

المحاصيل المعدلة وراثياً، طرائق إنتاجها والكشف عنها وقضايا السلامة الحيوية المتعلقة بها: مراجعة علمية

نبيلة محمد علي باشا وأحمد محمد عبد القادر *

قسم التقانات الحيوية، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دمشق، سورية.

* البريد الإلكتروني للباحث المراسل: ahmadabdulkader2@gmail.com

المخلص

علي باشا، نبيلة محمد وأحمد محمد عبد القادر. 2022. المحاصيل المعدلة وراثياً، طرائق إنتاجها والكشف عنها وقضايا السلامة الحيوية المتعلقة

بها: مراجعة علمية. مجلة وقاية النبات العربية، 40(3): 260-279. <https://doi.org/10.22268/AJPP-40.3.260279>

يُعدّ ضمان الأمن الغذائي والتغذية أمراً بالغ الأهمية لجميع دول العالم للتغلب على مشاكل الجوع وسوء التغذية، مع الأخذ بالحسبان التحديات الحالية المختلفة المتمثلة في ارتفاع معدل السكان والاضطرابات الاجتماعية والسياسية وتدهور الموارد الطبيعية والهجرة القسرية والانتشار المستمر لجائحة فيروس كورونا المستجد (كوفيد 19). وفي المقابل تساهم التقانات الحيوية الزراعية في زيادة الإنتاجية الزراعية وفي ضمان الأمن الغذائي وتحسين مستوى المعيشة. مضى ربع قرن من الزمن منذ بدء إنتاج المحاصيل المعدلة وراثياً في عام 1996، والتي اتّسمت بالعديد من المزايا، مثل مقاومتها للحشرات، وتحملها لمبيدات الأعشاب، ومقاومتها للجراثيم الحيوية واللاحيوية ولبعضها قيمة غذائية محسنة، وذلك بعد اتخاذ إجراءات علمية صارمة للفحص والسلامة الحيوية. تمّ إقرار بروتوكول قرطاجنة للسلامة الحيوية بهدف ضمان سلامة التعامل ونقل واستخدام الكائنات الحية المعدلة بواسطة التقانات الحيوية الحديثة، وقد تمّ توثيق المزايا الاجتماعية والاقتصادية والبيئية لتبنيها من قبل وكالات ومنظمات عالمية مستقلة وذات مصداقية. أصبحت المنتجات الزراعية المنتجة بواسطة التقانات الحيوية الحديثة، وخاصة تلك المستخدمة في مكافحة الآفات الزراعية، واحدة من أكثر السلع التجارية الزراعية متسارعة الانتشار على مستوى العالم، فهي توفر الغذاء والعلف والملابس والوقود الحيوي صديق البيئة؛ فضلاً عن تطوير الباحثين لتقانة تعديل وتحرير الجينوم باستخدام الـ CRISPR/Cas9 التي تعتمد على حذف أو إضافة أو استبدال أجزاء من التسلسل النيوكليوتيدي للـ DNA، مما يؤدي إلى تطوير وزراعة أنواع جديدة من المحاصيل الزراعية من خلال استخدام تقنيات دقيقة وفعالة لتعديل الجينوم بتكلفة معقولة. وفي المقابل، تمّ تطوير طرائق قياسية سريعة وموثقة لكشف النباتات والبذور المعدلة وراثياً لتساعد في اختبار ومراقبة التعديل الوراثي الذي يجري على المستوى العالمي من أجل الالتزام بأنظمة وقوانين الأمان الحيوي.

كلمات مفتاحية: السلامة الحيوية، الهندسة الوراثية، بروتوكول قرطاجنة للسلامة الحيوية، غرفة تبادل معلومات السلامة الحيوية، محاصيل معدلة وراثياً.

المقدمة

المستجد (كوفيد 19) (SARS-CoV-2) الذي ظهر في مدينة ووهان الصينية أواخر عام 2019، وتبقى مشاكل الجوع وسوء التغذية على مستوى العالم بحاجة إلى اهتمام متزايد. لذلك يجب أن تكون الإجراءات التي يتعين اتخاذها أكثر جرأة وأقوى من حيث التعاون متعدد القطاعات الذي يشمل الزراعة والغذاء والصحة والمياه والصرف الصحي، بالتوافق مع قطاع السياسات المتعلقة بالحماية الاجتماعية والتخطيط الإنمائي والسياسات الاقتصادية (Barton et al., 2020؛ ISAAA 2020b، 2020c؛ Raman, 2017). غدت المنتجات الزراعية المنتجة باستخدام التقانات الحيوية واحدة من أكثر السلع التجارية الزراعية متسارعة الانتشار على مستوى العالم، فهي توفر الغذاء والعلف والملابس والوقود الحيوي الصديق للبيئة وغير ذلك. كما تجدر الإشارة إلى مساهمة المحاصيل المعدلة وراثياً (GMCs) في دعم استمرار مكافحة الحيوية/البيولوجية

سُجّل التعديل الوراثي في النباتات لأول مرة منذ 10000 عام في جنوب غرب آسيا، حيث قام المزارعون بتربية النباتات لأول مرة بواسطة الانتخاب الاصطناعي، ومنذ ذلك الحين أحدثت التطورات في علوم وتكنولوجيا الزراعة الثورة الحالية للمحاصيل المعدلة وراثياً. ساهمت المحاصيل المعدلة وراثياً في التخفيف من المشاكل الحالية والمستقبلية في الزراعة التجارية، إذ يعدّ ضمان الأمن الغذائي والتغذية أمراً بالغ الأهمية لكل دول العالم للتغلب على مشاكل الجوع وسوء التغذية. مع الأخذ بالحسبان التحديات الحالية المختلفة والمتمثلة بارتفاع معدل السكان والاضطرابات وعدم الاستقرار السياسي، وتدهور الموارد الطبيعية، والهجرة القسرية والانتشار المستمر لجائحة فيروس كورونا

الإنسان والحيوان والبيئة والتي يمكن أن تنشأ من استخدام الكائنات المعدلة وراثياً، فإنه يتم تحليل وتقييم أخطار أي نبات أو حيوان أو عضوية جديدة معدلة وراثياً كل على حدة (Bawa & Anilakumar, 2013؛ Bernice, 2012؛ Economidis et al., 2010؛ Kuiper, 1999). بالنسبة للدول النامية، يعدّ تعزيز وتنمية القدرات في مجال الكشف عن الكائنات المعدلة وراثياً ذو أولوية عالية، نظراً لأنه يمهّد الطريق لتقوية قدرات المختبرات الحكومية المخصصة للكشف عن الكائنات المعدلة وراثياً وضبط ومراقبة تداولها ومنح التراخيص الضرورية، وأيضاً تسهيل تأسيس قاعدة للكشف عن الكائنات المعدلة وراثياً الموجودة على مستوى المختبرات الوطنية التي ستخدم في المستقبل كمراكز لتبادل المعلومات والخبرات والخبراء، وستعالج احتياجات بناء قدرات معينة في مجال الكشف عن الكائنات المعدلة وراثياً في المنطقة حسب الحاجة (Abdul Kader, 2003).

تناولت بعض الدراسات المرجعية المنقرقة الوضع الراهن لتطور إنتاج وزراعة المحاصيل المعدلة وراثياً في العالم منذ بدء زراعتها عام 1996 وحتى تاريخه، بالإضافة إلى دراسات أخرى تناولت الطرائق المتنوعة للكشف عنها، بينما تناولت دراسات أخرى كثيرة قضايا السلامة الحيوية المتعلقة بإطلاقها في البيئة وتأثيراتها المحتملة على صحة الإنسان والحيوان والبيئة وقضايا أخرى عديدة. فقد ناقش Raybould (2006) مدى أهمية تقييمات المخاطر البيئية وفرصيات المخاطر للسلامة الحيوية. وناقش Azadi & Ho (2010) الاعتبارات الرئيسية لإدخال المحاصيل المعدلة وراثياً من أجل تأمين الغذاء إلى جانب المحاصيل العضوية في البلدان النامية. استعرض Maghari & Ardekani (2011) وجهات النظر الرئيسية في قطاع التكنولوجيا الحيوية الغذائية في العالم، كما طرحا الأساس لإجراء نقاش عميق حول فوائد ومخاطر محاصيل التكنولوجيا الحيوية على صحة الإنسان والنظم البيئية والتنوع الحيوي. كذلك ناقش Suchitra & Sher (2013) إنتاج المحاصيل المعدلة وراثياً ومدى قبولها، واستراتيجيات الكشف عنها وقضايا السلامة الحيوية وتأثيرها المحتمل على المجتمع مع تسليط الضوء على الآفاق المستقبلية الشاملة. كما ناقش Gong & Wang (2013) تقييم مختلف طرائق الكشف عن المحاصيل المعدلة وراثياً بالاعتماد على البروتين، وكذلك صنفاً التحديات لضمان التجانس والحساسية في تقنيات الكشف. كما تناولت دراسة مرجعية أخرى بعض المخاوف الرئيسية المتعلقة بالسلامة والمخاطر البيئية والصحية المرتبطة بالأغذية المعدلة وراثياً وتكنولوجيا الـ DNA المشوب (Bernice, 2012). قدّمت الدراسة المرجعية للباحثين Li et al. (2014) معلومات واضحة حول تنظيم السلامة الحيوية والاستخدام التجاري للمحاصيل المعدلة وراثياً في الصين. وفي عام 2015، جرى نشر بيان مشترك تم تطويره وتوقيعه من

كونها تنتج بروتينات مبيدة للحشرات من بكتيريا *Bacillus thuringiensis* (Bt) (وبصورة رئيسية بروتينات Cry) التي أصبحت أسلوباً رئيسياً للسيطرة على عدد من الآفات الحشرية الرئيسية من رتبتي Lepidoptera و Coleoptera، وبخاصة في الذرة والقمح وفول الصويا. فضلاً عن تطوير الباحثين لتقانة تعديل وتحرير الجينوم باستخدام CRISPR/Cas9 والتي تعدّ خطوة أخرى أقرب نحو تطوير وزراعة أنواع جديدة من المحاصيل الزراعية من خلال استخدام تقانات دقيقة وفعالة لتعديل الجينوم بتكلفة معقولة. وبطبيعة الحال، يترافق مع كل هذا التطور توفر طرائق للكشف عن مثل هذه المحاصيل وتقييم سلامتها (Brookes & Barfoot, 2013؛ ENGL, 2019؛ Huesing et al., 2016؛ Lombardo & Kumlehn et al., 2018؛ Hundley et al., 2019؛ Grando, 2020؛ Romeis et al., 2019). من جهة أخرى، يبقى نشر التقنيات الزراعية التي تعزز وتزيد الإنتاجية دون الإضرار بالمصادر الطبيعية التحدي الأكبر للأجيال القادمة. ومع ذلك، فإن الاتجاهات السائدة تدلّ على أن تكنولوجيا التقانات الحيوية فيما لو استخدمت بالصورة المناسبة، فإنها توفر طريقة ملائمة لزيادة غلة المحاصيل الزراعية في الحاضر والمستقبل. إذ توفر التقانات الحيوية إمكانية عزل ومعالجة ونقل المورثات بين الأنواع النباتية، وتوسع مجمع البنك الوراثي المتاح، ويمكن أن تستخدم لإجراء تعديل وتحسين وراثي للنباتات والحيوانات والأحياء الدقيقة. أقرّت منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) بإمكانية تقانات الهندسة الوراثية على المساعدة في زيادة الإنتاج في مجالات الزراعة والغابات والأسماك من خلال رفع مستويات الغلة في الأراضي الهامشية في الدول النامية، وتحسين نوعية المواد الخام في الرز الغني بطليعة فيتامين أ والحديد، أو تحسين تحمل الأصناف الجديدة من المحاصيل الزراعية للجهودات الحيوية واللاحيوية المتنوعة (Sonnino, 2010).

وفي المقابل، وعلى الرغم من فوائدها المتعددة، فإن للكائنات المعدلة وراثياً أخطار محتملة تترافق معها، وهي في كثير من الأحيان مشحونة بالانفعالات والعواطف دون الاستناد إلى أي دليل علمي. يمكن تصنيف هذه الأخطار المحتملة في مجموعتين رئيسيتين هما: التأثيرات المحتملة على صحة الإنسان والحيوان وتأثيرات على البيئة. وإن أغلبية المخاطر المحتملة تشاركها كلّ الدول والمجتمعات، لأن سلامة الأغذية التي نأكلها وعلف الحيوانات وحماية البيئة تبقى معايير مركزية لتقييم المخاطر عند استخدام أي تكنولوجيا زراعية مستحدثة. حيث يتم تطبيق هذه المعايير على جميع المنتجات الزراعية المخصصة للاستهلاك البشري أو لعلف الحيواني، بما في ذلك تلك الأصناف التي تتم تربيتها باستخدام طرائق تربية النباتات التقليدية. لذلك، وبغية ضمان الاستخدام الآمن وتطوير التكنولوجيا الحيوية ولمنع أية أضرار محتملة على صحة

على المنتجات لإدارة ما بعد إطلاق المحاصيل المعدلة وراثياً والتي تشمل أداء الصفات المعدلة وراثياً، وإدارة المقاومة، والإدارة المتكاملة للآفات (IPM)، والممارسات الزراعية الجيدة، والبذور عالية الجودة ومواد الزراعة، وإدارة الملكية الفكرية، ووضع بطاقة البيانات، وحفظ الهوية وقبول المستهلك والتسويق الفعال. وفي مراجعة علمية حديثة ومميزة ناقش فيها *Turnbull et al.* (2021) توحيد الوضع التشريعي العالمي الحالي للمحاصيل المعدلة وراثياً، استناداً إلى الدراسات السابقة من خلال معالجة كيفية تناسب المحاصيل المعدلة وراثياً على وجه التحديد مع الأطر التنظيمية الحالية. حيث تمّ تجميع الوثائق التنظيمية المعمول بها في جميع أنحاء العالم، مع التركيز على زراعة المحاصيل المعدلة وراثياً، وتوفير روابط للتشريعات الأصلية بشأن المحاصيل المعدلة وراثياً والمحاصيل التي تمّ تعديل الجينوم فيها. استعرضت هذه المراجعة العلمية بعض البلدان بشكل مكثف في الأدبيات الخاصة بتشريعاتها الفريدة، لاسيما في الدول الغربية (الاتحاد الأوروبي، الولايات المتحدة، كندا، أستراليا، إلخ). ومع ذلك، فإن معظم البلدان التي تزرع المحاصيل المعدلة وراثياً ليس لديها الكثير من المقالات المنشورة حول هذا الموضوع بينما استعرضت دراستهم المرجعية التشريعات المعمول بها في تلك البلدان، والمناقشات الجارية حول المحاصيل المعدلة وراثياً والتحديات ذات الصلة.

