الكائنات والأغذية المحورة وراثياً

أ.د. ماهر محمد شحاته

قام الإنسان منذ آلاف السنين بزراعة النباتات؛ للاستفادة منها كمصدر للغذاء والعلف، وبمضي الوقت حدثت تغيرات طبيعية في التركيب الوراثي لتلك النباتات، فقام الإنسان بانتخاب المناسب منها؛ للحصول على أجيال جديدة. ومع تطور العلم بشكل كبير؛ تمكن العلماء من إحداث تلك التغيرات باستخدام التقنيات المورثية المتقدمة.

نتج عن تلك التقنية مايسمى اليوم بالكائنات والأغذية المحورة وراثيا، والتي أصبحت جزءاً من حاضرنا ومستقبلنا. حيث يرى العلماء أن التحوير الوراثي يشكل مجموعة جديدة وبالغة الأهمية من الأدوات، بينما يرى أرباب الصناعة: أن الكائنات المحورة وراثيا فرصة لزيادة أرباحها، أما عامة الناس فينظرون إليها بعين الشك.

تختلف الهندسة الوراثية - التحوير الوراثي المتمثل في نقل الصفات الوراثية ميكانيكياً من كائن حي إلى آخر - عن نقل الصفات الوراثية عن طريق التهجين، إذ أنها تتم حتى ولو لم يكن بينهما قرابة، بينما في حالة التهجين: يتطلب وجود صلة قرابة بين الكائنين؛ ولذا يختلف نمط التحوير الوراثي على حسب المصادر التي يتم النقل فيما بينها. فقد يكون بين نباتين من نوعين مختلفين من نفس الفصيلة، وفي هذه الحالة يسمى المنتج الجديد بـ (Familigenic). أما إذا كان المصدران من عائلتين مختلفتين؛ فإن المنتج الجديد يسمى (Transgenic)، وأما عندما يتم النقل لمورث مهندس ومصنع معمليا، إلى أي نبات فإن المنتج الجديد يسمى: (Xenogenic).

أهداف التحوير الوراثي

تتعدد الأهداف من التحوير، ويأتي على رأسها إنتاج مركبات معينة تكتسب صفات جيدة، وإنتاج أغذية للاستهلاك البشري والحيواني، وتقليل تكاليف إنتاج المحاصيل الغذائية، والحصول على هامش ربح مرتفع للشركات الكبرى المعنية بها، ومن أهم أهداف التحوير الوراثي مايلي:-

● المحافظة على التوازن البيئي

تتم المحافظة على التوازن البيئي عن طريق المقاومة الأحيائية، وذلك إما بالمحافظة على الملقحات والمفترسات والمتطفلات، أو إنتاج نباتات لها القدرة على مقاومة الضغط الحيوي (Biotic stress)، وقد أسهمت التقنيات الحيوية في عزل مورثات من البكتيريا والنباتات، تُشَفِرُ لبروتينات سامة على بعض أنواع الحشرات، وكذلك تم عزل المورث (Bt) من بكتيريا التربة (*Bacillus thurngeinsis*)، والذي يُشَفِرُ لبروتين ذي تأثير سمي على الحشرات (Insecticidal Crystal Protein) - يرقات الفراشات - التي تصيب الذرة الشامية، واستخدم في تحوير نباتات بعض المحاصيل، ومنها: القطن، وكذلك الطباق لمنح المقاومة للحشرات، ويعتقد كثيرون أن هذا البروتين السام عالي التخصص، وليس له آثار سمية على الثدييات، وربما تخصصاً محدوداً على بعض الحشرات.

● تحسين جودة المنتج

يحور النبات وراثياً لتحسين كل من صفاته الظاهرية، مثل الشكل واللون، وغير الظاهرية مثل المذاق؛ مما يغري المستهلك ويشجعه على الإقبال على هذا المنتج. أو تحسين الصفات الفسيولوجية المسؤولة عن بعض العمليات الحيوية. فمثلاً تأمل بعض الشركات في نقل مورثات تعطي ألياف القطن لوناً ثابتاً للاستغناء مستقبلاً عن صبغ القماش بالأصباغ الكيميائية.

● إنتاج نباتات مقاومة للعوامل البيئية

يعد الحصول على نباتات مقاومة للآفات على رأس أهداف التحوير الوراثي، وذلك لدورها في التقليل من الاستخدام المفرط للمبيدات الحشرية والفطرية والعشبية، والتي لها الأثر السلبي الكبير على البيئة، وكذلك إنتاج نباتات تتحمل الظروف البيئية القاسية، مثل: الحرارة، والجفاف، والتلوث بالمعادن الثقيلة. ومن أمثلة ذلك ما يلي:

■ **مقاومة للحشرات:** ويتم فيها إكساب النباتات القدرة على الدفاع عن نفسها ضد الحشرات، عن طريق بعض الغدد الموجودة في النبات التي تستحث، فتفرز مواداً كيميائية سامة، أو مواداً منفرة لا تحبها الحشرات.

