دار المنظومة
DAR ALMANDUMAH
الرواد في قواعد المعلومات العربية

العنوان: تطبيقات الهندسة الوراثية وأسس الأمان الحيوي
المصدر: المجلة العربية العلمية للفتيان
الناشر: المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم
المؤلف الرئيسي: الرفاعي، سامر
المجلد/العدد: مج12, ع23
محكمة: نعم
التاريخ الميلادي: 2012
الشهر: شعبان / يونيو
الصفحات: 15 - 28
رقم MD: 774718
نوع المحتوى: بحوث ومقالات
قواعد المعلومات: EduSearch
مواضيع: العلوم الحيوية، الهندسة الوراثية، التطبيقات الطبية، الدراسات العلمية
رابط: https://search.mandumah.com/Record/774718

© 2018 دار المنظومة. جميع الحقوق محفوظة.
هذه المادة متاحة بناء على الإتفاق الموقع مع أصحاب حقوق النشر، علما أن جميع حقوق النشر محفوظة. يمكنك تحميل أو طباعة هذه المادة للاستخدام الشخصي فقط، ويمنع النسخ أو التحويل أو النشر عبر أي وسيلة (مثل مواقع الانترنت أو البريد الالكتروني) دون تصريح خطي من أصحاب حقوق النشر أو دار المنظومة.

تطبيقات الهندسة الوراثية وأسس الأمان الحيوي

أ. د. سامر الرفاعي
عهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا بدمشق

كثرت تطبيقات الهندسة الوراثية وتنوعت، ومازالت مرشحة لمزيد من التنوع. وفيما يلي أمثلة عن أهم هذه التطبيقات :

- تطبيقات زراعية (إنتاج نباتات محوَّرة وراثيًّا).
- تطبيقات طبية (إنتاج أدوية وأضداد ولقاحات وأدوات تشخيص، إضافة إلى تطبيقات نتائج مشروع الجينوم البشري).
- تطبيقات صناعية (إنتاج مواد كيميائية وإنزيمات ووقود حيوي، إضافة إلى منتجات التقانة الحيوية النانوية وتطبيقات المعلوماتية الحيوية).
- تطبيقات في إنتاج الأغذية والأعلاف (بالاستفادة من المحاصيل المحوَّرة وراثيًّا والعديد من الإنزيمات).
- تطبيقات بيئية (معالجة مختلف الملوِّثات، التفكيك الحيوي Biodegradation والإصحاح الحيوي Bioremediation).

وبسبب تعذر عرض كل هذه التطبيقات في مقالة واحدة، تناقش هذه المقالة بعض التطبيقات الطبية والصناعية وتخصص مقالة أخرى في هذا الملف للتطبيقات الزراعية.

التطبيقات الطبية

من أهم الجوانب الواعدة في تقانات التحوير الوراثي تلك التي تخص التطبيقات الطبية. وقد بدأت بالفعل هذه التطبيقات ترى النور وأخذت طريقها إلى الأسواق منذ مدة، بعد أن تم فحصها وتقييمها بصرامة وثبتت فعاليتها وسلامتها للاستخدام الطبي، وكذلك بعد أن تم تسجيلها وحمايتها. وفيما يلي أهم هذه التطبيقات:

1. إنتاج مواد تفيد في التشخيص: لما كان العلاج يبدأ بالتشخيص، فقد اهتم العلماء منذ مدة باستثمار تقانات ومنتجات الهندسة الوراثية لتطوير أدوات كشف وتشخيص وتجهيز أطقم Kits جاهزة للاستخدام. فقد تم إنتاج بروتينات وأضداد وصفية لتشخيص أمراض يصعب تشخيصها بالطرق التقليدية بصفة جازمة. كذلك تم تطوير أدوات للكشف عن بعض الأمراض الوراثية وكشف أمراض محتملة عند الأجنة أثناء الحمل وعند المواليد الجدد. وكذلك تم تطوير اختبارات لتحديد الجنس وأخرى لتحديد الأبوة والهوية، وهي اختبارات قاطعة ومفيدة في التحريات الجنائية.

2. إنتاج بروتينات علاجية بشرية: في الحقيقة توجد طرق لإنتاج مثل هذه البروتينات تعتمد على التقانة الحيوية التقليدية وليس على تقانات الهندسة الوراثية، من هذه الطرق التقليدية تنقية البروتينات من دم الأشخاص المُعْطين، ولكن هذه الطريقة محدودة المردود وغير آمنة، إذ يمكن أن تتسبَّب في نقل أمراض خطرة تنتقل مع عوامل الدم المختلفة مثل التهاب الكبد الإنتاني C والـ AIDS. كذلك يمكن اللجوء إلى طريقة زرع الخلايا، إلا أنها طريقة مكلفة جدًّا.

يتم حاليًّا إنتاج كميات كبيرة من هذه البروتينات بطرائق التحوير الوراثي بصفةٍ آمنة واقتصادية مع

تجاوز العقبات التي تواجهها الطرق التقليدية. فقد نجحت طرائق التحوير الوراثي بإنتاج كميٍّ للأنسولين ولهرمون النمو وعامل التخثر الثامن والانترفيرون، وهي بروتينات ذات تطبيقات علاجية هامة مَثَّل إنتاجُها بهذه الطرق الحديثة نقطةَ تَحوُّل في علاج أمراض يعاني منها عشرات الملايين من الناس. كذلك تم بنفس هذه الطرائق إنتاج لقاحات Vaccines هامة جدًّا مثل لقاح التهاب الكبد الإنتاني B. وتم إنتاج هذه البروتينات بزرع الجرثوم أو الخميرة المحوَّرين ضمن مخمِّر، أو في حليب حيوان لبون محوَّر وراثيًّا.

3. إنتاج مغذيات صيدلانية Nutraceuticals

تسمى أيضًا أغذية وظيفية، وهي، حسب إدارة الغذاء والدواء الأمريكي FDA، أيّ غذاء أو جزء من غذاء له فوائد صحية أو طبية. تساعد هذه المواد على تَجنُّب المرض أو في علاجه، ويمكن أن تكون عنصرًا وحيدًا مثل الفيتامين C، أو مجموعة عناصر كالفيتامينات والمعادن، أو إنزيمات، أو حموض دسمة كتلك المعروفة باسم أوميغا 3. تؤخذ دائمًا عن طريق الفم على شكل محافظ أو محافظ مرنة (الشكل رقم 1) أو شرابات أو مساحيق، تعطى إجمالاً كتغذية إضافية عندما يُعتقد أن الغذاء المتناوَل ليس كافيًا.

يمكن بالتعديل الوراثي جعل الحيوانات تنتج حليبًا خاصًا بمواصفات معيَّنة، أو تحوير بعض النباتات لتنتج أحد هذه المتممات الغذائية كحالة إنتاج الأوميغا 3 النباتي عوضًا عن المستخلص من الأسماك، وذلك بتحوير نبات الصويا (الشكل رقم 2) والحصول على ما عرف بـ Soymega، أو لإنتاج حمض الدوكوزاهيكزانويك DHA وهو من أنواع الأوميغا 3 الذي يعطى لكل الأعمار.

