الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المنارة
كلية الصيدلة

الخرافات والحقائق حول الأطعمة المعدلة وراثيا

دراسة أُعدّت لنيل الإجازة في الصيدلة والكيمياء الصيدلية

بإشراف:

الدكتور منهل يوسف

إعداد الطالبة

آلاء بشير حمّاد

العام الدراسي

2022–2021

❖ **الاهداءات:**

الى درعي الذي به احتميت....

ركيزة عمري و مصدر اماني و كبريائي و كرامتي....

من يحملني في قلبه دائماً....

صاحب التشعب الامتن في داخلي....

من اتكأ عليه روحا إلى روح إلى حبيبي....

داعمي و سندي و بطل رحلتي .....

إلى الجذع الثابت و ضلع قلبي المتين .....

انت المميز و الأول و اللازم و المهم....

الى وحيدي بالشعور.....

الكرم

إلى الرجل الطاهر الكريم الذي صنع طفولتي و مستقبلي بيديه....

إلى من احرص ألا اكتب اسمي إلا مسنودا على اسمه....

إلى قدوتي و مشجعي الدائم....

إلى أعظم و اعز رجل في الكون ....

ملاكي الحارث وصاحب الفضل العظيم.....

ابي

إلى من زرادت حلمي اصرارك....

إلى من تعلمت منها معنى الصبر و الاجتهاد و النجاح...

الى من حاكت سعادتي منسوجة بخيوط من قلبها....

صاحبة الفضل العظيم....

امي

إلى ملاذي الآمن....

إلى من هم نصف اب ، نصف صديق و أعظم نعم الحياة....

الروح التي أحيا بها من اشتد بهم عضدي....

اخوتي ....

امجد ، ينال

إلى من حظيت بهم كنزا و نعمة لا تعوض ....

إلى هديتي من السماء من لا يطيب العيش بدونهم ولا تحلو الحياة الا معهم....

عمي زكريا ، خالتي ناهد

نغم ، عزيز ، يحيى ، صبا

إلى ملائكتي....

احمد ، ايمي ، يوسف ، سيلار

إلى الركن اللطيف من عالمي ....

ملجأ روحي....

إلى الذين لا تبدلهم الحياة ولا يعوض مكانهم احد ....

إلى من هم الأقرب لقلبي ....

من رأيت نجاحي في قلوبهم قبل اعينهم....

الى ذهب العمر....

هيا سعد , نورا ديبو, رنيم حماد

ميرنا حماد, نيفين الضرف , جوى ملوك

اليسار سعد , سدرة ملا

إلى قطعة السكر ، ضلعي الثابت الذي لا يميل....

إلى من شاركتني الحياة بحلوها و مرها إلى قمري ....

مصدر تفاؤلي و توأم روحي....

لين علي

الى من لازمت خطواتي خطواتها جناحي و سندي ....

غيـم يرافقني طيلة عمري النور اللطيف في ايامي....

جودي شاهين

إلى شبيهة افكاري....

من تقاسمنا شقاوة الطفولة و سهرات الصبا....

قريبة قلبي و دمي....

زينب حماد

رعى الله رفيق الروح الذي يراهن على نجاتي و نجاحي ....

من يذكرني دائما بمدى قوّتي و استطاعتي....

ذلك الذي لا يحبطني و يؤمن بشجاعتي مهما ضعفت رفيق ....

لا يغادرني و ان غادرت نفسي....

اصدقاء المواقف لا السنين الى من حبهم ثابت في قلبي....

تالا البري , هيا سعيد ,روى محلا

لجين شاهين

إلى من لم تنجبهم امي بل انجبتهم لي الايام ....

إلى من تشاركت معهم تفاصيل هذه الرحلة إلى من تحمّلت ايامي بوجودهم الى جميلاتي ....

كنانة علي، لين حكمية ، زينب جعفر

سالي اسعد ، اليسا الخير، آية علي

مرنا ميهوب، نور حمّود

بأي لغة شأشكرك وبأي ثناء أتقدم لك به . . . .

إلى من ساندتني و أكرمتني بلطفها وعطائها . . . .

نور سخطه

إلى من تكرم بالإشراف على مشروعي....

إلى من له الفضل في نصيحتي و مساعدتي له مني جزيل الشكر و الاحترام....