تتناقش الدراسة المرجعية الحالية الوضع العالمي الراهن للمحاصيل المهندسة وراثياً، وطرائق إنتاجها والكشف عنها، وقضايا أخرى تتعلق بالسلامة الحيوية.

ما هي الكائنات المعدلة وراثياً؟

ورد تعريف الكائنات المعدلة وراثياً أو المحاصيل المعدلة وراثياً في بروتوكول قرطاجنة للأمم المتحدة بشأن السلامة الحيوية "للكائن الحي المعدل" (LMO). يتمّ تعديل النبات وراثياً إذا كان يفي بشرطين: (1) يحتوي النبات على مزيج جديد من المادة الوراثية، (2) تمّ إدخاله باستخدام التكنولوجيا الحيوية الحديثة.

وتُعرّف "التكنولوجيا الحيوية الحديثة" قانوناً على أنها تطبيق إما لتقانات الحمض النووي في المختبر (والتي تشمل الحمض النووي المشوب والحقن المباشر للحمض النووي في الخلايا أو العضيات أو اندماج الخلايا خارج العائلة التصنيفية. فالكائنات المعدلة وراثياً هي العضويات التي تمّ تعديل مادتها الوراثية ميكانيكياً على خلاف الطريقة التي تحدث طبيعياً بالتأثير الجيني أو التزاوج و/أو الاندماج الطبيعي. يشير الصنف المحوّر (المعدل وراثياً) إلى العضوية المهندسة وراثياً والتي تحمل مجموعة معينة من المورثات المحددة في موقع محدد على الصبغي/الكروموزوم مما يؤدي إلى تأثير في النمط الظاهري، وهي قادرة

قبل أكثر من 300 باحث مستقل، والذي لم يؤكد أن الكائنات المعدلة وراثياً غير آمنة أو آمنة، وإنما خلص البيان إلى أن ندرة وتناقض الأدلة العلمية المنشورة حتى تاريخ نشره تدحض الادعاءات القاطعة بسلامة الكائنات المعدلة وراثياً أو عدم سلامتها، وأن ادعاءات الإجماع على سلامة الكائنات المعدلة وراثياً لا يدعمها تحليل موضوعي للدراسات العلمية المحكمة (*Hilbeck et al., 2015*). وقد بين تقرير صادر عن المفوضية الأوروبية أنه وفقاً لنتائج مشاريع الأبحاث حول الكائنات المعدلة وراثياً، الممولة من الاتحاد الأوروبي، لا يوجد حتى اليوم أي دليل علمي يربط الكائنات المعدلة وراثياً بمخاطر أعلى على البيئة أو على سلامة الغذاء والأعلاف مقارنة بالنباتات والكائنات المنتجة بالطرائق التقليدية. (Delobel, 2009) في دراسة حول الميول السائدة في منح الموافقات على المواد المعدلة وراثياً خلال 23 عاماً، أظهرت النتائج أنه في عام 2014 كانت هناك زيادة تراكمية في عدد البلدان التي منحت الموافقات في 29 دولة (79% من البلدان النامية) للزراعة التجارية و31 دولة (70% من البلدان النامية) للأغذية و19 دولة (80% نامية) للأعلاف. سُجّلت سمة تحمّل مبيدات الأعشاب أعلى الحالات التي تمّت الموافقة عليها، تليها صفة المقاومة للحشرات، وزادت الموافقات على جودة المنتجات الغذائية في العقد الثاني، مما يدلّ على قبول البلدان تعزيز القدرة التنظيمية لتكون قادرة على الاستفادة من المحاصيل المعدلة وراثياً (*Aldemita et al., 2015*). كما ناقشت دراسة مرجعية أخرى التطورات الجديدة في مجالات تقييم وإدارة المخاطر المتعلقة بالكائنات المعدلة وراثياً (Aven, 2016). وفي دراسة مرجعية أخرى عام 2017 تمّت مناقشة وضع تسويق المحاصيل المعدلة وراثياً ومزايا وعيوب طرائق الكشف الشائعة والمتقدمة عن الكائنات المعدلة وراثياً في الأطعمة والأعلاف (*Kamle et al., 2017*). كما استعرضت دراسة مرجعية أخرى فوائد المحاصيل المعدلة وراثياً، وسلّطت الضوء على التكاليف التنظيمية لتأخر الموافقة على اعتمادها، وقدمت نظرة ثاقبة للأثار غير المباشرة الناجمة عن تجارة المحاصيل المعدلة وراثياً (Stuart, 2017). كما أجرت دراسة مرجعية أخرى مقارنة موجزة لجميع تقنيات الكشف عن المواد المعدلة وراثياً على أساس نشوؤها وجدواها ودقتها وفعاليتها تكلفتها (*Salisu, 2017*). كذلك ناقش *Catacora-Vargas et al.* (2018) تقييم 410 مقالة حول أهمية التأثيرات الاجتماعية والاقتصادية من إدخال واستخدام المحاصيل المعدلة وراثياً في زيادة الجهود لإدراجها في الأطر التنظيمية لضمان السلامة الحيوية. مؤخراً وصف *Shahid et al.* (2019) سيناريو المحاصيل المعدلة وراثياً في العالم، وكذلك على المستوى الوطني في باكستان والطرائق المختلفة للكشف عنها ومسائل السلامة الحيوية (*Shahid et al., 2019*). وفي دراسة حديثة جداً، ركز *Mbabazi et al.* (2021) في مراجعتهم العلمية على تبني الإشراف

وجنوب إفريقيا وغيرها، وبمجموع بلغ 72 دولة اعتمدت المحاصيل المعدلة وراثياً بالإضافة إلى 43 دولة مستوردة، مما يجعل التكنولوجيا الحيوية من أسرع تقنيات المحاصيل المعتمدة في العالم، كما تنفذ بعض معاهد الأبحاث الحكومية بحثاً في أطوار متقدمة للتعديل الوراثي لكثير من المحاصيل الزراعية والبستانية مثل الرز والقمح والحمص والبازلاء وقصب السكر والبطاطا/البطاطس والموز وغيرها. في عام 2019، وافقت الفلبين على استخدام الرز الذهبي للاستخدام المباشر كغذاء وكعلف، أو للتصنيع. كذلك، أجازت مفوضية الاتحاد الأوروبي عام 2019 ثمانية منتجات معدلة وراثياً للاستخدامات الغذائية والأعلاف (Klotz et al., 2002; ISAAA, 2020a, 2020b, 2020d).

يبين شكل 1 الدول الخمس الكبرى في زراعة المحاصيل المعدلة وراثياً عام 2019، بينما يعرض شكل 2 خريطة البلدان التي تزرع محاصيل معدلة وراثياً، ويعرض الجدولان 1 و 2 الدول التي تزرع محاصيل معدلة وراثياً وفق أنواعها حسب إحصائيات 2019. كما يلخص جدول 1 المساحات المزروعة بالمحاصيل المعدلة وراثياً عام 2019 حسب دول العالم.

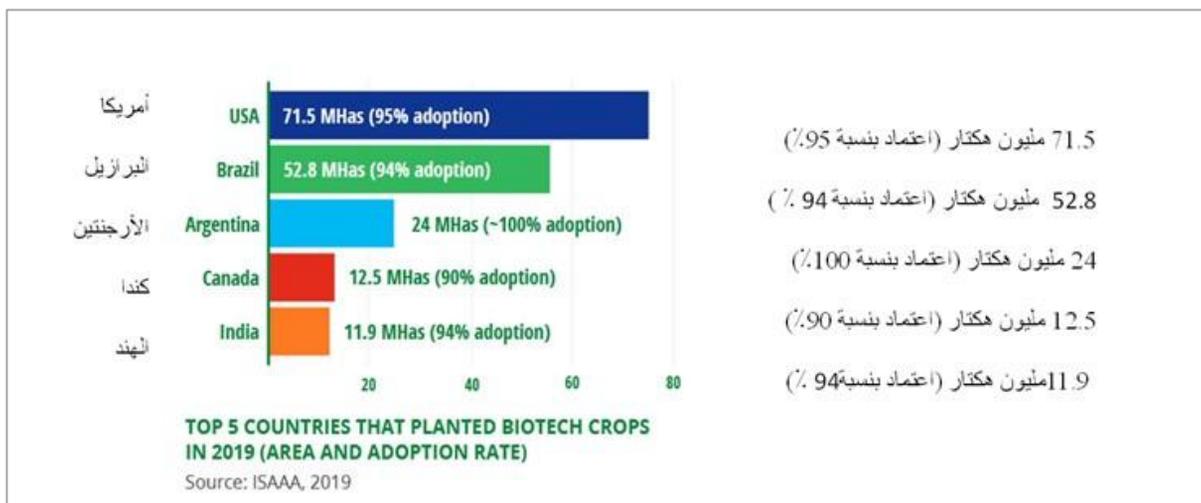
يشكل فول الصويا المعدل وراثياً 50%، والذرة المعدلة وراثياً 30%، والقطن المعدل وراثياً 13%، والكانولا المعدل وراثياً 5% من المحاصيل الأساسية الأربعة المزروعة (ISAAA, 2020b). توفر محاصيل فول الصويا زيت فول الصويا، وهو مكون متعدد الاستخدامات في منتجات الزيوت النباتية وكذلك المواد اللاصقة الصناعية والمذيبات ومواد التشحيم، في حين تمثل وجبة فول الصويا مكوناً غنياً بالبروتين في علف الحيوانات، ويمثل القطن المعدل وراثياً 79% من إجمالي زراعة القطن ويبقى مصدراً طبيعياً مهماً للألياف (Nosowitz, 2017).

على توريث هذه المورثات إلى أجيالها بطريقة ثابتة. وحيث أن مورثات الكائنات الحية كافة مكونة من المادة نفسها وهي جزيئة DNA ثنائية السلسلة ملتفة، ولذلك، وحسب الرغبة:

- يمكن نقل مورثة جديدة إلى النبات مع الجزء الوظيفي منها الذي يدعى promoter لتنظيم التعبير عن المورثة.
- يمكن تعطيل عمل مورثة موجودة في النبات (down regulation (or knockout).
- يمكن تحسين عمل مورثة موجودة في النبات (overexpression).

المساحات المزروعة بالمحاصيل المهندسة وراثياً في العالم

تتسارع التطورات العلمية في مجال التقانات الحيوية بما فيها الهندسة الوراثية للكائنات الحية بصورة مضطربة، حيث استطاعت الشركات الزراعية العالمية استثمار نتائج هذا التقدم العلمي فأنتجت بذوراً من المحاصيل الزراعية وأشجار الفاكهة والخضراوات (مثل الذرة، فول الصويا، القطن، الكانولا، الشوندر السكري/البنجر، التفاح، الباباظ، الباذنجان، البطاطا/البطاطس وغيرها) وكائنات حية دقيقة ومواد غذائية معدلة وراثياً. تروج هذه الشركات لمنتجاتها على مستوى العالم حتى أصبحت المساحات المزروعة في العالم بهذه البذور تقدر بملايين الهكتارات. في العام الرابع والعشرين للتسويق التجاري للمحاصيل المعدلة وراثياً في عام 2019، زرعت 29 دولة 190.4 مليون هكتاراً من المحاصيل المعدلة وراثياً (جدول 1)، بانخفاض طفيف قدره 1.3 مليون هكتاراً أو 0.7% من 191.7 مليون هكتاراً في عام 2018، وزيادة بلغت 112 ضعفاً منذ بدء طرحها تجارياً في عام 1996، وهي تزرع من قبل 17 مليون مزارع في 29 دولة (22 دولة نامية و 7 دول صناعية) تشمل أمريكا والأرجنتين والبرازيل وكندا وأستراليا والمكسيك والصين والهند



شكل 1. الدول الخمس الكبرى في زراعة المحاصيل المعدلة وراثياً عام 2019 (ISAAA, 2020b).
Figure 1. Top five countries that planted GM crops in 2019 (ISAAA, 2020b).

جدول 1. الوضع الراهن للمساحات المزروعة بالمحاصيل المعدلة وراثياً حسب دول العالم في عام 2019 (مليون هكتار)**
Table 1. Global Area of Biotech/GM Crops in 2019: by country (Million Hectares)**

المحاصيل المعدلة وراثياً المزروعة	المساحة (مليون هكتار) Area (m.hec)	الدولة	الترتيب Rank
ذرة، صويا، قطن، فصة، كانولا، شوندر سكري/بنجر، بطاطا/بطاطس، البياض، كوسا، تفاح	71.5	USA*	1
Maize, Soybean, Cotton, alfalfa, Canola, Sugarbeet, Potato, Papaya, Squash, apple			
صويا، ذرة، قطن، قصب السكر	52.8	Brazil*	2
Soybean, Maize, Cotton, Sugarcane			
صويا، ذرة، قطن، فصة	24.0	Argentina*	3
Soybean, Maize, Cotton, alfalfa			
كانولا، صويا، ذرة، شوندر سكري/بنجر، فصة، بطاطا/بطاطس	12.5	Canada*	4
Canola, Soybean, Maize, Sugarbeet, alfalfa, Potato			
قطن	11.9	India*	5
Cotton			
صويا، ذرة، قطن	4.1	Paraguay*	6
Soybean, Maize, Cotton			
قطن، البياض	3.2	India*	7
Cotton, Papaya			
ذرة، صويا، قطن	2.7	South Africa*	8
Maize, Soybean, Cotton			
قطن	2.5	Pakistan*	9
Cotton			
صويا	1.4	Bolivia*	10
Soybean			
صويا، ذرة	1.2	Uruguay*	11
Soybean, Maize			
ذرة	0.9	Philippines*	12
Maize			
ذرة، كانولا، العصفور	0.6	Australia*	13
Maize, Canola, Safflower			
قطن	0.3	Myanmar*	14
Cotton			
قطن	0.2	Sudan*	15
Cotton			
قطن	0.2	Mexico*	16
Cotton			
ذرة	0.1	Spain*	17
Maize			
ذرة، قطن	0.1	Colombia*	18
Maize, Cotton			
ذرة	0.1	Vietnam*	19
Maize			
ذرة	<0.1	Honduras	20
Maize			
ذرة، كانولا	<0.1	Chili	21
Maize, Canola			
قطن	<0.1	Malawi	22
Cotton			
ذرة	<0.1	Portugal	23
Maize			
قصب السكر	<0.1	Indonesia *	24
Sugarcane			
بازنجان	<0.1	Bangladesh*	25
Eggplan			
قطن	<0.1	Nigeria	26
Cotton			
قطن	<0.1	Eswatini/Swaziland	27
Cotton			
قطن	<0.1	Ethiopia	28
Cotton			
قطن، أناناس	<0.1	Costa Rica	29
Cotton, Pinapple			
	190.4	Total	اجمالي

* 19 دولة تزرع 50000 هكتار أو أكثر من المحاصيل المعدلة وراثياً (ISAAA, 2020b)؛ **الرقم مدور لأقرب مئة ألف.