■ **مقاومة للملوحة والجفاف:** وتتم من خلال نقل بعض المورثات التي لها علاقة بمقاومة الملوحة والجفاف، حيث تبين من خلال الأبحاث والتجارب المعملية أن صفتي مقاومة الملوحة والجفاف يتحكم فيها عدد كبير من المورثات لا تقل عن عشرة، تسمى بالعائلة متعددة المورثات (Multi-gene Family)، وهي تعمل في منظومة واحدة لإبراز الصفة، ومن أمثلة ذلك: فقد أجريت محاولات جادة في عدة دول، منها: الولايات المتحدة؛ لنقل المعقد المورثي من نبات حشيشة الملح إلى نبات الشعير. تم بالفعل نقل بعض المورثات المقاومة للملوحة من حشائش المستنقعات إلى عدة نباتات، منها: القمح، والشعير، والبرسيم، ولايزال الأمل معقوداً على إمكانية إنتاج محاصيل حقلية تتحمل الملوحة والجفاف بالتطعيم المورثي.

■ **مقاومة لمبيدات الحشائش:** ويتم فيها الحصول على نباتات تتحمل مبيدات الأعشاب؛ لأن المبيدات تؤثر - في أحيان كثير - سلباً على المحصول الرئيسي، حيث تعمل على الإخلال في عملية أيضية

محددة؛ وبالتالي فإن تحوير موقع الإنزيم الذي يعمل عليه المبيد سوف يمنح النبات درجة من المقاومة لمبيد الأعشاب، وبالتالي فإن هذه العملية سوف تسمح باستخدام مبيدات أعشاب غير متخصصة.

■ **مقاومة لمسببات الأمراض:** ويتم فيها إكساب أصناف من المحاصيل مقاومة مسببات الأمراض؛ مما يؤدي إلى تحسين جودة وإنتاج المحاصيل، وهذا بلا شك سوف ينعكس على النطاق التجاري.

تم - معمليا - إنتاج نباتات مقاومة للفيروسات، عن طريق نقل المورث المُشَفِرْ لبروتينات غلاف الفيروس، مما أدى إلى إكساب النبات مقاومة فيروسات أخرى يشابه غلافها البروتيني الغلاف البروتيني للفيروس المستخدم في التحوير. وتطبيقياً: أثبتت هذه التقنية قدرتها على تحوير بعض النباتات، مثل: البرسيم الحجازي، والطباق، والبطاطس. كما استخدم ما يعرف ب (RNA Antisense) لإنتاج نباتات مقاومة للفيروس، مثل: مقاومة فيروس التبرقش الذهبي في الطماطم، وفيروس تبرقش التبغ. كذلك اقترح استخدام مورثات من أصل نباتي لمنح المقاومة للفيروس، وفقاً للاستجابة لفرط الحساسية (Hypersensitivity). بالإضافة إلى تحوير النبات لمقاومة الفيروس باستخدام الأجسام المضادة (Antibodies).

■ **مقاومة لزحف الرمال على الطرق:** وذلك باستخدام نباتات خاصة، تتميز بقدرتها العالية على تثبيت الرمال، والحد من خطورة تراكمها على الطرق، والتقليل من تأثيرها على حركة السير.

■ **مقاومة للصقيع والبرودة:** ويتم ذلك بنقل المورث المسؤول عن مقاومة البرودة إلى بعض النباتات، فعلى سبيل المثال: تمكن العلماء من إنتاج وزراعة الفراولة المحتوية على المورث المقاوم للبرودة، حيث نقل لها هذا المورث من بعض الأسماك التي تعيش في المناطق المتجمدة؛ مما أعطاها صفة تحمل الصقيع والحرارة المنخفضة والأضرار المختلفة.

■ شكل (٥) نبات فول الصويا المتحمل لمبيدات الأعشاب (على اليسار: قبل الرش، على اليمين: بعد الرش).

● تحسين صفات التصنيع والتخزين

يعد تحسين صفات الجودة التسويقية من أبرز تطبيقات التحوير الوراثي، ولعل من أوضح الأمثلة على ذلك صفتي القشرة السميكة والقوام البكتيني المغلظ في الطماطم، حيث يمكن للقشرة السميكة أن تجعل الثمار أكثر قدرة على احتمال الصدمات والضغط عند نقلها وتخزينها، أما البكتين المغلظ القوام فيدعم قيمة التصنيع. ولعل إنتاج نوع (Flavr Savr Tomato) الذي يجمع بين احتفاظه بنفس القيمة الغذائية للطماطم الطبيعية، وإمكانية تسويقه لمدة ٦ أشهر، دليل حي على ماتلعبه التقنيات الحيوية في إحدى ضروريات الحياة والغذاء.

كذلك أدى التقليل من نشاط إنزيمات النضج ومابعده - التي تساعد على تغير لون الموز - إلى منح البائع فرصة أكبر للتسويق والتوزيع، لأن تأخير فترة استواء الموز لما بعد النضج (Softening) يزيد من زمن العرض دون تلف، مما يجعله يتحمل الشحن لمسافات طويلة، ويقاوم العمليات التي تسبق التسويق.

● رفع القيمة الغذائية وتحسين صفات الجودة

يهدف التحوير الوراثي في بعض نباتات الأغذية إلى: تحسين المحتوى الأيضي (كالسكريات والبروتينات) من أجل زيادة المحتوى الغذائي كما ونوعا. ومن أبرز الأمثلة على ذلك ما يلي:

١- إنتاج أرز يحتوي على عنصر الحديد بنسب أعلى من المعتاد.

٢- إنتاج طماطم تحتوي على الكاروتينات كمصدر لفيتامين (أ).

٣- إنتاج - موخراً - أرز أصفر اللون غنياً بالبيتاكاروتين - يحوله جسم الإنسان إلى فيتامين (أ) - سُمي بالأرز الذهبي، وتم ذلك من خلال نقل ثلاث مورثات من النرجس البري وإحدى سلالات البكتيريا.

