل بويضة. وتنفي من ناحية أخرى نفياً قاطعاً نظرية ويزمان: لا تختلف الخلايا المتمايزة لأنها تفقد مادتها الجينية، إنما لأنها تضع موضع التنفيذ برنامجا يحوّل بعض الجينات إلى جينات فاعلة، وبعضها الآخر إلى جينات غير فاعلة. غير ذلك، يمكن قلب العملية، بمعنى أنه بإمكان العلماء إعادة تنشيط النواة لتعود إلى حالتها الجنينية، ولتنتج مجموعة كاملة من الأنسجة التي تؤلف الكائن البالغ.

أمثلة عن الخلايا المتخصصة



على مدى نمو الجنين، تتمايز الخلايا لتشكل الأنسجة المختصة بوظيفة معينة (خلايا عصبية، عضلية، دم...). يمر تمايز الخلية بتعطيل بعض الجينات.

كيف يُستنسخ الكائن الحي؟

ثمة تقنيات عديدة لتكوين الثدييات المتطابقة جينياً، وتستعمل جميعها خاصية تجديد الخلايا، الأجنة أو النوى.

من البرمائيات إلى الثدييات

شكّل استنساخ الثدييات مغامرة معقدة أكثر من استنساخ البرمائيات: على الصعيد التقني على سبيل المثال، تكون بويضات الثدييات أكبر بآلاف المرات! نجح عدد من التجارب: فقد توصلنا على سبيل المثال إلى تكوين توائم، عن طريق قطع الجنين، أو إلى نقل الخلايا الجنينية لدى عددٍ من الأنواع (الغنم، الثيران). أظهرت هذه التجارب إمكانية استنساخ الثدييات.

استنساخ أول ثماني خلايا جنينية

تستند إحدى تقنيات الاستنساخ على خصائص الخلية الجنينية الأولى، وعلى خصائص الخلايا الناتجة عن الانقسامات الأولى التي شهدتها البيضة. بعد ثلاثة انقسامات خلوية، يكون الجنين مؤلفاً من ثماني خلايا مكتملة النمو: تتمتع كلٌ منها بالقدرة على التطور لتتحول إلى جنين كامل. تتجلى التقنية بتفريق هذه الخلايا المختلفة، وزراعتها في الوقت الذي تتم فيه عمليات الانقسام، قبل إعادة زرعها في رحم الأمهات المتلقيات. نحصل إذاً على أجنة بقدر ما نحصل على خلايا مزروعة. تشكل هذه الأجنة كائنات مستنسخة، تمتلك جميعها المجموعة الجينية عينها، لأنها تنبثق عن الخلية البيضة الأصلية، التي تنقسم بدورها لاحقاً إلى ثماني خلايا متشابهة. أتاحت تقنية الاستنساخ هذه إمكانية الحصول على توائم لدى الخراف والأبقار والأحصنة.

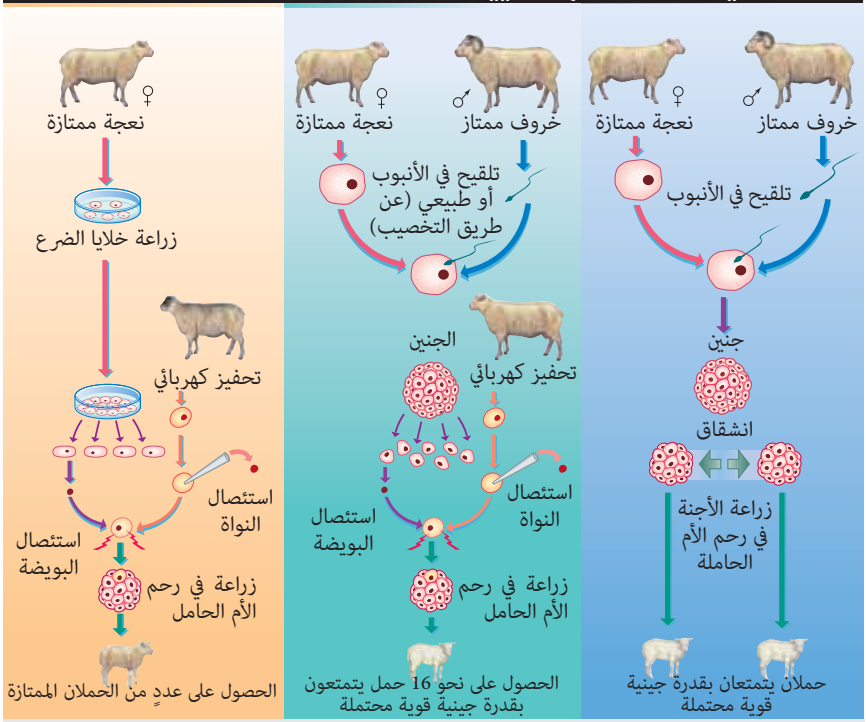
الاستنساخ، نوع من الخداع

خلافاً لخلايا الجسم الأخرى، لا تحتوي الخلايا الجنسية، البويضات والحيوانات المنوية، إلا على نسخة واحدة من كل جين. يسمح التلقيح الطبيعي عند اندماج نوى البويضة والحيوان المنوي، بإعادة تشكيل خلية تحتوي في نواتها على النموذجين الأبويين لكل جين. إنها الخلية البيضة. من هذا الجنين المبكر تنشأ كل خلايا الجسم البالغ، التي تتوزع بين الخلايا الجسدية (الأغلبية العظمى) والخلايا الجنسية. تعيد تقنية الاستنساخ عن طريق نقل النواة في شكل اصطناعي، الجنين عبر استدراج البويضة: فيتم استئصال نواتها واستبدالها بنواة خلية تحتوي مجموعة وراثية كاملة، مستأصلة من جنين أو جسم بالغ. إذاً يحمل الجنين المعاد تشكيله (أي الكائن البالغ المستقبلي) المجموعة الوراثية عينها التي تحملها الخلية التي منها خرجت النواة.

انشقاق الجنين

ترمي تقنية استنساخ أخرى إلى تقليد عملية تكوّن التوائم الصحيحة الطبيعية، الناتجة عن انقسام غير متوقع للجنين، أثناء الأيام الأولى من النمو. تحصل هذه الظاهرة عفوياً لدى الكائنات البشرية، ولكن بنسبة قليلة وثابتة لدى مختلف الشعوب (نحو 4 لكلّ ألف ولادة). هنا أيضاً، تُعتمد خاصية النمو المكتمل التي

ثلاث تقنيات لاستنساخ الثدييات



يلخص هذا الرسم تقنيات الاستنساخ الثلاثة: انشقاق الجنين، نقل الخلايا غير المتمايزة، نقل نواة الخلية المتمايزة (التقنية التي أدت إلى ولادة النعجة دوللي).

تميّز الجنين. تقضي التقنية بقطع الجنين البالغ من العمر 5 إلى 6 أيام (في مرحلة التوتة) إلى جزأين متساويين، يمتلك كلٌ منهما القدرة على تكوين كائن جديد. يتمّ زراعة نصفي الجنين المتشابهين على الصعيد الجيني، في رحم الأنثى الحامل ليتابع كل منهما نموه.

تتمّ هذه العملية في شكل ممتاز لدى حيوانات المزرعة من خراف وثيران. إلا أنها محدودة، إذ لا تسمح بالحصول على أكثر من توأمين.

الاستنساخ عن طريق نقل النواة

طبق العلماء هذه التقنية للمرة الأولى على الضفدعة في العام 1952، وقد تمكنوا بعد ذلك من تطبيقها بنجاح على الثدييات في العام 1986.

معجم

الخلايا غير المتمايزة، قسيم أرومي: خلية مكتملة النمو ناتجة عن الانقسامات الأولى التي شهدتها البيضة الملقحة، القادرة وحدها دون سواها على إعادة تشكيل جسم كامل.

التوتة: أولى مراحل نمو الجنين الذي يضم ثماني خلايا.

صورة حقن خلية جنينية (أو خلايا تَشَطُّرِيَّة) تعود لخروف في بويضة منزوعة النواة. تؤدي هذه التقنية التي تعتمد على نقل الخلايا التَشَطُّرِيَّة إلى ولادة أفراد متشابهين جينياً.

يتطلب الاستنساخ عن طريق نقل النواة استعمال خليتين: خلية تمنح النواة وخلية تستقبله – خلية غير ملقحة بعد فترة قصيرة من الإباضة. من جهة، يتم فصل الخلايا الأولى (خلايا تَشَطُّرِيّة) لدى الجنين الناتجً عن تكاثر جنسي، ويتم زراعتها لبضعة أيام في بيئة مغذية. من نَاحية أخرى، يتم استئصال بويضات غير ملقحة منزوعة النواة من حيوان من الفئة عينها. يقضي النقل بإدخال نواة كل خلية تَشَطُّرِيّة في البويضات المنزوعة النواة. يمكن حقن النوى وحدها مباشرةً في البويضة المنزوعة النواة، ولكن غالباً ما يتم حقن الخلايا التَشَطُّرِيّة كاملةً. تندمج الخليتان بفعل تحفيز كهربائي، يُطلق، في الوقت عينه، النمو الجنيني. تساهم هذه العملية التي تُكرر لكل خلية تَشَطُّرِيّة في الحصول على عدد من الأجنة المعاد تشكيلها. تُزرع هذه الأخيرة لبضعة أيام في الأنبوب إلى أن تصل إلى مرحلة الأريمة (التي تتألف من مئات الخلايا)، ثم تُزرع في رحم المرأة المستقبلة. ولما كانت ناتجة عن خلايا تتسم بالمجموعة الوراثية عينها، تشكل الأجنة المختلفة المعاد تشكيلها كائناً مستنسخاً.

استعمل العلماء هذه التقنية لاستنساخ عدد كبير من الأنواع: البقرة منذ العام 1987، ثم النعجة، الأرنب، العنزة والقرد. يُعتبر استنساخ هذه الحيوانات، لغايات تجريبية، مهم جداً لتحديد وتحليل ميزات النمو غير المحددة وراثياً. إن مردود هذه التقنية ضعيف، ونادراً ما يتخطى عدد الحيوانات المستنسخة الخمس حيوانات.

معجم

الأرومة: مرحلة من مراحل نمو الجنين تتبع مرحلة التوتة، وتتسم بوجود برعم جنيني (المضغة مستقبلاً) مع خلايا متمايزة. في هذه المرحلة، يستقر الجنين في الرحم أثناء التعشيش.

الخلايا الجسدية: نعني بها الخلايا التي لا تتكاثر.

استنساخ الخلايا غير الجنسية

ولدت النعجة دوللي أيضاً نتيجة نقل النواة ، بطريقة مشابهة تماماً لتلك التي أشرنا إليها سابقاً. أما تميّز دوللي فيُعزى إلى أنها نتجت عن نواة خلية جسم (خلية جسدية) بالغة، وليس عن نواة خلية جنينية كما سبق وأتينا على وصفه أعلاه. لكن هذه الخلية متمايزة، أي أنها متخصصة في وظيفة معينة (خلية دم، خلية بنكرياس...). في حالة دوللي، كانت الخلية المستعملة خلية مستأصلة من الضرع. باتت هذه التقنية الأداة الاستثنائية لدراسة آليات التمايز الخلوي والنمو الجنيني الأساسية.

دوللي هي الحيوان الثديي الأول المستنسخ عن حيوان بالغ: إنها تحمل المجموعة الوراثية نفسها التي تحملها النعجة التي تبلغ من العمر ستة أعوام، والتي أعطت النواة لإتمام عملية النقل. بعيداً عن أية عملية جنسية، دوللي هي نسخة (على صعيد الجينوم) من حيوان سابق. في المقابل، لم تفصح الجهات الباحثة عن أية معلومات تتعلّق بالتوائم التي وُلدت من خلايا مستمدة من الجنين عينه. في الحقيقة، يُعد الجنين الأصل نتيجة آلية جنسية أدّت إلى التنوع الوراثي.

صورة خلايا متمايزة للبنكرياس، عضو ينتج العصارة الهضمية.

النعجة الأشهر حول العالم

عبر اسم دوللي الكرة الأرضية، وهزت عملية استنساخها الرأي العام وأوساط الباحثين. في الحقيقة، لم يكف الناس حتى الآن عن الحديث عن هذه النعجة.

أخبار مذهلة

وُلدت النعجة دوللي في الخامس من تموز/ يوليو من العام 1997 في معهد روزلين، في اسكتلندا. وأعلن الباحثون المسؤولون خبر ولادتها في 23 شباط/ فبراير 1997، لتجول صورة أول حيوان ثديي مستنسخ بالغ، الشبيه ظاهرياً لأي نعجة أخرى على هذا الكوكب. شكلت دوللي حدثاً فريداً، لأنها وُلدت من خلية متمايزة بالغة، مستأصلة من ضرع نعجة تبلغ من العمر ستة أعوام. بعبارة أخرى، دوللي هي الحيوان الثديي الأول الذي ولد من دونً عملية تلقيح، دوللي هي نسخة دقيقة نوعاً ما لكائن آخر موجود أصلاً. وُلدت دوللي من بويضة لم تمر عليها خلية جنسية ذكورية، فلا جديد أو تنوع تحمله. أحدثت ولادة دوللي ضجة كبيرة، لأنها أشارت إلى إمكانية الحصول على كائن حيّ بطريقة تتجاوز التكاثر الجنسي. وسرعان ما أثار تطبيق هذه التقنية على الكائنات البشرية، مخاوف كبيرة لدى الرأي العام، وأيقظ خيال استنساخ الكائنات البشرية.

بطولة تقنية

مع ولادة النعجة المستنسخة دوللي، تمكن فريق العمل الذي يديره الباحث إيان ويلموت من تحقيق بطولة تقنية. في الواقع، نجح فريق العمل للمرة الأولى بتخطي العوائق الكبيرة التي تواجه هذا النوع من التجارب: ضرورة الحصول على نواة خلية غير جنسية منقولة، لتتأقلم مع البويضة المستقبلة، ودمج الإشارات التي ترسلها هذه الأخيرة. بعد النجاح الذي تحقق بولادة دوللي، لوحظ أن هذا النوع من النقل، مع حقيقة أن الخليتين المندمجتين ظهرتا في مراحل مختلفة، أدى إلى نسخ الحمض النووي الريبي نسخاً متماثلاً، ثم إلى انقسام خلوي فوضوي مع توزع الكروموزومات بشكل غير متساوٍ بين الخلايا الأنثى. غالباً ما ينشأ توقف النمو الجنيني. إن الخدعة التي لجأ إليها ويلموت تجلت في زراعة الخلايا غير الجنسية في المحيط الغذائي الفقير قبل استكمال نقل النواة. في هذه الظروف، كانت الخلايا هادئة، مشيرة إلى توقف الانقسام الخلوي. حسّن نقلها بهذه الحالة التزامن بين

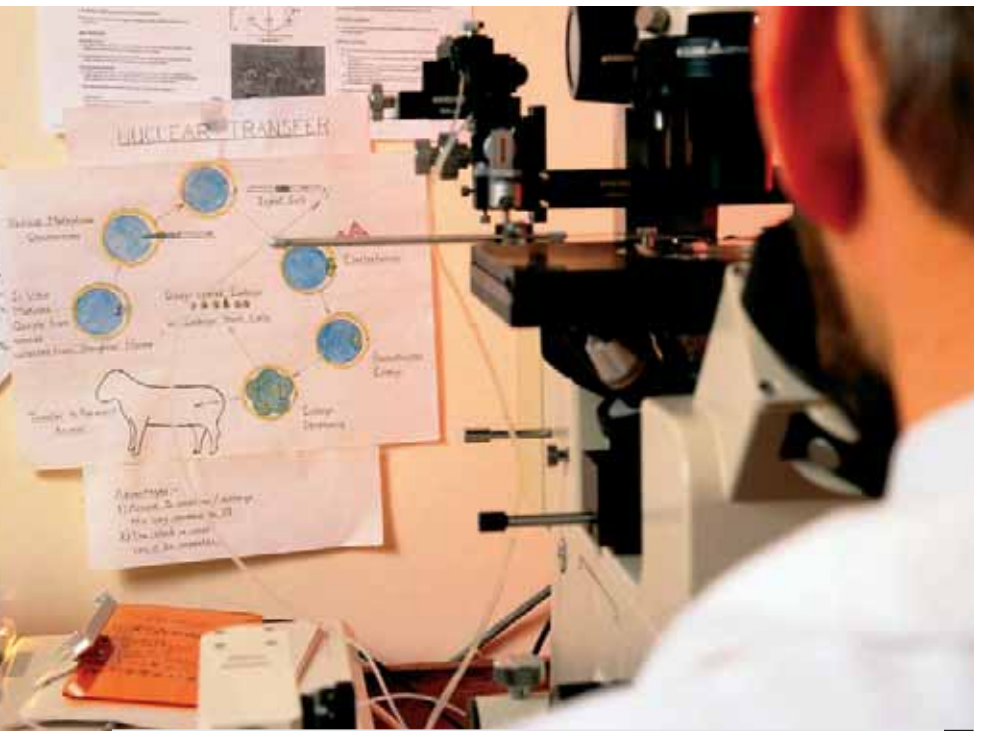
نجمة دولية

باتت النعجة دوللي، هذه النجمة الحقيقية، النعجة الأشهر حول العالم من دون منازع. فقد احتلت الصفحات الأولى في عدد كبير من المجلات، وألهمت عدداً من المقالاتً التي نُشرت حول العالم. يحتفظ أحد المتاحف بكنزة حيكَت من صوف دوللي! أخذت النعجة دوللي التي وُلدت من خلية الضرع اسمها من المغنية الأمريكية دوللي بارتون، التي بالإضافة إلى صوتها الجميل تتمتع بصدرها العارم.

برامج الخليتين. أتاح الحوار المتناغم بين النواة والبويضة نمواً جنينياً عادياً، ثم إلى ولادة النعجة الشهيرة دوللي.

طرح التساؤلات

بعيداً عن البطولة التقنية، شكلت دوللي إثباتاً حاسماً أن الخلية المتمايزة يمكن أن تتخطى الوقت، وتعود إلى الحالة الجنينية، حين تنقل نواتها إلى بويضة منزوعة المادة الجينية. حتى ذلك الحين، أقر الوسط العلمي أن التمايز لدى الحيوانات الثديية كانت عملية لا رجعة فيها، وبالتالي لم يتوقع أحد إمكانية عودة نواة خلية جسدية إلى حالتها الجنينية، والمشاركة في الانقسام وولادة كائن حي. هزت دوللي بعمق هذه العقيدة التي سادت طويلاً، وأثبتت إمكانية تخطي التكاثر الجنسي للحصول على كائن حي.



نشر هذا الباحث من معهد روسلين تحت إدارة إيان ويلمت، والد دوللي، الجدول الذي يفسر المراحل الرئيسية التي تؤلف تقنية النقل النووي. تقنية يبدو وصفها بسيطاً ونجاحها غير مضمون.

عمر النعجة دوللي ووفاتها

بقي العمر الحقيقي للنعجة دوللي وأسباب وفاتها السابقة لأوانها من دون أجوبة. في خضم النقاشات يظهر القسيم الطرفي، عند أطراف الكروموزومات.

وفاة دوللي

اختار العلماء إنهاء حياة النعجة دوللي بأسلوب الموت الرحيم، عندما بلغت من العمر ست سنوات في شهر شباط/ فبراير من العام 2003، وذلك في معهد روزلين في إدينبورغ (إسكوتلندا). وتم عرض النعجة دوللي، المستنسخة الرمزية رغماً عنها، في معرض إدينبورغ الملكي. عانت دوللي مرضاً رئوياً، وكذلك من هشاشة في عظام الورك والقدم. وإذ يصل معدل حياة الخروف إلى 12 عاماً، بدأ بعض العلماء بطرح أسئلة حول دور الاستنساخ في هذه الوفاة السابقة لأوانها. قبل عام من وفاتها، أعلن إيان ويلموت، الوالد العلمي للنعجة، عن حالتها الصّحية. في عمر الثلاث سنوات، بدت دوللي أكبر من عمرها الحقيقي بثلاث مرات، ومن هنا دارت تساؤلات عديدة حول عمر النعجة دوللي، التي وُلدت من خلية مستأصلة من نعجة تبلغ من العمر 6 سنوات، هل وُلِدت بعمر والدتها، وبشكلٍ أدق عمر خلايا والدتها؟

معجم

الشيخوخة: شيخوخة طبيعية تطال أنسجة الجسم.

القسيم الطرفي، مؤشرات الشيخوخة

تحتوي خلايا الجسم الذي تكون مجموعته الجينية حبيسة النواة (حقيقية النواة)، عند طرف الكروموزومات، متواليات من دون أي معلومات جينية: إنها القسيمات الطرفية. وإذ تبدو هذه الأخيرة متشابهة في مختلف كروموزومات الخلايا، فإنها تساهم في كمال المجموعة الوراثية. تتألف القسيمات الطرفية من تكرار متوالية صغيرة من الحمض النووي الريبي آلاف لا بل ملايين المرات. أثناء كل عملية انقسام خلوي، يتراجع حجم القسيم الطرفي لأن طرفه غير مكرر. على مرّ الانقاسمات المتتالية، تقع القسيمات الطرفية ضحية التقصير الذي يزداد شيئاً فشيئاً. حين يصل هذا الأخير إلى نقطة حرجة، تصاب الخلية بالشيخوخة، أي أنها تتوقف عن الانقسام، ثم تموت على المدى الطويل نوعاً ما. تساهم هذه الظاهرة، التي تجمع قدرة الخلايا على الانتشار، مع حجم القسيمات الطرفية، في شيخوخة الجسم؛ وإليه كذلك يُعزى وجود نوع من الساعة الداخلية التي تسجل عدد الانقسامات الخلوية الفعلي. حين يتمّ تجاوز

شباب أبدي

تنجو بعض الخلايا من تآكل القسيمات الطرفية. هذه هي حالة الخلايا السرطانية التي تتمتع بقدرة غير محدودة في الانقسام، حين تصبح عشوائية. أنها أيضاً حالة الخلايا التي تؤدي دوراً حاسماً في صحة الجسم: الخلايا الجنسية والخلايا الجذعية التي تضمن تجدد الخلايا البالغة واستبدالها. وتمتلك هذه الخلايا كذلك أنزيماً يزيد من طول كلّ انقسام يطال قسيماتها الطرفية.

دوللي على وشك إنجاب حملٍ سيُطلق عليه اسم بوني. أثبتت هذه الولادة الطبيعية أن دوللي لم تكن عقيمة.