*19 countries growing 50,000 hectares or more of genetically modified crops; **The number is rounded to the nearest hundred thousand (ISAAA, 2020b)

(39 دولة + الاتحاد الأوروبي والذي يشمل 27 دولة) موافقات وأطراً تشريعية لاستهلاك محاصيل معدلة وراثياً إما كغذاء أو كعلف بالإضافة الى موافقات على الاستخدام في البيئة. وقد وافقت هذه الدول على ما مجموعه 3768 موافقة شملت 26 محصولاً و392 منتجاً معدلاً وراثياً ومعتمداً (GM events). وشملت من هذه الموافقات 1777 موافقة للاستخدام كغذاء (استخدام مباشر أو للتصنيع) و1238 للاستخدام كعلف (مباشر أو للتصنيع) و753 موافقة للإطلاق في البيئة أو للزراعة (جدول 2).

من جهة ثانية، وبينما نعي أنه يجب أن نحصد ونستغل فوائد التقانات الحيوية الحديثة، إلا أننا ندرك أيضاً أن الكائنات الحية المعدلة وراثياً يجب أن تخضع لإجراءات أمان صارمة ودقيقة تُعرف بما يسمى "السلامة الحيوية أو الأمان الحيوي"، والتي تهدف إلى ضمان نقل وتداول واستخدام وإتلاف الكائنات المعدلة وراثياً بشكل آمن نظراً لما قد تؤدي إليه هذه التقانات من بعض المخاطر المحتملة على صحة الإنسان والحيوان وعلى التنوع الحيوي ما لم يتم استخدامها بشكل مدروس جيداً حسب معايير وقواعد الأمان الحيوي ذات الصلة. وقد أصدرت 40 دولة

جدول 2. الدول العشر الأولى التي منحت موافقات على الغذاء والعلف وزراعة وإطلاق الكائنات الحية المعدلة وراثياً في البيئة*.

Table 2. Top ten countries which granted food, feed and cultivation/environmental approvals*.

الترتيب	Rank	الدولة	Country	غذاء Food	علف Feed	زراعة Cultivation	الإجمالي Total
1	1	أمريكا	USA	183	178	178	539
1	1	اليابان	Japan	186	177	130	493
3	3	كندا	Canada	147	138	147	429
4	4	البرازيل	Brazil	111	111	106	328
5	5	كوريا الجنوبية	South Korea	157	148	0	305
6	6	الفلبين	Philippines	116	114	14	244
7	7	المكسيك	Mexico	188	29	14	231
9	9	الاتحاد الأوروبي	EU	100	101	4	205
10	10	أستراليا	Australia	118	18	39	175
11	11	دول أخرى	Others	732	431	212	1315
		اجمالي	Total	2115	1514	856	4485

* تشمل موافقات على منتجات معدلة وراثياً فيها مورثات مدخلة مفردة أو متعددة أو مركبة.

*Includes approvals for genetically modified products containing single, multiple or combined recombinant DNA (genes).

والأغروستيس الرئدي (*Agrostis stolonifera*) الذي ينتمي إلى الفصيلة النجيلية.

- المقاومة للاجهادات اللا حيوية: الذرة وقصب السكر

أمثلة عن المنتجات الزراعية المعدلة وراثياً المتوفرة في بعض الأسواق العالمية وذات قيمة غذائية محسنة

إنّ تعديل القيمة الغذائية المعدلة أو النكهة هي واحدة من أهداف تربية النبات، عدا عن الغلة العالية. ونذكر هنا كمثال الجهد الواضح لإنتاج "الأرز الذهبي" وهو مثال على تعديل الأرز لمعالجة مشكلة نقص فيتامين أ في كثير من البلدان النامية (<https://www.irri.org/golden-rice>). وهناك الآن جهود باستخدام تحرير الجينات لتغيير القيمة الغذائية ونكهة الطعام والمشروبات، ومثالها طبيعة حبوب القهوه لتقليل محتوى الكافيين. إنّ تطوير نوع من الأرز لمعالجة المشاكل الصحية، يتميز بقيمته الغذائية العالية ويحتوي على فيتامين أ تنتج مادة "البيتا كاروتين وهي المادة الأساسية لتكوين فيتامين أ، وبذلك يمكن المساهمة في وقف انتشار العمى وسوء التغذية.

إدخال نوعين من المورثات تجعل الأرز أكثر غنى بعنصر الحديد، وهو ما يعنى التحكم بشكل أكبر في معضلة فقر الدم في العالم؛ وقد نشر مؤخراً تقرير المعهد الدولي لبحوث الأرز (IRRI) عن تجارب الأداء الزراعي لأصناف الأرز الذهبي المطورة في الفلبين وبنغلاديش، حيث تمّ تطوير الأصناف عن طريق تهجين الأرز GR2E Kaybonnet المعدل وراثياً (المنتج عن طريق إضافة مورثة phytoene synthase من الذرة ومورثة carotene desaturase من بكتيريا *Pantoea ananatis* إلى صنف الأرز Kaybonnet) مع أصناف الأرز الشائعة من آسيا، إذ ينتج الأرز الذهبي طليعة فيتامين أ (بيتا كاروتين)، والذي يمكّن جسم الإنسان من تصنيع فيتامين أ، وذلك في اندوسبرم حبوب الأرز، وهذا ما لا ينتجه

وفي نهاية عام 2019 وافقت المفوضية الأوروبية على استخدام ثمانية أصناف معدلة وراثياً، جميعها للاستخدامات الغذائية والعلفية، وهي: الذرة MZHG0JG؛ الذرة MON 89034x؛ MON 89034x؛ MON 89034x1507xNK603xDAS-40278-9؛ الذرة Bt11 x MIR162 x MIR604 x 1507 x 5307 x GA21؛ فول الصويا MON 89788 وفول الصويا A2704-12؛ القطن LLcotton25؛ بذور اللفت الزيتي T45.

أمثلة عن المنتجات الزراعية المعدلة وراثياً والمتوفرة في بعض الأسواق العالمية بهدف مكافحة الآفات الزراعية

تقدر الأضرار التي تسببها الآفات والأمراض الحشرية سنوياً في كثير من المحاصيل ما بين 30-50%، مما يؤدي إلى إحداث خسائر في إنتاج المزارعين (Savary et al., 2019).

تتوفر في الأسواق منتجات نباتية معدلة وراثياً، والتي تبدو مثل نظيرتها التقليدية غير المعدلة، إلا أنها تكتسب صفات خاصة تميزها عن النباتات التقليدية، حيث شملت تحمل مبيدات الأعشاب (HT) ومقاومة الحشرات ومقاومة الاجهادات الحيوية واللاحيوية وغيرها. تشمل النباتات المعدلة وراثياً المنتجة حالياً بهدف مكافحة الآفات الزراعية الأمثلة التالية:

- المقاومة للحشرات: الذرة والقطن والبطاطا/البطاطس والبنندورة/الطماطم وفول الصويا وقصب السكر والباذنجان والهور.
- المقاومة للأمراض الفيروسية أو الفطرية: الخوخ والباباؤ والكوسا والبالزلاء والبطاطا/البطاطس والفليفلة الحلوة والتفاح المقاوم للأمراض الفطرية والبكتيرية.
- المقاومة لمبيدات الأعشاب: الذرة وفول الصويا والفصّة والقرنفل والكتان والأرز والقمح والقطن والبطاطا/البطاطس والهندباء

الأرز التقليدي، الأمر الذي يسهم في علاج عوز فيتامين أ، وبالأخص لدى الشعوب التي تعتمد الأرز كغذاء أساسي في طعامها اليومي. يضاف إلى ذلك إنتاج الكائنات المعدلة وراثياً ذات المحتوى العالي من اللوريت، والكائنات ذات المحتوى العالي من حمض الأوليك.

يوضح جدول 3 تفاصيل موجزة عن المحاصيل المعدلة وراثياً، والسمات المستهدفة/المعدلة وراثياً، وعدد المنتجات المعتمدة المعدلة وراثياً المعتمدة. ويوضح شكل 2 كمثال لبعض التعديلات الوراثية لمقاومة الحشرات في المحاصيل المهندسة وراثياً.

عام 2020 هو عام مميز لمجال التكنولوجيا الحيوية

منذ أن قلبت جائحة كورونا الحياة رأساً على عقب في جميع أنحاء العالم، هل تعدّ سنة 2020 سنةً ضائعةً بلا جدوى؟ ربما نعم، ولكن ليس للكائنات المعدلة وراثياً، حيث لم تكن الذكرى السنوية حدثاً احتفالياً، ولكنها دفعت الكثيرين إلى التفكير بعمق في الأحداث التي مرت على مدار الاثني عشر شهراً الماضية. فقد استمر العالم في الدوران والتقدم يسير على قدم وساق. كان هذا صحيحاً بشكل خاص في مجال التكنولوجيا الحيوية الزراعية، التي سجلت بعض الاختراقات المهمة بما في ذلك اعتماد القمح المعدل وراثياً في الوقت الذي استحوذ الوباء على انتباهنا؛ ونورد فيما يلي أهم هذه التطورات المهمة:

1. الأرجنتين: وافقت على القمح المعدل وراثياً: ففي تشرين الأول/أكتوبر 2020، أصبحت الأرجنتين أول دولة في العالم توافق على سلالة من القمح المعدل وراثياً المتحمل للجفاف HB4 والذي طوره شركة Bioceres SA للتكنولوجيا الحيوية، فهل يمكن أن يكون هذا أهم تقدم في القمح بعد زمن العالم الفدّ في أمراض النبات والوراثة نورمان بورلوق (Norman Borlaug) الذي قاد المبادرات في جميع أنحاء العالم، والتي ساهمت في بلوغ زيادات هائلة في الإنتاج الزراعي والموسومة بالثورة الخضراء، حيث طُوّر أصناف قمح شبه قزمة وعالية الغلة ومقاومة للأمراض في المركز الدولي لتحسين الذرة والقمح CIMMYT في المكسيك.

2. سمحت شركة Oxitec بإطلاق البعوض "الصدّيق" غير الضار" المعدّل وراثياً في الولايات المتحدة فقد تمت الموافقة على إطلاق البعوض المعدل وراثياً في فلوريدا في إطار مشروع تجريبي يهدف إلى إظهار أن البعوض المعدل وراثياً هو بديل قابل للتطبيق لرش المبيدات الحشرية. ويستخدم المشروع تقنية الكبسولة الصغيرة "الصدّيقة" التي طورتها شركة علوم الوراثة Oxitec ومقرها المملكة

المتحدة. حيث تعمل هذه التقنية عن طريق إدخال مورثة محددة ذاتياً (self-limiting gene) في ذكور البعوض غير اللاسعة والتي تتزاوج بعد ذلك مع إناث برية، حيث سيموت النسل الناتج قبل البلوغ، مما يقلل من تعداد البعوضة الخطيرة الناشئة لحمى الضنك، والحمى الصفراء، ومرض فيروس زيكا الذي ينتقل بشكل أساسي عن طريق البعوض، والذي يلدغ أثناء النهار ويسبب أعراضاً خفيفة بشكل عام تشمل الحمى والطفح الجلدي والتهاب الملتحمة وآلام العضلات والمفاصل والشعور بالضيق أو الصداع، وأمراض أخرى. علماً أنه قد تم استخدام هذه التكنولوجيا "الصدّيقة" سابقاً بنجاح في البرازيل. حالياً، وبموجب التصاريح الممنوحة من وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA)، يمكن إطلاق البعوض المعدّل وراثياً في الولايات المتحدة. ويشمل المشروع التجريبي "فلوريدا كيز" ومناطق محددة من تكساس. وقال جراي فراندسن الرئيس التنفيذي لشركة Oxitec: "هناك إجماع واسع بين مسؤولي الصحة العامة في الولايات المتحدة على أن هناك حاجة ماسة لجيل جديد من أدوات مكافحة ناقلات الأمراض الآمنة والهادفة والفعالة من حيث التكلفة لمكافحة التهديد المتزايد الذي يشكله البعوض دون التأثير على النظام البيئي" (Cremer, 2021).

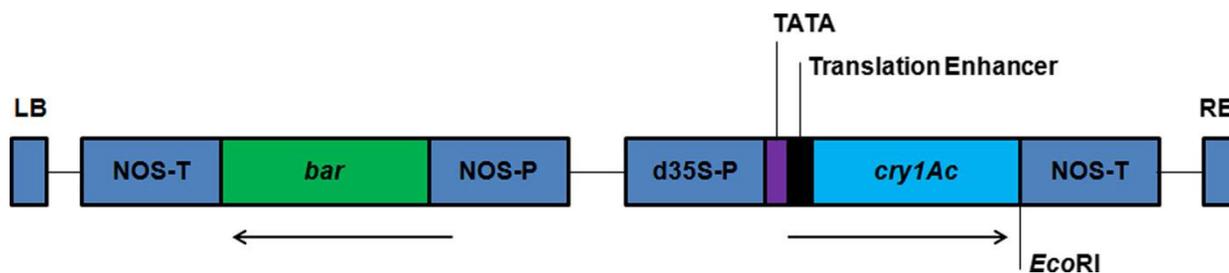
3. كينيا تعطي الضوء الأخضر للمحاصيل المعدلة وراثياً: بدافع الرغبة في توسيع قطاعي الزراعة والمنسوجات، وبناء اقتصادها وتعزيز الأمن الغذائي، قامت كينيا بعمل تغيير في المحاصيل المعدلة وراثياً، والتي حظرتها في عام 2012. فقد دفع الأداء الرائع للقطن المعدل وراثياً والمقاوم للحشرات الحكومة للسماح بالتجارة الكاملة للمحصول. وتحرز كينيا أيضاً تقدماً في مجال الذرة المحورة وراثياً، حيث تجري تجارب التقييم الوطنية التي تعدّ أساسية لاعتمادها. ومن المحتمل أن يتمكن المزارعون من الوصول إلى بذور الذرة المعدلة وراثياً في وقت لاحق من العام 2021.

4. الصين تتبنى التكنولوجيا الحيوية لتحسين الأمن الغذائي: بدأت الصين عام 2020 بالإعلان عن اجتياز صنفين من الذرة وصنف من فول الصويا المعدلة وراثياً لتقييمات السلامة الحيوية، فيما كان يُنظر إليه على أنه خطوة حاسمة في نقل أكبر دولة في العالم، من حيث تعداد سكانها، إلى الاقتراب من تسويق هذين المحصولين المعدلين وراثياً، حيث كان المسؤولون الصينيون يدعون إلى "اختراقات تكنولوجية في البذور" يمكن أن "تغير صناعة البذور". بينما كان خط الصين بشأن الكائنات المعدلة وراثياً، سواء بين صانعي السياسات وعامة الناس، متحفظاً على مرّ السنين الماضية.