٤- تغيير التركيب الكيميائي لدرنات البطاطس بمورث منقول من بكتيريا (E.coli) ليرفع كمية النشا بنسبة حوالي ٢٠٪.

٥- نقل صفة تغيير محتوى زيت الثمرة - لزيادة نسبة حمض اللوريك، وهو من الأحماض الدهنية غير المشبعة - إلى محصول نبات اللفت المستخدم في إنتاج الزيوت من بذوره، وتتجمد هذه الزيوت في درجة حرارة الغرفة دون هدرجة (Hydrogenation). وهذا يزيد من قيمة الزيت سواء عند استخدامه للغذاء أو في صناعة الصابون ومنتجاته.

٦- إنتاج العديد من الزيوت البديلة من البذور الزيتية المهندسة وراثياً، مثل: بذور فول الصويا، ودوار الشمس، والنخيل الاستوائي. حيث تستخدم الأحماض الدهنية طويلة السلسلة (C20 – C24) كمخففات للاحتكاك وكمذيبات لبعض مبيدات الآفات، بينما تستخدم الأحماض الدهنية قصيرة السلسلة (C6 – C14) في صناعة الصابون والمنظفات.

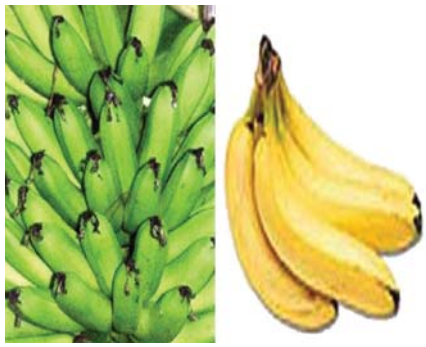
٧- رفع القيمة الغذائية لمنتجات بعض المحاصيل الحقلية، مثل: زيادة حمض اللايسين الأميني في بروتين الذرة، مما يزيد من نسبة البروتين في دقيق الذرة، وبالتالي يزيد من نسبة البروتين في غذاء الإنسان.

أمكن عن طريق تحوير الذرة وراثياً: تركيز الحمض في الحبوب وليس الأوراق، ويتم التحكم في ذلك، عن طريق استخدام مشغلات للمورث المنقول لا تعمل إلا في أنسجة الثمرة، كما يتم معالجة النقص في بعض الأحماض الأمينية في البقوليات، مثل السيستين والمثيونين، ويجري حاليا نقل المورث المذكور إلى العديد من المحاصيل البقولية.

● إنتاج التطعيمات

يتم إنتاج التطعيمات بواسطة المفاعلات الحيوية، وفيها يتم استخدام النبات أو الحيوان كمصدر لإنتاج مواد حيوية لها أثر طبي فعال في الوقاية من بعض الأمراض وعلاجها.

يعد «**تشارلز آرنزين**» - الأستاذ بكلية



■ شكل (٧) موز يتحمل الشحن والتسويق

الفنون والعلوم - بجامعة أريزونا الأمريكية - أول من تبنى فكرة هندسة النباتات وراثياً؛ لإنتاج الأمصال واللقاحات القابلة للأكل، وذلك بغرسها داخل الخضر والفاكهة باستخدام تقنيات الهندسة الوراثية، وقد أخذ على عاتقه أن ينقذ حياة ملايين الأطفال المهددين بالموت نتيجة للأمراض المعدية المميتة.

أجرى **تشارلز آرنزين** وزملاؤه تجارب عملية ناجحة، في توليد استجابة تصنيعية مناعية لبكتيريا (E.coli) في الإنسان، باستخدام مصل من البطاطس المحورة وراثيا، وقد نشرت نتائجها عام ١٩٩٨م، كما نجح الفريق نفسه في إنتاج مصل لفيروس «نوروك» الموجود في نبات البطاطس، باستخدام التقنيات الحيوية، والذي يسبب مرضاً للإنسان تتمثل أعراضه في: الغثيان، والتقيؤ، وآلام المعدة، والإسهال.

اشتق اسم فيروس نوروك من مكان اكتشافه لأول مرة، فقد أصيب حوالي ١٠٠ طالب تقريبا في وقت واحد عام ١٩٦٨م بمدرسة في «نوروك» بولاية «أوهايو» الأمريكية، وقد حار العلماء في ذلك الحين في تحديد السبب المرضي؟ وبعد أربع سنوات كاملة: أدرك العلماء أن السبب المرضي كان فيروسا، وسمي هذا الفيروس بالاسم السابق تخليداً لمكان اكتشافه لأول مرة. ينتقل هذا الفيروس عن طريق الغذاء. ولقد تأكد نجاح التجارب (الإكلينيكية) السريرية البشرية الأولى للمصل في شهر يوليو عام ٢٠٠٠م.

تم -أيضاً- تحوير بعض الأغذية لإنتاج بعض اللقاحات الضرورية للأطفال، وقد حور أخيراً نوع من البطاطس لاستخدامه في تطعيم الأطفال ضد فيروس شلل الأطفال مع الأكل، بدلا من تعاطي الدواء بطريق الفم. وهناك أيضا أمثلة أخرى مثل: محاصيل الذرة الشامي، التبغ والطماطم، وذلك في علاج الالتهاب الكبدي المعدي، والكوليرا، ومرض السكري، والإسهال، ومرض الشيخوخة والسرطان.