العدد الحرج، تموت الخلايا. في الستينيات، أظهر العلماء أن الخلايا غير الجنسية (الخلايا الجسدية) التي تُزرع، تنقسم مرات محدودة، نحو 50 إلى 60 مرة، قبل أن تشيخ.

ما هو عمر الجسم المستنسخ؟

وُلدت النعجة دوللي من خلية جسدية استُئصلت من نعجة تبلغ من العمر 6 سنوات. أظهر تحَليل خلايا دوللي أن الكروموزومات كانت أكبر عمراً من الحيوان عينه: فقد كان حجم القسيمات الطرفية قد تقلص، الأمر الذي يثبت أن الخلايا كانت قد انقسمت عدة مرات. تضم كافة الخلايا التي تشكّل دوللي المجموعة الوراثية عينها التي تحملها أمها: من هنا احتفظت دوللي في جينومها بذاكرة الانقسامات الخلوية التي أُنجزت قبل ولادتها. وقد تمّ إثبات الأمر كذلك لدى فئران مستنسخة في اليابان وفقاً لطريقة دوللي عينها. من أصل 12 فأرة مستنسخة، توفيت عشرة فئران قبل أوانها: عاشت 26 شهراً، مقابل 4 سنوات تعيشها الفأرة التي تولد عن طريق التلقيح العادي. عانت هذه الفئران فشلاً في الكبد والرئتين، ونقصاً مناعياً مع ظهور بعض الأورام. وبدا أن كروموزوماتها كانت تعاني أيضاً قصراً في القسيمات الطرفية. تطرح هذه الملاحظات، التي تشمل أغلبية تجارب الاستنساخ، تساؤلات حول مسألة استواء الحيوانات المولودة بهذه الطريقة. هل من حيوان ثديي مستنسخ وطبيعي؟

عائلة الكائنات المستنسخة الصغيرة

منذ ولادة دوللي، لم تتوقف التجارب التي تناولت الاستنساخ. حتى وإن حالف النجاح بعض الحالات بطريقة عشوائية، إلا أن عائلة الكائنات المستنسخة لم تتوقف عن التوسع..

مارغريت، كومولينا...

بعد ولادة دوللي، أنجز فريق عمل المعهد الوطني للأبحاث الزراعية، تحت إشراف البروفيسور جان بول رينارد، أول عملية استنساخ خلية جسدية (خلية غير جنسية) بنجاح في فرنسا في شباط/ فبراير 1998. وقع الاختيار هذه المرة على عجل صغير من فصيلة الليموزين. وقد حالف الحظ هذا العجل ليكون أول عجل يولد عن طريق استنساخ خلية عضلية. أتاحت هذه الولادة إثبات صحة أعمال الفريق الأسكتلندي مع دوللي، التي شككّ البعض في إمكانية نجاحها عند تطبيقها على أنواع أخرى. توفيت مارغريت قبل أوانها في شكل عرضي. في تموز/ يوليو 1998، حان دور الفئرّان، النموذج الثمين الذي يُستعمل في المختبرات، لتخضع لتجارب الاستنساخ عن طريق نواة خلايا الركمية المبيضية، النسيج المتمايز الذي يحيط بالمبيض. تسنت الفرصة لأول فأرة مستنسخة، التي سُميت كومولينا، أن تضع عدة مرات قبل أن تموت في ربيع عام 2000.

شكوك عديدة

تكثر التساؤلات المطروحة حول مستقبل المستنسخات واستنساخ الحيوانات. في الحقيقة، لم يتم التوصل بعد إلى تقدير شيخوخة الحيوانات المستنسخة الخصبة بأغلبيتها، على المدى الطويل. كذلك، من المبكر جداً الحديث عن طبيعة السلالة الناتجة عن تزاوج الحيوانات المستنسخة. ويبقى من الضروري أن نفهم أسباب فشل استنساخ الكلاب والطيور والقرود.

في العام 2002، توصل فريق عمل فرنسي من المعهد الوطني للأبحاث الزراعية، إلى إنتاج أول أرنب مستنسخ على طريقة دوللي. لاستنساخ هذه الفصيلة، استعمل الباحثون طريقة عادية لنقل النواة، تأخذ بعين الاعتبار المزايا الخاصة التي تتمتع بها بويضات هذه الفئة. إن الأرنب حيوان مفيد جداً لدراسة عملية إعادة البرمجة النووية (قدرة البويضة المتلقية على إعادة برنامج النواة النووي إلى الصفر)، وهو أمر غير واضح لدى الثدييات. يُستعمل الأرنب كثيراً لدراسة تصلب الشرايين وأمراض القلب والشرايين. وعلى غرار ذلك، تُعتبر السمكة المخططة جسماً نموذجياً يُستعمل في مختبرات علم أحياء التطور: في الحقيقة، يستطيع الباحثون مراقبة الخلايا بسهولة داخل جسم جنين هذه السمكة الشفافة. استنسخ فريق عمل أمريكي في العام 2002 هذه السمكة عن طريق نوعٍ من الخلايا الجنينية.

... إيداهو جيم وبروميتا

بعد النعجة، والبقرة، والفأرة، والأرنب، حان دور ثدييات أخرى كالعنزة والخنزير أو الهرة، لتخضع لتجربة الاستنساخ. وقد تناول الإعلام ولادة أول قط مستنسخ (كاربون كوبي) بفضل جهود فريق عمل من تكساس. في الواقع، فتحت هذه السابقة المجال أمام آفاق مربحة قد تنتج عن استنساخ حيوانات أليفة. ويتسع القطيع ليشمل الخيول من أحصنة وحمير وحمير وحشية؛ ففي أيار/ مايو من العام 2003، نجح العلماء في استنساخ البغل، ثم الحصان.

مارغريت، أول عجلة وُلدت نتيجة نقل نواة خلية متمايزة (خلية عضلية) وفقاً لتقنية دوللي. وُلدت هذه النعجة في العام 1998 في المعهد الوطني بفضل جهود فريق عمل البروفيسور جان بيار رينارد.

أطلق على البغل المستنسخ اسم إيداهو جيم (أي عجيبة إيداهو)، الذي لم يولد عن طريق الصدفة في إنديانا، الولايات المتحدة. في الحقيقة، يقدر سكان البلاد هذا الحيوان القوي الذي شارك في غزو الشرق. يُعتبر هذا الحيوان كائناً هجيناً نتج عن تزاوج الحمار مع الفرس، وهو غالباً ما يكون عقيماً، من هنا لا بدّ من استنساخه لزيادة أعداده. استعمل العلماء خلية جنينية لإتمام عملية النقل، واحتاجوا إلى أكثر من 300 محاولة ليولد إيداهو ديم. في أيار/ مايو 2003، انتشرت أخبار تفيد بولادة أول حصان مستنسخ في إيطاليا، المهرة كريمون. إلا أن نتائج هذا الاستنساخ جاءت متواضعة (حمل واحد لكل 840 جنين أعيد تشكيلها)، وقد جاءت تقنيته مشابهة تماماً لتقنية دوللي. ويتمتع الاستنساخ هذا بخاصية: فالفرس الحامل هي أيضاً فرساً مستنسخة. وقد توصل سيزار غالي، البروفيسور الإيطالي صاحب هذا الاكتشاف، إلى الحصول بعد ذلك على مضغة قابلة للحياة، مستنسخة عن حصان جلود. تم تنفيذ هذا الاستنساخ بالتعاون مع الجمعية الفرنسية للتكنولوجيا الحيوية المتخصصة في استنساخ الخيول. ترمي هذه الجمعية إلى إعادة تشكيل جياد استيلاد عن طريق الاستنساخ، تكون نسخة طبق الأصل وراثياً عن أحصنة استثنائية، ولكن من دون سلالة بفعل خصيها (أحصنة خصية). توصلت هذه الجمعية إلى إنتاج بطل العالم في الفروسية في العام 2005، وبطل القفز فوق الحواجز في العام 2006.

معجم

هجين: حيوان أو نبات ناتج عن تزاوج نوعيتين، فصيلتين من الفئة عينها أو بين فئتين مختلفتين.

رالف تحت الأضواء

اتسعت مزرعة الحيوانات المستنسخة مع استنساخ الجرذان في خريف 2003 ، بفضل جهود فريق البروفيسور جان بيار رينارد من المعهد الوطني للأبحاث الزراعية، بالتعاون مع

بعد النعجة والبقرة، استُنسخ الخنزير في العام 2000 وفقاً لتقنية دوللي.

الجمعية الفرنسية للتكنولوجيا الحيوية، إلا أن الفشل كان دائماً حليف هذه التجارب، بسبب خاصية بويضة الأنثى التي تنشط خارج المبيض، ما يؤدي إلى الانقسام العفوي. في ظل الدورة الطبيعية، تكون البويضات مكبوتة في مرحلة معينة من مراحل النضوج؛ وتفعيلها يكون تفعيلاً طبيعياً أثناء عملية التلقيح بواسطة الحيوان المنوي، أو اصطناعياً بواسطة التحفيز الكهربائي أثناء عملية الاستنساخ. تشكل هذه الخاصية عائقاً، حين لا يفسح تفعيل البويضة المجال، أمام إتمام مراحل الاستنساخ المختلفة: استئصال نواة البويضة وحقن نواة الخلايا الجسدية الخاصة بالحيوان المراد استنساخه. وليكون استنساخ الجرذ ممكناً، استعمل الباحثون مادة قادرة على إبطاء عملية نضوج البويضة. وبهذا أبصر أول جرذ مستنسخ، رالف، النور رغم معدل فشل وصل إلى 98 %! مذاك، تم استنساخ عدة حيوانات ثديية أخرى: الكلب (سنوبي، أرنب بري أفغاني، في العام 2005)، ابن قرض والذئب.

أرانب مستنسخة بفضل جهود باحثين في مركز روسي. يمكن في ما يتعلق بالأرنب، جمع الاستنساخ والتعديل الجيني للحصول على حيوانات نموذجية، لدراسة الأمراض البشرية، كأمراض القلب والشرايين.

الاستنساخ والتعديل الوراثي

يُعتبر استنساخ الجرذ خطوة هامة. في الحقيقة، لما كانت هذه الفئة من الحيوانات تقاوم التغيرات التي تصيب الجينوم، من المستحيل جمع الاستنساخ مع نقل الجينات للتوصل إلى جرذان معدلة. يتمتع الجرذ بفيزيولوجيا قريبة من فيزيولوجيا الإنسان: فتشكل بالتالي نموذجاً ممتازاً للأبحاث، يثير اهتمام العلماء الراغبين بدراسة الأمراض البشرية (ارتفاع الضغط، تصلب الشرايين، الأمراض العصبية) ولاختبار أحدث الأدوية.

في ربيع عام 1998، وُلِد أول عجلين في تكساس، جورج وشارلي، ليكونا أول حيوانين يحمِلان خصائص الحيوان المستنسخ والحيوان المعدل جينياً: أدخل الباحثون في مجموعة خلية مانحة الجينية، جيناً غريباً تكرر لاحقاً في مختلف الخلايا الجنينية في جسم العجلين الشابين. يفسح استنساخ الأبقار المعدلة وراثياً المجال أمام إمكانية إنتاج حليب يحتوي على مواد ممتازة في الطب.

معجم

التعديل الوراثي: تعديل جينوم الكائن الحيّ عن طريق إدخال جزء من الحمض النووي الريبي في مجموعته الجينية.

نجاح محدود جداً

في الواقع، من الطبيعي توقع الفشل حين يتعلق الأمر بالاستنساخ، وإمكانية النجاح في حالات استثنائية، هو عبارة عن معجزة. ويسعى الباحثون جاهدين لمعرفة أسباب الفشل.

ضربة حظ لا تحالف إلا القلة القليلة من الفائزين

في الوقت الحالي، يلقى استنساخ الثدييات عن طريق نقل نواة خلية لا جنسية، نجاحاً إعلامياً بشكل أساسي. والواقع أن معدل النجاح، أي النسبة بين عدد الولادات وعدد الأجنة المعاد تشكيلها ضعيف جداً: إذ لا يتخطى 2 إلى 3 % كمعدل لدى مختلف الفئات. يتراوح المعدل بين 3 و5 % لدى البقرة، بين 1 و3 % لدى الفأرة وأقل من 1 % لدى الأرنب. أما في ما يتعلق بدوللي، فقد تعين على العلماء تجربة الوصفة 277 مرة وإنتاج 29 جنين معاد تشكيلهم. استناداً إلى الوسيلة المستعملة، يصل بين 30 و80 % من الأجنة إلى مرحلة التوتة (دائرة تتألف من مئات الخلايا). و90 % على الأقل من الأجنة المزروعة في الرحم، تموت في مراحل النمو الجنينية الأولى، أو لاحقاً أثناء الحمل. تعود حالات الوفاة هذه إلى خلل في المشيمة، وإلى الحجم الكبير لبعض أعضاء الجنين (الكبد، القلب). عند الحديث عن العجول التي توفيت بعد بضعة أيام من ولادتها، لاحظ العلماء وجود إصابات في القلب والشرايين والرئتين، إضافة إلى نقص مناعي.

رغم المحاولات المتعددة، يقاوم بعض هذه الفئات الاستنساخ لأسباب مجهولة. هذه هي حالة بعض الكائنات غير البشرية. في نهاية العام 2007، نجح باحثون في استنساخ جنين قرود الماكاك، إلا أن الزرع لم يلقَ النجاح بعد ذلك؛ وحصلوا في المقابل على مجموعة من الخلايا الجذعية. أزاحت هذه السابقة لدى القرود الحاجز التقني الذي يعرقل الاستنساخ التكاثري لدى البشر. وبدا المقال الوحيد الذي تناول الاستنساخ البشري في مجلة Science في حزيران/ يونيو من العام 2005 مقالاً علمياً خادعاً: فقد كشفت قضية الباحث الكوري وو– سوك هوانغ، التي شغلت النقاشات بين العام 2005 و2006، مناخ المنافسة الذي تطور فيه الاستنساخ العلاجي.

ما هي عوامل النجاح؟

يتبين انطلاقاً من الخبرة المكتسبة منذ ولادة النعجة دوللي في العام 1997، أن العديد من المعايير تدخل في كلّ مرحلة من مراحل الاستنساخ. في ما يتعلق بالنواة المنقولة، أظهرت بعض خلايا البشرة أفضل النتائج. أما لجهة بويضة المتلقي، فتكتسب مزايا البويضة وتقنية استخراج نواته أهمية كبيرة. أخيراً، يترك نقل النواة إلى البويضة، وظروف زراعة الجنين المعاد تشكيله في الأنبوب، تأثيراً على نجاح عملية الاستنساخ.

الخنزير حيوان مرغوب به كثيراً في مجال الاستنساخ، نظراً لإمكانية استعمال أعضاءه، المشابهة نوعاً ما لأعضاء البشر، في عمليات الزرع (الطعم الأجنبي). وللتوصل إلى هذا الجنين البالغ من العمر 26 يوماً، لا بدّ من القيام بعددٍ من المحاولات.

عودة النواة إلى نقطة الصفر

وفقاً للاختصاصيين، تنتج إمكانية السيطرة على الاستنساخ، عن فهم آليات إعادة برمجة نواة الخلية المتمايزة، التي يتم إدخالها في البويضة، فهماً عميقاً. يشير مصطلح إعادة البرمجة إلى عودة النواة إلى حالتها المكتملة النمو، وهي حالة ضرورية جداً لإعادة إطلاق برنامج التطور الجنيني. تعيد إعادة البرمجة تنشيط الجينات التي بقيت هادئة، وتثير في موازاة ذلك الجينات الفاعلة، التي تتلائم مع نوع الخلية المتمايزة (الغدد الثديية، خلايا الدم...). أدت هذه التغييرات إلى إعادة تشكيل كبرى لنواة الخلية المتمايزة، التي باتت قادرة على التحكم بالنمو الجنيني.

البصمة الأبوية

يوجد في الخلايا جميعها نسختان من كلّ جين، الأول موروث من الأب والآخر موروث من الأم. أحياناً، لا يكون إلا جزءا واحداً من الجين فاعلاً، في حين أن الآخر يكون ساكناً، وقد يعود هذا الجزء إلى النسخة الأم أو إلى النسخة الأب. لدى الإنسان، يخضع أكثر من 30 جين للبصمة الأبوية: يؤدي أغلبها دوراً في نمو الجنين والمشيمة وتطورهما. تقتصر ظاهرة البصمة الأبوية على الثدييات والنباتات المزهرة: يُعتقد أن ثباتها أثناء عملية التطور مرتبط بمزايا ذات صلة بالاختيار الطبيعي.

الكائنات المستنسخة: نسخ غير متطابقة

أظهر الاستنساخ، خلافاً لما هو شائع، أن الكائنين المستنسخين لا يكونا نسختين متطابقتين تماماً.

مفاجآت الاستنساخ الحيواني

كانت ولادة أول قط مستنسخ في العالم، كربون كوبي، في العام 2001، مفاجأة للعلماء في حينها. فوبره جاء مختلفاً عن وبر والدته في الاستنساخ. في الحقيقة، تميزت راين بوي، القط الأم وراثياً، بوبر أبيض مع بقع بنية ذهبية، في حين وُلد كربون كوبي المستنسخ بوبر أبيض مع بقع رمادية. كذلك، اكتشف الباحث الفرنسي، على مدى تجارب عديدة، أن الثيران المستنسخة عن طريق خلايا مستأصلة من الحيوان عينه، لم تكن ذات ميزات ممتازة كما توقع الجميع: فتصبغات البشرة وكذلك الوزن عند الولادة يتغير من مستنسخ إلى آخر.

كاربون كوبي (البالغ من العمر هنا 7 أسابيع)، أول قط مستنسخ في العالم، ولد في 22 ديسمبر/ كانون الأول من العام 2001. المدهش أن هذا القط المستنسخ، يختلف في تفصيل معين عن والدته التي استنسخ عنها.

البيئة المحيطة: عامل مهم

لم يتم التوصل بعد إلى تفسير حاسم لهذه الفوارق بين المستنسخات. ترتبط البدائية، التي لطالما نُسبت إلى الوراثة، جزئياً بواقع أن تقييم دورها يبدو أسهل من تقييم دور المحيط، الذي يبقى مبدأ مبهماً يصعب فهمه. في الواقع، ينتج عمل الكائنات الحية عن التفاعل بين الوراثة والمحيط بالمعنى الواسع. فالمحيط يؤدي دوراً على صعيد النواة، والخلية أو الجنين أهم بكثير مما كنا نتخيل حتى الوقت الراهن. هذا ما يمكن استنتاجه بسهولة مع التوائم الصحيحة، التي تحمل المجموعة الوراثية عينها: حتى وإن كانت أوجه الشبه لافتة، لا تكون التوائم متطابقة بشكل تام، لأن المحيط الذي طورته قبل الولادة وبعدها يكون مختلفاً.

معجم

العضية: كلّ عنصر من العناصر المتميزة المحيطة بالغشاء الموجود في خلية الجسم الحقيقية النوى.

أنواع مختلفة من الحمض النووي الريبي

تحتوي الخلية التي تضم نواةً، الحمض النووي الريبي (المجموعة

الوراثية) في نواتها، وكذلك في بناها المسماة المتقدرات. والمتقدرات هي عضيات الخلية التي تؤمّن لها الطاقة. قد تتوافر بمئات لا بل آلاف النماذج في خلية لا تحتوي في المقابل إلا على نواة واحدة. تُعزى المتقدرات حصرياً إلى الأم، لأنها تنتج عن متقدرات الخلية الجنسية الأنثى، البويضة، وتتسم بحمض نووي ريبي خاص بها، ميتوكوندريا الحمض النووي، المختلف عن حمض النواة.

في حين لم يبد أحد أي اهتمام بحمض النواة النووي الريبي، اعتقد الباحثون أن الجينات داخل النواة لا تسيطر على كل شيء. مؤخراً، أثبتت أبحاث جديدة أجريت على الفئران (البروفيسور ربوبيرتو، المجلس الوطني للبحوث العلمية، مارساي)، دور ميتوكوندريا الجينات في بناء جزءٍ من الجهاز العصبي وعمله.

هل من كائنات مستنسخة حقيقة؟

يقول جان بول رينارد، اختصاصي معروف في مجال الاستنساخ في فرنسا: «لا بدّ من إلغاء الفكرة التي تفيد أن الكائن المستنسخ هو نسخة بيولوجية طبق الأصل عن النسخة الأصلية. في الحقيقة، يختلف كائنان مستنسخان الواحد عن الآخر أكثر مما تختلف التوائم الصحيحة. ويُعزى السبب الرئيسي إلى أن الكائنات المستنسخة لا تمتلك ميتوكوندريا الحمض النووي عينه. على الصعيد الوراثي، يُفترض أن البويضة (التي تضم المتقدرات التي تنشأ عنها كل متقدرات الكائن المستنسخ) والنواة، مصدرهما نفس الحيوان.

صراعات ناتجة عن الاستنساخ

يُعتبر إنتاج الكائنات المستنسخة عن طريق نقل النواة عملاً غير باهر: إذ تُعزى كل من النواة التي نقلت والخلية الجنسية المتلقية إلى مصادر مختلفة. فالمتقدرات هي تلك الناتجة عن الخلية المتلقية. يتساءل الباحثون: إلى أي حدّ يتداخل متقدرات الحمض النووي الريبي مع مجموعة النواة الوراثية المدرجة اصطناعياً؟ هل يمكن أن يغير الحمض النووي تعبير جينات النواة؟ نعتقد أن ثمة حوار بين المجموعتين الوراثيتين، حوار لم تُعرف آلياته بعد.

المتقدرات، إنها مشاغل الطاقة التي تستعملها الخلايا الحقيقية النواة. تحتوي هذه البنى الموجودة بالمئات في خلية على معلومات وراثية خاصة بها.

تطبيقات الاستنساخ

عندما يتم السيطرة تماماً على التقنية، يصبح الاستنساخ عرضةً لتطورات واعدة في مجال البحث الأساسي والبحث التطبيقي.

المحافظة على الفئات المهددة بالانقراض

هل يمكن أن يساهم الاستنساخ في حماية الأنواع المهددة؟ من المسموح أن نؤمن بصدق بهذه المقولة. وبالفعل اختارت مجموعة من حدائق الحيوانات أن تكون سباقة في هذا المجال، وأن تؤسس بنوكاً لتخزين المجموعة الجينية الخاصة بالحيوانات المهددة.