Table 3. Summary of some GM crops with modified traits.

جدول 3. ملخص لبعض المحاصيل المعدلة وراثيًا ذات الصفات المعدلة.

عدد السمات المعدلة وراثياً No. of GM events	GM traits	السمات المستهدفة / المعدلة وراثياً	المحاصيل المعدلة وراثياً GM crops
3	Modified product quality	تعديل جودة المنتج	Apple تفاح
1	Viral disease resistance	مقاومة الأمراض الفيروسية	Plum خوخ
2	Viral disease resistance	مقاومة الأمراض الفيروسية	Papaya باباظ
1	Volumetric wood increase	زيادة حجم الخشب	Eucalyptus كينا
2	Insect resistance	مقاومة الحشرات	Poplar حور
1	Insect resistance	مقاومة الحشرات	Eggplant باذنجان
2	Viral disease resistance	مقاومة الأمراض الفيروسية	Squash كوسا
11	Delayed ripening/senescence, Viral disease resistance, Insect resistance, delayed fruit softening, modified product quality	تأخر النضج/الشيخوخة، مقاومة الأمراض الفيروسية، مقاومة الحشرات، تأخر طراوة الفاكهة، تعديل جودة المنتج	Tomato بندورة/طماطم
1	Disease resistance	مقاومة الأمراض	Pea بازلاء
48	Insect resistance, modified starch/carbohydrate, reduced acrylimide potential, reduced black spot, viral disease resistance, Fungal disease resistance, Herbicide tolerance	مقاومة الحشرات، تعديل النشا/ الكربوهيدرات، انخفاض احتمالية مادة الأكريلاميد، انخفاض البقع السوداء البكتيري، مقاومة الأمراض الفيروسية، مقاومة الأمراض الفطرية، تحمل مبيدات الأعشاب	Potato بطاطا/بطاطس
1	Viral disease resistance	مقاومة الأمراض الفيروسية	Sweet pepper فليفلة حلوة
2	Delayed ripening/senescence	تأخر النضج / الشيخوخة	Melon شمام/بطيخ أصفر
3	Herbicide tolerance, male sterility	تحمل مبيدات الأعشاب، العقم الذكري	Chicory هندیاء
40	Herbicide tolerance, Insect resistance, modified product quality	تحمل مبيدات الأعشاب، مقاومة الحشرات، تعديل جودة المنتج	Soybean فول الصويا
5	Herbicide tolerance, modified product quality	مبيدات الأعشاب، تعديل جودة المنتج	Alfalfa فصة
41	Modified product quality, Herbicide tolerance, Pollination control system	تعديل جودة المنتج، تحمل مبيدات الأعشاب، التحكم في التلقيح/التأبير	Canola كانولا
231	Male sterility, Fertility restoration, modified alpha amylase, Herbicide tolerance, Insect resistance, Pytase production, modified amino acid, Increased ear Biomass, Drought stress tolerance	العقم الذكري، استعادة الخصوبة، تعديل ألفا أميليز، تحمل مبيدات الأعشاب، مقاومة الحشرات، إنتاج البيبتيز، تعديل الأحماض الأمينية، زيادة الكتلة الحيوية للسنابل، تحمل إجهاد الجفاف	Maize ذرة
60	Herbicide tolerance, Insect resistance	تحمل مبيدات الأعشاب، مقاومة الحشرات	Cotton قطن
1	Herbicide tolerance	تحمل مبيدات الأعشاب	Flax الكتان
2	Herbicide tolerance, Insect resistance, modified product quality	تحمل مبيدات الأعشاب، مقاومة الحشرات، تعديل جودة المنتج	Rice أرز
1	Herbicide tolerance	تحمل مبيدات الأعشاب	Wheat القمح
1	Herbicide tolerance	تحمل مبيدات الأعشاب	Linseed بذر الكتان
3	Herbicide tolerance	تحمل مبيدات الأعشاب	Sugarbeet شوندر سكري
4	Insect resistance	مقاومة الحشرات	Sugarcane قصب السكر
1	Herbicide tolerance	تحمل مبيدات الأعشاب	الأغروستيس الرندي Creeping Bentgrass
1	Modified product quality	تعديل جودة المنتج	Petunia بتونيا
2	Modified product quality	تعديل جودة المنتج	Rose لورد
19	Herbicide tolerance, modified flower color, delayed ripening/senescence	تحمل مبيدات الأعشاب، تعديل لون الزهرة، تأخر النضج/الشيخوخة	Carnation قرنفل
1	Nicotine reduction	تقليل النيكوتين	Tobacco تبغ



شكل 2. مثال عن بعض التراكيب الوراثية لمقاومة الحشرات في المحاصيل المهندسة وراثياً (Negawo *et al.*, 2013).
Figure 2. An example of genomic organization to control insects in genetically modified crops (Negawo *et al.*, 2013).

تقرير "حالة الطبيعة في الاتحاد الأوروبي" في تشرين الأول/أكتوبر والذي خلص إلى أن "الممارسات الزراعية الحالية هي إلى حد بعيد الدافع الأكثر سيطرة على الموائل والأنواع"، وأن ممارسات الزراعة والغابات غير المستدامة، إلى جانب الزحف العمراني والتلوث هي المسؤولة عن "التدهور الخطير والمستمر" للتنوع الحيوي في أوروبا. وكشف تحليل علمي جديد أن رفض أوروبا السماح للمزارعين بزراعة المحاصيل المعدلة وراثياً أدى إلى انبعاث 33 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون الضار بالمناخ، وهو ما يعادل 7.5 في المائة من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من القطاع الزراعي الأوروبي بأكمله.

6. تستخدم لقاحات COVID تكنولوجيا الهندسة الوراثية في إنتاجها: بعد 12 شهراً من فرض فيروس كورونا على كل جانب من جوانب حياتنا تقريباً، تجدر الإشارة إلى أن علوم الوراثة هي سبب رؤيتنا الآن لضوء في نهاية النفق. بعض لقاحات COVID التي يتم حقنها في أذرع الملايين من البشر تستخدم الهندسة الوراثية، وجميعها تستخدم التكنولوجيا الحيوية على نطاق أوسع. حيث يُستخدم كل من لقاح جزئ حمض نووي أحادي السلسلة يحمل تسلسلاً جينياً من الحمض النووي في نواة الخلية ويحمل تعليمات لتصنيع البروتينات (التي تؤدي إلى تصنيع الأجسام المضادة) باستخدام آليات الخلية وأهمها الريبوسومات. باختصار، ما تفعله لقاحات الرنا المرسال هو حث عدد قليل من الخلايا البشرية بالقرب من موقع الحقن لإنتاج بروتين سبايك، الذي يؤدي بدوره إلى تهيئة الجهاز المناعي لبناء الأجسام المضادة والخلايا التائية التي ستقاوم عدوى فيروس كورونا الحقيقي عندما تواجهه.

7. أنهت مجلة العلوم الأمريكية Scientific American العام الماضي 2020 بمقال أكد على الإجماع العلمي الساحق حول سلامة المحاصيل المعدلة وراثياً ودورها في معالجة تأثيرات تغير المناخ على الزراعة. وتشير المقالات المنشورة إلى أنه ولفترة طويلة جداً،

وعلى الرغم من منح أصناف الذرة والأرز المعدلة وراثياً شهادات السلامة الحيوية منذ أكثر من عقد من الزمان، إلا أنها لم تصل مطلقاً إلى السوق التجاري، ويرجع ذلك جزئياً إلى معارضة التكنولوجيا المعدلة وراثياً. ولكن بعد أن تسبب وباء كوفيد 19 في اضطرابات في سلسلة التوريد وتراجع اعتماد الصين على فول الصويا الأمريكي بشكل كبير بسبب الاضطرابات التجارية، يبدو أن بكين اتخذت نهجاً جديداً للتكنولوجيا الحيوية الزراعية. فقد قال تشانغ شين، المحلل في شركة GLOCON Agritech Co، "يبدو أن النغمة المتعلقة بتكنولوجيا جنرال موتورز تتغير، فلم يعد الأمر يتعلق بمدى إلحاق الضرر بصحة الإنسان، بل بمدى تأثيرها على أمن الحبوب بمجرد رفع القيود".

5. الاتحاد الأوروبي يخفف من موقفه المناهض للكائنات المعدلة وراثياً: قبل أيام فقط من الإغلاق، انتقد المجلس الاستشاري العلمي للأكاديميات الأوروبية (EASAC) لوائح الاتحاد الأوروبي الخاصة بالكائنات المعدلة وراثياً باعتبارها "لم تعد مناسبة للغرض" ودعا إلى "إصلاح جذري" لنهج الاتحاد. ويبدو أن الباب أمام تبني المحاصيل المعدلة وراثياً في أوروبا قد فتح صدعاً عندما بدأت المحادثات حول سياسة زراعية مشتركة جديدة (Common Agricultural Policy (CAP))، فقد أخبر متحدث باسم المفوضية الأوروبية التحالف من أجل العلوم أن "التقنيات الحيوية، إلى جانب التقنيات المبتكرة الأخرى، قد تلعب دوراً في زيادة الاستدامة وتحقيق الفوائد للمجتمع ككل شريطة أن تكون آمنة للمستهلكين والبيئة". وقد أوضحت الدنماركية كارين ملكيور، عضوة البرلمان الأوروبي وعضوة "رينيو يوروب"، والتي صوتت ضد إصلاح السياسة الزراعية المشتركة كونها لا تحرك أوروبا نحو مستقبل زراعي أكثر اخضراراً، أنها منفتحة على الاتحاد الأوروبي لإعادة التفكير في موقفه بشأن المحاصيل المعدلة وراثياً. وبالتالي قد تضطر أوروبا إلى إعادة التفكير في نهج الكائنات المعدلة وراثياً بشكل أكبر بعد ظهور المزيد من الأدلة على أن سياساتها الحالية تضر بالبيئة. وقد أصدرت وكالة البيئة الأوروبية

نسخة الـ mRNA الرسول (RNA transcript Messenger) على الوجه الصحيح.

ولذلك يتألف مركب المورثة (شكل 3) نموذجياً من العناصر التالية: (1) المحفز، ويعمل كمفتاح تشغيل وإغلاق لتحديد متى وأين تعمل المورثة المعدلة/ المدخلة في النبات /العضوية المستقبلية؛ (2) المورثة المعدلة/المدخلة (المورثة البنيوية)، وهي المورثة التي تشفر لصفة/خاصية معينة؛ (3) المنهي، وهو العنصر الذي يعمل كشارة توقف لنسخ المورثة المدخلة/المعدلة؛ (4) المورثات المعلمة من أجل التمييز بين الكائنات المعدلة وغير المعدلة وراثياً أثناء تطوير المحصول؛ و (5) بقايا مادة الـ dna من بلاسميدات الإدخال (Abdul Kader *et al.*, 2011؛ Nandeshwar, 2015؛ Lubeck, 2001؛ Ali Bacha *et al.*, 2014؛ Nicholl, 2002).

طرائق ومراحل التعديل الوراثي/نقل الـ DNA المأشوب

تقسم طرائق التحويل الوراثي إلى مجموعتين:

أولاً: الطرائق المباشرة: تستخدم وسائل فيزيائية لإدخال الـ DNA إلى الخلية، مثل طريقة تحويل الخميرة أو الايشيرشيا كولاي باستخدام كلوريد الكالسيوم، أو معاملات كيميائية أخرى لجعل الخلايا مؤهلة لامتصاص الـ DNA. وتشمل:

1. قذف الجزيئات بالمدفع الحيوي (Gene gun or particle bombardment) يستخدم المدفع ذي القذيفة الدقيقة قذائف مصنوعة من جزيئات التنغستين أو الذهب قطرها 1 ميكروميتر، تحمل المورثات المطلوب إدخالها للخلية النباتية، وتكون سرعة الإطلاق 430 م/ثا. يتم قذف هذه الجزيئات وما تحمله من مادة وراثية كطلقة بواسطة دفعة من غاز الهليوم في اتجاه النسيج المستهدف وعبر مصفاة ذات ثقوب دقيقة توزع هذه الجزيئات، مما يتيح الفرصة أمامها لكي تخترق الأغشية البروتوبلازمية للعديد من الخلايا المستهدفة ناقلةً إليها المادة الوراثية المحملة على هذه الجزيئات.

كان الخطاب العام حول الهندسة الوراثية في الزراعة تغلب فيه العاطفة على التفكير المنطقي بدلاً من الاعتماد على الأدلة الحسية.

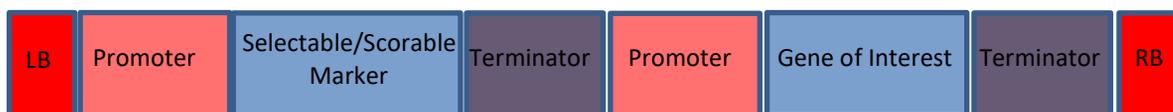
كيف يتم التعديل الوراثي؟

يتم التعديل الوراثي على الأقل باستعمال إحدى التقنيات الثلاث الآتية: (1) تقنيات الحمض الريبي النووي منقوص الأوكسجين (دنا) المأشوب باستخدام نظام النواقل باستخدام بكتيريا التدرن التاجي (أغروبيكتيريا)، أو بطريقة مدفع قذف المورثات؛ (2) التقنيات التي تتضمن النقل المباشر إلى العضوية للمادة الوراثية الممكن توريثها والمحضرة خارج العضوية والتي تشمل الحقن الدقيق والكبسولات الدقيقة وغيرها؛ (3) الدمج الخلوي (بما فيه دمج البروتوبلاست) أو تقنيات التهجين حيث تشكل الخلايا الحية مع التركيبات الجديدة من المادة الوراثية القابلة للتوريث من خلال دمج خليتين أو أكثر بوساطة الطرائق التي لا تحدث بشكل طبيعي.

تتم التعديلات الوراثية بإدخال عدة أجزاء صغيرة من الـ dna من مصادر مختلفة إلى التركيب الوراثي (جينوم/مجين) للنبات المراد تعديله وراثياً. وعموماً، تتم معالجة المورثة المعزولة المرغوبة بحيث تعبر وراثياً عن نفسها Gene Expression. ولذلك يتم تصميم ما يسمى gene construct أو المورثة الكيميائية بحيث يمكن أن يتم التعبير الوراثي، أي نسخ المورثة لنفسها وتكوين "رنا الرسول mRNA" الذي يتم ترجمته باستخدام الريبوزومات، وبالتالي تصنيع البروتين اللازم لإظهار الصفة المرغوبة (الشكل المظهري Phenotype).