● التسميد الآزوتي

من المعلوم أن النباتات البقولية لا تحتاج عادة إلى تسميد آزوتي. ويرجع السبب في ذلك إلى أن هذه النباتات تفرز مواد كيميائية خاصة تجذب إليها أنواعاً معينة من البكتيريا (بكتيريا العقد الجذرية) التي تقوم بتثبيت الأزوت وتحويله لمركبات نيتروموروثية. وتعيش تلك البكتيريا معيشة تكافلية مع جذور البقوليات. ومن الممكن نقل المورثات المسؤولة عن إفراز هذه المواد الكيميائية إلى بعض محاصيل الحبوب الرئيسية، مثل: القمح أو الذرة أو الشعير؛ لتوفير أموالاً كثيرة تدفع في تكاليف التسميد الآزوتي، ولا سيما أنه قد عثر على بعض النباتات البرية من العائلة النجيلية - والتي تضم القمح، الشعير، والذرة - بجذورها نوع من البكتيريا العقدية.

■ حبوب (على اليمين) ونبات (على اليسار) الأرز الذهبي.

● تحسين صفات بعض المنتجات الحيوانية

يستفاد من التحوير الوراثي في تحسين صفات بعض المنتجات الحيوانية، مثل ما يلي:

■ **تحسين النوع في الأسماك:** وذلك بإنتاج أسماك أسرع نمواً، أو أكبر حجماً، أو أكثر نسلاً، وذلك عن طريق نقل المورثات المسؤولة عن تلك الصفات.

■ **تحسين إنتاج الحليب:** حيث يقوم الكثير من العلماء في العديد من المختبرات بمحاولات نقل مورثات بين الحيوانات؛ بغرض تحسين كمية اللبن ومحتواه الغذائي.

■ **إنتاج أصواف عالية الجودة:** وقد تم عزل الكثير من المورثات المسؤولة عن صفات الجودة في الوبر الحيواني، ويمكن نقل تلك المورثات بين الحيوانات؛ لإنتاج أصواف ذات خامات وقوام وألوان محسنة.

تقنيات التحوير الوراثي

تشكل التقنيات المختلفة للتحوير الوراثي أملاً في الوصول للإنتاج المحسن كماً وكيفاً، ومن أهم تلك التقنيات ما يلي:

● التقنيات التقليدية

تشمل الطرق المختلفة التي تستعمل في تربية النبات والتي تطورت عبر السنين، وهي تبدأ بتقييم العشائر النباتية للمحاصيل المختلفة اعتماداً على التباين الوراثي بين أفرادها، ومن ثم إجراء انتخاب للأفراد الذين تتوفر فيهم الصفات المرغوبة؛ حتى يكونوا أباءً للأجيال القادمة. وعند انعدام التباين الوراثي تجرى عملية التهجين، أو تستحدث الطفرات باستخدام المواد الكيميائية أو الأشعة.

أدى استخدام التقنيات التقليدية إلى تحسين وتطوير معظم المحاصيل الموجودة، مثل: محاصيل الحبوب (الغلال)، كالقمح، والأرز، والشعير بنجاح باهر. ولكن هذا النجاح أدى إلى اندثار عدد كبير من الأصناف المحلية وقريباتها البرية، والتي قد تكون هي أساس جودة الصنف، كما أدت إلى القضاء على قدرة المحاصيل التقليدية على التكيف مع البيئات الطبيعية المختلفة وظروف النمو المتباينة.

● التقنيات الحيوية الحديثة

تعد الإنجازات العلمية الهائلة التي ظهرت في منتصف القرن السابق - من اكتشاف طبيعة المادة الوراثية، وكذلك اكتشاف آليات بناء البروتين - هي الخطوات الأولى في تطور التقنية الحيوية؛ لتصل إلى مفهومها الحالي، حيث نتج عن هذه الاكتشافات تطوراً مذهلاً في علوم الوراثة، مما أدى إلى تغير كبير في الكثير من طرق تناول حقائق العلوم الأساسية (النبات والحيوان وغيرهما)، وكذلك تطور الأساليب البحثية المستخدمة في التقنية الحيوية بمجالاتها المختلفة، وأخيراً ظهور التقنية الحيوية المتقدمة.

بدأت التقنيات الحديثة في العقود الأخيرة من القرن الماضي، بظهور ما يعرف بالهندسة الوراثية عام ١٩٧٣م، حيث بلغ تعامل الإنسان مع المادة الحية أقصى درجات الدقة، وذلك بإجراء تطعيمات مورثية بين أنواع مختلفة من البكتيريا، ولقد فتح

■ البكتيريا المثبتة للآزوت الجوي على جذر نبات الفول.

هذا الاكتشاف المجال واسعاً لاستعمال هذه التقنيات الحديثة في تحسين وتحديد ونقل مورثات لصفات كثيرة من كائنات إلى كائنات أخرى (نباتات أو حيوانات) بغرض تحسينها وتطويرها.

مراحل التحوير الوراثي بالتقنيات الحديثة

تختلف مراحل التحوير الوراثي بالتقنيات الحديثة، باختلافات طفيفة في النبات عنها في الحيوان، ويمكن توضيح كل منهما فيما يلي:

● التحوير الوراثي في النباتات

تمرعملية تحوير النباتات وراثياً بالمراحل الأساسية التالية:

■ **تحديد الصفة المرغوبة والبحث عن كائن حي يتميز بها:** وتعد المرحلة الأولية في الحصول على كائن معطي للصفة المرغوبة وآخر مستقبل لها. فمثلا إذا كان الهدف إكساب النبات القدرة على مقاومة آفة معينة؛ فيتطلب ذلك البحث عن كائن آخر مقاوم لهذه الآفة؛ من أجل عزل الصفة منه ونقلها، و ينطبق الشيء نفسه على الصفات الأخرى، مثل: تحمل المبيدات أو تحسين الجودة أو رفع القيمة الغذائية .. إلخ.