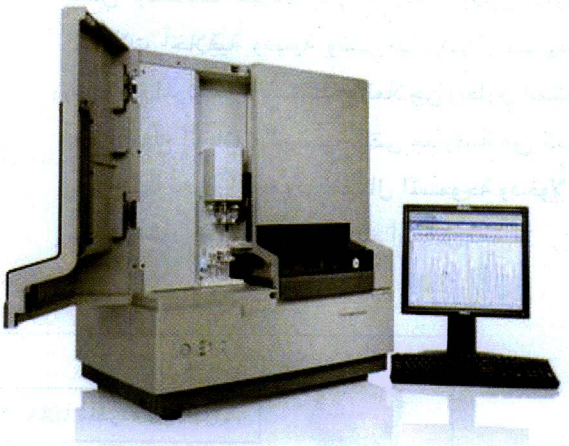
الشكل رقم 1 : محافظ مرنة

الشكل رقم 2 : نبات فول الصويا المحوّر لإنتاج أوميغا 3

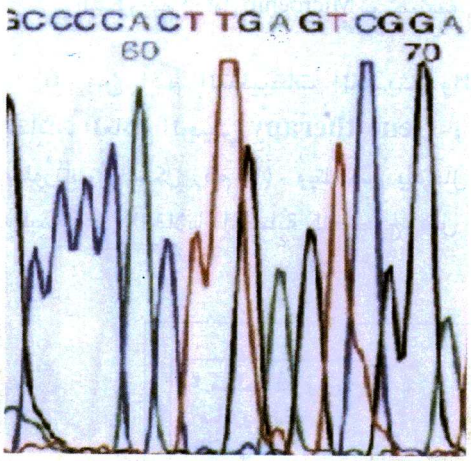
4. المساهمة بتقديم أعضاء للاغتراس Organ transplantation. من المعروف اليوم أن المشاكل الكبرى في مجال اغتراس الأعضاء، كالكلية والقلب، تكمن في إيجاد العدد اللازم من الأعضاء المطلوبة، وفي التوافق وعدم رفض الطعم. تسمح تقانات الهندسة الوراثية بإنتاج خنازير محوَّرة وراثيًّا تُستخدم أعضاؤها في الاغتراس، إذ إن بعض أعضاء الخنزير ملائمة للإنسان أكثر من غيرها، فإذا ما أُضيفت مورِّثة بشرية وصفية في الذخيرة الوراثية للخنزير أمكن تقنيع أنسجة الخنزير ببروتين بشري يمنع رفض الطعم عند الاغتراس، ومن ثَمَّ يمكن تجاوز المشكلتين الأساسيتين المتمثلتين بنقص عدد الأعضاء المتاحة للاغتراس ورفضها من المتلقي. ستساعد هذه الطرائق الحديثة على حلِّ أزمة العثور على العدد اللازم من الكلى والقلوب للمرضى الذين ينتظرون دورهم لتلقي عضو ينقذ حياتهم.

5. التطبيقات الناجمة عن مشروع الجينوم البشري Human Genome Project. سمح التقدم الكبير في أدوات البيولوجيا الجزيئية وفي تقانة المعلومات Information Technology والمعلوماتية الحيوية Bioinformatics بإنجاز مشروع الجينوم البشري أو المجين البشري، فقد أُعلن عام 2003 أنه تم الانتهاء من قراءة كامل التتالي النكليوتيدي لجميع الصبغيات (الكروموزومات) البشرية؛ أي المعلومات المكونة للذخيرة الوراثية البشرية. حيث تمكَّن العلماء من فك الشفرة المكونة من أكثر من 3 مليارات نكليوتيد لتحديد عدد مورِّثات الإنسان التي قدرت بنحو 24000 مورثة.

تم تحديد التتالي بطريقةٍ مؤتمتة بواسطة أجهزة مماثلة للمبين في الشكل رقم 3، حيث تعطي خطوطًا بيانية تمثل كل نكليوتيد بلون محدد كما هو مبين في الشكل رقم 4.

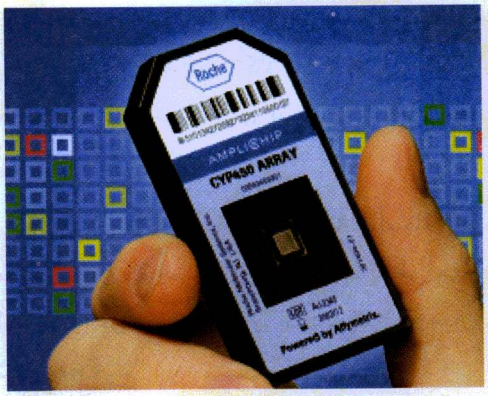


الشكل رقم 3 : جهاز تحديد التتالي النكليوتيدي



الشكل رقم 4 : قراءة التتالي النكليوتيدي

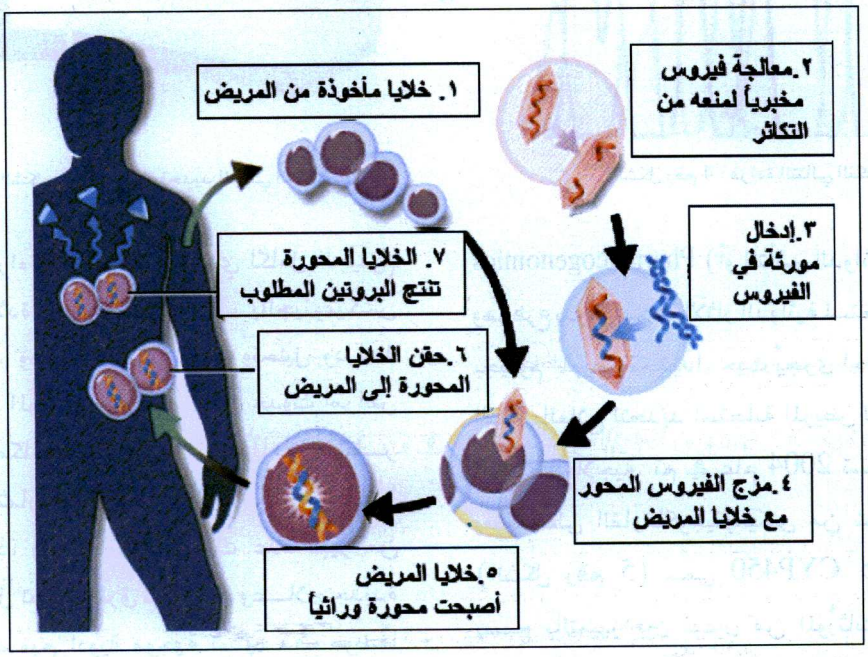
سمحت قراءة التتالي النكليوتيدي لكامل الجينوم البشري بولادة فرع جديد عرف بالجينوميكس Genomics، وهو فرع يُعنى بفهم وتحليل ودراسة آلية عمل هذه المورثات ودور بعضها في حدوث أمراض مختلفة، وفي إمكانية التدخل بهذا المستوى. من المنتظر أن يستمر استثمار الكم الهائل من المعلومات التي قدمها المشروع لعقود، وأن ينجم عن ذلك عدد كبير من التطبيقات مثل تطوير طرق تشخيص وعلاج جديدة قد تسمح بتصميم أدوية موجهة تستهدف موضعًا محددًا، وهذا يزيد من فرص نجاح العلاج مع أقل قدر ممكن من الآثار الجانبية. من بين التطبيقات الهامة التي تَولَّدت ما يعرف اليوم باسم الفارماكوجينوميكس Pharmacogenomics (أو التأثير الدوائي الجينومي) وهو فرع يدرس علاقة الآثار الدوائية لمستحضر دوائي ما بجينوم المريض تحديدًا. حيث يُجرى اختبار معيَّن قبل البدء بالعلاج لتحديد استجابة المريض للدواء واقتراح الخطة العلاجية. تم في عام 2004 تسويق أول منتج يعتمد على الفارماكوجينوميكس من شركة Roche (الشكل رقم 5) سمي AmpliChip CYP450 يسمح بالتمييز بين نوعين من المورِّثات التي تتدخل في سرعة تفكيك بعض الأدوية، وذلك لمعرفة المورِّث المسيطر على جينوم المريض، ومن ثم تحديد الجرعة الدوائية والخطة العلاجية وفق سرعة تفكك الدواء.