الدكتور منهل يوسف

❖ **الملخص:**

هناك جدل حول تطوير واستهلاك المحاصيل المعدلة وراثيا. وفقاً للمؤيدين، فإن مناهج البيولوجيا الجزيئية وأدوات الهندسة الوراثية هي حلول واقعية لنقص الغذاء لسكان العالم الذين يتزايد عددهم باستمرار. الغرض الرئيسي من هذا المشروع هو مراجعة تأثير المنتجات المعدلة وراثياً على صحة الإنسان والحيوان والبيئة. لا يزال الناس يرفضون المحاصيل المعدلة وراثياً ليس فقط بسبب مخاوف تتعلق بالسلامة، ولكن أيضاً لأسباب أخلاقية.

ارتبطت السمية والحساسية ونقل الجينات الأفقي المحتمل (HGT) إلى البيئة أو إلى الأنواع الأخرى بتسويق المنتجات المعدلة وراثياً. علاوة على ذلك، فإن البيانات النادرة المتوفرة حول الآثار طويلة المدى لاستخدام المحاصيل المعدلة وراثياً هي مصدر قلق معارض آخر. ومع ذلك لم يثبت العلم أي ضرر من استخدام المحاصيل المعدلة وراثياً حتى الآن، ولكنه، بدلاً من ذلك أبلغ عن العديد من الفوائد التي تنتج عن تسويقها، مثل الفوائد الاقتصادية والبيئية والصحية لعامة الناس. تتم مناقشة التشريعات والسياسات المتعلقة بمعايير وضع العلامات على المنتجات المعدلة وراثياً. للتغلب على تحديات الأمن الغذائي الناشئة، يعتبر النظر في المعلومات العلمية الجيدة أمراً ضرورياً بدلاً من ترك القضية والانتقال فقط نحو المناقشة الأخلاقية. ومن ثم، فإن تحليل المخاطر والفوائد ضروري.

❖ **فهرس الأشكال:**

Figure 1:النسب المئوية لمحاصيل التكنولوجيا الحيوية الرئيسية في عام 2017..... 2
Figure 2:تطوير المعايير والتوصيات للمنتجات الناتجة عن التكنولوجيا الحيوية. 3
Figure 3:الاعتناء الانتقائي للبندورة..... 7
Figure 4:التعديل الجيني من النمطين سيس وترانس 9
Figure 5:توضيح لطريقتين رئيستين للتعديل الجيني:1-إضافة الجينات. 2-إسكات الجينات. 15
Figure 6:تطوير لقاحات صالحة للأكل..... 24

❖ **فهرس الجداول:**

جدول1 :مسافات العزل المطلوبة للمحاصيل الرئيسية الأربعة المعدلة وراثياً..... 11
جدول2: بعض الطرق الاكثر شيوعاً لتحديد الحساسية..... 13
جدول 3:التقوية الحيوية للمحاصيل المعدلة وراثياً..... 21
جدول 4:المحاصيل الأكثر صحة التي تم الحصول عليها من خلال GE. 22

الفهرس

المقدمة 1

الإطار التشريعي للمحاصيل المعدلة وراثيا 3

الإطار التنظيمي للاتحاد الأوروبي للكائنات المعدلة وراثياً 5

أساطير وحقائق المحاصيل المعدلة وراثياً 6

دراسات السلامة البيئية 9

نقل الجينات الأفقي(HGT) 11

دراسات الحساسية 12

دراسات السمية 13

تطبيق الكائنات المعدلة وراثياً على الزراعة وإنتاج الغذاء 15

النضج المتأخر 16

الحماية من الحشرات والتسامح مع مبيدات الأعشاب 17

النباتات المقاومة للفيروسات 18

مقاومة المحاصيل الفيزيائية والكيميائية 19

تحسين التغذية 19

الغذاء الوظيفي: لقاحات صالحة 23

مستقبل المنتجات المعدلة وراثياً 24

الاستنتاجات 26

المراجع 27

المقدمة

كان أحد إنجازات الصحة العامة الملحوظة في التاريخ الحديث هو تسارع إنتاج الغذاء العالمي في العقود الأخيرة. أدت الثورة الخضراء في الستينيات من القرن الماضي إلى ارتفاع محاصيل الحبوب الأساسية بشكل كبير لتغطية متطلبات السعرات الحرارية لعدد متزايد من السكان في جميع أنحاء العالم. حفزت الابتكارات التكنولوجية جزئياً هذا الإنجاز، لا سيما إدخال الأسمدة الكيماوية الاصطناعية الجديدة وأنواع مبيدات الآفات في الأربعينيات من القرن الماضي، وتطوير أصناف حبوب عالية الغلة، وتمكين العمالة الزراعية، واعتماد ممارسات عالية الإنتاجية، بما في ذلك الزراعة الأحادية.