■ **تحديد المورث المسؤول عن الصفة المرغوبة:** وتمثل المفاتيح المسؤولة عن التحكم في الصفات الوراثية، ولذا يتم تحديد المورث المسؤول عن التحكم في تلك الصفة، ومن الجدير بالذكر: أنه كلما كانت الصفة المطلوبة واضحة ومدروسة؛ كان تحديد المورث الخاص بها أيسر وأدق.

■ **عزل المورث:** وفيها يتم التعامل مع المادة الوراثية بطريقة تمكن من رؤيتها وتحديد طولها، متمثلا في عدد القواعد النيتروموثية. وهنا تستخدم تقنية الفصل الكهربائي لعزل المادة الوراثية تبعا للمقاس بعد صبغها بمادة (Ethidium bromide) تمكن من رؤيتها عند الفحص بالأشعة فوق البنفسجية أو باستخدام جهاز (GDS) للتأكد من عزل المورث المناسب.

■ **ربط المورث بحامل وراثي مناسب:** وتأتي بعد عزل المورث، حيث يجب تحميله على ناقل لتسهيل دخوله فيما بعد لخلايا الكائن الحي المراد تحويره، ويعد تحديد الحامل الوراثي: أعقد ما في التحوير الوراثي. تتكون الحوامل الوراثية (Vectors) من أجزاء دائرية من المادة الوراثية، توجد في الخلايا بدائية النواة، مثل البكتيريا بشكل منفصل عن المادة الوراثية الرئيسية. تتميز الحوامل الوراثية بسرعة نسخها في البكتيريا، وسهولة تنقيتها، كما يمكن قطعها وإدخال قطع من المادة الوراثية الجديدة إليها. وقد تم فصل الحوامل الوراثية الطبيعية من الخلايا البكتيرية، واستغلال بعض أجزائها في تصميم وتصنيع حوامل وراثية صناعية – في المختبرات – يتناسب حجمها مع درجة تحمل الخلايا المراد تحويرها. تعد فصيلة الحامل المعروفة بـ (pUC) من أشهر الحوامل الوراثية، والتي تحوي المورث الخاص بمقاومة المضاد الحيوي أمبيسلين، إضافة إلى مورثات أخرى، بعضها يساعد على مضاعفة الحامل ووجوده في الخلية، والأخرى تحوي أماكن يمكن قطعها بإنزيمات القطع، ثم يحمل عليها المورث الجديد باستخدام إنزيمات الربط (DNA ligase).

■ **مضاعفة المورث وتنقيته وفحصه:** وتتم بعد ربطه بالحامل المناسب – يتعين نقله إلى خلية بكتيرية عادة ما تكون (E .coli) – من أجل إكثاره وحفظه في الخلية، وذلك تحت ظروف النمو العادية، ويتم ذلك عن طريق عملية تسمى التحوير الوراثي للبكتيريا (Bacterial Transformation). وتعتمد تقنية إدخال الناقل الوراثي الحامل للمورث المرغوب على: إرباك جدار الخلية المراد تحويرها بطريقة تسمح بمرور الحامل الوراثي دون التأثير على محتويات الخلية البكتيرية نفسها، ويتم ذلك باستخدام كلوريد الكالسيوم (CaCl2) والصدمة الحرارية عند درجة حرارة (٤٢ °م).

■ **نقل الصفات إلى الكائن المستقبل:** وتتم بطرق تختلف بحسب الخلايا المراد تحويرها (خلايا بكتيرية، خلايا نباتية، خلايا حيوانية). يقوم الكائن المراد تحويره باستقبال الحامل الوراثي، ثم إدخاله إلى النواة، إما بنسخة واحدة من الحامل الوراثي، أو بعدة نسخ تصل إلى العشرات، ومن ثم دمجه بطريقة عشوائية ضمن المنظومة الوراثية للكائن نفسه، فيما يسمى بالتحوير الوراثي، قد يؤدي الإدخال العشوائي للمادة الوراثية المحمولة إلى: إبطال صفات أخرى ضرورية للكائن الحي، أو لبعض منتجاته الحيوية، حيث لا تسمح التقنيات المتوفرة حاليا بتوجيه المادة الوراثية الجديدة في أماكن محددة مسبقا داخل مورثات الكائن المستقبل (المضيف).

■ **التأكد من وجود الصفة:** وذلك من خلال اختبار الصفة المدخلة نفسها، وبوجود المورثات المستخدمة كدلائل في الحامل الوراثي. وقد يتطلب الأمر فصل المادة الوراثية من الكائن المحور، وتحديد عدد المورثات المدخلة وعدد أماكن الإدخال.

■ **تجربة التحدي (مدى نجاح عملية التحوير):** وتتم بتعريض الكائن المحور وراثيا للظروف غير المناسبة. ومثال ذلك: النباتات التي تحمل مورثات المقاومة للحشرات: تعرض للحشرات، والنباتات التي تحمل مورثات مقاومة للمبيدات: ترش بالمبيدات.. وهكذا.