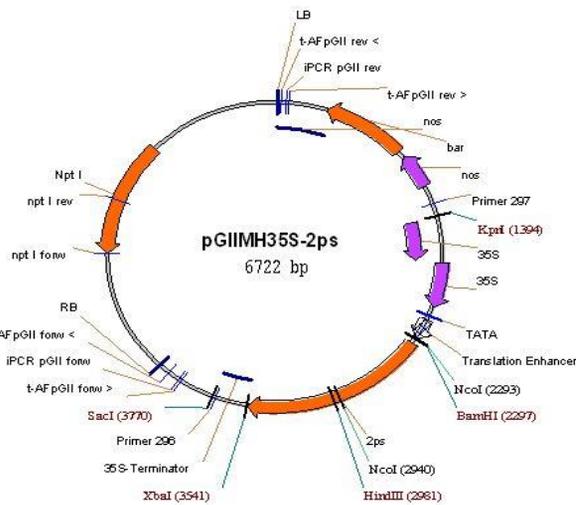
يجب أن تتكون هذه المورثة من ثلاث مناطق، هي: المنطقة الأولى، وتسمى المحفز Promoter Sequence، وهي التي تساعد في تحديد توقيت عمل المورثة (متى تعمل) وموقع تعبيرها (أين تعمل)، فهي بمثابة شيفرة للمورثة نفسها، أي تحدد وتقول لها من أين تبدأ في نسخ الرنا الرسول (ابدأ من هنا)؛ المنطقة الثانية، وهي منطقة التشفير، وتحمل معلومات تحدد طبيعة البروتين الذي تشفره المورثة البنيوية المعنية (structural gene)؛ والمنطقة الثالثة هي منطقة تعدد الأندنة (Ploy adenylation) poly- A أو الإنهاء، وهي المسؤولة عن إنهاء عمل

الحد اليميني المنهي المورثة المرغوبة في النبات المحفز المنهي مورثة الانتخاب في النبات المحفز الحد اليساري



شكل 3. تمثيل مبسط للمورثة المركبة والمحتوية المكونات الرئيسية الضرورية للإدخال والتعبير الناجح في المواد المعدلة وراثياً.
Figure 3. Simplified Schematic representation of GMO gene cassette containing necessary elements for successful integration and expression.

- فتح بلازميد الناقل باستخدام إنزيمات القطع Restriction enzymes
- دمج قطع الـ DNA المراد نقله مع DNA البلازميد
- لصق قطع الـ DNA المراد نقله مع DNA البلازميد باستخدام إنزيمات اللصق "Ligases" لإنتاج DNA مأشوب Recombinant DNA
- 5. السماح للناقل بعدوى مجموعة كبيرة من الخلايا المطلوب إدخال الـ DNA إليها (البكتيريا).
- 6. تنمي الخلايا في بيئة صناعية لنمو البكتيريا فيها عامل انتخاب، وهو عبارة عن مضاد حيوي مثل الأمبيسلين أو الكنامايسين حسب المورثة الواسمة المحملة على البلازميد للكشف عن مدى نجاح التجربة.
- 7. إختبار النباتات الناتجة من حيث وجود المورثة والتعبير عنها.
- 8. تجذير النباتات المعدلة وراثياً.
- 9. الأقملة التدريجية للنباتات المنتجة المعدلة وراثياً والتكيف مع الظروف البيئية الخارجية (Ali Bacha et al., 2011؛ Abdul Kader et al., 2011؛ Maghari & Ardekani, 2011؛ Chawla, 2002؛ 2014, 2015؛ Nosowitz, 2017؛ Nelson, 2001؛ Nandeshwar 2015؛ Phillip 1998a, 1998b).



شكل 4. عناصر/مكونات البلازميد المركب (المأشوب) للتحويل الوراثي (Ali Bacha et al., 2014).

Figure 4. Elements of plasmid DNA construct for genetic transformation (Ali Bacha et al., 2014).

وكمثال على التعديل الوراثي باستخدام الأغروباكتيريا، يوضح شكل 5 مراحل إنتاج نباتات تقاح معدلة وراثياً بواسطة الأغروباكتيريا والبلازميد المستخدم في التعديل الوراثي للتقاح لزيادة مقاومة الأمراض

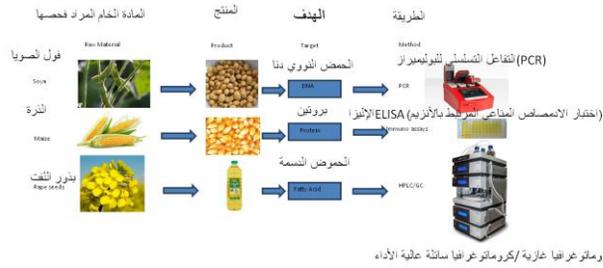
- 2. الحقن المجهرى الدقيق (Microinjection): يحتاج الأمر إلى ميكروسكوب وماصة وإبرة دقيقة، ويؤخذ منها جزء من الـ DNA أو الكروموزوم بالكامل ثم يتم الحقن داخل الخلية أو البروتوبلاست.
- 3. طريقة الثقب الكهربائي (Electroporation): تستخدم في هذه الطريقة نبضات عالية الفولتية لإحداث ثقب سريعة الزوال في غشاء الخلايا النباتية عارية الجدار لكي تمر جزيئات الـ DNA من خلالها إلى الكائن الحي الجديد المراد نقلها إليه.
- 4. استخدام البولي إيثيلين غليكول (PEG) وتسمى هذه الطريقة أيضاً إدخال الـ DNA الحر في البروتوبلاست.

ثانياً: الطرائق غير المباشرة: تستخدم عوامل حيوية/بيولوجية مثل البكتيريا أو الفيروسات كناقل لنقل الـ DNA. يتم بصورة رئيسية استخدام الأغروباكتريوم (*Agrobacterium tumefaciens* & *A. rhizogenes*)، وهي بكتيريا تعيش في التربة وتعدى بشكل طبيعي الكثير من النباتات ثنائية الفلقة. تسبب العدوى بالأغروباكتريوم تحريض نموات ورمية عند مواقع العدوى تسمى التدرنات التاجية، وتدخل عن طريق الجروح في الجذور وتترك الـ Ti-plasmid الخاص بها داخل النبات. يوجد جزء من هذا البلازميد يسمى T-DNA يتحكم في الخلية وراثياً، ويؤدي إلى سرعة انقسامها وتكاثرها بصورة يصعب التحكم فيها، وبالتالي يؤدي إلى حدوث أورام بجذور النبات، وفي نفس الوقت فإن هذا الورم يفرز مادة كيميائية تتغذى عليها البكتيريا. من هذا المنطلق أصبح الـ Ti-plasmid مهماً بالنسبة للثقافات الحيوية الحديثة لمقدرته الطبيعية على نقل جزء من الـ DNA إلى الخلايا النباتية يسمى T-DNA (منطقة صغيرة في البلازميد المرحض للأورام، وهي التي تنتقل إلى الخلية النباتية، ثم الاندماج في الصبغي النباتي وحجمها حوالي عدة آلاف bp وذلك بعد تجريده من مورثات تخليق الأورام (Querci et al., 2006) (شكل 4).

الخطوات الأساسية للتعديل الوراثي للنبات

- 1. اختيار الصفة المرغوبة وتحديد المورثات التي تسيطر على هذه الصفة.
- 2. عزل المورثة من العضوية المانحة.
- 3. إكثار المورثة المقصودة (إنتاج نسخ متعددة منها).
- 4. نقل المورثة المرغوبة أو جزء منها إلى البلازميد الناقل (شكل 3) من خلال الخطوات التالية:
- استخدام أنزيمات القطع لكسر شريط الـ DNA إلى قطع صغيرة.
- اختيار الحامل أو الناقل "Vector" المناسب لنقل المورثة إلى الخلية الجديدة (غالباً ما يكون الـ Plasmid).

النانجة من المحاصيل المعدلة وراثياً قد لا تحتوي على DNA كافٍ لاختبار دقيق. يوضح شكل 6 مخطط الكشف عن التعديل الوراثي في مواد متنوعة بواسطة التفاعل التسلسلي للبوليميراز (PCR) واستراتيجيات الكشف.



شكل 6. مخطط الكشف عن التعديل الوراثي واستراتيجيات الكشف في مواد متنوعة

Figure 6. Detection strategies of GMOs

أهم الطرائق المستخدمة بالكشف عن المواد المعدلة وراثياً

الطرائق المعتمدة على كشف الـ DNA - تعتمد على تضخيم تسلسل محدد من الـ DNA باستخدام تقنية التفاعل التسلسلي البوليميرازي "PCR". إن أحد أكثر التقنيات شائعة التطبيق لإثبات وجود الـ DNA أو الـ RNA هي الرحلان الكهربائي عبر هلامة الأغاروز، وهي التقنية التي تتيح تقدير كمية وحجم الـ RNA/DNA. يمكن في النهاية أن يترافق مع هضم بالإنزيمات المحددة والمعروفة بأنها تقطع القطعة المضخمة بالـ PCR إلى قطع ذات أحجام محددة.

الطرائق المعتمدة على الـ RNA - تعتمد على ارتباط معين بين جزيء الـ RNA و RNA مصنع أو جزيء DNA مصنع (يسمى بادئ). يجب أن يكون هذا البادئ متمماً لتسلسل نيوكليوتيدي عند بداية جزيء الـ RNA. والنتيجة هي جزيء نظامي مضاعف السلسلة مماثل للـ DNA.

طرائق الكشف المعتمدة على البروتين - تعتمد على ارتباط معين بين البروتين والجسم المضاد، حيث يتعرف الجسم المضاد على الجزيء الغريب ويرتبط معه. في اختبارات الكشف عن المواد المعدلة وراثياً، يمكن كشف المركب المتحد على التوالي في تفاعل لوني. تسمى هذه التقنية باختبارات الإدمصاص المناعي المرتبط بالإنزيم (إليزا). يمكن تطوير الجسم المضاد المطلوب لكشف البروتين بدون الوصول إلى البروتين النقي، ويمكن أن ينقى هذا البروتين من الكائن المعدل وراثياً نفسه، أو يمكن أن يصنع في المختبر إذا عرف تركيب البروتين بالتفصيل (Abdul Kader, 2003؛ Arvanitoyannis, 2003؛ Holst-Jensen, 2001؛ Kamle et al., 2017).

الفطرية باستخدام مورثة *g2ps1* والذي تم في مخابر قسم التقانات الحيوية في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية في سورية (شكل 5).



شكل 5. مراحل إنتاج نباتات تفاح معدلة وراثياً بواسطة الأغروبيكتيريا (Ali Bacha et al., 2015). (أ) تجديد التفاح من الأوراق بواسطة طرائق زراعة الأنسجة في المخبر بعد إجراء التحوير الوراثي لها ببلازميد التحوير الوراثي الذي تم تركيبه ويحوي مورثة *g2ps* لمقاومة الأمراض الفطرية (ب) اختبار المتجددات من التفاح بواسطة تقنيات الـ PCR والرحلان الكهربائي والتأكد من التحوير الوراثي بالمورثة المرغوبة (ج) تجذير التفاح المعدل وراثياً (د) تقسية ونمو نباتات التفاح المعدل وراثياً في البيت الزجاجي

Figure 5. Stages of production of *Agrobacterium tumefaciens*-mediated genetic transformation apple plants (Ali Bacha et al., 2015). (a) Regeneration of apples from leaves *in vitro* after genetic transformation with a plasmid that contains the *g2ps* gene to confer resistance to fungal diseases. (b) Detection the gene of interest *g2ps1* in Golden Delicious and Royal Gala apple cvs. and in MM111 and M26 apple rootstocks. (c) *In vitro* rooting of apple regenerated shoots. (d) Acclimatization and growing genetically modified apple plants in the greenhouse under containment conditions.

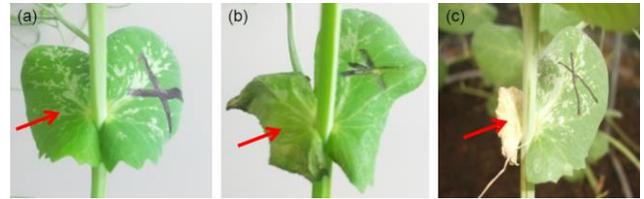
يبثت شكل 5-b بواسطة اختبار الـ PCR لعينات من نموات صنف التفاح غولدن ديليشس ورويال غالو والأصلين م.م 111 و م 26 المعدلة وراثياً بالأغروبيكتريا بأنها معدلة وراثياً باستخدام البادئات المناسبة، لوجود مورثة *g2ps1* بحجم 1244 زوج قاعدي في كل النباتات المختبرة بالـ PCR والتي أظهرت وجود حزمة المورثة حسب الحجم المتوقع، بينما لم يلاحظ أي حزمة في عينات الـ DNA المعزولة من نباتات الشاهد غير المعدلة وراثياً، وكذلك لم يلاحظ أي حزمة في عينة الشاهد السلبي الذي يحتوي على الماء بدلاً من الـ DNA كشاهد سلبي، وذلك مقارنة مع عينة البلازميد الموجب (Positive control) (Ali Bacha et al., 2015).

طرائق الكشف عن المواد المعدلة وراثياً ومشتقاتها الجينية

يمكن فحص وجود المنتجات المعدلة وراثياً إما بكشف الـ DNA المدخل أو البروتينات الغريبة/الجديدة المدخلة وراثياً بطرائق الإليزا (ELISA) (اختبار الإدمصاص المناعي المرتبط بالإنزيم) ولطخة وسترن (Western blot). وعلى الرغم من أن طرائق الـ DNA تتميز بحساسيتها العالية وتخصصها، فإن عيوبها الرئيسية هي أن بعض المنتجات الغذائية

طرائق معتمدة على كشف النمط الظاهري - تعتمد على كشف النمط الظاهري الناتج مثل تحمل مبيد عشبي.

يمكن أن تستخدم الطرائق المتاحة لكشف المواد المعدلة وراثياً لغزلة احتمال وجود مادة معدلة وراثياً أو لكشف وتحديد مادة معدلة وراثياً معروفة. في عدد محدود من النباتات، تم تحديد مورثات خاصة بالنوع، والتي يمكن استخدامها كمورثة مرجعية لتحديد كمية المحتوى من المادة المعدلة وراثياً. تشمل المورثات المرجعية الخاصة بالصويا والذرة والتي تمثل المورثات المعروفة جيداً والتي يمكن أن تختبر وتفحص، مثلاً على ذلك مورثة اللكتين في الصويا ومورثة الإنفرتاز ومورثة زين في الذرة. يعطي شكل 7 مثلاً عن الكشف عن التعديل الوراثي عبر طلاء الأوراق بمبيد الأعشاب.



شكل 7. اختبار طلاء الأوراق من نباتات البازلاء المعدلة وراثياً cry1Ac. (أ) نبات معدل وراثياً مقاومة لمبيدات الأعشاب لا يبدو عليه أي تأثير، (ب) نبات معدل وراثياً حساسة لمبيدات الأعشاب، (ج) نبات شاهد غير معدل وراثياً حساس لمبيدات الأعشاب. تشير الأسهم إلى محلول مبيدات الأعشاب (BASTA، 600 مغ/ليتر) والأوراق المُعالجة تشير إلى أوراق الشاهد. تمت مراقبة تأثير مبيد الأعشاب بعد أسبوع واحد (Negawo et al., 2013).