الشكل رقم 5: أول Microchip تم تصنيعه.

6. من أهم التطبيقات الحديثة والواعدة تقانات العلاج الجيني Gene therapy أو العلاج بالمورِّثات (الشكل رقم 6)، ويتلخص بإدخال مورثة سليمة إلى الخلايا المصابة لتصحيح فعل المورثة المريضة أو العاجزة عن القيام بمهمتها الاعتيادية، أو إضافة مورثة تكبح بشكل وصفي نمو خلايا سرطانية معيَّنة.

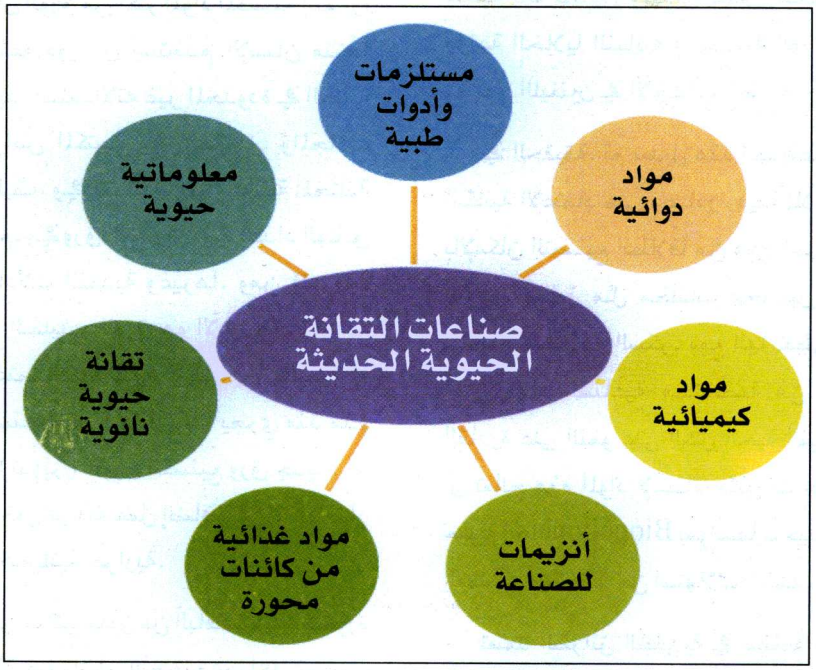
إن التطبيقات الطبية لتقانات الهندسة الوراثية كثيرة، وقد تم في الأسطر السابقة إعطاء فكرة عن أهمها مع الإشارة إلى أن هذه التطبيقات في ازدياد مستمر من حيث التقانات المطورة ومجالات التطبيق وعدد المنتجات الجديدة وكمياتها. إلا أنه يجب ألا يغيب عن البال وجود بعض الإشكالات المحيطة بجزء من هذه التطبيقات وهي إشكالات أخلاقية ودينية وتشريعية. فما زالت بعض المواضيع المرتبطة بالاستنساخ العلاجي وبطرق استثمار بعض أنواع الخلايا الجذعية تلقى معارضةً من الذين يرون فيها تجاوزًا لحدود الأعمال المسموحة ودخولاً في حيز محظور يجب احترامه وعدم المساس به.



الشكل رقم 6 : شكل تخطيطي للعلاج الجيني.

التطبيقات الصناعية

تساهم التقانة الحيوية التقليدية منذ عشرات السنين بتقديم منتجات دوائية وغذائية مختلفة لا يمكن تحضيرها إلا بطرائق التقانة الحيوية التقليدية مثل تصنيع منتجات مشتقة من الحليب ومضادات حيوية وغيرها. إلا أن التقانة الحيوية الحديثة وتحديدًا تقانات الهندسة الوراثية فتحت الباب واسعًا أمام تطبيقات صناعية جديدة في مجالي الدواء والغذاء وفي مجال الصناعات الكيميائية، ومنها تلك المعتمدة على إنزيمات متنوعة التطبيقات. يبين المخطط رقم 1 تنوع تطبيقات التقانة الحيوية الحديثة في الصناعة.



المخطط رقم 1: التطبيقات المختلفة لصناعات التقانة الحيوية الحديثة.

إن دَوْر بعض الإنزيمات في الصناعة معروف منذ عقود، لكن صعوبة إنتاج هذه الإنزيمات بكميات كبيرة وبمردود اقتصادي جيد أخّر الاعتماد عليها. أما الآن وبعد أن تمت السيطرة على الاستنساخ الوراثي، فقد أصبح بالإمكان عزل مورثات العديد من الإنزيمات وإدخالها في الحامل المناسب ليتم إنتاجها صناعيًّا بواسطة المخمِّرات الإنتاجية الضخمة. يتم بعد ذلك عزل وتنقية الإنزيمات بطرق ودرجات مختلفة حسب الغرض. فالإنزيمات التي تدخل في الصناعات الدوائية والغذائية تحتاج إلى تنقية وضبط مواصفات أكثر من تلك الداخلة في الصناعات الأخرى. وفيما يلي أمثلة على استخدام الإنزيمات في بعض الصناعات.

استخدام الإنزيمات في صناعة الورق ومعالجة الجلود

تَعتمد بعض الصناعات على الإنزيمات المنتَجة بالتحوير الوراثي بسبب وفرة إنتاج هذه الإنزيمات ومردودها الاقتصادي من جهة، وبسبب المزايا التفضيلية التي تتمتع بها المعالجات الإنزيمية مقارنة مع المعالجات التقليدية التي تعتمد في غالبيتها على المواد الكيميائية من جهةٍ أخرى.

اعتمدت صناعة الورق لقرون خلت على المعالجات الكيميائية، كذلك عُرفت هذه الصناعة باستهلاك كميات كبيرة من المياه والطاقة. وقد كان لتعديل هذه الصناعة واعتماد الطرق الإنزيمية الأثر الكبير في الحد من استخدام المواد الكيميائية وتوفير المياه والطاقة لجعل هذه الصناعة صديقةً للبيئة ما أمكن.