■ **نقل الصفة لأصناف أخرى:** وتتم بمجرد تثبيت هذا المورث في النبات المحور وراثياً، يصبح من الممكن نقله إلى أصناف أخرى، سواء من نفس المحصول أو محصول آخر، وذلك باستعمال الطرق التقليدية لتربية النبات عن طريق التهجين، والتهجين الرجعي.

● عملية التحوير الوراثي في الحيوانات

استخدمت طريقة التحوير الوراثي في الحيوان بنجاح في إدخال صفات وراثية مميزة في الكثير من الحيوانات، مثل: الأبقار والأغنام والماعز والأسماك. تمر عملية تحوير الحيوانات بالمراحل الأساسية التالية:

١- تحديد الصفة المرغوبة.

٢- تحديد المورث المسؤول عن الصفة.

٣- عزل المورث المرغوب من الكائن الحي.

٤- قص (قطع) المورث بإنزيمات متخصصة

(إنزيمات القصر).

٥- إدخال المورث المرغوب إلى خلايا البويضة الملقحة بواسطة جهاز المجهري الدقيق.

٦- نقل البويضة الملقحة المحتوية على المورث الذي يمثل الصفة الوراثية إلى رحم الحيوان.

٧- الانتظار للحصول على النسل المحور والحامل للصفة الوراثية الجديدة.

الطرق الحديثة للتحوير الوراثي

تتم عملية النقل المورثي من التركيب الوراثي لكائن حي إلى التركيب الوراثي لخلية كائن حي آخر، باستخدام وسائل عديدة منها مايلي:

● استخدام بكتيريا التورم القمي

تعد بكتيريا التورم القمي (Agrobacterium tumefaciens)، من أشهر النواقل المستخدمة في تحوير النباتات، والتي تتطلب وجود عائل (كائن حي) وسيط (Host-Mediated)، وتسبب هذه البكتيريا أمراضاً لبعض أنواع النباتات - خاصة ذوات الفلقتين - تسمى بالتورم أو بالتكاثر غير المنضبط للخلايا، يشبه مرض السرطان، ولقد أكتشف خلال التسعينات من القرن الماضي أن هذه البكتيريا تدمج جزءاً محدداً من حمضها النووي في صبغي النبتة المصابة، ومن هنا أجريت أبحاث عديدة لدراسة إمكانية استعمال هذه البكتيريا لإدخال مورثات جديدة و متعددة في النباتات. وحاليا يتم في البداية إدخال الهيكل المورثي في الحامل المورثي (Plasmid) الخاص بهذه البكتيريا ويسمى بالناقل المسبب للورم (Ti Plasmid)، وهو عبارة عن حامض نووي دائري يوجد بداخل الخلية البكتيرية مستقل عن الصبغي.

يتم بعد ذلك انتقاء الخلايا المحورة وراثيا بتربية الأنسجة على وسط غذائي (Culture medium) يحتوي على المضاد الحيوي (Antibiotic) المناسب، إذ إن الهيكل المورثي يحتوي على مورث الانتقاء الذي ينتج بروتين مقاوم للمضاد الحيوي، بينما تموت الخلايا التي لم يتم تحويرها، ويتبع ذلك مراحل الحصول على نباتات من الخلايا المنتخبة.

● استخدام ماكينة زرع المورث

على الرغم من نجاح الطريقة السابقة في إنتاج أصناف محورة وراثيا من نباتات ذوات الفلقتين؛ إلا أنها لم تحقق الهدف نفسه في نباتات ذوات الفلقة الواحدة، والتي تتبعها نباتات الحبوب التي تمثل الغلال الرئيسية للاستخدام البشري، ولذلك ظهرت في عام ١٩٨٧م طريقة أخرى لا تتطلب وجود عائل (كائن حي) وسيط (Non-Host Mediated)، ولكنها تتم باستخدام ماكينة تسمى ماكينة زرع المورث (Gene Gun)، أو مسدس المورثات (Biolistic)، ويتم في هذه الحالة تغليف كرات صغيرة الحجم (من الذهب أو التانجستين) بالوحدة المورثية أو الهيكل المورثي، وبعد ذلك تحقن الكرات في الخلايا عن طريق مدفع يعمل بهواء أو هيليوم مضغوط، ومع أن هذا يؤدي إلى موت العديد من الخلايا ونجاة القليل، إلا أنه يمكن الاستفادة من الخلايا التي نجت، وتم فيها دمج الوحدة المورثية، ويتبع ذلك انتقاء الخلايا المحورة وراثيا، ثم تربيتها على وسط غذائي حاوي للمضاد الحيوي، ثم تستكمل الخطوات كما في الطريقة السابقة.

● طرق أخرى

ظهرت بعد ذلك طرق أخرى للتحوير الوراثي، لا تتطلب وجود عائل وسيط - مثل الطريقة السابقة - منها النقل الكهربائي (Electroporation)، والحقن المجهري الدقيق (Microinjection)، والموجات فوق السمعية (Ultrasonication).

متطلبات التحوير الوراثي

يتم التحوير الوراثي للكائنات باستخدام تقنيات تطويع المورث (Gene Manipulation) أو الهندسة الوراثية عن طريق إدخال مادة وراثية غريبة إلى الكائن المراد تحويره وراثيا، ومصدر المادة الوراثية الغريبة، وأنواع أخرى من الكائنات.