تتجلى الفكرة في إعادة خلق مجموعة من الحيوانات المهددة، عن طريق الاستنساخ، من خلال حقن مجموعتها الوراثية في خلايا فئات مجاورة قريبة جداً منها (مما يسهل اندماج الجينات). كان الثور الوحشي بوس غوروس أول من استفاد من هذه التقنية، وهو حيوان مهدد بالانقراض لم يبقَ منه في الوقت الراهن إلا بضعة أفراد. في العام 2001، حصلت شركة أمريكية على كائن مستنسخ، نوح، بعد نقل نواة خلية غير جنسية من الثور إلى بويضة بقرة، إلا أن الوليد لم يعش إلا لبضعة أيام لسوء الحظ. يحتفظ علماء الأحياء في حديقة حيوانات سان دييغو، التي قدّمت خلية الثورة، بخلايا من أحصنة برزوالسكي والرينوسيروس سومطرة، وهي أنواع مهددة أيضاً بالانقراض، يأمل العلماء أن يتمكنوا من إنقاذها. علاوةً على ذلك، عمد العلماء إلى إقامة أبحاث على قط أفريقي متوحش وضأن بري: ويخضع البعض منها حالياً للبحث، لا سيما تلك المعرضة للانقراض كالباندا الكبير، رمز الصندوق العالمي للحياة البرية.

معجم

خنزير البحر الهندي: موضوع التجارب العلمية.

التخصيب الاصطناعي: عملية تقضي بوضع بذرة الرجل في الأعضاء التناسلية الأنثوية.

عودة الحيوانات المنقرضة

يبدو استنساخ الحيوانات المنقرضة مشروعاً طموحاً جداً ولكن عشوائي. في الحقيقة، لم تعد الخلية الحية هي المادة المتوفرة، إنما أجزاء من الحمض النووي الريبي، المستأصل من حيوانات معروضة في المتاحف، أو المكتشفة في الطبيعة (ماموث سيبيريا على سبيل المثال). ومن ضمن هذه المشاريع، نذكر ذلك الذي يشمل التيلاسين أو الذئب الجرابي أو ذئب تاسماني. ينتمي هذا الحيوان إلى عائلة

الماموث في قلب المشهد

في العام 1999، تم العثور على ماموث مجلد في الجليد، منذ أكثر من 20 ألف عام، في شبه جزيرة تايمير، شمال سيبيريا. يؤكد علماء روس وجود خلايا شبه سليمة في الأنسجة تحت الجلد في إحدى قدميه، وهي خلايا يمكن استعمالها للاستنساخ. يرى البعض إمكانية ولادة الحيوان مجدداً، من خلال الحصول في البداية على هجين من الماموث والفيل. ويُعتقد أن ولادة عدة أجيال من الحيوانات الهجينة بنواة خلايا الماموث، يمكن أن يؤدي إلى ولادة ماموث يشبه كثيراً الحيوان المنقرض.

الثور حيوان مهدد بالانقراض. في العام 1998، وُلِد نوح، أول ثور مستنسخ ناتج عن اندماج بويضة البقرة وخلية الثور الميت. عاش نوح لأيام معدودة فقط.

الحيوانات الجرابية كالكنغر والكوالا. تعرض هذا الحيوان الذي يغطي وبر ظهره خطوط كبيرة غامقة اللون لصيد عنيف في القرن العشرين. اختفى هذا النوع من الحيوانات في العام 1937، مع وفاة آخر حيوانٍ منها كان يعيش في حديقة حيوان هوبار في تاسماني. يأمل العلماء اليوم في التوصل إلىً إعادة إنتاج حيوان مستنسخ، عبر حمض نووي يُستأصل من جنين التيلاسين المحفوظ في أنبوب منذ العام 1866، وإعادة إحياء هذه الفئة.

التجربة الحيوانية

يقضي البحث الإحيائي الطبي اختبار العلاج على حيوانات حقل التجارب، قبل البدء بتطبيقه على الإنسان. ويتطلب البحث تشكيل المجموعات الشهود غير المعالجة، بهدف التأكيد على نتائج التجربة. إن مواجهة الحيوانات الشهود مع الحيوانات المعالجة لم يكن مفيداً، إلا إذا كانت المجموعتان متجانستين أي متطابقة جينياً؛ ومن هنا أهمية الاستنساخ.

بالإضافة إلى ذلك، تتيح التجربة على الكائنات المستنسخة، الحدّ من عدد الحيوانات المستعملة. في الواقع، يلجأ العلماء اليوم إلى عددٍ مرتفع من الحيوانات، بهدف الحدّ من التنوع الجيني بين المجموعات.

ترمي الحملة الفرنسية – الروسية «ماموث»، إلى نبش رفات الماموث جاركوف، ونقله بواسطة الهيلوكبتر إلى مدينة كاتانغا في روسيا. يأمل البعض في الحصول على ماموث آخر عن طريق الاستنساخ.

حيوانات المزرعة

سيشكل استعمال الاستنساخ لاختيار حيوانات المزرعة ورقة رابحة، بفعل بطء إجراءات الاختيار التقليدي. تتيح هذه الورقة للمربين إنتاج وإعادة إنتاج، من دون أي قيود زمنية، حيوانات مشابهة لحيوان معروف يتميز بقيمة زراعية عالية. هذه هي حالة ثور ستارباك، وهو معيار كندي مشهور، يمكن أن يولد منه عن طريق التخصيب الاصطناعي نحو 200 ألف عجل. ترك الثور هذا خلفاً له وهو الثور المستنسخ ستاربوك 2. من حيث المبدأ، تتجلى الفكرة في استنساخ أفضل الحيوانات الذكر المنتجة من مجموعة تقليدية، واللجوء بعد ذلك إلى هذه الحيوانات المستنسخة، للحصول طبيعياً على المزيد من الحيوانات، أو استنساخ الأبقار المنتمية إلى فصيلة مختارة بعناية لنوعية لحمها أو مردودها من الحليب. إلا أن فعالية الاستنساخ التي لا تزال محدودة، وثقل التنفيذ، لا

تهديد متزايد

تهدد الأنشطة البشرية، بشكل كبير، التنوع الحيوي للكائنات الحية على سطح الكرة الأرضية. في الوقت الراهن، يوشك نحو ثلث فئات الكوكب على الاختفاء من الآن وحتى منتصف القرن الواحد والعشرين. في أفريقيا، يهدد الانقراض القرود الكبيرة التي تُعتبر الأب الحي الأقرب للجنس البشري، وذلك في فترة تقل عن 50 عاماً. تتقاسم هذه الحيوانات أكثر من 96 % من المجموعة الوراثية الخاصة بالإنسان: ويؤدي انقراض أحد هذه الفئات إلى فقدان الخيط الذي قد يساهم في فك رموز أصل البشرية. في حال كانت ظاهرة انقراض الفئات طبيعية على صعيد الأزمان الجيولوجية (ملايين السنين)، فإن الضغط الذي يمارسه الإنسان كبير، لأنه يزيد من سرعة هذا الانقراض، بمعدل يتراوح بين ألف و10 آلاف مرة! إن المحافظة على التنوع الحيوي يبدو أساسياً للبشرية: هل نعلم أي جين قد يساعدنا غداً في التغذية والزراعة والصناعة والطب؟ لذلك من الضروري جداً المحافظة على المجهول خدمة لحاجات مجهولة.

يعطيا الأمل بتطبيق استنساخ صناعي في المزرعة في القريبِ العاجل. ولا بدّ أن نعلم أن عملية التخصيب الاصطناعية، تبقى حالياً الطريقة الأنسب للاختيار، لا سيما وأن استعمالها يعود إلى أكثر من 40 عاما.

إنتاج كائنات مستنسخة عن طريق الاستنساخ النقلي الموروثي

يتيح الاستنساخ، المضاف إلى تغيير المجموعة الجينية (نقل موروثي)، مضاعفة عدد الحيوانات التي حصلت على الجين ذي المنفعة. يفتح إنتاج المستنسخات الحيوانية المعدلة وراثياً، احتمالات واعدة في مجال الزراعة، نظراً لتحسين الأداء التجاري لهذه الحيوانات، على صعيد إنتاج الحليب أو نوعية اللحم على سبيل المثال. إلا أن بيع المنتجات الناتجة عن حيوانات مستنسخة عن طريق التعديل الوراثي والاستنساخ ممنوعة حالياً، تلبية لرغبة المستهلكين الحساسين جداً إزاء النباتات المعدلة وراثياً. أوقفت الولايات المتحدة الأمريكية منذ العام 2001 تسويق الحيوانات المستنسخة. في العام 2008، أعلنت سلطات مخولة في الولايات المتحدة (إدارة الأغذية والأدوية)، وفي أوروبا (الهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية وفرنسا (منظمة الأغذية والسلامة الفرنسية)، أن حليب ولحم الحيوانات المستنسخة (أبقار، خنازير وماعز بشكلٍ خاص)، هي منتجات صالحة للاستهلاك.

معجم

الجين ذو المنفعة: جين يسيطر على تركيبة طابع هام نرغب في نقله إلى كائن (نبتة، حيوان أو بكتيريا). يُعرف أيضا بجين غريب أو أجنبي.

خمسة خواريف مستنسخة متشابهة. نتجت هذه الحيوانات عن انشطار خلايا الجنين. كل خلية من هذه الخلايا هي خلية مكتملة النمو، أي قادرة عند وضعها في رحم النعجة، على إعطاء حيوان جنين.

مشتقات الاستنساخ الإنتاجي

ينطبق الاستنساخ الإنتاجي على الحيوانات الأليفة. إن اللعب على الوتر الحساس بالنسبة للمالكين قد يؤدي إلى أنشطة مربحة جداً.

هدف جديد

يُعتبر استنساخ الحيوانات العائلية مجالاً تجارياً يشهد توسعاً كبيراً، لا سيما في الولايات المتحدة، ويتزايد عدد الشركات الخاصة التي ترغب في استعمال هذا المحراب على نطاق واسع. تقترح هذه الشركات أن تستأصل خلايا و/أو الحمض النووي من حيوان مفضل، لتحتفظ فيه في سائل نتروجين، بانتظار تنفيذ الاستنساخ الذي يسمح للمالك بالعثور في النسخة الثانية على حيوانه المفضل. تشير الجمعية الأمريكية للطب البيطري أن هذا النشاط قد يعود بالربح المادي الكبير، وتقدر هذه الجمعية سوق استنساخ الكلاب والقطط بستين مليون دولار تقريباً.

مظهر خادع

ثمة تفسير للاختلاف الكامن بين لون وبر كاربون كوبي ولون وبر أمها في الوراثة. الخلايا الصبغية هي الخلايا المسؤولة عن إنتاج الميلانين، الهورمون المسؤول عن لون البشرة ووبر الثدييات. في أثناء مراحل النمو الجنيني، تحفر الخلايا الطليعية الصبغية طريقاً خاصاً بها لا تحدده الجينات. يؤكد ذلك مرة جديدة أن الكائنات المستنسخة لا تشكل نسخة طبق الأصل عن الكائن الأساسي. يؤدي المحيط (محيط نواة الخلية والجنين) دوراً مهماً أكثر من ذلك الذي اعتدنا حتى الفترة الأخيرة اعتقاده. فالقط، خلافاً للإنسان، لا يكون نتاج جيناته.

استنساخ قطط وكلاب للغد؟

في العام 1998، أطلق مشروع استنساخ بفعل هبة قدمها زوجان أمريكيان غنيان، بعد وفاة كلبتهما ميسي من دون أن تترك لهما نسخة عنها. تعود المصاعب إلى ضرورة أقلمة هذه التقنيات مع الكلاب: تكون فترات الخصوبة لدى الكلاب متباعدة الواحدة عن الأخرى، الأمر الذي يتطلب تهيئة عدداً كبيراً من الكلاب الأنثى لعملية زرع فورية، للجنين المستنسخ القابل للحياة. إلا أن مشروع استنساخ الكلاب لم يُستبعد، ففي الولايات المتحدة، يعد بعض العلماء بالإعلان قريباً عن نجاح ما في هذا المجال... وفي حين يتعين على أصحاب الكلاب أن يصبروا لبعض الوقت، بَات بإمكان محبي القطط منذ العام 2002 طلب استنساخ حيوانهم المفضل. في العام 2001، توصل فريق عمل أمريكي من جامعة تكساس (مارك ويستثوس)، يعمل بتمويل من شركة استنساخ خاصة (Genetic Savings and Clone)، إلى الحصول على أول قط مستنسخ: كاربون كوبي. إلا أن هذا الحيوان شكل صدمة لمجتمع العلماء، إذ وُلد ببقع مختلف لونها عن لون بقع والدته في الوراثة. لكن عزيمة فريقَ العمل لم تثبط نتيجة الصدمة هذه، بعد أن فشلوا في الحصول على نسخة

معجم

جنيني: نسبة إلى الجنين.

الخلايا الطليعية: مادة ينتج عنها مادة واحدة أو أكثر بواسطة التحولات البيوكيميائية.

أعلنت شركة Genetic Savings and Clone، التي كانت أول شركة تستنسخ قطاً (كاربون كوبي) في العام 2004، أنها حسنت تقنية الاستنساخ عن طريق نقل المادة الوراثية فقط، والتغاضي عن نواة المانح الوراثي. وتعرض هذه الشركة 9 قطط مستنسخة للبيع بسعر يصل إلى 50 ألف دولار للقط الواحد.

طبق الأصل عن الحيوان المراد استنساخه، إنما وهنت عزيمتهم بسبب انخفاض معدل نجاح عمليات الاستنساخ الذي لا يزيد عن 1 %. في الولايات المتحدة، يفتح استنساخ الحيوانات الأليفة المجال أمام عدد من الآفاق: وبهذا، يميل الباحث إلى إنتاج قط مستنسخ مع إضافات معدلة جينياً، تتميز بقدرتها على إبعاد أنواع من الحساسية عن المالك. إن مبدأ الحيوانات الأليفة المعدلة وراثياً من قبل الإنسان لمصلحته الخاصة، لم تعد بعيدة جداً.

تجارة من نوع جديد

تلعب الشركات الخاصة بإتقان على الوتر الحساس في قلوب محبي القطط والكلاب، وتستمثر الخيال الذي يولده إنتاج شبيه لحيوانهم المفضل بعد وفاته. بالإضافة إلى الشفاء من حالة الوهم الكبيرة (الشبه الفيزيائي لم يتحدد بعد!)، تساهم هذه الأنشطة التجارية النامية في سوق قادر على السداد ومربح، في تبسيط فكرة استنساخ الحيوانات؛ ويمكن أن نقلق من إمكانية أن تؤدي هذه الفكرة إلى الترويج لفكرة تطبيق الاستنساخ الإنتاجي على الإنسان.

المستنسخات المعدلة وراثياً

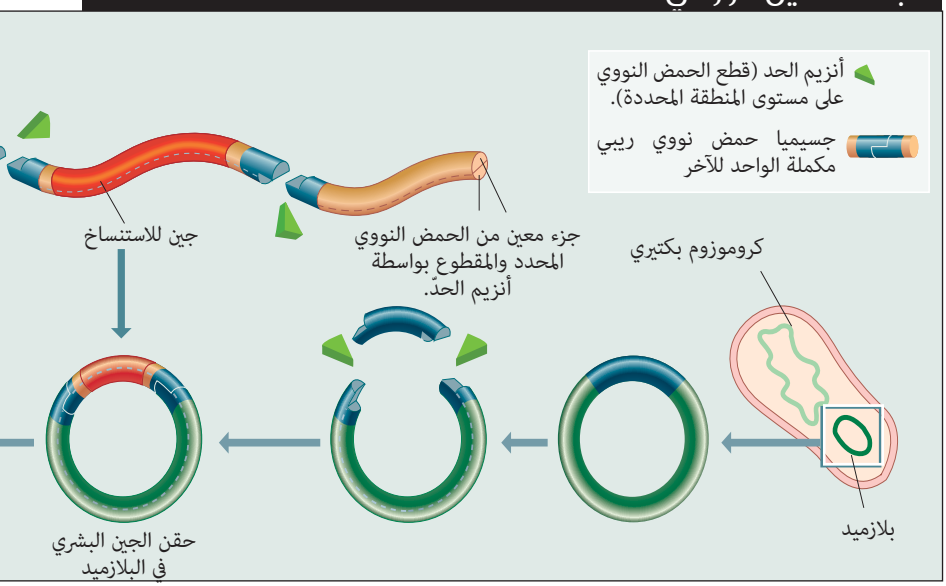
يسمح التعديل الوراثي بتغيير المجموعة الوراثية الخاصة ببعض هذه الحيوانات بشكلٍ دقيق. وإذ ترتبط هذه العملية بالاستنساخ، فإنها تشهد أداءً أفضل.

لماذا الحيوانات المعدلة وراثياً؟

يقضي التعديل الوراثي منح حيوان معين ميزة جديدة، من خلال نقل جين لا ينتمي إلى الفئة المانحة، ليتحول الحيوان بهذا إلى كائن معدل وراثياً، وهي تسمية غالباً ما تدل على النباتات. يتبع التعديل الوراثي الحيواني عدة أهداف: التحسين الوراثي للحيوانات الأليفة، إمكانية إنتاج بعض أنواع مواد الأدوية في حليبها، أو الجزيئيات المفيدة صناعياً كالحرير، إمكانية استحداث نماذج حيوانية عن أمراض البشرة، وأخيراً يمكن أن تشكل هذه الحيوانات، لا سيما الخنزير، مصدراً لأعضاء الجسم البشري (الزرع).

تطورت تقنيات التعديل الوراثي في الثمانييات، ولا عجب أن نذكر أن لائحة النباتات المعدلة وراثياً طويلة جداً. في المجال الحيواني، نذكر في شكلٍ أساسي الخنزير والفأرة والسلمون والأرنب والشبوط والثور ودود القز والذبابة...

مبدأ التعديل الوراثي



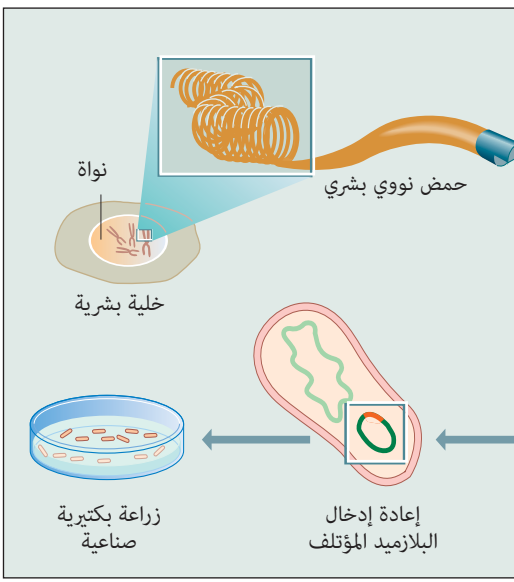
تقنيات كلاسيكية لإنجاز التعديل الوراثي

تتجلى الطريقة الكلاسيكية المستعملة للحصول على الحيوانات المعدلة وراثياً في الحقن المكروي؛ وهي تقضي بحقن جزيء جيني (متوالية حمض نووي ريبي) يضم الجين ذا المنفعة (أو الجين الغريب)، في عدد كبير من البويضات الملقحة. يندمج جزيءً الحمض النووي هذا بالصدفة، ويظهر في البويضة ثم في الجنين، وأخيراً لدى الحيوان بعد الولادة الذي ينقل الجين الغريب إلى سلالته.

عمد العلماء إلى تطوير الحقن المكروي للجين لدى الفأرة، نموذج خاص لدراسة علم أحياء الثدييات. إلا أن هذه الطريقة تتميز بالبطء والدقة وقلة فعاليتها لدى الثدييات الأخرى، بعيداً عن الفأرة. في الحقيقة، قلة قليلة (1 إلى 4 %) من الحيوانات التي وُلدت عن طريق هذه التقنية، تمكنت من دمج الجين ذي المنفعة في خلاياها. فعلى سبيل المثال، تحتاج البقرة إلى ما لا يقل عن 2000 جنين (مقابل نحو 50 فأرة) للحصول على عجل معدل وراثياً عن طريق الحقن المكروي.

خلايا منخفضة الأداء

يتأثر تطور التعديل الوراثي عن طريق الاستنساخ بالقدرة المحدودة على انتشار الخلايا غير الجنسية (الخلايا الجسدية). يكون اندماج الجين الغريب أسهل حين تنقسم الخلايا سريعاً، وهو أمر غريب عن الخلايا الجسدية، التي تكون انقساماتها محدودة، قبل المرحلة التي تسبق دخولها في الشيخوخة. يكمن مستقبل التعديل الوراثي لدى الحيوانات الأليفة، في اللجوء إلى سلالة من الخلايا الجذعية الجنينية المستقرة، والتي تنقسم سريعاً. رغم عدد الأعمال الكبير، لم يتمّ الحصول على هذه الخلايا في الوقت الراهن، إلا لدى الفأرة والإنسان.



اتحاد مثمر

تقضي تقنية أخرى، تُطبق على الثدييات الأخرى غير الفأرة، بدمج الاستنساخ عن طريق نقل النواة، إلى التعديل الجيني للخلايا المانحة للنوى.

يبدو اقتران الاستنساخ – التعديل الوراثي أداةً نفيسة لإنتاج الحيوانات المعدلة وراثيا. في المثال المذكور آنفاً عن البقرة، يسمح اللجوء إلى الاستنساخ بالحدّ من عدد الأجنة إلى نحو المئة بدلاً من 2000، للحصول على عجل معدل وراثياً وقابل للحياة. في الواقع، يمكن إتمام عملية حقن جين أجنبي في نواة الخلايا المزروعة، بواسطة علاج كيميائي بسيط قبل استعمالها في الاستنساخ. في هذه المرحلة، بعد انقسام الخلايا، تتم عملية

تمّ تعديل هذه البقرة وراثياً لتقاوم (بفعل وجود الأجسام المضادة) البريون، مسبب مرض جنون البقر

حقن الجين في المجموعة الوراثية بشكلٍ أسهل.
بالإضافة إلى الجين ذي المنفعة، يتم حقن الجينات غير الضرورية وغير الصالحة، وهي جينات المناعة تجاه المضادات الحيوية على سبيل المثال، في الخلايا المانحة للنواة، لإتمام عملية الاستنساخ. يتم الحصول على هذا الجين بسهولة ما يتيح اختيار الخلايا الحاملة بسهولة. في حال أردنا أن يفرز الحيوان المستنسخ بروتيناً في حليبه، فمن المنطقي أن يكون المستنسخ حيوانا أنثى. إذاً، يكفي أخذ خلايا مانحة من نواة حيوان أنثى، لنضمن أن الحيوان المستنسخ حامل الجين الذي يعطي الأوامر بإنتاج البروتين، أنثى.
أخيراً، ينقل الحيوان المعدل وراثيا عن طريق الاستنساخ إلى سلالته الجين ذي المنفعة. إذاً، يتيح اتحاد الاستنساخ مع التعديل الوراثي عبر حيوان مستنسخ ومعدل وراثيا، التوصل إلى سلالة من الحيوانات المعدلة وراثياً هي أيضاً.