من المعروف أن الورق من أكثر المواد المصنَّعة انتشارًا ولا تكاد تمر ساعة دون أن يَستخدم الإنسان منتجًا أساسه الورق بسبب استعمالاته غير المحدودة في الكتابة والطباعة والأغراض المكتبية وفي الصحف والمجلات والإعلانات والتغليف، وفي الاستعمالات المنزلية المختلفة في المطبخ والحمام، وفي ورق الجدران، وفي إعداد الوثائق والمعاملات والتبادلات النقدية وغيرها. ومن المعروف أيضًا أن المصدر التقليدي للورق هو الأخشاب. لكن لم يعد بالإمكان الاعتماد فقط على الأخشاب الطبيعية لما تستهلكه هذه الصناعة من أشجار، لذا يجري منذ مدة إعادة استخدام (تدوير) الورق لتصنيع ورق جديد، إلا أن ذلك يوجب إدخال مرحلة عمل إضافية لإزالة الأحبار القديمة بطريقة كيميائية حرارية.

الورق عبارة عن مركَّب مكوَّن من ألياف سللوز مضفورة في شبكة مضغوطة تمر أثناء التصنيع بمراحل تحضير عجينة الخشب ثم عجينة الورق التي تعالج بمواد كيميائية مختلفة للتخلص من الهيميسللوز واللينين والإبقاء فقط على السللوز. يتم العمل في غالبية المراحل بوجود حرارة وفي آلات ضغط وسحب للحصول على أطباق بقياسات وسماكات مختلفة. هذه العمليات تَستخدم موادَّ كيميائية ضارَّة وملوِّثة للبيئة، وتَستهلك كميات كبيرةً من الطاقة تقدر كلفتها بنحو 25% من كلفة الإنتاج وكميات كبيرة من المياه تقدر بنحو 20 م^3 لطن الورق الواحد. إضافةً إلى أن مياه الفضلات الناتجة عن محطات تصنيع عجينتي الخشب والورق عالية التلوث، فهي تحوي 1 كغ هالوجينات عضوية عند معالجة طن واحد من العجينة. لذا تم دراسة عمليات إنتاج محسنة تتطلب موادَّ وطاقةً أقل، ومراعاةً أشد للبيئة.

تتعلق خصائص المنتجات النهائية في عجينة الخشب والورق بطبيعة الأشجار وطريقة التصنيع. وإلى جانب بعض أخشاب الأشجار القاسية التي تنمو بسرعة كبيرة مثل الأكاليبتوس والحور، تفضَّل أخشاب الأشجار الطرية كالبتولا أو الصنوبر التي تتكون من ألياف أطول، فتعالَج بشكل أفضل. تحوي الأخشاب الطرية ليغنين بنسبة 26-32%. وتهدف بعض البحوث المعتمدة على زراعة الخلايا النباتية والهندسة الوراثية إلى تخفيض محتوى الليغنين في الأخشاب الطرية.

في الحقيقة، تم تعديل هذه الصناعة جذريًّا بدءًا من إمكانية الاعتماد على مصادر رديفة للأخشاب؛ إذ أصبح بالإمكان التصنيع انطلاقًا من مواد أخرى رخيصة تحوي ألياف السللوز مثل مخلفات محاصيل الحبوب كالقش وبقايا لب شمندر السكر. ومع أنها تعطي نوعيات أقل إلا أن إنزيمات صناعية مستخلصة من بعض الفطريات القادرة على النمو على الكتل الحية النباتية المنشأ يمكن أن تعالج هذه المواد لإعطاء مكثورات حيوية (بوليميرات حيوية) Biopolymers بمواصفات جيدة. يمكن لمثل هذه العمليات أن تخفف من استهلاك الخشب في صناعة الورق.

تعتمد الطرائق التقليدية في صناعة الورق على وسائل ميكانيكية وحرارية وكيميائية. ففي الطريقة الكيميائية يُزال الليغنين قلويًّا باستخدام ماءات الصوديوم وكبريت الصوديوم ($Na_2S/NaOH$) تحت ضغط مرتفع بالدرجة 170°م، أو بالسلفنة بمعالجة الخشب بفائض من السلفيت. بعد ذلك تأتي مرحلة التبييض باستخدام الكلوراين أو مشتقات الكلوراين. كل هذه المراحل ملوِّثة ومستهلكة للماء والطاقة.

أصبح بالإمكان إبدال المراحل الكيميائية جميعها بمراحل إنزيمية، حيث يبدأ التصنيع بمرحلة تحضير عجينة الورق حيويًّا Biopulping باستخدام إنزيمات الفطور الخيطية لتفكيك الهيميسللوز واللينين عوضًا عن استخدام المحاليل القلوية. ثم تضاف إنزيمات أخرى مثل الليغنين بيروكسيداز واللاكاز لمتابعة تفكيك

الليغنين وإزالة الأحبار والتبييض حيويًّا Biodeinking Biobleaching، وبذلك يُستغنى عن المبيِّضات الكيميائية الملوِّثة مثل الأكسجين والأوزون والبيروكسيد. تم اختبار الطريقة الإنزيمية في مطاحن ورق مختلفة في الدول الاسكندنافية، وذلك بمستوى إنتاجي وصل إلى 1000 طن في اليوم. حيث أمكن تخفيض كمية ClO_2 بدرجة ملحوظة أدت إلى تخفيف حمولة مياه الفضلات إلى الثلث. دُرست في هذه العملية إنزيمات كزيلاناز معزولة من جراثيم (بكتيريا) وفطور متنوعة منها جراثيم تعيش في أعماق البحار هي تيرموتوغا ماريتيما (Thermotoga maritima). وقد تم استنساخ مورثة هذا الإنزيم وإنتاجها بكميات كبيرة. رافق هذه التعديلات خفضٌ كبير في استهلاك المياه والطاقة، باعتبار أن غالبية العمليات الإنزيمية تتم بدرجة حرارة معتدلة، مع تحقيق مردود اقتصادي أكبر واحترام للبيئة في كل مراحل الإنتاج بدءًا من التوفير في الأخشاب المستهلكة إلى الحد من المواد الكيميائية المستخدمة وانتهاءً بتخفيف الفضلات الصناعية الناجمة.