Figure 7. Leaf paint assay of progenies from cry1Ac transgenic pea plants. (a) herbicide resistant transgenic plant showing no effect, (b) herbicide susceptible transgenic plant and (c) herbicide susceptible non-transgenic control plant. The arrows indicate the herbicide solution (BASTA, 600 mg/l) treated leaves and the marked leaves indicates the control leaves. The effect of the herbicide was monitored after one week (Negawo et al., 2013).

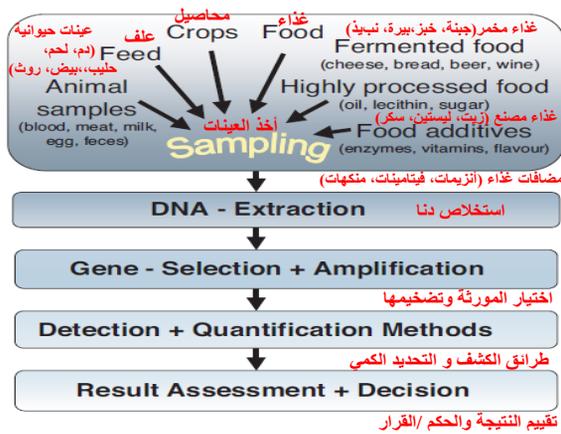
بالنسبة لتحاليل المواد المعدلة وراثياً، فإن الرحلان الكهربائي وتقنيات التهجين هي حالياً من أكثر التقنيات المطبقة.

خطوات عملية الكشف عن المواد المعدلة وراثياً ومشتقاتها الجزيئية
تدمج في المواد المعدلة وراثياً معلومات وراثية إضافية مع الصفة الوراثية المرغوبة بهدف التمييز بسهولة بين الكائنات المعدلة وراثياً وغير المعدلة (مثلاً: المقاومة للمضادات الحيوية أو تحمل مبيدات الأعشاب). بعضها مطلوب من أجل تعبير المورثات، مثل المحفز P35S، والذي هو عبارة عن تسلسل صغير من الـ DNA من فيروس موزايك القرنيبيط. إذ ينشط هذا المحفز أو يحرض تعبير المورثة التي تشفر لمقاومة الحشرات أو

تحمل مبيدات الأعشاب أو خواص أخرى لمواد أخرى معدلة وراثياً. المحفز P35S شائع الاستخدام في الهندسة الوراثية، وهذا هو سبب اعتماد أغلب تحدييدات الكشف عن المواد المعدلة وراثياً على تحديد وجود الـ P35S.

تتم عملية التحليل لكشف وجود مواد معدلة وراثياً أو مشتقاتها في المواد الغذائية حسب الخطوات التالية: (1) أخذ العينات من المادة المراد تحليلها، (2) إجراء تجانس للعينة، (3) عزل وتنقية الـ DNA، RNA، بروتين، (4) التحليل لتحديد ما إذا كان الجزيء الناتج من مادة معدلة وراثياً موجود أو لا، (5) تعريف الجزيء المكتشف، (6) تحديد كمية المادة المعدلة وراثياً الموجودة في العينة، (7) تفسير وتحليل النتائج، مبيناً أية شكوك مترافقة مع النتيجة مثل عدم الدقة الإحصائية والعوامل المحددة للطريقة، وغير ذلك (Abdul Kader et al., 2011؛ Holst-Jensen, 2001).

المخطط العام للاختبار: تتبع طرائق الغزلة والكشف وتحديد كمية المواد المعدلة وراثياً بالاعتماد على الـ DNA في عينات المواد الغذائية والعلفية باستخدام تقنيات الـ DNA بالتسلسل التالي: سحب العينات، استخلاص الـ DNA، التضخيم بالـ PCR، الكشف، تحديد الكمية والتقييم العلمي للنتائج (شكل 8). من الواضح أن كل خطوة من هذه الخطوات لها عوامل محددة، لكن المواد المعقدة بشكل كبير ربما تتطلب معاملة أولية بشكل منفصل. يرتبط الاستنتاج النهائي مباشرة بالاختيار المناسب للطرائق الموثقة حسب البروتوكولات المعتمدة عالمياً، وهناك دراسات مرجعية عديدة منشورة في هذا المجال (Anklam et al., 2002؛ Holst-Jensen, 2001؛ Kuiper, 1999؛ Holst-Jensen & Berdal, 2004؛ Kumlehn et al., 2018).



شكل 8. مخطط عام للكشف عن المواد المعدلة وراثياً، يبين الخطوات الرئيسية بدءاً من جمع العينة وحتى الحكم النهائي (Abdul Kader et al., 2011).

Figure 8. General GMO analysis scheme providing the major steps from sample collection until the final assessment (Abdul Kader et al., 2011).

حالياً بشكل موثوق فقط في المختبرات المتخصصة، باستخدام إجراءات قياسية ومضبوطة بشكل كبير. لا تزال أنظمة/طرائق الاختبارات المعتمدة على الـ DNA مكلفة، وتتطلب أجهزة مخبرية معقدة للتشغيل. لكن، ربما تقود التطورات المستقبلية إلى تطوير طرائق بسيطة وأقل كلفة لغرلة الـ DNA حسب احتياجات ومتطلبات السوق، وخصوصاً على خلفية التوفر التجاري لأعداد متزايدة بشكل كبير من المواد المختلفة المعدلة وراثياً. ربما يتطلب استخدام مجموعات شرائط اختبار سريعة لإجراءات الغرلة الأولية، والتي ستخفف العبء على الميزانية الحكومية المحدودة نوعاً ما لمراقبة الغذاء. أخيراً، الميزة الأكثر اقناعاً للطرائق المعتمدة على الـ DNA لكشف المواد المعدلة وراثياً تبقى الطبيعة القوية للـ DNA في إجراءات تحطيم العينة العديدة، معاً مع احتمالية تضخيم الشارة الكبير خلال زمن قصير عندما يكون الـ DNA موجوداً في العينة المختبرة. في المستقبل، سوف يستمر تحليل المواد المعدلة وراثياً باستخدام تكنولوجيا الـ DNA في التطور، وبالجمع مع تقانات جديدة أخرى، على سبيل المثال، ستمكّن أنظمة المكرو والنانو من تحليل سريع يلبي المتطلبات الضخمة لمراقبة الغذاء (Abdul Kader *et al.*, 2011).

السلامة الحيوية (Biosafety)

أثارت التطورات المضطربة للكائنات المعدلة وراثياً مجموعة من التساؤلات حول إطلاقها في البيئة وتحديد آثارها والبحث في التأثيرات السلبية المحتملة على سلامة المستهلك والبيئة. كما أبرزت الزيادة الكبيرة في المساحات المزروعة بالنباتات المعدلة وراثياً إلى الحاجة لتطوير طرائق قياسية سريعة وموثوقة لكشف النباتات والبذور المعدلة وراثياً لتساعد في اختبار ومراقبة التعديل الوراثي الذي يجري على المستوى العالمي. وتوجد العديد من الطرائق التي يمكن تطبيقها لتحديد نوع الكائنات المعدلة وراثياً، حيث أن وجود طرائق لتحديد نوع الكائنات المعدلة وراثياً أمرٌ ضروري وأساسي من أجل الالتزام بأنظمة وقوانين الأمان الحيوي. ولعلّ أهم ما يميز مجال التعديل الوراثي هو الجدول القائم حول أثر الأنواع والمنتجات المعدلة وراثياً على صحة الإنسان والحيوان وعلى البيئة بشكل عام. على الرغم أن الأدلة العلمية ليست حاسمة حتى الآن، ما يزال التخوف قائماً من آثار السمية والحساسية للبروتينات المستخدمة في التعديل الوراثي وخطر مقاومة الأجسام للمضادات الحيوية المستخدمة غالباً كمورثة انتخاب في إنتاج النباتات المعدلة وراثياً والتي تكون جزءاً أساسياً مع المورثة المراد ادماجها في النبات المهندس وراثياً والخطر الناجم عما قد يحدث من هجرة المورثات المحتملة إلى الأقارب البرية والمحاصيل وتقلص في التنوع الحيوي. وهذا موضوع طويل ويحتاج إلى مناقشة عميقة مستقلة لن نستعرضها في هذه الدراسة الموجزة

يجب أن تجرى كل هذه الخطوات بالتفصيل، وفي النهاية تثبت بإجراء تجارب عالمية بجهود مكثفة. تنشر الطرائق المخبرية الإلزامية على أساس أنها تقدم من حيث المبدأ وسائل موثوقة لكشف التعديلات الوراثية في الغذاء والعلف (Abdul Kader *et al.*, 2011).

يوضح شكل 9 مثلاً عن كشف المحفز 35S في عينات فول صويا وذرّة والتي تثبت بأنها معدلة وراثياً وتحتوي على المحفز 35S.



شكل 9. كشف وجود المحفز 35S في عينات صويا وذرّة مختبرة، حيث تظهر حزمة الدنا على هلامية الاغاروز بحجم 123 زوج قاعدي في عينة الشاهد الموجب وكذلك في عينات فول الصويا والذرة المختبرة مما يثبت أن هذه العينات معدلة وراثياً وتحتوي على المحفز 35S (Alassad *et al.*, 2016).

Figure 9. Detection of CAMV 35S promoter in corn and soybean, where 123 bp DNA bands appear on the agarose gel in the positive control sample and in the soya bean and corn samples which confirms that these are GMOs because they contain the 35S promoter (Alassad *et al.*, 2016).

عموماً، تتميز التقنيات المعتمدة على الـ DNA بحساسيتها العالية وقوتها وسرعتها، بحيث يتم اتخاذ الاحتياطات والشروط المسبقة والتصميم التجريبي الدقيق لتجنب وتقادي النتائج السلبية أو الموجبة الخاطئة. حالياً، يبدو أن استخدام تقاع الـ "Real time PCR" أفضل وأنسب نظام تم تطويره لمراقبة الكائنات المعدلة وراثياً ويقدم كشفاً سريعاً وهو نوعي وحساس جداً وكمي موثوق. علاوة على ذلك، لا تستخدم طرائق الاختبار المطورة فقط لكشف الـ DNA المعدل وراثياً، إنما أيضاً لاختبار قوته البيولوجية فيما يخص التفاعلات البيئية المحتملة. في هذا السياق، فإن الانتقال الأفقي للمورثات من الكائنات المعدلة وراثياً إلى بكتيريا الأمعاء مثلاً لا يزال موضع جدل ومناقشات علمية جارية. تقدم مشاريع البحوث الأوروبية التي تعالج هذا الموضوع بشكل موسع، نتائج تقييم مخاطر وافية للتوعية الشعبية. وسوف تمكن البحوث حول مصير قطع مورثات المواد المعدلة وراثياً وتأثيراتها البيولوجية باستخدام تكنولوجيا الـ DNA الجديدة من تقييم مستدام لمخاطر الغذاء والأعلاف المعدلة وراثياً.

إن سرعة وحساسية طرائق الكشف المعتمدة على الـ DNA المستخدمة لتعريف محتوى الغذاء من المواد المعدلة وراثياً سوف تصبح الطريقة المفضلة للغرلة والتحديد الكمي نظراً لمرونتها واقتصاديتهما. ينجز التحديد الكمي الروتيني للمواد المعدلة وراثياً في الغذاء أو المواد الغذائية

Eriksson ؛Craig *et al.*, 2008 ؛Catacora-Vargas *et al.*, 2018)
(Nielsen, 2013 ؛Esther *et al.*, 2019 ؛*et al.*, 2020).

تعريف السلامة الحيوية (الأمان الحيوي): هو التطوير والاستخدام الآمن لمنتجات التقنية الحيوية والتي يتم تأمينها من خلال توفير آليات فعالة لحماية صحة الانسان والحيوان وحماية المنتجات الزراعية والإنتاج الصناعي الآمن وحماية الأنواع النباتية والحيوانية (فلورا وفائونا)، وحماية البيئة من التأثيرات السلبية جراء ممارسة تطبيقات التقنية الحيوية (Gopo, 2001 ؛Chawla, 2002).

بروتوكول قرطاجنة للسلامة الحيوية: في 29 كانون الثاني/يناير 2000، أقر مؤتمر الأطراف في اتفاقية التنوع البيولوجي اتفاقية مُكمّلة للاتفاقية المعروفة باسم بروتوكول قرطاجنة للسلامة الحيوية. يسعى البروتوكول إلى حماية التنوع البيولوجي من المخاطر المحتملة التي تمثلها الكائنات الحية المحورة الناجمة عن التكنولوجيا الحيوية الحديثة. وقد نصّ البروتوكول على صياغة اتفاقية الإخطار المسبق لضمان حصول البلدان على المعلومات الضرورية لاتخاذ القرارات عن علم قبل الموافقة على استيراد تلك الكائنات وإدخالها داخل أراضيها. يشير البروتوكول إلى النهج الاحترازي، ويعيد التأكيد على لغة الحذر التي ينصّ عليها المبدأ 15 من إعلان ريو للبيئة والتنمية. كما نص البروتوكول على إنشاء غرفة تبادل معلومات السلامة الحيوية لتيسير تبادل المعلومات حول الكائنات الحية المحورة ومعاونة البلدان في تنفيذ البروتوكول.

البروتوكول هو عبارة عن معاهدة دولية تحكم تحركات الكائنات الحية المحورة الناتجة عن تجارب التكنولوجيا البيولوجية الحديثة من دولة لأخرى. أصبح البروتوكول سارياً في 11 سبتمبر/أيلول 2003، ويهدف إلى ضمان سلامة التعامل مع الكائنات الحية التي تم تعديلها باستخدام التكنولوجيا الحيوية الحديثة ونقلها واستخدامها. وتعمل الأمم المتحدة للبيئة ضمن شراكة مع مرفق البيئة العالمية واتفاقية التنوع الحيوي لمساعدة الأطراف في بروتوكول قرطاجنة على الوفاء بالتزاماتها بموجب الاتفاق <https://bch.cbd.int/protocol/background>.

المنهج التنظيمي التقييدي للكائنات المعدلة وراثياً في دول الاتحاد الأوروبي

في الاتحاد الأوروبي (EU) تربط اللائحة (EC) رقم 2003/1829 الخاصة بالأغذية المعدلة وراثياً والأعلاف المنتجة من كائن معدّل وراثياً جميع الدول الأعضاء البالغ عددها 27 دولة. تهدف هذه اللائحة إلى ضمان تحقيق إجراءات الترخيص المتعلقة بالأغذية والأعلاف المعدلة وراثياً على مستوى عالٍ من الحماية لصحة الإنسان والحيوان والبيئة.