حيوانات مستنسخة ومعدلة وراثياً في آنٍ معاً

جورج وشارلي هما أول حيوانين مستنسخين ومعدلين وراثياً في آن واحد في العالم، وقد وُلدا نتيجة جهود علماء المعهد الوطني للبحوث العلمية في فرنساً في العام 1998، وقد فتحا المجال أمام الحيوانات المعدلة وراثياً المولودة عن طريق الاستنساخ. في الواقع،

أدخل الباحثون في المجموعة الوراثية للخلية المانحة، نواة جين غريب، وُجد في مختلف خلايا العجول الشابة. يشكل استنساخ هذه الأبقار مرحلة أساسية، لأنها تسمح بأخذ لمحة عن إمكانية إنتاج مواد ثمينة طبياً في حليبها.

إن النجاح الأخير الذي حالف استنساخ الجرذان، يُعتبر مكسباً هاماً، لأن الجرذ حيوان يقاوم تغيير جينومه. تشتهر الجرذ فيزيولوجيا بقربها من فيزيولوجيا الإنسان، وهو بهذا يشكل نموذجاً مهماً جداً لدراسة بعض الأمراض البشرية.

حقول تطبيق واعدة

نظراً لفعالية الحقن المكروي المحدودة لدى الثدييات بعيداً عن الفئران، يُعتبر ربط الاستنساخ بالتعديل الوراثي حقلاً يفتح المجال أمام آفاق واعدة. إلا أن الحدود التي تعيق هذا النهج عديدة أيضاً، لا سيما تلك المرتبطة بحقيقة أن التعديل الوراثي يفسد الخلايا الواعدة للنوى، ويُفقدها فعاليتها في إعطاء جنين في فترة الاستنساخ.

إذاً، لناحية البحث الأساسي في البداية، يقدّم الاستنساخ والتعديل الوراثي معلومات أساسية عن عمل الجينات وضبطها، التطور الجيني، إعادة برمجة النواة أثناء الاستنساخ والتمايز الخلوي.

تتعدد الآفاق في المجال الطبي نتيجة التطوّر في مجال الاستنساخ، إذ تتيح عملية التعديل الوراثي المرتبط بالاستنساخ، إنتاج بروتينات غريبة في الدم أو في حليب الحيوانات (بروتينات لا تتواجد طبيعياً لدى الحيوان)، وذلك بغية استعماله في مجالي الصيدلة والطب: الأجسام المضادة المونوكلونال للتشخيص، عوامل التخثر لمعالجة نزف الدم، هورمونات (كالأنسولين لمعالجة السكري)، ألفا أنتيتريسبين لمعالجة انتفاخ الرئة والمشاكل الرئوية المصحوبة بالتليف الكيسي، الترانسفيرين (بروتين ينقل الحديد في الجسم)، الألبومين البشري وغير ذلك.

إن ربط الاستنساخ بالتعديل الوراثي يساعد أيضاً في إنشاء نماذج حيوانية للأمراض البشرية: فالاستنساخ المرتبط بالتعديل الوراثي لدى الأرنب والقط، على سبيل المثال، يساهم في الحصول على نماذج أكثر من كافية من الفأرة التي تتميز بفيزيولوجيا غير بعيدة عن فيزيولوجيا الإنسان. بالإضافة إلى ذلك، يدخل ضمن نطاق هذه العملية الأمراض البشرية الوراثية (الأمراض التي تنطوي على جين متحول) ومنها التليف الكيسي، أو الأمراض التي

خلايا مضيئة

أطلق علماء المعهد الوطني للبحوث العلمية في فرنسا اسم "لوسيفر" على أول ثور معدل وراثياً. عمد العلماء في حينها إلى إدخال جين مسؤول عن الضوء المنبعث من الدودة المضيئة، في الخلايا المستعملة في الزرع قبل الاستنساخ. وقد شاء الباحثون في حينها أن لا تكون عملية التعديل الوراثي محفزة حين يتعرض الحيوان للضغط. لا يلمع لوسيفر ليلاً كما تفعل الدودة المضيئة، إلا أن زراعة بضع خلايا مأخوذة من naseaux أتاحت اكتشاف نشاط الجين. بعد إضافة الأنزيم في محيط الزراعة، تصدر الخلايا ضوءاً مرئياً تحت المجهر. أثبتت ولادة لوسيفر إمكانية نقل جين غريب (غير موجود طبيعياً) في خلايا الثدييات الأليفة.

تنطوي على عوامل وراثية وعوامل بيئية معقدة، ومنها السكري، أمراض الأعصاب (الباركنسون على سبيل المثال) وتصلب الشرايين.

زراعة الأعضاء الحيوانية لدى الإنسان

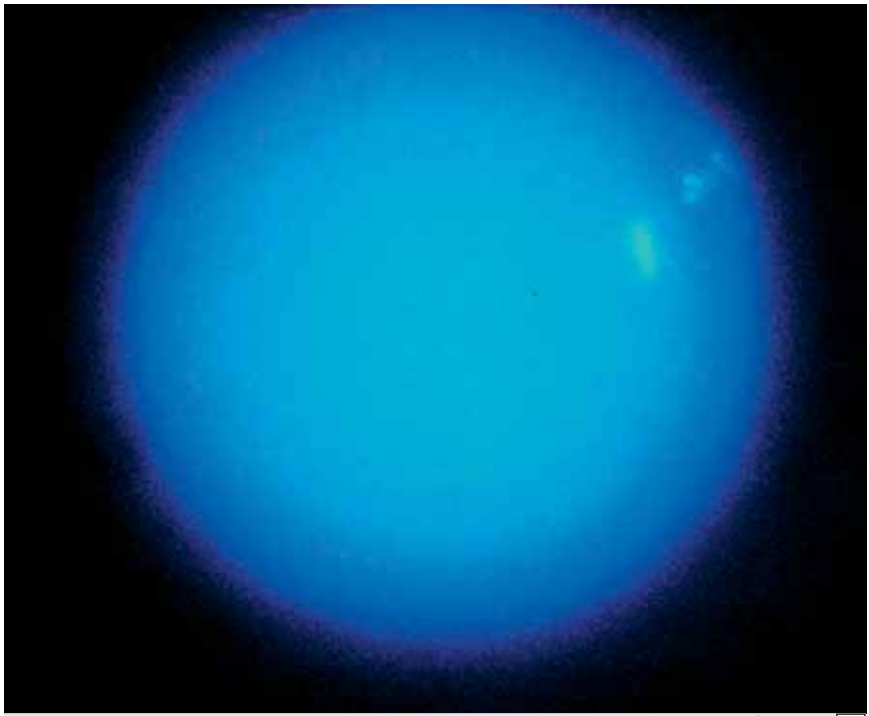
تشكل زراعة الأعضاء الحيوانية لدى الإنسان موضوع بحث منذ فترة طويلة.

رغم المسافة التطورية التي تفصل الإنسان عن الخنزير، إلا أن هذا الأخير يمكن أن يقدم أفضل حلّ ممكن لتطبيق عملية الزرع هذه بشكل دائم. في الواقع تتعدد حسنات هذا الحيوان: تربية سهلة، حجم أعضاء مناسب، ومجالات متعددة. أما العائق الأساسي فيكمن في العائق المناعي بين الفئتين (وجود الأجسام المضادة التي تؤدي إلى رفض الزرع)، الذي يساهم في رفض عدد من عمليات الزرع، في بضع دقائق. ويتجلى الهدف في إحباط آلية الدفاع هذه من خلال تغيير جينوم الحيوان، في شكل يخفي الجزيئيات المسؤولة عن الرفض، أو خلافاً لذلك، إظهار البروتينات البشرية في الأعضاء. تشكل هذه الخنازير المؤنسنة مصدراً محتملاً للأعضاء المهمة (الكلية، الكبد، القلب) التي قد نحتاج إلى زراعتها، وتتيح كذلك الحدّ من النقص الهائل في الأعضاء في مختلف الدول. حتى يومنا هذا، توصلت شركتان إلى إنتاج بضع خنازير مستنسخة معدلة وراثياً عن طريق خلايا جنينية، إحداهما هي الشركة الشهيرة PPL Therapeutics. نجح الباحثون في تثبيط الجين المسؤول في جسم الخنازير عن تركيب السكر المشارك في رفض الأعضاء، عند زراعتها في جسم الإنسان. لا شكّ أن الحصول على تسعة خنازير معدلة وراثياً هو نجاح بحد ذاته، ولكن يحتاج العلماء إلى عدة سنوات قبل أن يتوصلوا إلى إنتاج قطعان مستنسخة لاستعمالها في الحصول على أعضاء معدلة وراثياً. بالإضافة إلى ذلك، إن تطبيق هذه الأبحاث لا يزال بعيداً، نظراً لوجود خطر محتمل غير محدد بتسمم الإنسان بفيروسات مجهولة تعيش في جسم الخنزير.

نادي الأربعة

تتخصص أربع شركات عاملة في مجال التكنولوجيا الحيوية في إنتاج البروتينات الموجودة في الحليب أو في بول الحيوانات المعدلة وراثياً: Nexia Biothechnologies (كندا)، Pharming Group NV (هولندا)، GTC Biotherapeutics Inc (Gencyme Transgenics Corp سابقاً، الولايات المتحدة)، والشركة الشهيرة PP Therapeutics (اسكتلندا)

حصلت شركة Genzyme Transgenics في العام 1999 على ثلاث عنزات معدلة وراثياً،



بويضة الأرنب تحتوي على حمض نووي يضم علامة، ألا وهي الجزيئية المضيئة. ينتمي الأرنب إلى لائحة الحيوانات المستنسخة. يفتح هذا النجاح المجال أمام إنتاج الأرانب المعدلة وراثياً، حيوانات نموذجية لدراسة الأمراض البشرية، لا سيما أمراض القلب والأوعية الدموية.

تنتج بروتيناً بشرياً، وهو مضاد طبيعي لتجلط الدم (المادة المضادة للثرومبين رقم 3 البشري). من حسنات العنزة أنها تنتج حليب النعجة، وأنها أقل من الخرفان والأبقار تعرضاً لخطر تطوير مرض من نوع جنون البقر (الاعتلال الدماغي الإسفنجي البقري).

توصلت شركة Nexía إلى إنتاج عنزات معدلة وراثياً، تنتمي إلى فصيلة خاصة تتميز بقدرتها على التكاثر وعلى إنتاج الحليب بكثرة، والتي تنتج في حليبها حريراً. يتميز هذا الحرير بخصائص مهمة جداً: مقاومة، متانة، خفة ومرونة. يشمل هذا التطبيق المواد الحيوية ذات الاستعمال الطبي (جراحة الأربطة الترقيعية، خيوط لتقطيب الجروح...) والصناعية (ألياف، سترات واقية للرصاص...). ولكن يبقى ضرورة تطوير عملية غزل هذا الحرير. حصلت الشركة عينها أيضاً على عنزات تنتج جزيئية مؤتلفة، تتميز بقدرتها على تذويب الحصى في الدم، تُستعمل هذه الجزيئية كثيراً في علاج الاحتشاء لدى الإنسان.

معجم

بحث أساسي: بحث نظري لا تكون تطبيقاته العملية فورية.
بويضة: خلية جنسية أو مشيج أنثى.

هل من الممكن تطبيق تقنيات الاستنساخ على الجنس البشري؟

ما أهداف هذه التقنيات إن أمكن تطبيقها؟ يلقى الاستنساخ التكاثري، الذي يرمي إلى استنساخ فردٍ بالغ، رفضاً قاطعاً. يطرح الاستنساخ العلاجي، الذي يرمي إلى إنتاج جنين، يكون مصدراً لخلايا قادرة على تجديد نسيج مصاب، تساؤلات أخلاقية معقدة. إزاء التهديد المتمثل بتحويل الإنسان إلى أداة، تسن الدول قوانين وأنظمة سلوكية، تحكم مجال البحث الذي يتناول الجنين والخلايا الجذعية.

لوحة إعلانية لعيادة صينية تمارس التخصيب الاصطناعي وتقيم الأبحاث على الخلايا الجذعية.

التلاعب بالبشر

الاستنساخ التكاثري والإستنساخ العلاجي

عبر تطوير تقنيات الاستنساخ لدى الكائنات البرمائية ومن ثم الثدييات، التي إليها ينتمي الإنسان، تساءل الإنسان عن حقه بخلق الحياة، من خلال التلاعب بقوانين الجنسانية.

إعادة إنتاج آليات التكاثر

نعني بالاستنساخ التكاثري إنتاج نسخة عن كائن حي، بهدف خلق مستنسخ (أو أكثر) خارج كلّ عملية إنجاب طبيعية. التقنية التي يمكن تطبيقها على الإنسان هي تقنية الاستنساخ عن طريق نقل النواة. استُعملت التقنية هذه لولادة دوللي. يتم نقل نواة خلية جسدية (غير جنسية) من فرد (خلية الجلد على سبيل المثال)، إلى بويضة منزوعة المادة الوراثية. يؤدي إعادة تفعيل هذه الخلية البيضة، المعاد تشكيلها عند زراعتها، إلى تطور جنيني حتى مرحلة الأرومة (دائرة مؤلفة من مئات الخلايا). يُزرع هذا الجين بالتالي في رحم امرأة حاملة تلده بعد فترة، إن جرت الأمور على خير، طفلاً مستنسخاً عن بالغ، قدّم النواة التي تحتوي على المجموعة الجينية. كثيرة هي الأسئلة الأخلاقية التي تُطرح حول هوية هذا المستنسخ وحالته.

معجم

المعالجة الخلوية: طب زراعة الخلايا السليمة في نسيج مصاب.

الاستنساخ غير التكاثري أو العلاجي

يلبي هذا النوع من الاستنساخ غايات مختلفة تماماً. فهو لا يرمي إلى إنتاج مستنسخ، ولكن إلى الحصول على خلايا جذعية جنينية، مشابهة جنينياً لخلايا الفرد الذي تتجه إليه. ترمي هذه التقنية إلى استعمال هذه الخلايا لاستبدال الخلايا غير السليمة، أو المختفية في جسم المريض، بخلايا أخرى مشابهة وسليمة. تقضي التقنية بخلق جنين، بعيداً عن نية الولادة، عن طريق خلية جسدية للمريض، وفقاً للتقنية التي ورد وصفها أعلاه.

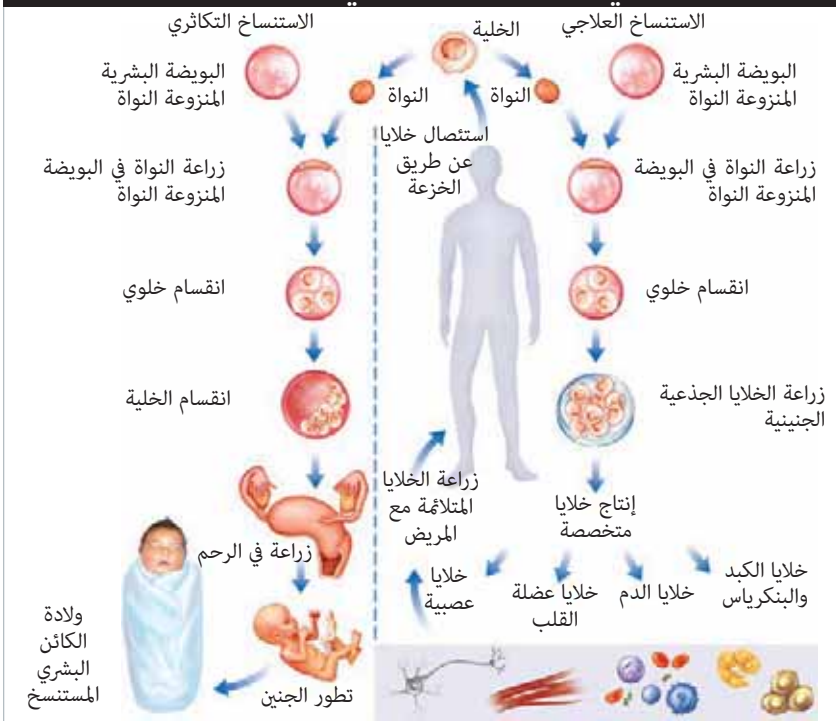
يكمن الاختلاف الكبير في وضع حد بشكل إرادي لتطور الجنين خلال سبعة أيام، أي في مرحلة الأرومة. لا يمكن إعادة زرع هذا الجنين بعد ذلك

تقنية واحدة

يشير البعض إلى أن التمييز بين الاستنساخ التكاثري والاستنساخ العلاجي، الذي يأخذ حيزاً واسعاً، هو أمر خادع. في الحقيقة، إن كل استنساخ هو من حيث التعريف تكاثري، من منطلق أنه يؤدي إلى إنتاج كائن بشري جنيني. فالتقنية المستعملة هي عينها، الهدف وحده هو الذي يتغير: إنتاج خزان من الخلايا والأنسجة في الاستنساخ العلاجي، وخلق كائن حي للنوع التكاثري. إلا أن انزلاق الاستنساخ العلاجي نحو الاستنساخ التكاثري أمر بسيط نسبياً. فمن المسؤول عن منع هذا النوع من الانزلاق؟

في الرحم، ولا يخرج من المختبر حيث تم الحصول عليه. في هذه المرحلة، تكون البيضة دائرةً يقع في داخلها مجموعة من الخلايا، تُعرف باسم البرعم الجنيني الذي عبره تتطور المضغة. يُعتبر هذا البرعم مصدر الخلايا الجنينية المتعددة القدرات، أي القادرة على إعطاء مختلف أنواع الأنسجة في جسم الإنسان تقريباً. تقضي الطريقة باستئصال هذه الخلية الجذعية وزراعتها في ظروف مؤاتية لتمايزها، لتتحول إلى نوع الخلايا التي يحتاج إليها المريض. حين تصل هذه الخلايا إلى عدد مناسب، تُحقن في النسيج المصاب (القلب، البنكرياس...) في جسم المريض. لا يمكن أن نلجأ إلى هذا النوع من الخلايا الجنينية، إلا إذا كانت تتمتع بالمجموعة الوراثية عينها، التي يتميز بها جسم المريض المقصود من عملية الاستنساخ: في الحقيقة، يُعتبر التوافق مع جسم المتلقي نقطة مهمة لتفادي رفض الخلايا الجديدة، أو لتفادي أي علاج مضاد للرفض. في حالة الاستنساخ العلاجي، يُخلق الجنين المستنسخ بهدف تقديم الخلايا المتلائمة جينياً، لتأمين العلاج الخلوي.

الاستنساخ التكاثري والاستنساخ العلاجي



يرمي الاستنساخ التكاثري إلى إنتاج كائن، في حين يرمي الاستنساخ العلاجي إلى إنتاج الخلايا الجذعية المخصصة لمعالجة مريض ما.

هل من الممكن استنساخ كائن بشري؟

رغم أن العلماء يدركون أن العملية عشوائية جداً، وأن مخاطر جمة تهدد الكائن المستنسخ، إلا أن بعض الباحثين يعملون على إستنساخ البشر.

سيطرة غير محكمة على هذه التقنية

مما لا شكّ فيه، أن التجربة التي وفرها استنساخ الحيوانات، تشير إلى أن تقنية نقل النواة أمر يصعب التحكم به، ويفتقر إلى الثقة، ويعطي مردوداً ضعيفاً جداً. حتى وإن بدا بعض الثدييات المستنسخة طبيعية، إلا أن عدد حالات الشذوذ ارتفعت لتبلغ مستويات عالية جداً. في الحقيقة، تبدو النتائج غير كافيةً لتقدير مستقبل هذه الحيوانات وسلالاتها. ومن هنا تحيط الشكوك بطبيعة هذه المستنسخات وسلامتها.

في المقابل، يتطلب التوصل إلى استنساخ كائن بشري بضع مئات من البويضات، لتنجح واحدة في التحول إلى كائن حي. من أين تأتي هذه البويضات؟ هل يمكن أن نتوقع إنتاج مئات البويضات البشرية، المزروعة في عددٍ من الأرحام، للحصول في النهاية على كائن مستنسخ واحد، قابل للحياة والمشاركة في وفاة مئاتٍ الكائنات الأخرى؟ في الوقت الراهن/ وبعيداً عن العوامل الأخلاقية الهامة طبعاً، يتفق العلماء على الاعتراف بإستحالة تطبيق التقنية على الإنسان اليوم، وأنها قد تعرض الكائن المرتقب لمخاطر جمة.

حواء والآخرون...

تدافع عالمة الكيمياء الفرنسية بريجيت بواسولييه، العضو في طائفة الرائيليين، علناً عن مشروع الاستنساخ البشري الذي تنوي البدء به، مع مجموعة من العلماء داخل شركة "كلونيد" التي أنشأت خصيصاً لذلك. أسس مغني سابق وصحفي رياضي فرنسي س. فوريلون (رائيل) طائفة الرائيليين في السبيعينيات. وقد أكد هذا الأخير أنه اتصل بالكائنات الفضائية "إلوهيم"، التي يعتقد أنها خلقت الكائنات البشرية عن طريق الاستنساخ منذ 250 ألف عام، وأوكلت إليها مهمة بناء سفارة تستقبلهم على كوكب الأرض. تتميز هذه الطائفة، التي تضم حوالي 55 ألف منتسب من أكثر من 80 بلداً، بالثراء (أعضاء يقدمون لها 3 إلى 10 % من مداخيلهم). في 26 ديسمبر/ كانون الأول 2002، عقد الرائيليون مؤتمراً عن ولادة بضع إناث (حواء)، أطفال مستنسخة من إحدى المنتسبات. حتى هذا اليوم لم تُقدم أي إثباتات تؤكد وجود حواء الحقيقي، أو حتى وجود تلك الكائنات البشرية المستنسخة، التي يزعم البعض في اليابان وفي هولندا ولادتهم.

أولى محاولات الاستنساخ، تجارة جديدة

تشكل كلّ محاولة لاستنساخ البشر عملاً غير مسؤول علمياً، ومدان إدانةً مطلقة. من هنا يرفض الجميع استنساخ البشر رفضاً تاماً، باستثناء بعض الأشخاص قليلي الشكوك، الذين يتخذون من الاستنساخ البشري أساساً لتجارتهم، بدعم إعلامي كبير. هذه هي حالة عالم الأحيّاء بانايوتيس زافوس،

بريجيت بواسولييه، العضو في طائفة الرائيليين، وهي رئيسة حملة كلونايبد التي ترمي إلى إنتاج كائن مستنسخ بشري. وقد زعمت أنها استنسخت طفلاً من دون أن تقدم أي إثبات على ذلك.