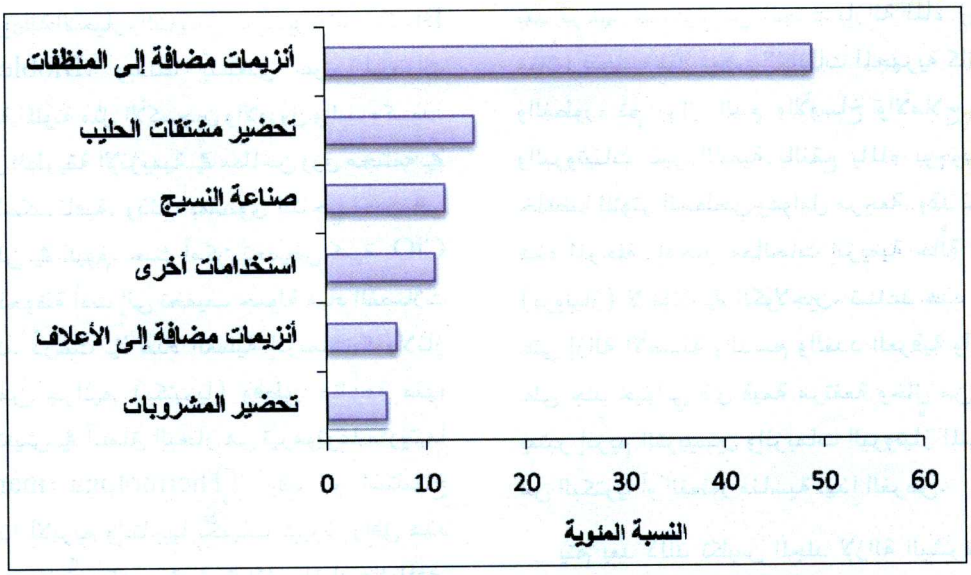
من الأمثلة الهامة أيضًا على استعمال الإنزيمات في الصناعة الصناعات الجلدية، فقد تم في الماضي استخدام مواد كيميائية مخرشة ومؤذية للعاملين مثل الكلس والقلويات والكبريت. كذلك استُخدم البراز والبول، دون علم بأنهما مصدر للإنزيم، ووُصمت مهنة الدباغة بأنها مهنة "غير نظيفة". من جهة أخرى اتصفت هذه الصناعة بتوليد مخلفات ضارة للبيئة بدرجة كبيرة تستلزم معالجةً خاصة، إضافةً إلى أن مياه الصرف الصناعي الناجمة عنها تستوجب معالجة خاصة قبل أن تصب في مياه الصرف الصحي العادية. أمكن في الحقيقة تجاوز هذه المساوئ باستخدام إنزيمات خاصة في كل مرحلة من مراحل معالجة الجلود، حيث قدمت ميزات إضافية.

يُصنع الجلد من طبقة الجلد الطبيعي الذي أزيل منه الشعر والدسم والبروتينات غير الليفية والماء، ثم ثُبِّت بمراحل معالجة مختلفة. عمليًّا، تحفظ جلود الحيوانات بعد نزعها مباشرة عن الجثث بإزالة الماء (بالتمليح مثلاً) لتجنب فعل بعض الكائنات المجهرية كالجراثيم والفطور، ثم يزال الدم والأوساخ والأملاح والدسم والبروتينات غير الليفية بالنقع بالماء بوجود عوامل خافضة للتوتر السطحي وعوامل مرجعة. وقد تم تطوير هذه المرحلة بإدخال معالجات إنزيمية حالَّة للبروتين (بروتياز) لا تؤثر في الكولاجين. تساعد هذه المعالجة على إزالة الأصبغة والدسم والغدد العرقية والحصول على جلد حيواني ذي قيمة مرتفعة وخالٍ من الندب. يعتبر إنزيم التريبسين وإنزيمات البروتياز المستحصلة من البكتريا أو الفطور مناسبة لهذا الغرض.

يتم بعد ذلك تكليس الجلد لإزالة البشرة والشعر المتبقي وكشف الجلد لعملية الدباغة اللاحقة. تضاف في هذه المرحلة بروتياز ثابتة في وسط قلوي، ثم يزال الوسط القلوي بإضافة أملاح الأمونيوم أو حموض عضوية، وتضاف إنزيمات بنكرياسية وبروتياز معتدلة لإزالة البروتينات غير الكولاجينية المتبقية وتخلخل الكولاجين للصبغ.

تقدَّر كمية إنزيمات البروتياز المستخدمة اليوم عالميًّا في معالجة الجلود بمئات الأطنان سنويًّا، لتصبح من المنتجات الحيوية ذات الوزن الاقتصادي الهام. كما يشكل استخدامها خطوةً كبيرة في اتجاه إيجاد عمليات صناعية صديقة للبيئة.

إن الأمثلة على استخدام الإنزيمات المنتجة بالتقانة الحيوية الحديثة عديدة جدًّا، فهي تدخل في تركيب المنظفات والأعلاف، وتُستخدم بكثرة في الصناعات الغذائية مثل صناعة المشروبات وعصائر الفواكه وشرابات الغلوكوز ومعالجة اللحوم وصناعة المعجنات والصناعات الكيميائية وغيرها. يبين المخطط رقم 2 نسب توزع استخدام الإنزيمات في الصناعات الحيوية حيث يمثل إضافة الإنزيم للمنظفات نحو 50% من كمية الإنزيم المستهلكة عالميًّا.



المخطط رقم 2: نسب توزع استهلاك الإنزيمات في الصناعات الحيوية.

يعتبر استخدام الإنزيمات أحد أنواع صناعات التقانة الحيوية الحديثة، وهناك أنواع أخرى عديدة تنمو بسرعة، منها:

- التقانة الحيوية المختصة بإنتاج الوقود الحيوي المشتق من الكتل الحية مع التركيز على إنتاج الإيتانول الحيوي، باعتباره وقودًا صديقًا البيئة بديلاً عن وقود السيارات الحالي. يتم التحضير بدءًا من محاصيل الحبوب كالقمح أو الذرة أو شمندر السكر. إلا أن هذه الأعمال تصطدم بمحدودية الإنتاج العالمي من هذه المحاصيل الاستراتيجية. ويعتبر البعض أن استخدام محاصيل أساسية لهذا الغرض، رغم أهميته، غير أخلاقي بسبب نقص الغذاء والجوع المنتشرين في أنحاء مختلفة من العالم.
- التقانة الحيوية التي تعتمد على المعلوماتية الحيوية وتقانة المعلومات، مثل تطبيقات التطبيب عن بعد Telemedicine والصحة الإلكترونية e-health التي يتزايد عدد المتعاملين بها والمستثمرين لها باضطراد.
- وأخيرًا تذكر من بين التطبيقات الحديثة والواعدة التقانة الحيوية النانوية NanoBiotechnol-ogy، وهي فرع ينمو ويتقدم بسرعة ويهدف إلى تطوير أدوات وعمليات متناهية في الصغر من مستوى النانو (النانو وحدة قياس تعادل 10^{-3} ميكرو) تساهم في دراسة النظم الحيوية. ومن الأمثلة عليها: أبحاث لتطوير كريات نانوية مطلية ببوليميرات حيوية معيَّنة تُرسل في الجسم لتتبع جزيء معيَّن ناتج عن سرطان ما.

يتزايد عدد الشركات الصناعية العاملة في مختلف مجالات التقانة الحيوية الحديثة تزايدًا كبيرًا ومتسارعًا. وهذه الشركات متفاوتة الإمكانات، فبعضها ضخم ومتعدد الاختصاصات والمنتجات وله فروع متخصصة منتشرة في عدة بلدان في العالم، وبعضها الآخر متخصِّص بمنتجٍ معيَّن أو منتجاتٍ قليلة تُصنَع في معمل

متطور صغير لا يتجاوز عددُ العاملين فيه بضع عشرات من العلميين المختصين في أحد فروع التقانة الحيوية الحديثة. يَعمل في الولايات المتحدة الأمريكية وحدها قرابة المليون شخص في صناعات التقانة الحيوية التي تضاعفت إيراداتها أكثر من خمس مرات خلال السنوات العشر الأخيرة لتتجاوز الأربعين مليار دولار.