لحسن الحظ، لا يزال سوء التغذية أحد عوامل الخطر الرئيسية للعواقب الصحية والوفاة على مستوى العالم. تكشف الأبحاث الحديثة أن ملياري شخص يعانون من نقص في مغذٍ واحد أو أكثر، وأن ما يقرب من 820 مليون شخص يعانون من الجوع، وحوالي 26.4٪ من سكان العالم يعانون من انعدام الأمن الغذائي المعتدل والشديد. أخيراً، تشير أحدث التقارير التحليلية المتوفرة إلى أن نقص التغذية مرتبط بوفاة 3 ملايين طفل سنوياً أو نصف جميع وفيات الأطفال في العالم. بينما نتطلع إلى الأمام، نواجه أحد أكبر تحديات القرن الحادي والعشرين: من المتوقع أن يستمر الطلب العالمي على الغذاء في الارتفاع بشكل حاد. يشير تقرير للأمم المتحدة إلى أنه من المتوقع أن يصل عدد سكان العالم إلى 9.8 مليار بحلول عام 2050.

من ناحية، تطرح هذه الزيادة تحديات هائلة في إنتاج الغذاء لأن معدلات غلة المحاصيل لا تطعم سكان العالم. من ناحية أخرى، أدى التوسع الاقتصادي والعولمة والنمو السكاني إلى حدوث تحولات هيكلية في أنماط الاستهلاك في جميع أنحاء العالم. من المثير للدهشة أن الطلب على اللحوم قد نما أكثر في العالم، وتم تحديد صناعة الماشية على أنها تصدر معظم غازات الدفيئة. أثر هذا الطلب المتزايد بشكل كبير على انبعاثات الكربون واستخدام الأراضي.

علاوة على ذلك، أدى تغير المناخ وقلة الأراضي الصالحة للزراعة إلى تحدٍ إضافي لتغطية الطلب المتزايد على الغذاء. يرتبط تغير المناخ بارتفاع درجات الحرارة والمزيد من الظواهر الجوية المتطرفة، مثل الأعاصير والفيضانات والجفاف والعواصف الممطرة. بصرف النظر عن الظروف البيئية المتغيرة التي يعمل في ظلها إنتاج الغذاء، هناك عدد أقل من الحشرات الملقحة، وزيادة ندرة المياه، وتغييرات في العلاقات التي تربط بين الآفات والمحاصيل والأعشاب الضارة ومسببات الأمراض. وكشف التحليل أن هذه المواقف قد تكون شاقة إذا لم يتم اتخاذ أي إجراء.

هنا، نفكر في إمكانات المحاصيل المعدلة وراثياً لتعزيز الإنتاج الغذائي المستدام.

يشير مفهوم "الكائنات المعدلة وراثياً **(GMOs)** "إلى تلك الكائنات التي تم تغيير جينومها عن طريق إدخال جين من كائن حي آخر، أو إزالة جين، أو تغيير وظيفة الجين لتوليد سمة مرغوبة.

يمكن أن تأتي هذه الجينات من نفس النوع أو من نوع مختلف. وبالتالي، يمكن تجاوز حدود الأنواع لإنتاج محاصيل جديدة. اعتماداً على الوجهة النهائية.

❖ يمكن تصنيف الكائنات المعدلة وراثياً:

1. كأغذية معدلة وراثياً عندما يكون المستهلكون المباشرون بشراً.
2. كأعلاف معدلة وراثياً عندما تكون المنتجات مخصصة للحيوانات فقط.