مؤسس مركز علاج العقم في ليسكسغتون (كنتاكي، الولايات المتحدة)، وصديقها سيفيريون إنتيروني، طبيب إيطالي مشهور بمساعدته النساء، اللاتي وصلن إلى سنّ اليأس، على الإنجاب. لقد أعلن هؤلاء ،منذ فترة طويلة، نيتهم استنساخ الكائنات البشرية، ليقدموا الفرصة لمئات الأزواج الذين يعانون العقم (مقابل 50 ألف دولار) لإنجاب طفل.

أما حجتهم، فتستند إلى أن كل ما يقومون به، هو تلبية رغبتهم في وضع مهاراتهم العلمية، في خدمة الأزواج الراغبين في الإنجاب. لا يُعتبر أنتينوري وزافوس أول من تحدى منع الاستنساخ البشري. فقد تخطى عالم فيزياء أمريكي، ريشارد سيد، في العام 1998 هذا الرفض، من خلال إعلانه إطلاق تجارب استنساخ بشري. وإذ يزعم هذا الباحث اعتماده على فريق من الاختصاصيين، يقول أنه مستعد للمضي حتى النهاية إلى أن يتوصل إلى استنساخ الإنسان.

معجم

البويضة: خلية جنسية أنثوية حيوانية، وتُسمى أيضا الخلية البيضة.

الاستنساخ البشري: هل هو فكرة مقبولة؟

يطرح الاستنساخ البشري التكاثري أسئلة خطيرة حول مستقبل البشرية التي تميل إلى الاتفاق، على المستوى الدولي، على إدانة الاستنساخ البشري.

مساس بالكرامة البشرية

يفتح الاستنساخ عند تطبيقه على الإنسان، آفاقاً لا مثيل لها أمام تكاثر هذا الجنس، في شكل لا جنساني، ويهز بعمق فكرة الإنسان وحاله. في الحقيقة، إن الإنجاب الذي يستدعي تدخّل الوراثة، يطرح احتمالات الغنى والتجدد. يبقى كل فرد، على الصعيد الوراثي والنفسي، شخصاً فريداً متميزاً لم يسبق أن عاش شبيه له في الماضي، ولن يحدث أن يعيش شبيه له في المستقبل. استناداً على هذا التفرد تقوم كرامة الإنسان، وهو ما يتخطاه الاستنساخ الذي يرمي إلى خلق شبيه، وإلى تحويل الإنسان إلى ما يشبه القصاصات النباتية.
في السياق عينه، ينفي الاستنساخ الإنسان، إذ يفقد هذا الأخير حالته كفرد، ليتحول إلى شيء يُحدد جينومه مسبقاً. ومن منا لا يشعر بالضيق، بعيداً عن أي إيمان دينيّ، إزاء إمكانية تحويل الإنسان إلى آلة؟

تيه الاستنساخ

ما هي دوافع مناصري الاستنساخ البشري التكاثري؟ يوافق البعض على الاستنساخ انطلاقاً من أنانيتهم، لأنه يضمن لهم الوصول إلى الخلود. في حين يتأثر آخرون بحجج أنصار الاستنساخ، ويأملون باسترجاع طفل أو أنسان غال اختفى أو على وشك الموت.
لو تخيّل لنا للوهلة الأولى أن هذه الطلبات شرعية، فإنها ستؤدي إلى حيرة خطيرة بين الهوية الوراثية والهوية النفسية: إننا لا نحيي إنساناً سبق وعاش في كائن مستنسخ.
أخيراً، يرى الأزواج، الذين يعانون عقماً لا سبيل للشفاء منه، في الاستنساخ، سبيلاً للإنجاب بيولوجياً، وهو نفسه السبيل الذي يطالب به المثليون. وهنا، ينبغي أن نطرح سؤالاً حول خصوصية نمط الإنجاب الناتج عن الاستنساخ. فالطفل الذي سيملك مجموعة جينية خاصة بأحد والديه من دون الآخر (الخلية المانحة ستُستأصل من الأب أو من الأم)، سيكون في الوقت عينه توأماً للبالغ وأحد أفراد سلالته.
أي نوع من العلاقة هي تلك التي ستجمع بين الشخص الذي يمنح

الخلية والمستنسخ عنه؟ ما هي حالة المستنسخ حين يعرف بعد نموه أنه مستنسخ؟ ألا يمكن أن يعاني بعض أشكال التمييز؟ إن النتائج البيولوجية والنفسية هذه المترتبة على الاستنساخ هي نتائج مجهولة، فهي تبرر بشدة إدانة الاستنساخ البشري التكاثري، الذي يشكل انتهاكاً خطيراً لحقوق الإنسان الأساسية، وجريمة بحق الجنس البشري.

فراغ قانوني على الصعيد الدولي

تتشارك الدول جميعها تقريباً والرأي العام، اليوم، موقفاً يستنكر الاستنساخ البشري التكاثري. أما السلاح الأبرز والأكثر فعالية المستعمل ضد هذه الممارسات، فيتجلى في إصدار توافق دولي على مستوى الأمم المتحدة، تتبنى بموجبه كافة الدول، تشريعاً يمنع، بشكل حاسم، استنساخ الإنسان. في ديسمبر/ كانون الأول 2003، لم تتوصل الجمعية العموميةّ للأمم المتحدة إلى اتفاق مماثل. تعكس هذه الظروف الانقسام الحاصل ضمن المنظمة، مع مناصرة بعض الدول للاستنساخ من جهة (الولايات المتحدة، إيطاليا، كوستاريكا، الفيليبين، و50 دولة أخرى)، ومناهضة دول أخرى للفكرة (البرازيل، الصين، اليابان، جنوب أفريقيا، فرنسا، ألمانيا، المملكة المتحدة، تركيا، تشيكيا، فنلندا) التي تعارض الإستنساخ التكاثري من جهة، بينما تأمل في المقابل، السماح بالاستنساخ العلاجي لدعم الأبحاث ضمن إطار ضيق.

في فبراير/ شباط 2005، تبنت الأمم المتحدة قراراً عالمياً يمنع مختلف أشكال الاستنساخ البشري. في العام 2008، وأمام الخطر الذي يهدد بظهور مستنسخ بشري، استعدت المنظمة الدولية لتبني قرار جديد يميّز بين الاستنساخ التكاثري والاستنساخ العلاجي، فسمحت بهذا للباحثين القيام بدراساتهم وأبحاثهم لتطوير الاستنساخ العلاجي، ولكن ضمن إطار ضيق وخاضع للسيطرة.

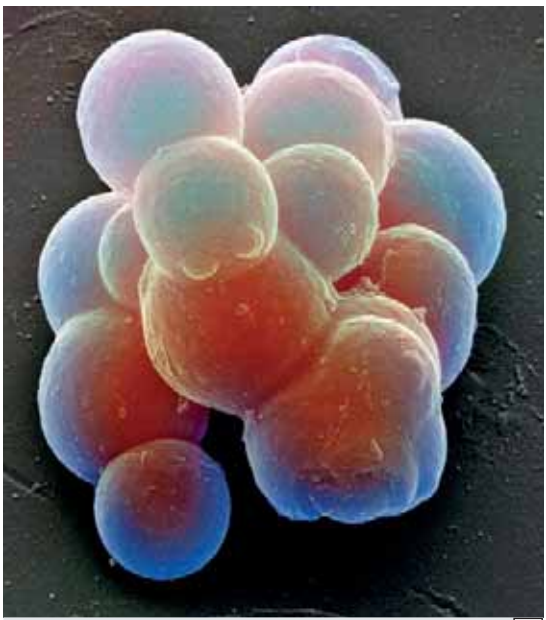
في فيلم الخيال العلمي، Matrix Reloaded 2003، يقوم الإخوة فاشوفسكي، أحد أبطال الفيلم، باستنساخ أعداد هائلة من نفسه

الخلايا الجذعية أو البحث عن الكأس المقدس

بعد أربعين عاماً من دخولها الساحة العلمية، تحمل الخلايا الجذعية، التي تتميز بصفات مدهشة، أملاً كبيراً وتترك أثراً مدهشاً حقيقياً.

الخلايا الجذعية: الأمل المنتظر

تتميز الخلايا الجذعية بصفتين. في المقام الأول، تتجدد هذه الخلايا من تلقاء نفسها، أي أنها تتكاثر حتى النهاية فيما تبقى متمايزة، وهي قادرة على إنتاج نوع واحد او أكثر من الخلايا المتمايزة (خلايا الكبد، البشرة، العضلات، الخلايا العصبية...)، بشكل متواز. ثمة عدد من الخلايا الجذعية لدى الجنين، المضغة والبالغ. يستند العلاج الخلوي، الذي يقضي باستبدال الخلايا المصابة أو المختفية بخلايا سليمة، إلى خصائص هذه الخلايا المعجزة. منذ فترة طويلة، كان تطعيم الخلايا الجذعية البالغة في النخاع العظمي، قادراً على إعادة تشكيل خلايا الدمّ جميعها، ويُستعمل لمعالجة أمراض الدم على نطاق واسع. وقد أثبتت الخلايا الجذعية في الجلد فعاليتها العلاجية لمعالجة الحروق الكبيرة (زرع الجلد). لكن بفضل الاكتشافات الحديثة، يمكن توسيع العلاج الخلوي ليشمل عدداً كبيراً من الأمراض التي لا علاج لها حالياً: السكر، الأمراض العضلية، الجلطة الدموية في عضلة القلب، أو حتى الأمراض العصبية (كالباركنسون والألزهايمر).



تستطيع هذه الخلايا الجذعية المستأصلة من النخاع العظمي، إعادة إنتاج مجموعات مختلفة من خلايا الدم: الكريات الحمراء، الكريات البيضاء والصفائح.

الخلايا الجنينية الجذعية

في العام 1981، توصل الباحثون، وعبر أجنة الفئران،

خلايا جذعية جنينية بالغة

بالإضافة إلى الخلايا المخصصة لنسيج معين، هناك خلايا أخرى قريبة من الخلايا الجذعية الجنينية لدى البالغ. في العام 2002، عزل باحثو جامعة مينيسوتا خلايا مشابهة عن طريق النخاع العظمي لدى فأرة، فأنتجت ثلاث فئران مميزة خلال المرحلة الأولى من مراحل النمو الجنيني: الأديم الظاهر الذي يُعتبر أصل البشرة والنظام العصبي، الميزوديرم التي تعطي من ضمن أشياء أخرى العضلات والدم، والأندوديرم (طبقة الجلد الداخلية) التي منها يتطور الأنبوب الهضمي والأعضاء المرتبطة به. يمكن زراعة الخلايا الجذعية على مدى ثمانين جيلا، من دون أن يظهر عليها أية علامة شيخوخة، وتبقى قادرة على التمايز لتتحول إلى مختلف أنواع الخلايا. إلا أنها تبقى نادرة جداً ولا بدّ من التأكيد بشدة على وجودها.

إلى إنتاج مجموعات من الخلايا الجذعية الجنينية المتعددة القدرات، أي القادرة على تغيير شكلها، لتتحول إلى مختلف أنواع أنسجة الجسم تقريباً. تكشف هذه الخلايا الجنينية الجذعية خصائص مميزة: فهي تتمتع بقدرات غير محدودة على التجدد، وتحتفظ بقدراتها المتعددة حتى بعد عدة أسابيع من الزراعة. عند زراعتها في ظروف خاضعة للسيطرة، فإنها تبدو قادرة على إنتاج مختلف أنواع الأنسجة المتخصصة، ما يتيح إمكانية زرعها بعد ذلك، لمعالجة الأمراض التي تتطلب إعادة تجديد النسيج المصاب. أتاحت هذه الخلايا إنتاج فئران معدلة وراثياً، لدعم الدراسات القائمة حول وظيفة الجينات وضبطها، ولإنشاء نماذج عن الأمراض البشرية.

في العام 1998، نجح العلماء للمرة الأولى في زراعة خلايا جذعية جنينية بشرية متعددة القدرات. تنطبق التجربة المكتسبة من الفأرة بنجاح على الإنسان. تقدم دراسة الخلايا الجذعية هذه مصلحةً هامة، لأنها بالإضافة إلى فائدتها الأساسية في دراسة تكوين الجنين البشري، فأنها تشكل مصادر محتملة لا محدودة للخلايا المتمايزة (خلايا العضلات، خلايا الدم، خلايا عصبية...)، تُستعمل في العلاج الخلوي. يوجد حالياً نحو 60 مجموعة من الخلايا الجنينية البشرية في العالم. في نهاية العام 2007، أعلن فريقا عمل، أحدهما في اليابان والثاني في الولايات المتحدة، أنهما توصلا إلى إمكانية الحصول على خلايا جذعية متعددة القدرات، عبر خلية بالغة من جلد الإنسان. أدى إدراج أربعة جينات مختلفة في هذه الخلايا إلى إعادة برمجتها، وإلى تحوّلها إلى خلايا جنينية. يُعتبر هذا التقدم مهماً، لأن تقنية إعادة برمجة الخلايا البالغة إلى خلايا جذعية، لا يطرح مشاكل أخلاقية وعملية مرتبطة بخلق أجنة عبر الاستنساخ. عند اللجوء مباشرة إلى خلايا المريض، تلغي هذه التقنية في مرحلة التجربة إمكانيات الرفض، وتفتح المجال أمام آفاق واعدة لاستعمال هذه العلاجات الخلوية. على أية حال، قرر إيان ويلموت، الوالد العلمي لدوللي، أن يتخلى عن أبحاثه في مجال الاستنساخ، لصالح تقنية إعادة برمجة الخلايا البالغة.

معجم

غير متمايزة: تُقال لنسيج أو خلية لم تتمايز أو التي خضعت لعملية فقدان تمايز.

متعددة القدرات: التي يمكن أن تولد تقريباً مختلف أنواع أنسجة الجسم.

متعددة الإمكانية: القادرة على توليد مختلف أنواع الخلايا في النسيج عينه.

مخزون الخلايا الجذعية المجمدة: تستطيع هذه الخلايا المتمايزة الموجودة في الجنين ولدى البالغ، أن تنتج نوعاً آخر من الخلايا.

الخلايا الجذعية لدى البالغ

اكتشف العلماء الخلايا الجذعية البالغة في عدد من أنسجة البشرة والأمعاء، لا سيما الدم الذي تتجدد خلاياه باستمرار، وأقاموا حولها الدّراسات منذ فترة طويلة. تقدم هذه الخلايا إثباتاً بأن الخلايا الجذعية تستمر بعد التطور الجنيني في الجسم البالغ، وأنها تؤدي دوراً في تجديد الخلايا. مؤخراً، اكتشف العلماء وجودها في مختلف أنواع الأنسجة التي قلما تتجدد، كالعضلات والكبد وكذلك في الدماغ، خلافاً لما هو متوقع. تتميز هذه الخلايا الجذعية البالغة، الأقل طوعية من الخلايا الجنينية، بتنوع إمكانياتها: فهي قادرة على توليد مختلف أنواع الخلايا الخاصة بنسيج معين. إذاً، تنتج بعض الخلايا الموجودة في نخاع العظم مختلف أنواع خلايا الدمّ: الكريات الحمر، الكريات البيض والصفائح.

لدونة الخلايا الجذعية البالغة

تمّ الاعتراف بأنه، حين يتم برمجة الخلية الجذعية المتعددة الإمكانيات لتولد نوعاً من الأنسجة، يُحدد مصيرها. إلا أن عدداً من الحقائق المدهشة التي اكتشفت عن الفأرة أحبطت هذه الفكرة، خلال السَنوات الماضية. فعند زراعة خلايا الدماغ الجذعية في بيئة مناسبة، تصبح قادرة على التمايز، ليس إلى خلية عصبية، إنما إلى خلايا دم؛ كما تمكنت الخلايا الجذعية العضلية من إنتاج خلايا الدم. وقد بدت بعض الخلايا الجذعية في نخاع العظم أكثر تنوعاً: فزراعة هذه الخلايا أدت إلى تجديد خلايا العضل والكبد. تشير هذه الأمثلة إلى أن الخلايا الجذعية الشابة، قد تكون قادرة عند درجات مختلفة، على تغيير قدرها وتخطي أصلها الجنيني. حتى الساعة، لا تزال الآليات التي تفسر هذه اللدونة المدهشة مجهولة. في العام 2002، تمت مناقشة بعض هذه النتائج وكذلك مبدأ اللدونة الذي لا بدّ من تقييمها.

صورة الخلايا الجذعية (باللون الأزرق) في البشرة، التي بعد زراعتها لمدة عشرة أسابيع تستطيع التحول إلى وبرة. في العام 2002 اكتشف باحثون فرنسيون خلايا الجلد الجذعية هذه.

خلايا الجلد الجذعية

في العام 2002، اكتشف فريق عمل فرنسي من المعهد الوطني للصحة والبحث الطبي للمرة الأولى، وجود خلايا جذعية في جلد الفأرة. تتميز الخلايا الجذعية البالغة المتعددة الإمكانيات هذه، بالقدرة على التمايز إلى ثلاثة أنواع من الخلايا: خلايا البشرة، خلايا الغدد الدهنية (التي تنتج الزهم) وخلايا بصيلات الشعر التي منها ينتج الشعر والوبر. يمكن استعمال هذا الاكتشاف في عدد من التطبيقات في العلاج الخلوي، لالتئام الجروح وزرع البشرة للتخلص من آثار الحروق الكبيرة وسرطانات الجلد، ولتجنب سقوط الشعر.

معجم

المجموعة الخلوية: مجموعة من الخلايا من نوع معين مستقرة وقادرة على الانقسام عند زراعتها.

نحو طب التجديد

تفتح التطورات الهامة التي شهدها علم أحياء الخلايا الجذعية المجال أمام آفاق مدهشة، وكذلك ظاهرياً، تشكل طباً جديداً وهو طب تجديد الأنسجة المصابة.

نهج جديدة للمعالجة

منذ بضع سنوات، يجري العلماء عدداً من التجارب على العلاج الخلوي، فيعمدون إلى زراعة خلايا الكبد لمعالجة أمراض الكبد، والخلايا العصبية لمعالجة الأمراض العصبية، أو حتى خلايا البنكرياس لمعالجة السكري. وحتى خلال المرحلة التجريبية، تتطلب هذه الخلايا خلايا جنينية شاركت أصلاً في عملية التمايز، خلايا تمّ استئصالها من جنين بعد إجهاضه.

ونظراً لمصدر هذه الخلايا (الإجهاض)، الذي يطرح تساؤلات أخلاقية، يبدو مستقبل هذه الخلايا في العلاج الخلوي موضوع تسوية، لا سيما وأنه يمكن استبدالها بخلايا جذعية جنينية أو بالغة بنجاح.

تكشف الدراسات التي أجريت في السنوات الماضية أنّ هذه الأخيرة ليست أكثر عدداً فقط، إنما تُظهر مزايا مدهشة. فهي تشكل أدوات واعدة للنهج العلاجية الجديدة لعددٍ كبير من الأمراض.

يتجلى الهدف من الاحتفاظ بمجموعات من الخلايا الجذعية في المختبر وحثها على التمايز، بفضل خليط لطيف من عوامل النمو في بيئة الزراعة، في إنتاج نوع الخلايا المرغوب. يبقى إذاً أن نزرع الخلايا المتمايزة الناتجة في النسيج المصاب في جسم المريض. ولكن أي من الخلايا الجذعية هي الأفضل لاستعمالها في العلاج الخلوي؟ إن الخلايا الجذعية سواءٌ أكانت جنينية أو بالغة، حساسة إزاء التعديل وتطرح كلٌ منها مجموعة من الميزات والسيئات.

مشكلة أخلاقية

يطرح استعمال الاستنساخ العلاجي للحصول على الخلايا الجذعية الجنينية، عدداً من المشاكل على الصعيد الأخلاقي. في الحقيقة، تفترض هذه الطريقة، خلقَ أجنة للاستعمال العلاجي حصرياً، ليتم القضاء عليها بعد الحصول على الخلايا الجذعية الضرورية. تتطلب عملية الاستنساخ عدداً كبيراً من البويضات البشرية، وهي تطرح أيضاً تساؤلات حاسمة ذات صلة بمصدرها. أخيراً، ألا يُعقل أن تكون الخلية المستعملة لخلق الجنين حاملة لبعض الأمراض؟ تتفوق الخلايا الجذعية البالغة على الخلايا الجذعية الجنينية، في كونها لا تسبب أية مشاكل على الصعيد الأخلاقي. في الواقع، يلجأ الأطباء إلى استئصال الخلايا الجذعية من جسم المريض عينه، وتُزرع ليتم حقنها مجدداً في النسيج المصاب.

معجم

متعددة القدرات: خاصية توليد مختلف أنواع خلايا الأنسجة في الجسم.

متعددة الإمكانيات: خاصية توليد مختلف أنواع خلايا في نسيج معين.

تقضي الجرعات المرتفعة من العلاج الكيميائي المستعمل لعلاج بعض أنواع السرطان، على الخلايا الجذعية في نخاع العظم التي تنتج خلايا الدم. من الممكن الاحتفاظ قبل العلاج ببضع خلايا جذعية تُستأصل من جسم المريض، وتجميدها، ليُصار لاحقاً إلى حقنها (زراعة ذاتية) في جسم المريض، بعد الانتهاء من العلاج الكيميائي.

الخلايا الجنينية

قد تؤدي الخلايا الجنينية إلى سرطان لدى الحيوان، وقد لا تحافظ على قدرتها على العمل بعد تمايزها نحو نوع خلوي معين؛ فعلى سبيل المثال، الخلايا التي تتمايز إلى خلايا البنكرياس، لا تنتج دائماً الأنسولين الفاشل لدى المصابين بداء السكري. في المقابل، يبدو أن الخلايا الجنينية تحتفظ بقدرة شبه أبدية على الانقسام، وتحافظ بعض المجموعات الخلوية على خصائصها، كخلايا متعددة القدرات، لمدة تقارب عشرات السنين في المختبر. نظرياً، يمكن الحصول على الخلايا الجنينية من مصدرين. يتجلى المصدر الأول في الأجنة الناتجة عن التلقيح في الأنبوب الذي يتخلى الوالدان عنه، والتي تُعرف باسم الأجنة الزائدة التي يتم الاحتفاظ بها في بيئة متجمدة. أما المصدر الثاني فيشمل الأجنة البشرية الناتجة عن الاستنساخ العلاجي عن طريق خلية جسدية (غير جنسية) تُستأصل من المريض. تتميز هذه الأجنة بالتالي، بالقدرة على تقديم خلايا جذعية مطابقة وراثياً.