أسس الأمان الحيوي

يُعرَّف الأمان الحيوي Biosafety بأنه التعليمات المتبعة والإجراءات المتخذة لضمان أمان تطوير وتداول واستخدام الكائنات الحية المحوَّرة وراثيًّا GMOs ومنتجاتها. وبعبارة أخرى ينضوي تحت عنوان الأمان الحيوي كلُّ الجهود المبذولة لإنقاص وحذف المخاطر المحتملة عن منتجات التقانة الحيوية. كذلك عُرِّف الأمان الحيوي بأنه العمليات التي تُجنب المخاطر المهددة لأمان وصحة الإنسان والبيئة عند استخدام كائنات حية محوَّرة وراثيًّا لأغراض مختلفة بدءًا من البحث والتطوير إلى الإنتاج والنشر والتداول والمتاجرة.

يرتبط الأمان الحيوي بعدة جوانب من علوم البيولوجيا، فهو على علاقة وثيقة بعلم الكائنات الحية المجهرية وبالبيولوجيا الجزيئية والوراثة وعلوم زراعية مختلفة كإكثار النبات وأمراض النبات والعلوم ذات الصلة كتلك التي تبحث في الحشرات والآفات الزراعية وكيمياء وبيولوجيا البيئة. لذا فإن الخوض في مجال الأمان الحيوي يوجب الوصول إلى كمٍّ كبير من المعلومات العلمية والسيطرة على مجموعة التقانات المتعلقة بها للتمكن من تحليل ومراقبة الكائنات الحية المحوَّرة وراثيًّا ومنتجاتها وآثارها.

الفرق بين الأمان الحيوي والأمن الحيوي:

لتجنب أي خلط أو التباس، لا بدَّ من تمييز الأمان الحيوي عن الأمنِ الحيوي Biosecurity، فالأخير يضم جميع التعليمات المتبعة والإجراءات المتخذة لضمان أمان الأعمال المخبرية التي تخص الكائنات الحية إجمالاً، وليس الكائنات الحية المحوَّرة وراثيًّا. وبناءً على ذلك يضم الأمن الحيوي مجموع الأعمال والتعليمات التي تخص المخابر المتعاملة مع كائنات حية مجهرية ممرضة كالجراثيم والفيروسات والطفيليات وغيرها والمصنفة في درجات مختلفة الخطورة. فالأمن الحيوي يخص جميع مخابر التحاليل الطبية ومخابر البحوث المتعاملة مع كائنات حية ممرضة للإنسان والحيوان والنبات والبيئة. كذلك تخص تعليمات الأمن الحيوي المخابر المطوِّرة والمنتِجة لكائنات حية مجهرية غير ممرضة، لكن تُستخدَم بكميات كبيرة في الصناعة أو الأعمال البيئية، وذلك لضمان عدم اختلاطها بعناصر البيئة المختلفة بطريقةٍ عشوائية تؤذي ما يعرف بالنبيت الطبيعي Flora.

ازدادت أهمية مفاهيم الأمن الحيوي وأدواته في العقد الأخير من جراء الخوف من حدوث هجمات إرهابية بعوامل بيولوجية ممرضة، غير محوَّرة وراثيًّا، تهدد حياة الإنسان أو الحيوان أو النبات أو مصادر المياه أو خطوط إنتاج الأغذية ضمن ما عُرف بالإرهاب الحيوي Bioterrorism. فمنذ حوادث نشر جرثوم الجمرة الخبيثة Bacillus anthracis في بعض المدن الأمريكية عام 2001، تم إعداد مجموعة من التعليمات والنظم والإجراءات، وكذلك تطوير مجموعة كبيرة من أجهزة وطرق الكشف السريع والحساس لرصد مثل هذه العوامل الممرضة الخطرة. تتقاطع بعض هذه الإجراءات والطرق مع إجراءات وطرق الأمان الحيوي، لكن يظل للأخير جوانب وطرائق خاصة به. سيتم التركيز في هذه المقالة على الأمان الحيوي المرتبط بالكائنات المحوَّرة وراثيًّا ومنتجاتها.

نشوء وتنظيم العمل بالأمان الحيوي

في البداية تمثلت إحدى أهم المشاكل في محدودية المعلومات العلمية المتاحة عن الكائنات الحية المحوَّرة

وراثيًّا؛ وذلك لأنها - من جهة أولى - تُنتَج من قبل جهات ذات مصلحة كبيرة بنشر واستخدام الكائنات المحوَّرة وراثيًّا ومنتجاتها وتملك المعرفة العلمية التي أدت إلى تطوير هذه المنتجات والإمكانيات المادية الكبيرة وطرق التأثير في اتخاذ القرار. ومن جهة أخرى لأن الجهات المناهضة لهذا الاستخدام تكون أحيانًا محدودة المعرفة العلمية والإمكانيات المادية. من هنا برزت الحاجة إلى جهات غير منحازة تتناول الموضوع بعلمية وحيادية، وتوازن بين الفوائد والمضار آخذة بالحسبان كل الجوانب العلمية والعملية والاقتصادية والاجتماعية، وبالطبع الصحية والبيئية. وقد كان للجهود الدولية، تحت ضغط بعض الدول والمجتمعات المدنية والمنظمات غير الحكومية، دورٌ كبير في استصدار بعض التشريعات الأساسية.

أكدت اتفاقية التنوع الحيوي Biodiversity المعدة عام 1992 أهميةَ الحفاظ على الأنواع الحية وضمان استخدام مستدام لمكوناتها وتقاسم الأرباح والفوائد بشكل عادل ومنطقي. وقد تم الاتفاق حينها على أن تقانة التحوير الوراثي يمكن أن توفِّر هذه الفوائد إذا طُبقت بعقلانية مع مراعاة الأمان الصحي والبيئي. كوَّنت هذه الأفكار ما عُرف لاحقًا ببروتوكول قرطاجنة للأمان الحيوي (أو للسلامة الإحيائية) الذي دخل حيز التنفيذ عام 2003. لم توقِّع الدولُ كافةً على هذا البروتوكول لأسباب مختلفة، إما لاكتساب المزيد من الحرية في زراعة محاصيل محوَّرة وراثيًّا، وإما مخافة فقدان التحكم والسيادة على بعض المصادر الحيوية في البلاد. كذلك سارعت الدول التي لم تكن تملك سياسات أمان حيوي وطنية، إلى وضع إطار وطني للتوافق مع البروتوكول، فظهر الطلب الكبير على المعلومات المتعلقة بالأمان الحيوي وبرامج التدريب ومشاريع بناء القدرات.

للتصدي لهذا الموضوع الهام، تقوم غالبية الدول بتشكيل لجانٍ وطنية تضم ممثلين عن مختلف القطاعات المعنية بمجال التقانة الحيوية الحديثة من مؤسسات علمية بحثية وتعليمية ومنتِجة ورقابية ومسؤولة عن البيئة، إضافةً إلى ممثلين عن جمعيات حماية المستهلك وعن الإعلام الوطني. يقوم العلميون من أعضاء هذه اللجنة بمناقشة واقتراح قواعد للأمان الحيوي تُرفع إلى أصحاب القرار لاعتمادها. كذلك يقدِّم المختصون المشورةَ العلمية لمختلف المؤسسات المعنية ويُعنون بتقييم المخاطر المحتملة الناجمة عن تداول الكائنات الحية المحوَّرة وراثيًّا ومنتجاتها بدءًا من مواصفات المخابر التي يتم العمل بها وحتى الإطلاق التجريبي في البيئة. يتابع ممثلو جمعيات حماية المستهلك المناقشات العلمية والإجرائية أثناء إعداد هذه القواعد، ويكون لهم التأثير اللازم باتجاه حماية المستهلك والسوق من أيِّ منتج محوَّر وراثيًّا قد يتضمن مخاطر معيَّنة. أخيرًا يقوم ممثلو الإعلام بدور كبير في نقل الصورة الحقيقية للموضوع إلى الجمهور دون إثارة مخاوف غير مبررة، إذ يفترض بالإعلامي المختص أن يؤدي دورًا أساسيًّا في نشر المعلومات الصحيحة وتوعية الناس بشأن هذه التقانات الحديثة ومنتجاتها، كذلك يمكن أن يساهم في إجراء استطلاعات رأي مدروسة حول فهم الناس لهذه المنتجات ومدى تقبُّلهم لها وحول مختلف ردود الأفعال وتغيرها مع الزمن.