تتطبق هذه اللائحة بشكل خاص على المنتجات الغذائية والأعلاف ووراداتها، بالاقتران مع اللائحة 2003/1830 بشأن تتبع المنتجات المعدلة وراثياً ووسمها. من ناحية أخرى، تتم زراعة المحاصيل المعدلة وراثياً حسب اختيار الدول الأعضاء عبر التوجيه EC 18/2001/ بشأن الإطلاق المتعمد للكائنات المعدلة وراثياً في البيئة (يشار إليها أحياناً باسم الدليل الإرشادي للزراعة "the Cultivation Directive"، والذي ينص على زراعة المحاصيل والنباتات المعدلة وراثياً بعد إجراء تقييم دقيق للآثار الضارة المحتملة على صحة الإنسان والبيئة (Craig *et al.* ؛Buhk, 2002) ؛*al.*, 2008 ؛Hundleby *et al.*, 2019 ؛Klotz *et al.*, 2002).

قاعدة بيانات الكائنات المعدلة وراثياً المعتمدة

من المهم الإشارة إلى أهمية قاعدة بيانات الكائنات المعدلة وراثياً المعتمدة في مجال الأمان الحيوي التي أنشأها International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA) وهي قاعدة بيانات سهلة الاستخدام لموافقات المحاصيل المعدلة وراثياً المعتمدة للاستخدام العام، وذلك لتوثيق الموافقات العالمية للمحاصيل المعدلة وراثياً. تبين قاعدة البيانات: اسم الحدث، المحاصيل، الصفات، المطور، سنة الموافقة على الزراعة، الأغذية/الأعلاف، الاستيراد، والمعلومات ذات الصلة، حيث يتم الحصول على الملفات من مواقع الويب التنظيمية الحكومية ذات المصادقية ومراكز تبادل معلومات السلامة الأحيائية.

كما تبين قاعدة البيانات أحداث المحاصيل المعدلة وراثياً التي تمت الموافقة عليها للتسويق/الزراعة والاستيراد (الغذاء والأعلاف)، وتمثل الإدخالات في قاعدة البيانات غالبية أحداث المحاصيل المعدلة وراثياً المعتمدة في جميع أنحاء العالم، بناءً على وثائق القرار باللغة الإنجليزية المتاحة للجمهور لكل بلد معتمد والمقالات العلمية التي راجعها المتخصصون، وغرفة تبادل معلومات السلامة الحيوية The Biosafety Clearing-House (BCH) التابعة لاتفاقية التنوع الحيوي، وهي بمثابة آلية تم إنشاؤها بموجب بروتوكول قرطاجنة للسلامة الحيوية لتيسير تبادل المعلومات حول الكائنات الحية المحورة ومعاونة الأطراف على الوفاء بالتزاماتهم بموجب البروتوكول. تساعد في الوصول إلى باقة متنوعة من المعلومات العلمية والتقنية والبيئية والقانونية ومعلومات بناء القدرات باللغات الرسمية الست للأمم المتحدة من جميع أنحاء العالم <https://bch.cbd.int>.

عند استخدام قاعدة البيانات، ينبغي ملاحظة أن الموافقة على المحاصيل المعدلة وراثياً تختلف من بلد إلى آخر ولكن جميع اللوائح تستند إلى نفس الهدف الذي يجعل كلّ محصول معدّل وراثياً آمناً لصحة الإنسان أو الحيوان والبيئة.. تتضمن قاعدة البيانات أيضاً الأحداث المتوقفة لأغراض التسجيل، وتعدّ قاعدة بيانات الموافقة للمحاصيل

المعدلة وراثياً واحدة من أهم مصادر المعلومات حول الموافقات على المحاصيل المعدلة وراثياً (ISAAA 2020a).

أهداف الكشف عن التعديل الوراثي

السؤال الذي يطرح نفسه للوهلة الأولى هو: من يحتاج إلى الكشف عن المواد المعدلة وراثياً، ولماذا؟

تشمل الجهات التي تتطلب الكشف عن وجود المواد المعدلة وراثياً الآتي:
- منتجوا المواد المعدلة وراثياً، وذلك لتأكيد نقاوة منتجاتهم وفصلها عن المواد الأخرى، وكذلك من أجل تتبع التعديلات الوراثية في برامج تربية المحاصيل.

- شركات إنتاج البذور وصناعة العلف والغذاء، وذلك لتأكيد نقاوة منتجاتهم وفصلها عن المواد الأخرى وكذلك من أجل التأكيد على الالتزام بالقوانين والتشريعات النافذة.

- السلطات التنفيذية المعنية وذلك للأسباب التالية:

أ. لمراقبة الغذاء والالتزام بتطبيق التشريعات والقوانين النافذة.

ب. تنفيذ قوانين وتشريعات وضع بطاقات البيان واللصاقات والتأكد من عدم وجود بطاقات بيان غير صحيحة والكشف الدقيق لمحتويات المادة المختبرة.

ج. من أجل سحب منتجات معينة مخالفة من السوق مثلاً في حال سحب ترخيص منتج ما من السوق.

د. حماية التنوع الحيوي (مثلاً، محاصيل بلد المنشأ).

هـ. لأسباب السلامة الحيوية حيث يعتبر تداول المواد المعدلة وراثياً سليماً مثل نظيراتها التقليدية.

و. من أجل كسب ثقة المستهلك: كثير من العامة لديهم ثقة قليلة بالمواد المعدلة وراثياً.

ز. المخابر المتخصصة: لتقديم الخدمات للمجتمع.

عموماً، عند الأخذ بالحسبان ملائمة طرائق الكشف، فإنه يشترط وضوح الهدف من الكشف المراد إجراؤه. حسب الهدف يمكن إتباع طرائق ذات دقة أكثر، وأيضاً حسب الهدف المنشود، يمكن اتباع إجراءات مختلفة حسب النتائج المتوقعة. وهنا فإن الأسئلة التي يجب طرحها تشمل:

- ما هو الهدف المقصود من الكشف عن المواد المعدلة وراثياً؟
- في أي إطار - قانوني أو غير ذلك - يتناسب هذا الكشف المتخصص؟

- هل هناك أي متطلبات تحدد مستوى معين من الكشف ينبغي أن يوجه له؟

- ما هو تأثير النتائج الايجابية/ السلبية؟

وللتوضيح، سنناقش أربع حالات مميزة كالآتي:

1. عندما يكون مسموحاً بالإدخال التجاري للعضوية المعدلة وراثياً، فإنه يمكن أن يكون مناسباً مراقبة جودة المنتج المعروض مع المواصفات المطابقة، مثلاً إذا كان من المفترض أن يحوي المنتج نمط معين من التحوير بالنسبة المئوية المحددة من البذور، عندئذ فإنه يجب إتباع الطريقة التي تمكن من تعريف الصنف المحور بالإضافة إلى تحديد الكمية النسبية المحددة لإثبات أن الشحنة المحددة تحوي النسبة المسموح بها. أما جوانب الجودة والنقاوة فإنها تحدد حسب القانون والنسب المسموح بها ينبغي مراقبتها. فإذا كان المنتج لا يلائم المعايير المطلوبة المحددة مسبقاً، عندئذ يمكن أن يستخدم لاستخدامات أخرى ويباع كنوعية أخرى أو يتلف.

2. تطلب بعض الدول بطاقة بيان محددة للمنتجات المعدلة وراثياً المسموح بها. لكي يكون ذلك عملياً، فإن بعض الدول حددت مدى حدود المستويات الدنيا للوجود العرضي للمواد المعدلة وراثياً المرخصة. في مثل هذه الحالة، فإن الكشف يمكن أن يركز على تحديد طبيعة المادة المعدلة وراثياً بالإضافة إلى نسبة التعديل في حال كون المادة المعدلة وراثياً مرخصة لمقارنة فيما إذا تتطابق الحدود المشار لها مع بطاقة البيان حسب المتطلبات القانونية.

3. عند وجود تشريع يحدد موافقات مسبقة قبل إجراء أي نشاط بالكائنات المعدلة وراثياً، عندئذ تتبع آثار وجود الكائنات المعدلة وراثياً بالإضافة إلى تحديد ما إذا كانت مرخص بها أم لا، سيكون الأساس لتحديد المطابقة حسب التشريع القانوني. هذا سيكون فقط ذو معنى عند وجود تشريع نافذ، بينما عدم وجود تشريع، فإن هذا الكشف سيكون ليس ذو أهمية خاصة. علاوة على ذلك، هذا يمكن فقط أن يكون عملياً عندما يكون ذلك النظام القانوني يقدم طريقة لترخيص الكائنات المعدلة وراثياً ما لم يكن مقبولاً، لأن أي آثار ستؤدي إلى رفض أو إعادة توجيه لاستخدامات معينة. ينبغي أن يكون التقاوت المسموح حسب المعايير الدولية مقيماً (مدروساً) بشكل جيد قبل وضع هذا التشريع، وخصوصاً فيما يتعلق بالمواد المسموح بها في بلدان أخرى وليس بعد مسموح به في البلد حيث سيجري اختباره.

4. في حالات الطوارئ أو عندما تكشف معلومات تتطلب أن يسحب المنتج عندئذ تسهل وسائل الكشف تحديد المادة المتعلقة بالمنتج المقصود. هذه الوسائل تستطيع دعم إدارة قنوات الإنتاج المختلفة.

من جهة ثانية، إن وجود طرائق موثوقة للكشف النوعي والكمي للكائنات المعدلة وراثياً ضروري ومطلوب من أجل الالتزام بتنظيمات وقوانين الأمان الحيوي. فعلى سبيل المثال، في الاتحاد الأوروبي، يتم التحكم وبشكل صارم باستخدام تكنولوجيا المورثات في كل مراحل السلسلة الغذائية بدءاً من البحوث والتجارب الحقلية إلى التسويق التجاري للمنتج النهائي كالغذاء. هناك بعض التوجيهات والتشريعات لمجلس الاتحاد

المعدلة وراثياً لإجراءات استشارية شاملة قبل السماح بها. السلطات المخولة المسؤولة في الولايات المتحدة هي: مركز الغذاء والسلامة والتغذية القياسية (CFSAN) ومركز الطب البيطري (CVM) وهيئة الغذاء والدواء (FDA). وبالاعتماد على المعلومات المقدمة من قبل صاحب الطلب، يتم تقييم سلامة المنتج الجديد قبل السماح بتسويقه سواء أكان لتغذية الإنسان أو الحيوان (Kuiper *et al.*, 2003).
عموماً فإنه يتم تحليل وتقييم أخطار كل نبات أو حيوان أو عضوية جديدة معدلة وراثياً كل حالة على حدة لضمان الاستخدام الآمن وتطوير التكنولوجيا الوراثية ولمنع أية أضرار محتملة لصحة الإنسان والحيوان والبيئة والتي يمكن أن تنشأ من استخدام الكائنات المعدلة وراثياً. حسب المبدأ الاحترازي، تستخدم طريقة الخطوة خطوة عند توسيع استخدام المنتجات المعدلة وراثياً، حيث أنه على الرغم من فوائدها العديدة، فإن الكائنات المعدلة وراثياً ذات أخطار محتملة تترافق معها. أغلبية هذه المخاطر المحتملة (تأثيرات على صحة الإنسان والحيوان وتأثيرات على البيئة يمكن تغطيتها في مقال منفصل) هي مشتركة في كل الدول والمجتمعات.

الأوروبي والتي تنظم مراحل التطوير والإنتاج للكائنات المعدلة وراثياً، مثل: الدليل التوجيهي للمجلس Council Directive 2001/18/ EC والتشريع Regulation (EC) 1829/2003 وكذلك التشريع Commission Regulation (EC) 65/2004 والتشريع Commission Regulation (EC) 641/2004 وغيرها.
بالإضافة إلى تقييم السلامة الشامل للكائنات المعدلة وراثياً، فإن الاتحاد الأوروبي يطلب أيضاً تعليم ووضع بطاقات بيان بشكل إلزامي على كل الأغذية التي تحوي مواد معدلة وراثياً. علاوة على ذلك، فقد حددت مفوضية الاتحاد الأوروبي عتبة بمقدار 1% للتلوث غير المقصود بالأغذية غير المعدلة من الكائنات المعدلة وراثياً المسموح بها في دول الاتحاد. لكن حتى الآن، ليس هناك مطلب بوضع بطاقات البيان على الأعلاف الحيوانية. في اليابان، يسمح بنسبة 5% بالنسبة للصويا والذرة، هذا وبالإضافة إلى إلزامية وضع بطاقات البيان، فإن وزارة الصحة ووزارة العمل والشؤون الاجتماعية أعلنت مطلب إجراء اختبار صحي شامل للمحاصيل المعدلة وراثياً، بينما في الولايات المتحدة الأمريكية، لا تعلم المنتجات ولا المحاصيل المعدلة وراثياً. لكن، يجب أن تخضع الأصناف

Abstract

Ali Basha, N.M. and A.M. Abdul Kader. 2022. Genetically Modified Crops, Production, Detection Methods and its Biosafety Implications: A Scientific Review. Arab Journal of Plant Protection, 40(3): 260-279. <https://doi.org/10.22268/AJPP-40.3.260279>

Ensuring food security and nutrition is critical for all countries in order to overcome the problems of hunger and malnutrition, taking into consideration the various current challenges of high population rate, social and political turmoil, and degradation of natural resources, forced migration and human disease pandemics. Agricultural biotechnology contributes in enhancing agricultural productivity, food security, and livelihoods. 25 years passed since the world introduced and embraced biotech crops in 1996. Such improved genetically modified (GM) crop varieties have many useful traits such as insect resistance, herbicide tolerance, resistance to biotic and abiotic stresses, in addition to improved nutrition value, and by adopting stringent science- scrutiny and safety measures. In this context, the Biosafety Cartagena Protocol was approved to ensure the safe handling, transfer and use of living organisms that have been modified using modern biotechnology. Socio-economic and environmental benefits have been documented by credible and independent agencies around the world. Therefore, products derived from agricultural biotechnology, especially those used to manage agricultural pests, have become one of the world fastest growing agricultural trade commodities, providing food, feed, clothing, and eco-friendly biofuels. Not to mention the development of the genome editing technology using CRISPR/Cas9, which is another step closer to developing and cultivating new varieties of agricultural crops through the use of accurate, efficient and affordable techniques for genome editing. On the other hand, researchers have developed rapid and standardized methods for the detection of genetically modified plants and seeds to facilitate testing and monitoring genetic modification taking place at the global level in order to comply with the biosafety regulations and laws.

Keywords: Biosafety, biosafety clearing-house (BCH), Cartagena protocol on biosafety, genetic engineering, genetically modified crops, GMCs, GMOs.