في الحقيقة، إن التوافق بين الخلايا المتمايزة التي يُستحصل عليها في المختبر وبين خلايا المريض، هو أمر مهم لتجنب رفض الزرع.
يطرح هذان المصدران، الذان يفترضان التلاعب بالأجنة، أسئلة أخلاقية حساسة، ويؤديان إلى اتخاذ مواقف متباينة في هذا الصدد.

خلايا جذعية بالغة

يمكن أن تشكل الخلايا الجذعية البالغة المتعددة الإمكانيات بديلاً للخلايا الجنينية. في حال تمّ التأكيد على لدونتها، يصبح بالإمكان تخيل إعادة برمجة مصير الخلية الجذعية، بشكل يتيح لها أن تتبع دروب تمايز جديدة، وهذا ما يطلق عليه الباحثون اسم التمايز التحولي. بعد استئصالها من المريض وزراعتها، تتيح هذه الخلايا إعادة تشكيل في الأنبوب، وبناءً على الطلب، الجلد، الخلايا العضلية، خلايا الكبد، العظام وكذلك الأعصاب. ولما كانت هذه الخلايا مأخوذة من المريض، لا يرفضها الجسم أثناء العلاج الخلوي الرامي إلى ترميم نسيج أو عضو مصاب. ولكن، قد تشكل كمية خلايا النسيج الجذعية المتخصصة، عائقاً كبيراً أمام استعمالها علاجياً، إلى أن يتم تحديد العوامل التي تساعد على تحفيز انتشارها ونضوجها من خلال الزراعة.

يُعزى مرض الباركنسون إلى فقدان تدريجي للأعصاب التي تطلق الوسيط الكيميائي، الدوبامين، الذي يشارك في التحكم بالحركات. تُعتبر زراعة الأعصاب ذات الأصل الجنيني التي تفرز الدوبامين في الدماغ طريقة، لا تزال تجريبية، لعلاج هذا المرض.

العوائق الحالية التي تقف في وجه العلاج الخلوي

تشمل التطبيقات المستقبلية للعلاج الخلوي مع الخلايا الجذعية أنواع متعددة من الأمراض.
يتطور عدد كبير من التجارب التي تتناول العلاج الخلوي، منها تجارب حول رقاص هنتنغتون، الهزل العصبي، وفشل القلب الشديد، إلا أن التطبيق الروتيني لا يزال بعيداً،

وجهات نظر جديدة

أتاحت الندوة الدولية الأولى حول الخلايا الجذعية البشرية التي عُقدت في العام 2008 في إيفيري، إلقاء الضوء على وجهات نظر تطبيقية. شملت تجارب العلاج الخلوي بشكل أساسي، علاج فشل القلب وأمراض الأعصاب. وتظهر حالياً أنواع جديدة من التطبيقات، منها زراعة الجلد لعلاج الأمراض الجلدية، وزراعة الكبسولات التي تحتوي على الخلايا القادرة على إنتاج الإنسولين لمعالجة السكري. بالإضافة إلى العلاج الخلوي، تبدو هذه الخلايا الأبدية نفيسة لإنتاج الأجسام المضادة والفيروسات، لصناعة اللقاحات ولدراسة الأمراض.

معجم

اللدونة: ميل عنصر معين إلى التحول، إلى التغير وإلى الطوعية.

ولا نزال بعيدين عن العثور على القدرات الحقيقية التي تميز هذه الأجيال المختلفة من الخلايا الجذعية، وتقدير المخاطر التي قد ترتبط باستعمالها. إلا أن الكثير من الشكوك تحوم حول بيولوجيتها، لا سيما حول حقيقة لدونة الخلايا الجذعية. في الحقيقة، أعادت إمكانية توليد بعض الأمثلة التساؤلات حول مبدأ اللدونة. ومع التطور، نجد أنفسنا لا نزال بعيدين عن السيطرة على العوامل التي تتحكم بقدرة الخلايا الجذعية على التمايز نحو نوع خلوي معين، إضافة إلى ميلها نحو الانقسام.

مثال عن العلاج الجيني

مراحل العلاج عن طريق العلاج الجيني لمرض جيني (عوز دي أميناز الأدينوزين) الذي يؤدي إلى نقصٍ في النظام المناعي يجعل الجسم غير قادرٍ على مكافحة الأمراض.

تشريعات متنوعة

يبدو سن القوانين أمراً ضرورياً مع تنوع وجهات النظر المطروحة حول الاستنساخ البشري. تختلف التشريعات بين بلد وآخر في ما يتعلق بالأبحاث التي تُجرى على الجنين البشري وعلى الخلايا الجذعية.

الجنين البشري في قلب النقاشات

يتطلب تطور العلاج الخلوي، عن طريق الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، أبحاثاً معمقة على هذه الخلايا. يفرض هذا النهج تعديل الأجنة البشرية، وهو ما يسبب بعض المشاكل على الصعيد الأخلاقي. نظرياً، يمكن إتمام الأبحاث على الأجنة الزائدة بعد التلقيح في الأنبوب، أو على الأجنة المخصصة حصرياً لأغراض البحث. تحتل حالة الجنين واللجوء إلى الخلايا الجذعية الجنينية، مركز النقاشات الأخلاقي في مختلف الدول. فهل هو شخص منذ الحمل، كائن بشري محتمل، أو كتلة خلايا همجية؟ منذ متى يتحول هذا الجنين إلى كائن بشري يمكنه الاستفادة من مختلف أنواع الحماية التي يؤمنها القانون؟ إن حالة الجنين مسألة جدلية جداً، ولا اتفاق حول هذا الأمر حتى يومنا هذا. كيف يمكن اتخاذ قرار السماح بإجراء الأبحاث على الجنين البشري أو منعها، في حال كانت حالة هذا الأخير غير محددة تحديداً دقيقاً؟ تسمح بعض الدول بخلق الأجنة لأغراض علاجية، في حين تمنع دول أخرى أي نوع من أنواع التلاعب.

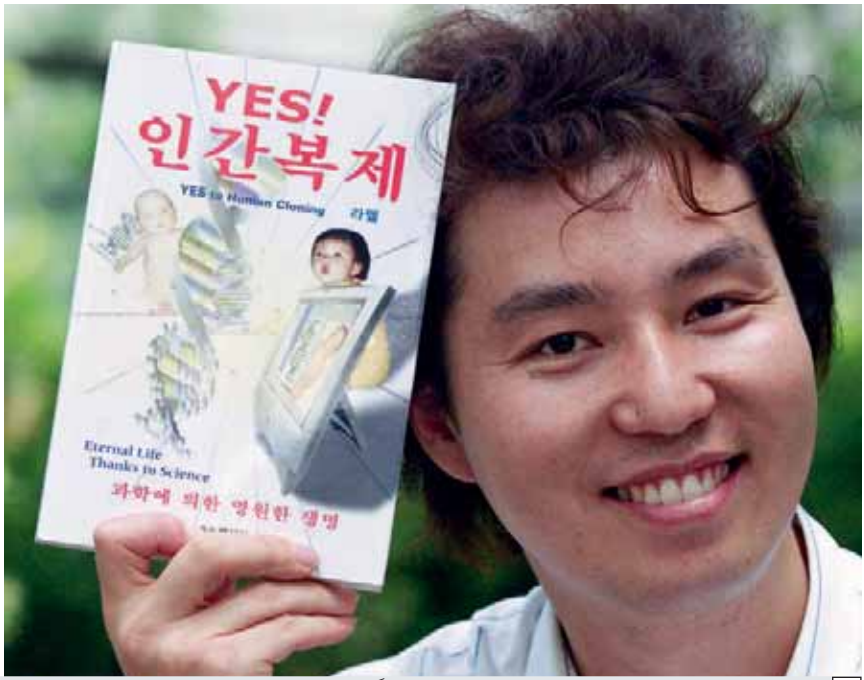
انقسام في أوروبا

تُعتبر المملكة المتحدة، الدولة الأوروبية الوحيدة التي أعلنت عن مواقف تحررية وواضحة في هذا المجال. يسمح القانون البريطاني بإجراء أبحاث حول الجنين البشري إلى أن يبلغ من العمر 14 يوماً، أي بعد أولى عمليات التمايز الخلوي. في فبراير/ شباط 2002، شرّع البرلمان البريطاني، بعد جلسة تصويت، استنساخ الأجنة البشرية لغايات علاجية. وبهذا كانت المملكة المتحدة الدولة الأولى في العالم، التي تتبنى تشريعات تتيح الأبحاث وتحدها في الوقت عينه.

في إطار هذا القرار، في 11 آب/ أغسطس 2004، سمحت هيئة الخصوبة والأجنة البشرية، لفريق عمل مؤلف من علماء أحياء في جامعة نيوكاستل (لمدة عام)، بخلق أجنة بشرية للقيام بأبحاثهم وبإجراء التطبيقات العلاجية. يستطيع هذا الفريق المتخصص

؟؟؟؟؟؟؟؟

في الولايات المتحدة، تستفيد بعض الأبحاث من التمويل العام، في حين يُحجب هذا الأخير عن بعضها الآخر؛ الأمر الذي يترك المجال مفتوحاً أمام باحثي القطاع الخاص الذين لا يعانون موانع تنظيمية. في آب/ أغسطس 2001، قررت الحكومة الفدرالية أن تسمح بتقديم تمويل محدود، لأبحاث تُقام على مجموعة من الخلايا الجذعية المستأصلة من الأجنة الزائدة، قدمها البعض كهبة للعلم. في موازاة ذلك، صوّت البرلمان من جهته على نص يمنع ويجرّم كل أشكال الاستنساخ البشري.



المتحدث الكوري الجنوبي باسم حملة كلوناد يحمل كتاباً بعنوان «نعم للاستنساخ البشري». تأسست طائفة الرئاليون الذين يعتقدون بأن الكائنات الفضائية خُلِقت عن طريق الهندسة الوراثية، في العام 1997.

بالخلايا الجذعية الجنينية، أن ينتج أجنة وفقاً لتقنية دوللي (إستنساخ عن طريق نقل نواة خلية متمايزة)، أجنة يتمّ تعطيل نموها عند بلوغها من العمر 14 يوماً. وإذ تتابع أعمالها على داء السكري، يأمل الفريق في إمكانية التوصل إلى حثها على التمايز إلى خلايا تنتج الأنسولين، بعد زراعة الخلايا الجذعية المستأصلة من الجنين. في حال نجح في مسعاه، يمكن زرع هذه الخلايا في جسم مرضى السكري في إطار التجارب العيادية.

علاوةً على ذلك، يسمح كلٌ من إسبانيا (بموجب قانون 2 تشرين الثاني/ نوفمبر 1998)، والدانمارك (بموجب قانون 10 حزيران/ يونيو 1997) والسويد، بإجراء الأبحاث على الأجنة التي تقل أعمارها عن 14 يوماً، إلا أنها تمنع كلّ أشكال الاستنساخ. ولكن إسبانيا تشهد تطوراً على هذا الصعيد، مع استحواذ الإشتراكيين على الأكثرية، الذين يأملون السيطرة على شبكة وطنية تهدف إلى تحسين البحث على هذه الخلايا الجذعية وطب التجديد. في إيطاليا، لا تُطرح أي تساؤلات حول الجنين في التشريع الحالي. ولكن من الممكن، في القريب العاجل، تقديم اقتراح قانون إلى البرلمان، يسمح بإجراء عمليات إستنساخ لغايات علاجية. تبنت بعض الدول مواقف صارمة جداً إزاء التلاعب بالأجنة، كما في ألمانيا، حيث يمنع

إن إدانة الاستنساخ البشري أمرٌ متوافق عليه في العالم أجمع. في الصورة، يظهر معارضو الاستنساخ البشري في مظاهرة ضدّ الاستنساخ في واشنطن.

القانون الفدرالي الصارم جداً الصادر في 13 كانون الأول/ ديسمبر 1990، الأبحاث حول الأجنة البشرية التي تُعزى منذ بدايتها إلى شخص معين. إلا أنها تسمح بتصدير الخلايا الجذعية الجنينية، ما يتيح للباحثين تمرير اتفاقيات مع مختبرات أجنبية. أما في سويسرا، النمسا والنروج، فالمواقف صارمة جداً إزاء البحث على الأجنة والاستنساخ لأهداف علاجية.

في إيرلندا، يستثني الدستور كلّ بحث حول الأجنة. أما فرنسا التي أصدرت منذ العام 1994 أولى قوانين أخلاقيات علم الأحياء، فقد راجعت موقفها وعدلته لتظهر بعض الانفتاح. في الواقع، تبنى البرلمان في الثامن من تموز/ يوليو 2004 مشروع قانون يمنع مبدأ إجراء الأبحاث حول الأجنة، ويجيز، بشكل استثنائي، البحث حول الخلايا الجذعية الجنينية لمدة خمس سنوات. يسمح هذا القانونُ كذلك للباحثين الحصول على مجموعات من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المزروعة أصلاً.

قوانين قيد الإعداد

تحضر سويسرا قانوناً فدرالياً، تسمح بموجبه القيام بأبحاث على الأجنة الزائدة والخلايا الجذعية الجنينية، شرط أن تكون مبررة على الصعيد العلمي، ومقبولة من الناحية الأخلاقية.

علاوةً على ذلك، يخضع الحصول على الخلايا الجذعية أيضاً لبعض الشروط.

في أستراليا، لا وجود لأي تشريع فدرالي يتحكم بالأبحاث التي تُجرى على الأجنة؛ وقد تُرك التشريع للدول الستة ولأراضي الاتحاد. لكن، ووفق تقرير جديد، يُنصح حالياً بإقرار تشريع يؤكد صراحةً على فائدة الأبحاث حول الخلايا الجذعية الجنينية لغايات علاجية. ويُقدر أن تكون مجموعات الخلايا الجذعية التي تمّ خلقها كافيةً للأبحاث الحالية.

ولكن إذا تبيّن أن هذا المورد غير مناسب أو غير كافٍ، يصبح إنشاء مجموعات من الخلايا

الأجنة البشرية الأولى؟

أعلن فريق عمل البروفيسور هوانغ من جامعة سيول في فبراير/ شباط 2004، أنه حصل، عن طريق الاستنساخ (عبر نقل النواة)، على ثلاثين جنيناً بشرياً تم إيقاف نموها بعد مرور خمسة أيام. أظهر وصف التجربة في الجريدة العلمية Science للمرة الأولى، أنه بالإمكان الحصول على الخلايا الجذعية الجنينية، عبر أية خلية تستأصل من جسم الإنسان. وقد تبيّن لاحقا أن هذا الخبر كاذب، ما أجبر المجلة – استثنائياً – على أزالة المقال من أرشيفها.

معجم

الأخلاقيات: مجموعة من القواعد الأخلاقية التي تُفرض على بعض الأنشطة ومنها أنشطة طبية.
التلقيح في الأنبوب: تلقيح يتم اصطناعياً، في المختبر، قبل نقل البيضة إلى رحم الأم.
المستنسخ: مجموعة من الخلايا أو الأجسام الحية المتشابهة، الناتجة الواحدة عن الأخرى عن طريق التكاثر اللاجنسي، وتُقال أيضاً للدلالة على أحدى هذه المجموعات.

الجذعية عبر الأجنة الزائدة، وكذلك عبر الأجنة الناتجة عن نقل نواة الخلايا الجسدية، متاحة وخاضعة للوقف لمدة ثلاث سنوات. شاركت أستراليا إذاً موقف إسرائيل، التي تسمح بالأبحاث على الأجنة وعلى الخلايا الجذعية الجنينية، والاستنساخ العلاجي. تُعتبر كوريا الجنوبية، التي تسمح بالأبحاث على الخلايا الجذعية والاستنساخ العلاجي، البلد الأول الذي حصل في أغسطس/ آب 2004 على أجنة بشرية. في أيلول/ سبتمبر 2004، تبنى برلمان سنغافورة قانوناً يسمح بخلق الأجنة البشرية للبحث العلمي، إلا أنه يمنع الاستنساخ التكاثري (تحت طائلة السجن لمدة 10 سنوات وغرامة بقيمة 59 ألف دولار أمريكي).

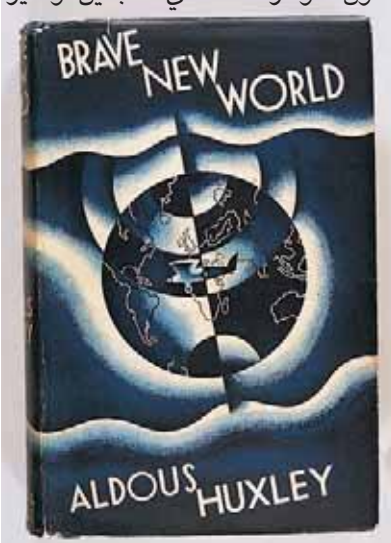
مؤتمر صحافي يعقده في أجواء مشحونة، بانايوتيس زافوس وسيفيرينو أنتيروني، الذان يتخذان من الاستنساخ البشري أساساً لتجارتهما.

الاستنساخ في الخيال العلمي

حتى قبل ولادة دوللي، ظهرت كائنات مستنسخة (ناتجة عن نسخ الحيوان أو الكائن الحي)، في خيال مؤلفي الخيال العلمي الخصب.

الأفضل ما في العالم أم الأسوء؟

تتمحور فكرة عدد كبير من روايات الخيال العلمي، حول التحكم بالمجتمع، بفضل الاستنساخ والانتقاء الوراثيً. «أفضل العوالم» (Brave New World) هو الأكثر تمثيلاً لهذا النوع من الأعمال، وفي المقابل أحد أكثر الأعمال كلاسيكية. يصف هذا العمل الكبير، الذي صدر في العام 1932 عن ألدوس هوكسلي، مجتمعاً مستقبلياً يتمّ تكييف أفراده من الناحية الوراثية، وعلى الصعيد الاجتماعي. يتكاثر أفراد المجتمع الذين يعانون جميعاً العقم اصطناعياً، تحت مراقبة تقنية من النخبة. يعيش الأطفال فترة الحمل في أنابيب، ويولدون في الحاضنات، لينضموا إلى إحدى المجموعات الخمسة المحددة مسبقاً، التي تؤلف المجتمع، وذلك وفقاً لمستوى ذكائهم: الألفا أي النخبة، البيتا الذين ينفذون الأوامر، الغاما أي التابعين، وأخيراً الدلتا والإبسيلون، المسؤولين عن تنفيذ الأشغال الشاقة. وبهذا يتألف المجتمع من خمس مجموعات من المستنسخات، يهدف برنامجها الجيني إلى إتمام وظيفة معينة، في فئة اجتماعية محددة مسبقاً. أما في ما يتعلق بقدرة الفرد على الحكم وعلى الإحساس، فلا وجود لها، إذ أنه يتحوّل إلى عبد بعد أن يتمّ تكييف عقله ليل نهار. بفضل نوعٍ من المختبرات، التي يتمّ استهلاكها بشكلٍ منتظم، ولبعض أنواع التسلية التي تؤمّن لهم، تقبل هذه الكائنات البشرية بقدرها وتشعر بالسعادة. إنه مجتمع ديكتاتوري يجسد مختلف مظاهر الديمقراطية، حيث يشعر، العبيد الذين تحولوا إلى كائنات حية مستنسخة، بالسعادة رغم عبوديتهم.



غلاف أول نسخة من رواية "أفضل العوالم" لألدوس هوكسلاي، التي تصف عالماً من المستنسخات.

بضع سنوات قبل ظهور رواية "أفضل العوالم"، تناولت رواية "القرد"، موضوع استنساخ الكائنات الحية لموريس رينارد وألبير جان، في العام 1924: تمكن عالم شاب، بعد أن استنسخ

في فيلم Jurassic Park لستيفن سبيلبرغ، عادت الديناصورات لتظهر بفضل الاستنساخ.

نفسه، من التواجد في أماكن مختلفة في الوقت عينه. وبهذا ملك موهبة التواجد في كلّ مكان. في رواية Dune لفرانك هيربير، التي صدرت في العام 1965، استفاد إمبراطور دون من خدمات شخصية شبه خالدة، دونكان إيداهو، أو غولا، المستنسخ المزروع عن طريق الخلايا البشرية، التي تتوالى نماذجه الواحدة بعد الأخرى في روايات السلسلة.

"Big Brother يراقبك"

في روايته "1984"، التي صدرت في 1948، يصف جورج أويل أيضاً مجتمعاً ديكتاتورياً، يفرض نفسه ببطء وثبات، عن طريق غسيل الدماغ والتلاعب بالتاريخ، وفرض التحدث بلغة محدودة، "النوفلانغ" (اللغة الجديدة). أدى الأخ الكبير في أوسيانيا إلى فكرة فريدة وإلى استنساخ عقلي للمجتمع بأكمله. Reproduction Interdite، رواية لجان ميشال تروونغ، الصادرة في العام 1989، تروي قصة مجموعة من الأفراد المولودين عن طريق الاستنساخ. جرت أحداث هذه الرواية في العام 2037، ففي تلك الفترة، يكون استنساخ ملايين البشر أمراً سخيفاً بحسب الرواية. تنتج هذه المستنسخات المستعبدة اصطناعياً، وتربى في مزارع مخفية ليُطلب منها لاحقاً تلبية احتياجات الكائنات البشرية الأخرى: فتكون خزانات لأعضاء بشرية في الحالات المرضية، حقول تجارب للاختبارات الطبية، وتُستعمل لأغراض جنسية وتشارك في الحروب عند الضرورة. يتخيل الكاتب عبر مؤامرة بوليسية، المشتقات التي يحملها مجتمعنا المعاصر كبذور.

تمّ استنساخ البطلة في الجزء الرابع من سلسلة Alien لج. ب. جونيه.

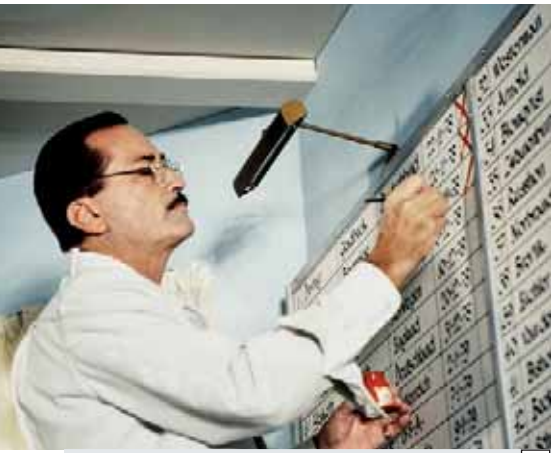
بهذا، تنشأ هذه الرواية، التي تُدخل القارئ في أسوء ما قد يظهر في هذا العالم، عن إسقاطات الخيال العلمي.