في مرحلة تالية، وبالتوازي مع بناء القدرات والكوادر وتجهيز مخابر الرقابة اللازمة، تُصدر كلُّ دولة قانونًا خاصًّا بها عن الأمان الحيوي يَضمن أمانَ صحة الإنسان والحيوان والنبات والبيئة عند إجراء مختلف أعمال البحث والتطوير والإنتاج واستخدام الكائنات المعدلة وراثيًّا ومنتجاتها، ومنها القواعد الناظمة للاستيراد والتصدير والنقل. ومثل أيِّ قانون تُحدَّد الجهات المسؤولة والرقابية والعقوبات المناسبة لكلِّ مخالفة، وتبيِّن التعليمات التنفيذية للقانون جميع التعليمات التي تضمن تطبيقه من قبل كلِّ جهة تبعًا للاختصاص (وزارت الزراعة والصحة والصناعة والتجارة والبيئة والعدل ...).

قواعد الأمان الحيوي

بداية، لا بدَّ من تعريف مستويات الأمان الخاصة بالكائنات الحية المحوَّرة وراثيًّا، التي تقسم إلى أربعة مستويات:

- مستوى الأمان الأول I: ويضم أعمال الهندسة الوراثية التي لا تشكل أي تهديد على سلامة الإنسان والحيوان والنبات والبيئة أو التوازن الحيوي.
- مستوى الأمان الثاني II: ويضم أعمال الهندسة الوراثية ذات الخطورة المنخفضة على سلامة الإنسان والحيوان والنبات والبيئة أو التوازن الحيوي.
- مستوى الأمان الثالث III: ويضم أعمال الهندسة الوراثية ذات الخطورة المتوسطة على سلامة الإنسان والحيوان والنبات والبيئة أو التوازن الحيوي.
- مستوى الأمان الرابع IV: ويضم أعمال الهندسة الوراثية ذات الخطورة المرتفعة على سلامة الإنسان والحيوان والنبات والبيئة أو التوازن الحيوي.

تتدرَّج مواصفات المخابر من حيث درجة الأمان والعزل ووجود تجهيزات أمان خاصة وفق تدرج مستويات الأمان المذكورة.

عمومًا تهدف قواعد الأمان الحيوي إلى تقييم المخاطر المحتملة الناجمة عن الكائن المحوَّر وراثيًّا ومنتجاته وتحديد درجة الاحتواء اللازمة واحتمالات السمّية وإمكانية الانتقال إلى أنواع أخرى وحدوث عدوى مرضية ومخاطر بيئية وإضرار بالتنوع الحيوي.

تشمل قواعد الأمان الحيوي التعليمات المتعلقة بمراحل تطوير وإنتاج ونشر وتداول الكائنات المحوَّرة وراثيًّا كافة، فهي تتضمن قواعد الأمان الحيوي التالية:

• قواعد الأمان الحيوي المخبرية:

تتضمن هذه القواعد إضافةً إلى قواعد العمل المخبري العامة من لباس وسلوك خاصين، التعليمات اللازم اتِّباعها لتجنب حدوث أي عدوى، والالتزام بتطبيق طرق تعقيم مكان العمل والأدوات، وإتلاف المواد المستخدمة كافة قبل رميها. كذلك يجب التحقُّق من وجود تعليمات واضحة ومكتوبة معمَّمة على العاملين كافة، مع تسمية شخص مسؤول عن تطبيق تعليمات الأمان الحيوي في كل مخبر تطبيقًا صارمًا ودقيقًا ونشر إشارة التحذير الدالة على "خطر مواد بيولوجية" (الشكل رقم 8) في مكان العمل ومداخله. تلتزم المخابر العاملة كافة بالتحوير الوراثي بهذه القواعد مهما كان التطبيق (زراعي، طبي، صناعي ...).

الشكل رقم 8: إشارة دالة على المخاطر البيولوجية.

• قواعد الأمان الحيوي في البيوت المحمية (البيوت الزجاجية):

توضع هذه القواعد للعمل بطريقة تضمن الاحتواء الحيوي للناقل والمضيف، وتصنف إلى نوعين: احتواء في بيوت زجاجية من النمط A، وهي بيوت ملائمة للتجارب غير الحاوية على ممرضات نباتية مُعدية، واحتواء في بيوت زجاجية من النمط B، وهي بيوت ملائمة للتجارب التي تتضمن عوامل ممرضة للنبات وتنمية نباتات محوَّرة بنواقل ممرضة. (الشكل رقم 9).

الشكل رقم 9: بيت زجاجي من الداخل والخارج مصمم لاختبارات الأمان الحيوي.

• قواعد الأمان الحيوي الخاصة بالاختبارات الحقلية المحدودة :

تزداد في هذه المرحلة صرامة التعلميات لتشمل حظر القيام بنشر آفات وعوامل مَرَضية، مع ضرورة إزالة أزهار النبات المحوَّر وراثيًّا لضمان عدم نثر غبار الطلع (حبوب اللقاح) Pollen إلا إذا كانت ضرورية، فتغطى قبل النضج. كذلك يجب وضع عازل يحيط بمكان التجربة ومنع دخول أشخاص غير مرخص لهم إلى أماكن الاختبارات الحقلية وتنظيم آلية الدخول والخروج للعاملين المرخص لهم.

• قواعد الأمان الحيوي الخاصة بإطلاق الكائن أو منتجاته في البيئة:

تنص هذه القواعد على إلزامية الحصول على إذنٍ من الجهات المختصة الزراعية والبيئية بعد تقديم إضبارة توصيف العمل الذي سيتم بمراحله كافة. كذلك يجب تعريف وتحديد المسؤوليات بدقة والتبليغ عن أي حادث أو طارئ أثناء العمل.

أما قواعد التداول من نقل واتِّجار واستيراد وتصدير فتوجب وجود بطاقة بيان ملصقة على المنتَج بشكل ثابت تشير صراحة إلى وجود منتَج محوَّر وراثيًّا مع بيان المعلومات الخاصة بالمنتَج (اسمه ومصدره وتاريخ الإنتاج وانتهاء الصلاحية).

وكمثال على عملية تقييم مخاطر منتج محوَّر وراثيًّا، نعرض فيما يلي أهم النقاط التي تؤخذ بالحسبان في تقييم الأغذية المحوَّرة وراثيًّا.