يتطلب إدخال مورث جديد وجود أربعة عناصر على الأقل هي: المورث الجديد الذي يشفر لصفة مرغوبة، والمشغل، والمنهي لعملية النسخ، والمورث الكاشف (الواسم). وأحيانا يوجد المعزز (المحفز- Enhancer). وقد يكون المشغل مصمماً لحث المورث على العمل فقط داخل أنسجة معينة دون الأخرى (Tissue Specific Promoter). وبالنظر للتركيب والوضع الطبيعي للمورث يوجد مسبوقا بمورثات أخرى تتحكم في آلية عمله تسمى المورثات المنظمة (Regulatory Genes).

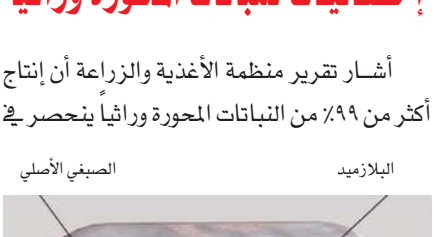
أهمية الكشف عن التحوير الوراثي

زاد في الفترة الأخيرة استخدام تلك الكائنات ومنتجاتها على نطاق واسع في مناطق كثيرة من العالم. وكأي منتج حيوي جديد: هناك تردد وجدل كبير بين العلماء عن سلامة وملائمة تناول تلك الأغذية المحورة وراثيا على المدى البعيد، خاصة أن التحوير الذي يجرى في بعض الدول يوجه لمصلحة المزارع والتاجر وليس المستهلك. وقد قامت بعض الدول بوضع قيود على استخدام تلك الكائنات ومنتجاتها، حيث تعارض دول الاتحاد الأوروبي بيعها، ودول أخرى- مثل أمريكا - أجازت تناولها وبيعها بدون شروط، وتسمح بعض الدول - مثل كندا- ببيعها مع وضع علامة تبين أن المنتج محور وراثياً، وتسعى دول كثيرة لوضع ضوابط لتداولها، ولهذا كان من الضروري ظهور طرق للكشف عن التحوير الوراثي ونسبته، والاستفادة منها في وضع علامات وبطاقات تعريفية على تلك المنتجات لتمييزها قبل طرحها في الأسواق. وأهم طرق الكشف هي:

- الكشف عن البروتينات المنتجة بالمورثات المستخدمة في التحوير بتقنية الإليزا.
- الكشف عن نوعية ونسبة المورثات نفسها بتقنية تضاعف المادة الوراثية بجهازي الدوران الحراري والدوران الضوئي.
- الكشف بتقنية الرقائق والمصفوفات المجهرية.
- الكشف بالأشعة تحت الحمراء.
- كواشف المورثات الحساسة.

إحصائيات للنباتات المحورة وراثياً

أشار تقرير منظمة الأغذية والزراعة أن إنتاج أكثر من ٩٩٪ من النباتات المحورة وراثياً ينحصر في



■ بكتيريا التورم القمي

أربع دول هي: أمريكا (٦٨٪)، الأرجنتين (٨, ١١٪)، كندا (٦٪)، والصين (٣٪). أما بالنسبة للمحاصيل فيمثل فول الصويا ٦٣٪، الذرة ١٩٪، القطن ١٣٪، والكانولا ٥٪. وبخصوص المساحة المنزرعة يمثل فول الصويا ٤٦٪ والقطن ٢٠٪ والكانولا ٥٪. وأما بالنسبة للصفات الجديدة فتمثل النباتات التي تتحمل المبيدات العشبية ٧٧٪، والنباتات المقاومة للحشرات ١١٪. وقد استمرت المساحة العالمية للمحاصيل المحورة وراثيا فى الزيادة سنويا بمعدل يزيد عن ١٠٪، كما أن عدد المزارعين الذين استفادوا من تلك المحاصيل استمر فى الزيادة وأصبح ١٠ مليون مزارع في ٢٠٠٦م بزيادة قدرها ٢ مليون، ٣ مليون عن عامي ٢٠٠٥ و ٢٠٠٣م، على التوالي. وقد اتسع نطاق مساهمة الدول المهتمة بالتحوير الوراثى الى أن وصل حالياً إلى ٢٢ دولة تزرع ١٠٠ مليون هكتار.

أجريت في جميع أنحاء العالم آلاف الاختبارات الميدانية بشأن الكائنات المحورة وراثيا أو التي قيد الإجراء، أكثرها في البلدان الصناعية. ويتم حاليا اختبار حوالي ٢٠٠ محصول ميداني في البلدان النامية، وتقع الأكثرية الساحقة من هذه المحاصيل في أمريكا اللاتينية (١٥٢) وتليها إفريقيا (٣٣) ثم آسيا (١٩).

مواقف الهيئات والدول من التحوير الوراثي

تباينت مواقف دول العالم ومنظماتها من المواد الغذائية المحورة وراثياً بين مؤيد لها بدون تحفظ ومعارض لها، وبين مؤيد لها بشروط، وذلك كما يلي:

● منظمة التجارة العالمية

تنص اتفاقيات منظمة التجارة العالمية على حرية التجارة بشكل عام - استناداً إلى اتفاقية تدابير الصحة والصحة النباتية - على منع استيراد أي منتج إذا ثبت أن استيراده يشكل خطراً على صحة الإنسان أو الحيوان او النبات، ويمكن اتخاذ إجراءات طارئة بشكل مؤقت لمنع الاستيراد أو تحديده إذا كان هناك احتمال كبير لوجود آثار سلبية على صحة الإنسان أو النبات أو الحيوان بناء على الأدلة والمعلومات المتوفرة، على أن يتم إعادة النظر في هذا الإجراء بتقديم الأدلة العلمية أو تقييم المخاطر، وفقا للمعايير الدولية في حالة الرغبة بالإبقاء على الأجراء الطارىء .