المستنسخ تعيس

إن خلق نسخة ثانية عن فرد آخر، يجد نفسه كائنين متطابقين، يشكل لغزاً لطالما ناقشه مؤلفو الخيال العلمي المعاصِرون. تناقش أعمال عديدة هذا الأمر المرتبط بالوهم والخلود والرغبة بالسيطرة. إن عالم المستنسخات، عبيد بيولوجيين في الوقت الراهن، هو عالم تعيس أقرب إلى جهنم منه إلى الجنة. يروي إيرا لوفين (مؤلف Rosemary's baby) في روايته Ces garcons qui venaient du Bresile 1976 حكاية الطبيب النازي من أوشفيتز، د. مانجيل، الذي يلجأ إلى الغابة الأمازونية، ويريد بأي ثمن خلق مستنسخات عن هتلر عن طريق بعض الخلايا من دم الفهرير. إلا أن عدداً من أعداء النازية يقفون له، لحسن الحظ، بالمرصاد. حوّل

فرانكلين ج. شافنير هذه الرواية إلى فيلم سينمائي في العام 1978مع غريغوري بيك، لورانس أوليفيه وجايمس ماسون. نادراً ما تؤدي المشاعر دوراً في ولادة الكائنات المستنسخة. هذا ما تخيله بيرجيت رابيش في هذه الرواية المخصصة للصغار: Jonas 7 في العام 1999. ففي هذه الرواية يتحدث المؤلف عن طفل، زُرعت له عيني مستنسخ، فشعر بالشفقة على حاله وقرر أن يعيد له إحدى عينيه.

هل يُعقل أن يكون الاستنساخ مفيداً لملء كوكب بالبشر، بعد ترك طوفان من البشر يعانون عقماً دائماً؟ هذا ما يتخيله كايت ويلهلم في روايته Hier les oiseaux التي صدرت في العام 1976.



مشهد من فيلم Garcons qui venaient du Bresil: مستنسخات في غابة أمازونية.

حيوانات تعود من الماضي

هل يحق للإنسان استعمال تقنية الاستنساخ عن طريق الحمض النووي الريبي، لإعادة إحياء جنسٍ انقرض منذ ملايين السنين؟ هذا ما يتخيله مايكل كريشتون في Jurassic Park، رواية حوّلها ستيفن سبيلبرغ إلى فيلم سينمائي شهير. على جزيرة مهجورة تابعة للقارة الأمريكية الجنوبية، قرر متعهد ثري بناء حديقة حيوانات للديناصورات بسرية تامة.

وقد عمد من أجل ذلك إلى استنساخ الديناصورات عن طريق الحمض النووي الريبي، المستخرج من المتحجرات التي تُستخرج من دم البعوض المتحجر في العنبر. وقبل أن يفتتح الحديقة أمام العامة، دعا أفراد عائلته لاكتشافها. ولكن نظراً لأجهزة الأمن الفاشلة هربت بضعة ديناصورات. تطرح الرواية مسألة النتائج التي تترتب على التلاعب بالكائنات الحية، ولا سيما، الخطر الذي يطرحه ظهور كائنات منقرضة. فهذه الأخيرة قد تبدو خطيرة جداً على الجنس البشري، أو قد تقلب التوازن البيئي السائد منذ ملايين السنين رأساً على عقب.

السينما والمستنسخات

تشكل المستنسخات موضوعاً محفزاً للسينما التي حولته إلى موضوع كوميدي ومواضيع خيال علمي. يروي الفيلم الكوميدي الأمريكي الصادر في العام 1996 Mes doubles، ma femme et moi (Multiplicity) لهارولد راميس، قصة رجل يائس وبائس يقترح عليه باحث وراثي أن يستنسخه، ليتمكن من تلبية مستلزمات منزله وعمله، فيقبل الرجل بعد ذلك بحياة يتقاسمها مع مستنسخه.

مؤخراً، بالإضافة إلى Jurassic Park، تمّ إنتاج عدد من الأفلام التي تناقش موضوع الاستنساخ، أهمها Alien Resurrection، l'Attaque des Clones (من سلسلة La Guerre des Etoiles)، وسلسلة Matrix.

مراجعة قوانين أخلاقيات علوم الأحياء في فرنسا

من حيث المبدأ، يمنع قانون أخلاقيات علوم الأحياء الجديد الاستنساخ البشري. إلا أن ثمة استثناء لهذه القاعدة، إذ تسمح لمدة خمس سنوات بإجراء الأبحاث على الخلايا الجنينية.

قوانين أخلاقيات علوم الأحياء من العام 1994 إلى 2003

تأتي فرنسا ضمن لائحة أولى الدول التي تسلحت بقوانين خاصة تتعلق بعلم الوراثة والتكاثر ومنح الأعضاء. وبهذا أصدرت الدول الفرنسية في تموز/ يوليو 1994، ثلاثة قوانين تتعلق بأخلاقيات علم الأحياء. يتناول القانون الأول الصادر في الأول من يوليو/ تموز من العام 1994، التعاطي مع المعطيات nominatives لغايات بحثية في مجال الصحة (يعدل هذا القانون قانون المعلوماتية والحريات الصادر في العام 1978)؛ أما القانون الثاني الصادر في 29 تموز/ يوليو1994، يقضي باحترام الجسم البشري؛ فيما يتناول الأخير منح الأعضاء واستعمال عناصر ومنتجات الجسم البشري، وكذلك المساعدة الطبية للإنجاب والتشخيص ما قبل الولادة.

تجيب هذه القوانين الثلاثة، مع تأكيدها على المبادئ العامة لحماية الإنسان، على مسألة ضرورة تأطير الممارسات على الكائنات البشرية، التي تتطور مع تطور الطب وعلم الأحياء. بهذا يتجلى أن هدف التشريع، من بين أمور أخرى، منح الأعضاء والمساعدة الطبية للإنجاب والتشخيص ما قبل الولادة. ولما كانت هذه القوانين قد سُنت قبل عامين من ولادة دوللي، فهي لم تتناول مرحلة الاستنساخ. ومن هنا، يبدو أنه من الضروري مراجعة هذه القوانين (كان لا بدّ أن تتم هذه المراجعة في العام 1999). تنص قوانين العام 1994 بشكل عام، على مبدأ مراجعتها في خلال خمس سنوات، لتأخذ بعين الاعتبار التطورات التي شهدها العلم، وكي لا تتجمّد التشريعات إلى الأبد.

توقيف لمدة خمسة أعوام

تم التصويت للمرة الأولى على مشروع القانون حول أخلاقيات علم الأحياء، الذي لاقى ترحيبا واسع النطاق، خلال انعقاد الجمعية الوطنية في 22 كانون الثاني/ يناير 2002. وعند إحالته إلى مجلس الشيوخ في كانون الثاني/ يناير 2003، الذي قام بتعديله، تمّ اعتماده في البرلمان في 8 تموز/ يوليو 2004، تلا ذلك نشر هذا القانون (الذي تمت مراجعته في العام 2009) في 6 آب/ أغسطس من العام 2004. يمنع نص القانون، من حيث المبدأ، إجراء الأبحاث على الأجنة. إلا أنه يسمح بشكل استثنائي، ولمدة خمس سنوات، إجراء الأبحاث على الأجنة والخلايا الجنينية، طالما أنها قد تساهم في إحداث تطوير علاجي هام، شرط أن لا تتوفر إمكانية استبدالها بطريقة أخرى ذات فعالية مماثلة. تشمل هذه الأبحاث الأجنة الزائدة التي لا نية بتحويلها إلى طفل عند تاريخ نشر القانون، والأجنة والمجموعات

تحليل المتواليات في إطار مشروع الجينوم البشري، الذي يرمي إلى تحديد تسلسل الجينوم، أي الترتيب الذي يحكم تسلسل النوكليوتيد التي تؤلف الحمض النووي. تمّ إنهاء هذا البرنامج في العام 2003 وقد بدأ العمل حالياً على تحديد الجينات ووظيفتها.

الجنينية المستوردة من الخارج. منذ العام 2006، سُمح لعشرات المختبرات بإجراء هذه الأبحاث تحت إشراف وكالة طبّ الأحياء المستقبلية المتميزة في مجال الزرع والتكاثر وعلم الأجنة والهندسة الوراثية البشرية. يمنع خلق جنين بهدف الاستنساخ العلاجي منعاً باتاً، ويُسجن كل مخالف لمدة تصل إلى سبع سنوات، كما يُغرّم بمبلغ وقدره مئة ألف يورو. صدر مرسوم حول الاستنساخ التكاثري يعتبره جريمة ضد البشرية، ويمنعه منعاً باتاً، ويعاقب كلّ من يخالفه بالسجن لمدة ثلاثين عاماً، ويفرض عليه غرامة تصل إلى 7.5 مليون يورو.

نقاش حول قدرة البحث الفرنسي التنافسية

يبدو النقاش محتدماً في فرنسا، لأن القانون الجديد حدّ من إمكانيات البحث على الخلايا الجذعية البشرية، ويسجل تراجعاً ملحوظاً بالنسبة إلى المشروع المعتمد من قبل الجمعية الوطنية. يُقدر عدد الأجنة التي يتم زرعها عبر التلقيح بالأنبوب بنحو 40 ألف جنين، يتمّ تجميدها للحفاظ عليها، شرط أن لا تكون مشروعاً لطفل مستقبلي. وفقاً لقانون أخلاقيات علم الأحياء الصادر في العام 1994، لا بدّ من التخلص من هذه الأجنة بعد مرور 5 سنوات. إلا أن عدداً من الأصوات ارتفعت للمطالبة باستعمال هذه الأجنة في مشاريع أبحاث أساسية، عوضاً عن تدميرها. وهذا ما عبّرت عنه صراحة مجموعة من الهيئات في فرنسا، منها الهيئة الاستشارية الوطنية للأخلاقيات، اللجنة الوطنية الاستشارية لحقوق الإنسان، مجلس الدولة، أكاديمية العلوم وأكاديمية الطب. بالإضافة إلى أن قرار توقيف الأبحاث يترك نوعاً من الشك حول الفائدة من هذه الأبحاث، يبدو القلق قائماً حول الضرر الذي قد يلحقه هذا القانون بالمرضى والباحثين. بينما تمّ في العام 2003 تأسيس ناد دولي لإجراء الأبحاث حول الخلايا الجذعية البشرية. يضم هذا النادي أفضل الفرق من الدول التي تشرّع الأبحاث في هذا المجال: الولايات المتحدة، المملكة المتحدة، أستراليا، كندا، إسرائيل، سنغافورة، هولندا، فنلندا، السويد وألمانيا. في المقابل، يمنع القانون الاستنساخ العلاجي، في حين أن الأمم المتحدة التي تشكل فرنسا أحد أعضائها، ترفض إدانة هذا النوع من الاستنساخ، نظراً لمحاولات تحسين صحة الأفراد والبشرية جمعاء.

الأجسام المعدلة وراثياً، ملف حساس

إن التشريعات المرعية الإجراء في عدد من الدول المختلفة في العالم، تعكس مواقف مناصري الأجسام المعدّلة وراثيا ومعارضيها: وفي هذا الصدد تتابين الآراء وتختلف.

قرار التوقيف الفعلي

مع أخذ المخاوف التي تحوم حول الآراء العامة في عدد من الدول الأعضاء بعين الاعتبار، قرر الاتحاد الأوروبي في العام 1999، تعليق كلّ قرار يسمح بزراعة أو تسويق نباتات معدلة وراثيا مخصصة للاستهلاك البشري. لكن لا ينطبق هذا القرار الذي تمّ اتخاذه ضمن إطار تنظيمي أوروبي كامل، على التجارب التي تُقام في العراء لغايات بحثية، والتي يعود قرار السماح بها لإجراءات وطنية.

في أيار/ مايو 2003، اشتكت الولايات المتحدة وكندا والأرجنتين (أول دول منتجة للأجسام المعدلة وراثيا)، أمام منظمةً التجارة العالمية، ضدّ ما يمكن أن يشكل في نظرها توقيفاً عملياً طبّقه الاتحاد الأوروبي من جانب واحد. فقد شكل هذا القرار عائقا أمام التبادل الحرّ، عائقاً حركته سياسة حمائية وليس مخاوف طالت الصحة والبيئة.

التشريع الأوروبي

في هذا الوقت، تمّ وضع تشريع أوروبي موضع التنفيذ: في العام 2001، تناول التشريع الأول نشر المواد المعدلة وراثياً إرادياً في البيئة، ثم في العام 2003 ظهر عدد من التشريعات: حول اسم المواد المعدلة وراثياً، تتبع مسارها، والمواد المصنعة من المواد المعدلة وراثياً المخصصة للاستهلاك البشري، والأطعمة المعدلة وراثياً المخصصة للحيوانات.

يُعتبر التشريع الأوروبي أحد أكثر التشريعات صرامةً في العالم. وقد دخل حيز التنفيذ في العام 2004، حيث فُرض على مصنعي المواد الغذائية المخصصة للاستهلاك البشري والحيواني، التي تحتوي على أكثر من 0.9 % من المواد المعدلة وراثياً، أن يتم ذكر ذلك على غلاف المنتج، وأن تقدم للمستهلك معلومات يسهل تتبعها بشكل كامل. إلا أنه يمكن تطوير هذا الحدّ طالما أنه لا يستند إلى تقييم المخاطر التي قد تطال الصحة والبيئة. في فرنسا، يُعتبر هذا الإجراء أمراً إلزامياً ويتعين ذكر وجود مواد معدلة وراثياً على لوائح الطعام في المطاعم وعلى علب الطعام، إلا أن الأمر ليس كذلك بالنسبة للحوم والحليب أو البيض الناتج عن حيوانات تتغذى على مواد معدلة وراثياً.

لا تزال المخاوف مستمرة حول تنظيم التعايش بين شركات المواد المعدلة وراثيا والشركات الأخرى: فكيف يمكن تفادي

تلوث المواد غير المعدلة وراثياً بتلك المعدلة؟ يقسم هذا الموضوع أعضاء اللجنة انقساماً عميقاً. اقترح البعض معدلاً مقبولاً يُقدر بـ0.1 %، في حين رفعه البعض إلى 0.5 %؛ ليتم الاتفاق في النهاية على حل وسط استقر عند 0.3 %.

تسمح أوروبا ببعض الزراعات المعدلة وراثياً. لم تسمح فرنسا إلا بزراعة الذرة MON810 على مساحة تصل إلى 20 ألف هكتار، إلى أن قررت الحكومة تعليق زراعتها في العام 2007، لكنها أبقت على إمكانية القيام ببعض الأبحاث في العراء.

وإذ تفترض اللجنة أنها لبت، عبر عناصر التأطير التشريعي، هذه المطالب التي صيغت في العام 1999، أعادت فحص ملفات السماح بتسويق المواد المعدلة وراثياً. في كانون الأول/ ديسمبر من العام 2003، اجتمعت لجنة، ضمت علماء من دول الاتحاد، لاتخاذ قرار بشأن تصدير الذرة Bt–11، الناتجة عن بذر معدل وراثياً الذي تسوقه الشركة السويسرية "سيغانتا". إلا أن هؤلاء الخبراء لم يتمكنوا من التوصل إلى اتفاق: فالسماح بتسويق هذه الذرة أو منعه، يتطلب اتخاذ قرار بشأن إلغاء قرار التوقيف أو تمديده، علماً أن عدم اتخاذ قرار يرضي مناهضي المواد المعدلة وراثياً. ونظراً لعدم التوصل إلى اتخاذ قرار، بين وزراء الدول الأعضاء، يعود القرار النهائي إلى الهيئة الأوروبية، وهذا ما فعلته في 19 أيار/ مايو 2004، حين قررت السماح بتصدير هذا النوع من الذرة لمدة عشر سنوات. بعد خمسة أشهر، في تشرين الأول/ أوكتوبر 2004، سمحت الهيئة، ولمدة عشر سنوات كذلك، بتصدير بذر NK603 من شركة موزانتو، المستعمل في المشتقات المخصصة للاستهلاك البشري.

إلا أن معارضي المواد المعدلة وراثياً لم يقبلوا بهذه القرارات، وقرر المعارضون الصارمون ترجمة معارضتهم إلى أفعال. فحارب أنصار البيئة بضراوة هذه القرارات، مجددين من دون كلل، حملات اقتلاع النباتات المعدلة وراثياً. رفض بعض العلماء هذه المعارضة، فهم يعتقدون أنها، بعيداً عن طابعها المنهجي، الجامد والظلامي، تمنع أي حوار جدي. بعيداً عن هذه المعارضة، تمّ تشويه الحوار بحقيقة أن ملف المواد المعدلة وراثياً عُرض على العامة والعالم الزراعي من زاوية جدلية واحدة. إلا أن ثمة نقص في المعلومات الواضحة والموضوعية حول أساس الملف، الأمر الذي يعقد المسألة ويجعلها أكثر مدعاةً للحيرة. عبّر أغلبية المزارعين عن معارضتهم للمواد المعدلة وراثياً، وبرروا معارضتهم هذه بجهلهم للمخاطر، وبافتقارهم للمعلومات الكافية، وأيضاً بخشيتهم من غياب طرق تصريف منتجاتهم المعدلة وراثياً. في الحقيقة، تبدو مخاوفهم محقة، طالما أن 80 % من الأوروبيين، يرفضون استهلاك أغذية تحتوي على مواد معدلة وراثياً.

بعد مؤتمر الأفرقاء المعنيين بمسألة البيئة

في فرنسا، جمع مؤتمر الأفرقاء المعنيين بمسألة البيئة، الدول والممثلين عن المجتمع المدني، في أوكتوبر/ تشرين الأول 2007، لتحديد خارطة طريق لمصلحة البيئة والتطور والإدارة المستدامة. اقترحت ورشة العمل الخاصة بالمواد المعدلة وراثياً، دعم المعارف والأبحاث العامة حول تقييم فائدة كلّ مادة معدلة وراثياً، وتأثيرها

على البيئة والصحة؛ وإنشاء هيئة عليا تتمتع بخبرة علمية ومدنية تُعنى بهذا الموضوع؛ وأخيراً اعتماد قانون حول المواد المعدلة وراثياً (في العام 2008). ينظم مشروع القانون حول المواد المعدلة وراثياً التعايش بين مختلف شركات الزراعة، وينشئ جهازاً جديداً لتقييم المواد المعدلة وراثياً، ويحدد قواعد الشفافية ذات الصلة بالزراعات ومسؤولية المنتجين وإعلام المواطنين. يشير القانون إلى أن كل مستثمر يقوم بزراعة المواد المعدلة وراثيا، يتحمل مسؤولية كاملة عن الضرر الاقتصادي الناتج عن تلوث حقل مجاور. يُغرّم كل مزارع تحتوي محاصيله على نسبة من المواد المعدلة وراثياً تزيد عن 0.9 %، بغرامة تُحدد وفقاً لحجم الضرر. ويشير كذلك إلى ضرورة الإعلان عن سجل وطني يُظهر طبيعة ومكان الأراضي المزروعة بمواد معدلة وراثياً، ويعاقب كل عمل يؤدي إلى القضاء على هذه الأراضي بالسجن لثلاث سنوات، وبغرامة تتراوح بين 75 ألف و150 ألف يورو. يغيّر هذا المشروع في القانون الفرنسي التوجيهات الأوروبية الصادرة في العام 2001.

إلا أن هذه التدابير لم تخفف من التوترات بين المناصرين والمعارضين. فقد عبّر نحو ثلاثمئة عالم فرنسي وأوروبي عن معارضتهم لتعليق زراعة الذرة المعدلة وراثياً في فرنسا، في نهاية العام 2007، مستندين إلى الحجج التالية: غياب أية ملاحظات حول تأثير رسمي أو حساسية؛ تحتوي الذرة المعدلة وراثياً على كميات أقل من المواد المسببة للسرطان؛ تأثيرها ضعيف على البيئة بالمقارنة مع مبيدات الحشرات المسموح باستعمالها؛ حرية زراعة الذرة من عدمها، إذ يتواجد في بعض الدول الذرة المعدلة والذرة غير المعدلة وراثياً من دون أن يطرح الأمر أي مشكلة. من جهتهم، لم يستسلم المعارضون مهددين دائماً بتدمير الأراضي المزروعة بالمواد المعدلة وراثياً. في أبريل من العام 2008، تمت مناقشة مشروع القانون، بهدف إدخال بعض الشفافية إلى حوار لا يزال غامضاً حتى الآن في فرنسا. لمزيد من المعلومات حول هذا الموضوع الشائك والحساس يمكن زيارة الموقع التالي: www.og.gouv.fr.

معجم المصطلحات

أجساد مضادة
مادة تنتج عن بعض خلايا الجهاز المناعي التي تحدد المادة الغريبة التي تدخل إلى الجسم

أحادي الخلية
كائن حي يتألف من خلية واحدة

أحادية القدرة
خلية قادرة على توليد نوع واحد من الخلايا المتمايزة

أخلاقيات
مجموعة القواعد الأخلاقية الي تُفرض على بعض أنشطة الطب على سبيل المثال

الأرومة
مرحلة من مراحل تطور الجنين تتبع مرحلة التوتة وتتميز بوجود برعم جنيني مع خلايا متمايزة. في هذه المرحلة يدخل الجنين إلى الغشاء المخاطي في الرحم أثناء مرحلة التعشيش

الاستنساخ
الحصول، عن طريق التلاعب الوراثي، على خلايا أو أجسام تتمتع بالمجموعة الوراثية عينها الموجودة لدى الكائن الأصل؛ استنساخ الجينات هو مجموعة وسائل الهندسة الوراثية التي تتيح عزل الجينات أو مضاعفتها

اكتمال النمو
خاصية الخلية الجنينية التي تتيح لها إنتاج جسم كامل

الانتقاء
في الهندسة الزراعية، اختيار الأفراد المنتجين الذين تتيح نوعيتهم أو ميزاتهم تحسين الفصيلة.

الإنجاب
منح الحياة، تكاثر

أنزيم
بروتين ضروري لعملية كيميائية

الانقسام الفتيلي
نمط عادي لانقسام الخلية الحية (خارج الخلية التكاثرية)، يؤمن الحفاظ على عددٍ ثابت من الكروموزومات

الانقسام المنصف
انقسام مزدوج للخلية يؤدي إلى تراجع عدد الكروموزومات إلى النصف والذي يتم عند تشكل الخلايا التكاثرية

بحث أساسي
بحث نظري لا تكون تطبيقاته العملية فورية

البروتين
جزيئية ماكرو تتألف من متوالية أحماض أمينية طويلة، ترجمة جزء من الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسيجين

بلاسميد
جزيئية دائرية من الحمض النووي الريبي لحجم صغير موجود طبيعياً في بعض الأجسام الدقيقة (البكتيريا في شكل خاص) وقادرة على التناسخ ذاتياً

البويضة
خلية جنسية أنثوية حيوانية، وتُسمى أيضاً الخلية البيضة

بويضة
خلية جنسية أو مشيج أنثى.