تقييم مخاطر الأغذية المحوَّرة وراثيًّا

نظرًا للتزايد السكاني الكبير والمتزايد، وبسبب ظهور مجاعات وحالات نقص وسوء تغذية تهدِّد الملايين في أنحاء مختلفة من العالم، برزت فكرة زيادة إنتاج بعض المواد الغذائية الأساسية بمساعدة طرائق الهندسة الوراثية، وذلك بتحوير بعض المحاصيل وراثيًّا.

يهدف هذا النوع من التحوير إما إلى زيادة إنتاج بعض المحاصيل، وإما إلى زيادة محتوى المنتَج الزراعي من أحد المواد المغذية (كالرز الذهبي الغني بالفيتامين A)، وإما إلى إدخال صفة جديدة مفيدة (كالبطاطا التي تمتص كميةً أقل من المواد الدسمة أثناء القلي). أشهر أنواع التحوير الوراثي الذي طُبِّق بنجاح على عدة نباتات هامة هو جعلها مقاوِمةً لمبيدات الأعشاب المستخدَمة

لمكافحة الأعشاب الضارة، وكذلك إدخال صفة المقاومة لبعض الآفات الزراعية التي عُرفت فيما بعد بالمبيدات الحيوية، دون الحاجة إلى استخدام مبيدات كيميائية. يعتبر هذان التطبيقان الأكثر أهمية والأكثر انتشارًا، فقد طالا محاصيلَ استراتيجية ذات وزن اقتصادي هام مثل الذرة والقطن وفول الصويا. وقد انتشرت زراعة هذه المحاصيل المحوَّرة وراثيًّا انتشارًا كبيرًا في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا والأرجنتين وغيرها من دول الأمريكيتين وبدرجةٍ أقل في أوروبا.

من الواضح وجود تطبيقات غذائية عديدة لتقانات التحوير الوراثي، ولكن لهذه المنتجات بعض العيوب، منها ما هو آني ومنها ما قد يظهر متأخرًا. حيث تصنف الآثار المترتبة عن هذه المنتجات المحوَّرة وراثيًّا إلى آثار قصيرة المدى؛ أي تظهر بُعيد الاستهلاك، وآثار بعيدة المدى تحتاج إلى مدةٍ طويلة نسبيًّا للظهور قد تمتد إلى سنوات. يجري تقييم مخاطر هذه المنتجات بدراسة الآثار المحتملة الصحية والبيئية.

1. تقييم الآثار الصحية

أهم الآثار الصحية القصيرة المدى (السريعة) التي تَظهر سريعًا هي حالات الأرج أو الحساسية Allergy. فمعروف عند العديد من البشر ظهور تفاعلات أرجية (تحسسية) عند تناول بعض الأطعمة. لذا توجه العلماء بدايةً إلى تجنب عزل واستثمار مورِّثات من مصادر مولدة للحساسية، لكي لا تضاف عوامل مؤرجة (مولدة للحساسية Allergenic) إلى المنتَج المُطوَّر. ومع ذلك ظهرت حالات تحسُّس عند تناول أغذية تحوي منتجات محوَّرة وراثيًّا، حيث يبدو أن لإدخال مورِّثة غريبة دَورًا في ذلك، كذلك فإن لتغيير ترتيب المورثات دَورًا إضافيًّا.

من جهةٍ أخرى يَعتقد البعض أن هناك تغيرًا في القيمة الغذائية للمادة المحوَّرة وراثيًّا، ولكن اختبارات التقييم المجراة لم تُثبت ذلك إثباتًا أكيدًا؛ فإحدى التجارب على جرذان المخبر أظهرت نتائج تذهب بهذا الاتجاه، لكن الكثير من التجارب بيَّنت العكس.

أما الآثار الصحية البعيدة المدى الناجمة عن استهلاك أغذية محوَّرة وراثيًّا فعديدة، ولكنها تدخل في حيز الاحتمال. إذ يُحتمل أن تظهر أعراض حساسية متأخرة، وأعراض سُمِّية متأخرة بعد سنوات من البدء باستهلاك هذه المواد المحوَّرة وراثيًّا. كذلك يجب تقييم ودراسة إمكانية حدوث أعراض نتيجة تغيُّرات غير متوقعة، فمن غير المستبعد تأثر ثبات المورِّثة المدخلة وحدوث تغير في البنية أو المكان أو مستوى التغيير، قد يؤدي إلى آثارٍ مختلفة تراوح بين انخفاض القيمة الغذائية وإحداث أعراض مرضية مختلفة.

2. تقييم الآثار البيئية

من الآثار القصيرة المدى إمكانية انتقال غبار طلع المحصول المعدَّل إلى مسافات بعيدة بحيث يلوِّث الحقولَ المزروعة بنفس النوع النباتي ولكن غير المعدَّل وراثيًّا و«تلويثه».

كذلك فإن القضاء على الحشرات ليس اصطفائيًّا؛ حيث يمكن أن يؤذي النباتُ المحوَّر وراثيًّا أنواعًا عديدة من الحشرات التي تقتات عليها الطيور، ومن ثَمَّ لا بد من تقييم إمكانية حدوث اضطراب في ما يسمى السلسلة الغذائية الطبيعية. إذ يمكن أن يؤدي اضطراب أحد أركان البيئة المحيطة من نباتات وحيوانات وطيور وحشرات وكائنات حية مجهرية إلى اضطراب التنوع الحيوي Biodiversity الحرج لسنوات بعد أن كانت تعيش كل هذه الكائنات بتوازن وتناغم حرجيْن.

لهذه الأسباب، تُشدِّد تعليمات الأمان الحيوي على أهمية ودور الاختبارات ودراسات التقييم أثناء تطوير المنتج المحوَّر وراثيًّا، وأثناء اختباره في حيز مُحتَوًى contained (في المخبر أو في البيت الزجاجي) ثم أثناء نشره وإنتاجه في الطبيعة. كذلك ينبغي أن تستمر الاختبارات على المنتَج أثناء تداوله وبعد ذلك لمدد طويلة لرصد كل أثر ممكن أو محتمل.

خاتمة

قدمت تقانات الهندسة الوراثية كمًّا من التطبيقات والحلول العلمية التي أثرت إيجابًا في جوانب الحياة المختلفة، فلامست قطاعات عديدة متجاوزة التقانات الحيوية التقليدية بكثير، كذلك غيَّرت العديد من المفاهيم والاعتبارات العلمية وفتحت آفاقًا أمام الباحثين يصعب التخلي عنها.

إن الآفاق الحالية والمستقبلية لهذه التقانات توحي بضرورة مواكبتها بمجموعة من القواعد الضامنة لأمان وسلامة مختلف مراحل العمل بدءًا من البحث والتطوير في المخابر حتى التسويق والوصول إلى المستهلك. هذا وتشير نتائج العقود الأخيرة إلى أن الاستثمار الآمن لهذه المنتجات ممكن، وأن التسرع بقبول أو رفض هذه التطبيقات بالجملة أمر يجافي المنطق العلمي. فلا بد من إخضاع كل منتج على حدة إلى تقييم شامل بالطرق التي تنص عليها قواعد وإجرائيات الأمان الحيوي بحيث تُدرَس جميع الآثار المحتملة على صحة الإنسان والحيوان والنبات والبيئة بالكامل.