● دول الاتحاد الأوروبي

تم إلغاء قرار تجميد إطلاق الكائنات المحورة وراثيا النافذ اعتباراً من عام ١٩٩٨م بهدف تشجيع الإبداع والابتكار في هذا المجال، بحجة إمكانية مساهمة هذه التقنية في إنتاج غذاء كاف، وإيجاد حلول حقيقية للمشاكل البيئية، وتحقيق التنمية المستدامة والأمن الغذائي، مع التأكيد على ضرورة تزويد المستهلك بالمعلومات الصادقة حول الأغذية المعدلة وراثيا لزيادة ثقة المستهلك بهذه الأغذية.

● الولايات المتحدة الأمريكية وكندا

تم توحيد الجهود المتعلقة بالأغذية المعدلة وراثياً، في كل من كندا والولايات المتحدة الأمريكية لزيادة سرعة الإنجاز، ولم يتم تعديل طرق تقويم السلامة؛ للأخذ بعين الاعتبار الأغذية المحتوية على مكونات من محاصيل معدلة وراثياً، مع العلم أن تقويم سلامة المكونات الغذائية من الأغذية المعدلة وراثياً: يتم بنفس طريقة تقويم سلامة الأغذية الأخرى.

لا تتطلب إدارة الأغذية والأدوية في أمريكا التعريف بالمنتج على أنه يحتوي على مكونات معدلة وراثياً؛ إلا إذا كان هناك احتمال مخاطر صحية على الإنسان من خلال المراجعة من قبل الجهات المسؤولة، وتكون هذه المراجعة مطلوبة: إذا كانت المادة جديدة، وليست مستخدمة سابقاً غذاءً أو علفاً للحيوان، أو أن التعديل الوراثي تضمن استخدام مورثات من نباتات معروف أنها تسبب مشكلات صحية مثل الحساسية، ولكن لم يحدث أن طلب التعريف بأي غذاء على أنه يحتوي على مكونات معدلة وراثياً في الولايات المتحدة الأمريكية.

● الصين

تشجع الحكومة الاستثمار في هذا المجال، وتركز على موضوع الأبحاث العلمية وخصوصاً المنتجات التي لا تؤكل كالقطن على سبيل المثال، وتسعى لتبوء مركزاً ريادياً في هذا المجال، حيث تعتقد أن التعديل الوراثي سيحل مشكلة الطلب الهائل على الغذاء مقابل تدهور الأراضي والتصحر الذي يسود الصين.

● المملكة العربية السعودية

حرصا على صحة الإنسان: قررت منع استيراد الأغذية الحيوانية المعدلة وراثياً، واشترطت وضع ملصق على المنتجات الغذائية من أصل نباتي يوضح أن هذه المنتجات أو أحد عناصرها معدل وراثيا.

الخلاصة

على الرغم مما تم عرضه من أهداف ظاهرها لخدمة البشرية، يمكن القول أن التقنيات الحديثة لن تكون عونا للإنسان على مشكلة نقص الغذاء إلا إذا توافرت فيها أخلاقيات العلم، وسيطر عليها ضمير العلماء، بعيدا عن الطموح الجارف الذي لاتقيده أديان ولاأخلاق. وحتى تبرهن الأيام القادمة على أن مايجنى من ثمار النباتات المحورة وراثيا يحتوي على العسل لا السم؛ فإننا مع القول القائل: إن الغذاء الطبيعي وإن قل فهو آمن للبشرية.

المراجع

- **بنس . ج. إ.** (١٩٩٩م) من يخاف استنساخ الإنسان. ترجمة: مستجير . أ. ، نصر . ف. دار المعارف.

- **نوتنجهام . س.** (٢٠٠٠م) طعامنا المهندس وراثيا. ترجمة: مستجير . أ. دار نهضة مصر للطباعة والنشر والتوزيع.

-**Ahmed. F.E.** (2002): Detection of genetically modified organisms in foods. Trends in Biotechnology. 20: 215233-.

-**Al-Swailem. A.M.; Shehata. M.M.; Shair. O.H.; Sabaan. S.A.; Al-Anazi I.O. and Al-Shammari. T.A. (2005)**: An efficient method for identification and quantification of genetic modification in Saudi, imported and food products of maize using PCR-based markers and real-time PCR. Journal of Food, Agriculture & Environment. 3 (2): 1419-.

-**Beever. D.E.; Glenn. K.** and **Phipps. R.H.** (2003): A safety evaluation of genetically modified feedstuffs for livestock production; the fate of transgenic DNA and proteins. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 16: 635788-.

-**FAO** (2000): The State of Food and Agriculture. FAO agriculture Series 32. FAO. Rome. Italy 2000. ISBN 92-5-7-104400.

-FAO. (2002): The role of Technology. In: World agriculture towards 20152030/. Summary report. pp: 5054-.

-Persley. G.J. (1997): Global concerns and Issues in Biotechnology. Hort Science. 32 (6): 977979-

-**Shehata. M.M.** (2005): Genetically modified organisms (GMOs). food and feed: current status and detection. Journal of Food. Agriculture & Environment. 3 (2):4355-.