التتبع
إمكانية تتبع منتج في مختلف مراحل الإنتاج والنقل والتسويق.

تجديد
إعادة تشكيل طبيعية لعضو متضرر أو مختفي

تحديد التسلسل
تحديد كلّ واحد من النوكليوتيدات المتتالية في جزيئية الحمض النووي الريبي.

التخصيب الاصطناعي
عملية تقضي بوضع بذرة الرجل في الأعضاء التناسلية الأنثوية

التركيب الضوئي
عند النباتات الخضراء وبعض أنواع البكتيريا، عملية صناعة المادة العضوية عن طريق المياه وثاني أكسيد الكربون في الجو تستعمل ضوء الشمس كمصدر طاقة وتنتج أوكسجيناً

التزاوج
تكاثر جنسي بين نوعين مختلفين (تُعرف أيضاً باسم التلاقح)

التعديل الوراثي
تعديل جينوم الكائن الحيّ عن طريق إدخال جزء من الحمض النووي الريبي في مجموعته الجينية.

تكاثر جنساني
تكاثر يتطلب التقاء فردين من جنسٍ مختلف.

تكاثر لا جنساني
عملية تكاثر تتم عن طريق خلايا تكاثرية. تكاثر نباتي

التلقيح في الأنبوب
تلقيح يتم اصطناعياً، في المختبر، قبل نقل البيضة إلى رحم الأم

التلقيح
اندماج خلية جنسية ذكر مع خلية جنسية أنثى لتشكيل خلية المضغة الأولى التي تتطور لتكوّن الطفل.

التمايز
عملية تكتسب الخلية عن طريقها وظائف وأشكال خاصة

تملح
في المناطق الجافة، تكدس الأملاح في الطبقة السطحية من التربة ما يجعلها غير مناسبة لمختلف أنواع المزروعات، وذلك بسبب استثمار المياه الجوفية بشكلٍ مفرط

التوتة
أولى مراحل نمو الجنين الذي يضم ثماني خلايا.

الجزيئية
تجمع الذرات ثابت التكوين

الجسدي
للدلالة على الخلايا غير التكاثرية في الكائنات الحية

الجنين
ناتج الحمل غير المكتمل بعد، ولكن الذي كان يمثل مسبقاً مزايا الفئة المميزة، لدى الحيوانات المولودة (ابتداءً من الشهر الثالث للحمل لدى الإنسان)

جنيني
نسبة لجنين

جنينية
ذات صلة بالخلايا التكاثرية

الجين الغريب
الجين الذي يتم إدخاله إلى الجسم المعدل وراثياً

الجين ذو المنفعة
جين يسيطر على تركيبة

ذات طابع هام نرغب في نقله إلى كائن (نبتة، حيوان أو بكتيريا). يُعرف أيضاً بجين غريب أو أجنبي

الجين
قسم من الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين يتميز بطوله نوعاً ما ويُرمز إليه ببروتين معين.

جينوم
مجموعة المواد الجينية (الجينات) الخاصة بالخلية أو بالجسم، والتي يحملها الكروموزوم

حقيقيات النوى
أي الأجسام الحية التي تضم خلايا ذات بنى خاصة ونواة يحدها غشاء.

الحمض النووي الريبوزي
جزيئية ماكرو مؤلفة من متوالية من النوكليوتيد الضرورية لتركيب البروتينات عن طريق برنامج وراثي يحمله الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسيجين

الحمض الأميني
جزيئية عضوية تتألف من البروتين
الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين
جزيئية تتألف من قسمين على شكل حلزون مزدوج تحتوي المعلومات الوراثية وتشكل الكروموزومات

الحمل
حالة المرأة الولود التي تحمل نتاج التلقيح في المشيمة.
الحيوان المنوي
خلية جنسية، مشيج ذكر

الخلايا الطليعية
مادة ينتج عنها مادة واحدة أو أكثر بواسطة التحولات البيوكيميائية.

الخلية البدائية النواة
جسم صغير (أحادي الخلية عموماً) منزوع النواة ويتميز ببنية متميزة

الخلية البيضة
الخلية الملقحة أول خلية من خلايا الجسم

الخلية الجذعية
خلية متمايزة قادرة على التكاثر أو توليد خلايا متمايزة بعد سلسلة من الانقسامات.

خلية
عنصر تشكيلي أساسي في الأجسام الحية تحتوي على المعلومات الوراثية

الرحم
عضو من الجهاز التناسلي لدى المرأة والثدييات الأنثى المخصص لاستقبال بيضة ملقحة أثناء تطورها إلى أن يتم الحمل.
الرمز الجيني الذي يحدد التوافق بين الجينات والبروتينات، أي أبجدية الجينات المؤلفة من أربعة أحرف (قواعد) وأبجدية البروتنيات (الأحماض الأمينية).

سم
مادة سامة ينتجها جسم حي تنقل إليه أثرها السام

الشيخوخة
شيخوخة طبيعية تطال أنسجة الجسم.

الصانعات الخضراء
عضية من الخلية النباتية حيث تحصل عملية التركيب الضوئي

العضية
كلّ عنصر من العناصر المتميزة المحيطة بالغشاء الموجود في خلية الجسم الحقيقية النوى.

غشاء بلاسمي
غشاء يحيط بالخلية

غير متمايزة
الخلية التي تشهد تمايزاً أو التي فقدت تمايزها.
فقدان التمايز
تُقال حين تفقد الخلية أو النسيج التمايز

في الإنبوبِ
تُقال عن كلّ تجربة أو تلاعب بيولوجي يحصل خارج الجسم في مكان اصطناعي (أنبوب المختبر الزجاجي في أغلب الأحيان)

قسيم أرومي، الخلايا غير المتمايزة
خلية مكتملة النمو ناتجة عن الانقسامات الأولى التي شهدتها البيضة الملقحة والقادرة وحدها من دون سواها على إعادة تشكيل جسم كامل

قسيم طرفي
طرف الكروموزوم.

الكائن المستنسخ
مجموعة الخلايا أو الأجسام الحية المتشابهة الناتجة الواحدة عن الأخرى عن طريق تكاثر لا جنسي
كروموزوم
عنصر من الخلية المؤلفة من جزيئية حمض نووي طويلة مرتبطة بالبروتينات

اللدونة
ميل عنصر معين إلى التحول، التغير وإلى الطوعية.

مبيدات أعشاب
مواد كيميائية مخصصة للقضاء على النباتات غير المرغوب بها (قد يكونِ قضاء انتقائياً أو كاملاً، وهو في الحالة الأخيرة مخصص للقضاء على مختلف أنواع الأعشاب الضارة)

مبيدات حشرية
نتاج كيميائي مخصص للقضاء على الطفيليات الحيوانية والأعشاب المضرة بالزراعة

متعدد الخلايا
كائن حي يتألف من عددٍ من الخلايا

متعددة الإمكانيات
خاصية توليد مختلف أنواع خلايا في نسيج معين

متعددة الإمكانية
القادرة على توليد مختلف أنواع الخلايا في النسيج عينه.

متعددة القدرات
خاصية توليد مختلف أنواع خلايا الأنسجة في الجسم

المتقدرات
عضية موجودة في الخلايا الحقيقية النواة. تحتوي هذه البنى على معلومات وراثية خاصة بها، متقدرات الحمض النووي

متماثل
الذي يملك المجموعة الوراثية عينها.

متمايزة
التي تنتج عن التمايز، وتُقال بشكلٍ خاص للخلايا التي تقوم بوَظيفة معينة

المتوالية
نظام توالي النوكليوتيد في جزيئية الحمض النووري الريبي المنقوص الأوكسجين

المجموعة الجينية
دعامة مادية للعناصر الوراثية.

المجموعة الخلوية
مجموعة من الخلايا من نوع معين مستقرة وقادرة على الانقسام عند زراعتها.

مرضي
قد يسبب مرضاً

المشيج
خلية تكاثرية أنثى (بويضة) أو ذكر (مني) لا تحتوي نواتها إلا على كروموزوم واحد من كل زوج والتي تتحد بمشيج الجنس الآخر (التلقيح) لتولد البيضة.

مشيمة
عضو يربط الجنين برحم الأم أثناء الحمل

المضغة
مرحلة مبكرة (بضع خلايا) من مراحل نمو الجسم الحيّ عبر الخلية الملقحة (الخلية البويضة).

المعالجة الخلوية
طب زراعة الخلايا السليمة في نسيج مصاب

المعدلة وراثياً
تُقال عن الأجسام التي تمّ تعديل جينومها عن طريق جلب جين جديد

مكتملة النمو
تمتلك القدرة على تكوين كائن كامل

مناعي
ذو صلة بمناعة الجسم ضد العوامل الخارجية

منزوعة النواة
خلية لا تحتوي نواة

موت رحيم
قتل كائن عن عمد نتيجة إصابته بمرض لا شفاء منه لتخفيف ألمه أو سكرات موته

نباتي
الذي يضمن الحفاظ على الحياة ونمو الحيوانات والنباتات، من دون أن يشمل ظاهرة التكاثر أو الحياة النفسية ويشمل وظائف الجسم

النسيج الإنشائي
نسيج نباتي مؤلف من خلايا غير متمايزة تنقسم بنشاط تقع عند طرف البراعم أو عند الجذور وتساهم في نمو النباتات.

نظام بيئي
مجموعة مؤلفة من وسط حيوي ومن الأجسام الحية التي تعتمد عليه

النواة
عنصر من عناصر الخلية الذي يحتوي على المادة الجينية (الحمض النووي الريبي المنقوص الأوكسجين)

نوكليوتيد
جزيئية حيوية تتدخل في أيض الخلية وتدخل في تكوين الحمض النووي (الريبي والريبوزي)

هجين
حيوان أو نبات ناتج عن تزاوج نوعيتين، فصيلتين من الفئة عينها أو بين فئتين مختلفتين.

الهندسة الوراثية
مجموعة تقنيات التلاعب الجيني لبعض الكائنات الحية (البكتيريا، النباتات، الحيوانات) المخصصة لمنحها ميزات وراثية جديدة مفيدة ليستثمرها الإنسان أو لصناعة المواد التي تفيدها هي.

علم الوراثة
1 - هو العلم الذي يدرس نقل الميزات التشريحية والوظيفية بين مختلف أجيال الكائنات الحية.
2 - علم يتناول الجينات، الوراثة، الأصول التي تُعزى إلى الجينات

فهرس

أحادية الخلية (كائن، جسم) 10، 11، 15، 16
أخلاقيات علم الأحياء 108، 110، 116 – 117
أدينين 18، 19
الأرومة 28، 29، 31، 66، 76، 94
استنساخ 8، 10 – 13، 12، 27، 38، 40 – 42، 45، 60، 62 – 67، 65، 68، 70 – 72، 76 – 78، 80 – 83، 84، 87، 89، 94، 104، 108 – 110، 112، 113، 115، 116
استنساخ الجينات 12، 35
استنساخ بشري 96 – 99، 108، 110، 111
استنساخ تكاثري 11، 12، 40، 84 – 84، 92، 94 – 95، 95، 99، 111، 117
استنساخ حيواني 12، 13، 45، 60، 62، 72، 78، 85
استنساخ طبيي 11، 12
استنساخ علاجي (راجع أيضاً
استنساخ غير تكاثري) 92، 94 – 95، 95، 99، 104، 105، 110، 111، 117
استنساخ على طريقة استنساخ دوللي 12
استنساخ غير تكاثري (راجع أيضاً استنساخ علاجي) 94
استنساخ في المختبر 12
استنساخ كلاسيكي 12
استنساخ نباتي 40 – 45
إعادة برمجة 77، 89
انتقاء 27، 54، 77، 82، 83، 112
أنتيروني (سيفيرينو) 97، 111
انقسام فتيلي (انقسام خلوي) 22 – 23، 26، 27
انقسام منصف 24، 25، 26، 27
بارتون (دوللي) 68
بحث أساسي 23، 46، 80، 89، 91
بدائية النواة (خلية، جسم) 15، 16، 22
برعم جنيني 29، 66، 94
برغز (روبير) 62
بروتين 20، 21، 35، 37، 50، 89، 90
البغل إداهو جيم 73
بكتيريا 11، 13، 14، 15، 22، 35، 37، 48، 49
بلازميد 15، 49
بواسوليه (بريجيت) 96، 97
بوايه (هيربير) 34
بوفيه خوسيه 119
بويضة (خلية بيضة) 63، 64، 66، 68، 69، 72 – 74، 76، 77، 79، 80، 94، 96، 97، 104
بويضة 13، 17، 24، 25، 29، 31، 40، 62، 64، 66، 68، 74، 79، 90
بيرج (بول) 34
بيرن (دايفيد) 118
تتبع 51، 56، 58، 118
تجديد 32 – 33، 32
تخصيب اصطناعي 80، 82، 83، 92 – 93
ترامبلي (أبراهام) 32
ترقيد 10، 12، 41، 42
تزاوج 54، 55، 73
تسلسل 35، 36، 46، 47، 70، 117
تضاعف نباتي (التكاثر النباتي) 40 – 43
تطور جنيني 13، 62، 66 – 69، 77، 84، 89، 94، 101
تعدد القدرات 101، 104، 105
تكاثر استنساخي 22
تكاثر لا جنسي 10، 27، 38
تكاثر لاجنساني 10، 22، 40
تكاثر متشابه 10
تكاثر نباتي 40، 41، 45
تكاثر جنسي 10، 17، 24 – 27، 40، 54، 66، 68، 69
التكنولوجيا الحيوية 23، 38، 53، 55، 73
تلاعب وراثي (هندسة وراثية) 12، 34 – 37، 48، 54
تلقيح 24، 25، 27، 28، 29، 40، 54، 55، 64، 68، 71، 74، 108، 111
تمايز 17، 28، 29، 31، 33، 45، 62، 67، 69، 89، 16، 109 – 110، 116، 117
تمايز تحولي 106
تنوع القدرات (راجع أيضاً خلية متنوعة القدرة) 104
تنوع حيوي 37، 60، 82
توائم 11، 13، 64، 67، 78، 79، 99
توائم غير متشابهة
توائم متشابهة 11
توتة 28، 29، 31، 65، 66
تيمين 18، 19
الثور ستارباك 2 82
الثور لوسيفر 89، 90
الثور نوح 80، 81
الجرذ رالف 74
جزء الحمض النووي 17 – 19، 21
جوانين 18، 19
جين (راجع أيضاً نقل الجين) 13، 18 – 21، 18، 26، 29، 31، 33، 34 – 37، 46 – 50، 47، 55 – 57، 62، 63، 77، 88 – 90
جين ذو منفعة 48، 49، 64، 83، 87، 88
جين غريب (جين ذو منفعة) 48، 83، 87، 90
جين غريب 36، 48، 75، 87، 88، 90
جينوم (راجع أيضاً المادة الوراثية، المجموعة الوراثية) 13، 18، 19، 20، 34 – 37، 34، 36، 46 – 47، 49، 56، 62، 67، 71، 89، 90، 98
جينوم وظيفي 36
حامل الزرع 41، 44
حقن دقيق 97، 89
حقيقية النواة 15 – 17، 22، 70
الحمض النووي 20، 21
الحمض النووي الريبوزي 21
الحمض النووي الريبي 16، 17، 18– 21، 18، 19، 20، 21، 22، 34، 35، 36، 49، 68، 70، 78–81
حيوان منوي 13، 17، 24، 25، 26، 29، 62، 64، 74
حيوانات مستنسخة:
خاصية وراثية 27، 29، 31، 33، 42، 50، 54، 67، 86

خقل تجارب 80، 81، 113
خلية 8–9، 10، 11، 13، 14 – 17، 14، 16، 18، 22، 23، 25، 28 – 31، 30، 31، 33، 43، 48، 49، –62 64، 63، 66، 69 – 73، 77–80، 88–90، 95.
خلية أحادية القدرة 28
خلية أنثى 15، 22، 23، 68،
خلية بيضة 13، 17، 24، 25، 27، 28، 62، 64، 94، 97
خلية جذعية 28، 32، 33، 40، 70، 87، 92، 94، 95، 100–107، 100، 102 – 103، 109 – 111، 117
خلية جسدية (راجع أيضاً خلية غير جنسية) 29، 64، 67، 69، 70 – 72، 74، 87، 94، 105
خلية جنسية 13، 17، 24 – 29، 26، 64، 68، 70 ، 79
خلية جنينية 101، 102
خلية جنينية 29
خلية غير جنسية (راجع أيضاً خلية جسدية) 67، 68، 70، 72، 76، 80، 87، 94، 105
خلية متعدد القدرات 28، 103
خلية متعددة القدرات 28، 29، 62، 110
خلية متمايزة 28، 29، 31، 33، 42، 44، 45، 63، 67–69، 67، 72، 75، 90، 95، 105، 106
خلية مكتملة القدرات 28، 29، 32، 36، 40، 62، 64، 65
دمج 27
رمز وراثي 20
روبيرتو 79
ريتارد جان بول 72، 73، 79
زافوس بانيوتيس 96، 111
زرع 41، 42، 44، 103، 104، 106، 117
زرع أعضاء حيوانية في جسم الإنسان 86، 90
سيتوزين 18، 19
سيد ريشارد 97
سينغينتا 53، 119
شيخوخة 70، 87، 101
الصانعات الخضراء 17
العجل مارغريت 72، 73
العجلان جورج وشارلي 75، 88
عسلوج التطعيم 41
عضية 16، 16، 17، 78، 79
علاج جيني 37، 107
علاج خلوي 33، 94، 95، 100، 103، 104، 106، 108
غالي (سيزار) 73
غشاء بلازمي 14
غوردون (جون) 63
فأرة (كومولينا) 72
فرانكالين (روزاليند) 20
فقدان التمايو 33، 42، 45، 109
في الأنبوب 38، 43 – 44، 42، 66، 77، 105، 106، 108، 110، 112، 117
في العراء 51، 55، 56، 118 – 119
القردان نيتي وديدو 76
القسيم الأرومي 65، 66
قصاصات 41، 42، 98
القصف الحيوي 49
قط (كاربون كوبي) 72،78، 78، 84، 85
كروموزوم 17، 18، 19، 20، 22 – 25، 35، 68، 71
كريك (فرنسيس) 20
كوهن ستانلي 34
كينغ (توماس) 62
لدونة 102، 103، 106، 107
مادة جينية (جينوم، مجموعة جينية) 11، 13 – 15، 18 – 20، 22، 27، 28، 34، 63، 69، 78، 94
متعدد الخلايا (كائن، جسم) 15، 17، 23
متعدد القدرات 101
المتقدرات 17، 79
متنوع القدرة (راجع أيضاً تنوع القدرات) 101
متوالية 70، 87، 101
مجموعة جينية (جينوم، مادة جينية) 10، 11، 13، 17، 23 – 25، 28، 29، 36، 40، 46، 48، 49، 64، 66، 67، 70، 71، 75، 78 – 80، 82، 88، 94، 95
مجموعة حلوية 102
مستنسخ 8، 10، 13، 22، 29، 35، 42، 60، 64، 66 – 68، 72 – 75، 78، 79، 84، 96 – 99، 111، 112 – 115، 112، 115
مشيج 24، 25، 27، 40، 62
مضغة 28، 29، 31، 66، 73، 76، 94، 100، 104
معدلة وراثياً 36، 37، 44، 47، 48، 50، 52، 55 – 58، 56، 57، 60، 75، 83، 87 – 89، 101، 118 – 119
مكتمل القدرات (خلية مكتملة القدرات) 62، 77
مكتملة القدرات (اكتمال القدرات) 37، 65
مواد معدلة وراثياً 13، 35، 36، 38، 48 – 59، 51، 53، 57، 86، 118 – 119
مؤتمر الأفرقاء المعنيين بمسألة البيئة 119
موزانتو 55، 56، 119
نبتة أذن الفأر 45، 46، 47
نسيج إنشائي 40، 41 – 45
النعجة دوللي 10، 13، 31، 45، 60، 60–61، 67، 68 – 71، 71، 71، 73، 76، 94، 116
نقل الجين 20، 34، 38، 44، 54، 86
نقل الجينات 36، 37، 53، 75، 83، 86 – 89، 86 – 87
نقل النواة 13، 64، 66، 67، 72، 76، 79، 87، 94، 96، 110، 111
نواة 13 – 15، 16، 19، 20، 22، 31، 49، 62 – 64، 66 – 70، 72، 74، 76، 79
نوكليوتيد 18، 19، 21، 35، 36، 46، 47
هجين 73، 80
هندسة وراثية (راجع أيضاً التلاعب الوراثي) 13، 20، 34، 35، 54
هوانغ (وو يوك) 76، 111
والسون جايمس 20
وراثة 17، 18، 78، 98
ورم 70، 71
ولزمان أوغست 62، 63
ويلكينز (موريس) 20
ويلموت (إيان) 68، 70، 101

الاستنساخ والكائنات المعدّلة وراثياً

هل تشكل النباتات المعدلة وراثياً خطراً على البيئة والصحة؟ هل تضمن زراعتها المستقبل الغذائي على كوكبنا؟ بعد استنساخ النعجة دوللي، إلى أي مدى سيصل العلماء في التلاعب بالكائنات الحية؟ ما هي الآفاق الطبية التي يفتحها الاستنساخ العلاجي؟

يقدم هذا الكتاب فرصة لفهم أساسيات هذا الموضوع، الذي يطرح مسائل جدلية جمة، ليتمكن كل قارئ من اتخاذ موقفٍ منه. ويقدم بأعلى درجات الموضوعية الممكنة القضايا التي تحيط بالاستنساخ والمواد المعدلة وراثياً: خليط من المخاطر والآمال في مجالات البيئة والطب والزراعة، وذلك ضمن أربعة فصول:

- مفاهيم أساسية مبسطة
- النباتات في المختبر
- حيوانات مستنسخة في المزارع
- التلاعب بالبشر

مع مجموعة متنوعة من الصور والرسوم التوضيحية.

أوديل روبير: عالمة أحياء في مجال التكوين، ومتخصصة في تبادل الأبحاث الأساسية في علم الأحياء والطب. وضعت عـدداً من الأعمال والمقالات التي ظهرت فـي المجلات العلمية ومنها La recherche و Biofutur.

ISBN 978-603-8168-03-5
9 786038 168035