Affiliation of authors: N.M. Ali Basha and A.M. Abdul Kader*, Biotechnology Department, General Commission for Scientific Agricultural Research (GCSAR), Damascus, Syria. *Email of corresponding author: ahmadabdulkader2@gmail.com

References

- Abdul Kader, A.M. 2003. GMO detection methodologies. Pages 85-116. In: Proceedings of the "Regional Workshop on Biosafety in Agricultural Biotechnology applications in Syria. A.M. Abdul Kader (ed.). Damascus, 30 August - 4 September 2003.
- Abdul Kader, A.M., G. Abou Sleymane, F. Khatib, J. Sakr and M. Baum. 2011. Laboratory manual for the training course on detection of genetically modified organisms and biosafety for food and agriculture. 19-

24 June 2010, ICARDA, Aleppo, Syria. 151 pp., FAO, TCP/RAB 4232.

<http://www.fao.org/biotech/biotech-news/en/>

- Alassad N., H. Alzubi and A. Abdul Kader. 2016. Data in support of the detection of Genetically Modified Organisms (GMOs) in food and feed samples. Data in Brief, 7: 243-252.

<https://doi.org/10.1016/j.dib.2016.02.035>

- Aldemita, R.R., I.M. Reaño, R.O. Solis and R.A. Hautea.** 2015. Trends in global approvals of biotech crops (1992-2014). *GM Crops Food*, 6: 150-166. <https://doi.org/10.1080/21645698.2015.1056972>
- Ali Bacha, N.M., M. Battha and A.M. Abdul Kader.** 2014. Genetic engineering of apple (*Malus domestica* Borkh.) for resistance to fungal diseases using *g2ps1* gene from *Gerbera hybrida* (Asteraceae). *International Journal of Horticultural Science*, 20 (1-2): 15-23.
- Ali Bacha, N. M., M. Battha, A.M. Abdul Kader and F. Hassan.** 2015. Advances in using genetic transformation to produce apple cultivars and rootstocks (*Malus domestica* Borkh.) resistant to fungal and bacterial diseases: A scientific review. *Arab Journal of Plant Protection*, 33(1): 1-35.
- Anklam, E., F. Gadani, P. Heinze, H. Pijnenpurg and G. Van den Eede.** 2002. Analytical methods for detection and determination of genetically modified organisms in agricultural crops plant-derived food products. *European Food Research and Technology*, 214(1): 3-26.
- Arvanitoyannis, I.S.** 2003. Genetically engineered/modified organisms in foods. *Applied Biotechnology, Food Science and Policy* 1(1): 3-12.
- Aven, T.** 2016. Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1): 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
- Azadi, H. and P. Ho.** 2010. Genetically modified and organic crops in developing countries: A review of options for food security. *Biotechnology Advances*, 28(1): 160-168. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.003>
- Barton, F.H, C. Lawrence, F. Prabhavathi, P.B. Gilbert, P.J. Hotez, S. Rao, M.R. Santos, H. Schuitemaker, M. Watson and A. Arvin.** 2020. Prospects for a safe COVID-19 vaccine. *Science Translational Medicine*, 12: 568. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.abe0948>
- Bawa, A.S. and K.R. Anilakumar.** 2013. Genetically modified foods: safety, risks and public concerns—a review. *Journal of Food Science Technology*, 50: 1035-1046. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0899-1>
- Bernice, B.** 2012. *The Biotechnology Debate*. Springer. 336 pp.
- Brookes, G. and P. Barfoot.** 2013. The global income and production effects of genetically modified (GM) crops 1996-2011. *GM Crops Food*, 4(1): 74-83. <https://doi.org/10.4161/gmcr.24176>
- Buhk, H.-J.** 2002. Genetically modified food and feed; regulations, recent developments and open questions. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* : 11 : 177-178.
- Catacora-Vargas, G., R. Binimelis, A.I. Myhr and B. Wynne.** 2018. Socio-economic research on genetically modified crops: a study of the literature. *Agriculture and Human Values*, 35: 489-513. <https://doi.org/10.1007/s10460-017-9842-4>
- Chawla, H.S.** 2002. Introduction to Plant Biotechnology. Pages 225-247. Science. Publishers, Inc. USA, UK.
- Craig, W., M. Tepfer, G. Degrassi and D. Ripandelli.** 2008. An overview of general features of risk assessments of genetically modified crops. *Euphytica*, 164: 853-880. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9643-8>
- Cremer, J.** 2021. Lost year? Not for GMOs! Cornell alliance for science. <https://allianceforscience.cornell.edu/blog/2021/03/lost-year-not-for-gmos/>
- Delobel, C.** 2009. Introduction on the general procedures for GMO detection. JRC Institute for Health and Consumer Protection (IHCP). FAO training course, Ispra, Italy.
- Economidis, I., D. Cichoka and J. Högela.** 2010. A decade of EU-funded GMO research (2001-2010): © European Union, 2010. <https://drive.google.com/file/d/0B7hhP5QasNtsX1AWV2YzNnlrZTA/view>
- ENGL.** 2019. Detection of food and feed plant products obtained by new mutagenesis techniques. Available online at: <https://gmo-crl.jrc.ec.europa.eu/doc/JRC116289-GE-report-ENGL.pdf>
- Eriksson, D., R. Custers, K. Edvardsson Björnberg, S.O. Hansson, K. Purnhagen, M. Qaim, J. Romeis, J. Schiemann, S. Schleissing, J. Tosun and R.G.F. Visser.** 2020. Options to reform the European Union legislation on GMOs: scope and definitions. *Trends in Biotechnology*, 38(3): 231-234. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2019.12.002>
- Esther, J.K, D.C.M. Glandorfb, T.W. Prinsa and R.G.F. Visserca.** 2019. Food and environmental safety assessment of new plant varieties after the European Court decision: Process-triggered or product-based? *Trends in Food Science & Technology*, 88: 24-32.
- Gong, C.Y. and T. Wang.** 2013. Proteomic evaluation of genetically modified crops: current status and challenges. *Frontiers in Plant Science*, 4 (article 41). <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00041>
- Gopo, J. M.** 2001. Biosafety and trade issues for developing Countries. ICTSD Workshop on Biotechnology and Biosafety, Bellevau, Switzerland 18-10 July 2001.
- Hilbeck, A., R. Binimelis, N. Defarge, R. Steinbrecher, A. Székács, F. Wickson, M. Antoniou, Ph.L. Bereano, E.A. Clark, M. Hansen, E. Novotny, J. Heinemann, H. Meyer, V. Shiva and B. Wynne.** 2015. No scientific consensus on GMO safety. *Environmental Sciences Europe*, 27 (article 4). <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0034-1>
- Holst-Jensen, A. and K.G. Berdal.** 2004. The modular analytical procedure and validation approach and the units of measurement for genetically modified materials in foods and feeds. *J AOAC Int.*, 87: 927-936.
- Holst-Jensen, A.-J.** 2001. GMO detection methods and validation. www.entranfood.com/workinggroups/wg4TOA/GMO%20detection

- Huesing, J.E., D. Andres, M.P. Braverman, A. Burns, A.S. Felsot, G.G. Harrigan, R.L. Hellmich, A. Reynolds, A.M. Shelton, R.W. Jansen van, E.J. Morris and J.N. Eloff. 2016. Global Adoption of Genetically Modified (GM) Crops: Challenges for the Public Sector. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 64(2): 394–402.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05116>
- Hundleby, P.A.C. and W.A. Harwood. 2019. Impacts of the EU GMO regulatory framework for plant genome editing. *Food Energy Secur.* 8: 1–8.
<https://doi.org/10.1002/fes3.161>
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). 2020a. GM approval database. Available Online at:
<http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/default.asp>
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). 2020b. ISAAA Brief 55-2019: Executive summary. Available Online at: <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp>
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). 2020c. COVID-19 Treatment Efforts Using Plant Technologies. Pocket K No. 58: COVID-19 Treatment Efforts Using Plant Technologies.
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). 2020d. Crop Biotech Update, July 22, 2020 Issue.
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). 2020e. Crop Biotech Update, 13 May 2020 Issue.
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). 2021f. Breaking Barriers with Breeding: A Primer on New Breeding Innovations for Food security. No. 56. ISAAA: Ithaca, NY.
- Kamle, M., Kumar, P., J.K. Patra and V.K. Bajpai. 2017. Current perspectives on genetically modified crops and detection methods. *3 Biotech* 7 (article 219).
<https://doi.org/10.1007/s13205-017-0809-3>
- Klotz, A., J. Mayer and R. Einspanier. 2002. Degradation and Possible Carry Over of Feed DNA Monitored in Pigs and Poultry. *European Food Research and Technology*, 214(4): 271–275.
<https://doi.org/10.1007/s00217-001-0444-3>
- Kuiper, H.A., E.J. Kok and J.H. Engel. 2003. Exploitation of molecular profiling techniques for GM food safety assessment. *Current Opinion in Biotechnology*, 14(2): 238–243.
[https://doi.org/10.1016/s0958-1669\(03\)00021-1](https://doi.org/10.1016/s0958-1669(03)00021-1)
- Kuiper, H.A. 1999. Summary report of the ILSI Europe workshop on detection methods for novel food derived from genetically modified organisms. *Food Control* 10(6): 339–349.
[https://doi.org/10.1016/s0956-7135\(99\)00072-9](https://doi.org/10.1016/s0956-7135(99)00072-9)
- Kumlehn, J., J. Pietralla, G. Hensel, M. Pacher and H. Puchta. 2018. The CRISPR/Cas revolution continues: From efficient gene editing for crop breeding to plant synthetic biology. *Journal of Integrative Plant Biology*, 60: 1127–1153.
<https://doi.org/10.1111/jipb.12734>
- Li, Y., Y. Peng, E.M. Hallerman and K. Wu. 2014. Biosafety management and commercial use of genetically modified crops in China. *Plant Cell Reports*, 33: 565–573.
<https://doi.org/10.1007/s00299-014-1567-x>
- Lombardo, L. and M.S. Grando. 2020. Genetically modified plants for nutritionally improved food: a promise kept? *Food Reviews International*, 36: 58–76.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1613664>
- Lubeck, M. 2001. Detection of genetically modified plants—methods to sample and analyse GMO content in plants and plant products.
<http://www.sns.dk/erhvogadm/biotek/detection.htm>
- Maghari, B.M. and A.M. Ardekani. 2011. Genetically modified foods and social concerns. *Avicenna Journal of medical biotechnology*, 3(3): 109–117.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3558185/>
- Mbabazi, R., M. Koch, K. Maredia and J. Guenther. 2021. Crop Biotechnology and Product Stewardship. *GM Crops & Food*, 12(1): 106–114.
<https://doi.org/10.1080/21645698.2020.1822133>
- Nandeshwar S.B. 2015. Genetically modified crops. Chapter 27. In: *Plant Biology and Biotechnology*. Vol. II. B. Bahadr, M.V. Rajam, L. Sahijram and K.V. Krishnamurthy (eds.). *Plant Genomics and Biotechnology*. Springer.
- Negawo, A.T., M. Aftabi, H.-J. Jacobsen, I. Altosaar and F.S. Hassan. 2013. Insect resistant transgenic pea expressing cry1Ac gene product from *Bacillus thuringiensis*. *Biological Control*, 67(3): 293–300.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.09.016>
- Nelson, G.C. 2001. Traits and techniques of GMOs. Pages 7–13. In: *Genetically Modified Organisms in Agriculture*. G.C. Nelson (ed.) Academic Press, San Diego.
- Nicholl, D.S.T. 2002. An introduction to genetic engineering. Second edition. Cambridge University Press.
- Nielsen, K.M. 2013. Biosafety Data as Confidential Business Information. *PLoS Biol* 11(3): e1001499.
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001499>
- Nosowitz, D. 2017. Soy is set to become our biggest crop by acreage. But what are we doing with this soy?. Available Online at:
<https://modernfarmer.com/2017/12/soy-set-become-biggest-crop-acreage-soy/>
- Phillip, McClean. 1998a. Cloning and Cloning vectors.
<http://www.ndsu.edu/pubweb/~mcclean/plsc731/cloning/cloning2.htm>
- Phillip McClean. 1998b. Agrobacterium-mediated Transformation.
<http://www.ndsu.edu/pubweb/~mcclean/plsc731/transgenic/transgenic2.htm>
- Querci, M., M. Jermini and G. Van den Eede (eds.). 2006. Training Course on “The analysis of Food samples for the presence of genetically modified organisms”. User Manual. DG Joint Research Center, Institute for Health and Consumer Protection, European Commission, Luxemburg: Office for Official publication of the European communities. 229 pp.

- Raman, R.** 2017. The impact of genetically modified (GM) crops in modern agriculture: a review. *GM Crops Food*, 8: 195–208.
<https://doi.org/10.1080/21645698.2017.1413522>
- Raybould, A.** 2006. Problem formulation and hypothesis testing for environmental risk assessments of genetically modified crops. *Environmental Biosafety Research*, 5(3): 119-125.
<https://doi.org/10.1051/ebr:2007004>
- Romeis, J., S.E. Naranjo, M. Meissle and A.M. Shelton.** 2019. Genetically engineered crops help support conservation biological control. *Biological Control*, 130: 136-154.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.10.001>
- Salisu, I.B., A.A. Shahid, A. Yaqoob, Q. Ali, K.S. Bajwa, A.Q. Rao and T. Husnain.** 2017. Molecular approaches for high throughput detection and quantification of genetically modified crops: A Review. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1670.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01670>
- Savary, S., L. Willocquet, S.J. Pethybridge, P. Esker, N. McRoberts and A. Nelson.** 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3: 430-439.
<https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
- Shahid N., M.Z. Iqbal and R. Sajid.** 2019. Molecular identification of Genetically Modified Crops for biosafety and legitimacy of transgenes. *Gene Editing - Technologies and Applications*. Intec pen books 1-18.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.81079>
- Sonnino, A.** 2010. Agricultural biotechnology, meeting the needs: policies and priorities. *Advanced Workshop on Regional Capacity Building for GMO Detection and Biosafety for Food and Agriculture*, Damascus, 16 – 17 June 2010.
- Stuart, J.S.** 2017. Genetically modified crops, regulatory delays, and international trade. *Food and Energy Security*, 6(2): 78–86.
<https://doi.org/10.1002/fes3.100>
- Suchitra, K. and A. Sher.** 2013. Genetically modified crops: Detection strategies and biosafety issues. *Gene*, 522(2): 123-132.
<https://doi.org/10.1016/j.gene.2013.03.107>
- Turnbull, C., M. Lillemo and T.A.K. Hvoslef-Eide.** 2021. Global regulation of genetically modified crops amid the gene edited crop boom—a review. *Frontiers in Plant Science*, 12: 630396.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.630396>

Received: April 7, 2021; Accepted: May 2, 2022

تاريخ الاستلام: 2021/4/7؛ تاريخ الموافقة على النشر: 2022/5/2