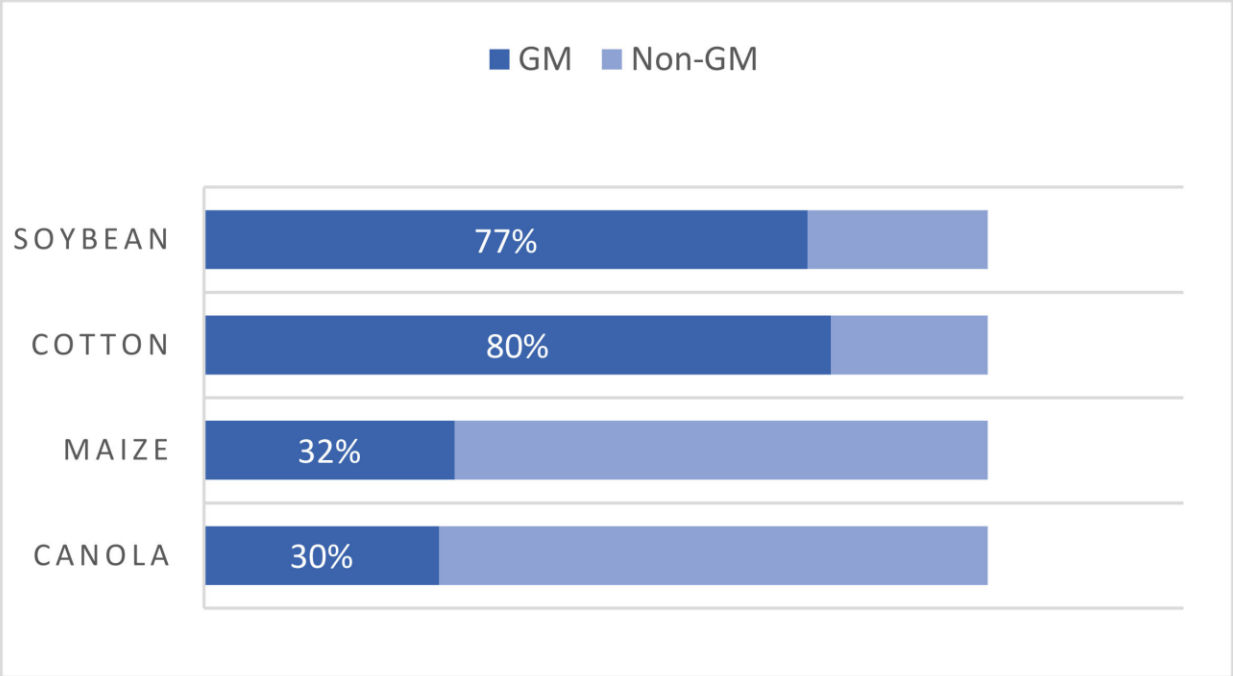


Figure 1:النسب المئوية لمحاصيل التكنولوجيا الحيوية الرئيسية في عام 2017.

تشير التقديرات إلى أن 70-90٪ من جميع المحاصيل المعدلة وراثياً تستخدم كعلف للحيوانات. نمت حصة السوق من المنتجات المعدلة وراثياً منذ أن تم تسويق الأجيال الأولى من المحاصيل المعدلة وراثياً في التسعينيات. المحاصيل الأربعة الرائدة في مجال التكنولوجيا الحيوية هي الذرة والقطن وفول الصويا والكانولا. استناداً إلى المساحة المزروعة عالمياً للمحاصيل الفردية، كانت 32٪ من الذرة، و80٪ من القطن، و77٪ من فول الصويا، و30٪ من الكانولا من المحاصيل المعدلة وراثياً في عام 2017 (الشكل 1).

كان تحمل مبيدات الأعشاب سمة سائدة ثابتة، حيث غطت، في 2018، 46٪ من المساحة العالمية (انخفاض بنسبة 1٪ مقارنة بعام 2017).

اليوم، يمتد الاستخدام التجاري للمحاصيل المعدلة وراثياً أيضاً ليشمل الأطعمة الأخرى، مثل بنجر السكر والبابايا والباذنجان والبطاطا والتفاح.

في العقود الأخيرة، مكنت البيولوجيا الجزيئية التكنولوجية والتقدم في الهندسة الوراثية (GE) من تطوير المحاصيل بسمات محسنة، مثل تحمل مبيدات الأعشاب، أو مقاومة جيدة للحشرات، أو غلات أفضل. علاوة على ذلك، يتزايد الاهتمام بتطوير المحاصيل المعدلة وراثياً ذات الخصائص الغذائية المحسنة، مثل المستويات الأعلى من العناصر الدقيقة الأساسية، والمحاصيل الصحية عن طريق تغيير صورة الأحماض الدهنية، أو النباتات ذات النضج المتأخر. منذ أن تم تقديم أول طعام معدّل وراثياً، كان الجدل حول مخاطر إطلاق المحاصيل المعدلة وراثياً كبيراً.

تم تقسيم المشرعين والعلماء والمستهلكين حول موضوع استخدام الكائنات المعدلة وراثياً لإنتاج الغذاء والأعلاف. يعتقد المؤيدون أن التطورات الجديدة في تحسين المحاصيل يمكن أن تكون حلاً واعداً لضمان الأمن الغذائي وتغطية الطلب المتزايد على الغذاء. استهلاك الأغذية المعدلة وراثياً لإبراز كيف يمكن للتكنولوجيا الحيوية أن تساعد في تحسين صحة الإنسان وتخفيف الآثار البيئية.

الإطار التشريعي للمحاصيل المعدلة وراثيا

يجب تقييم كل من المحاصيل المعدلة وراثياً ومنتجاتها بدقة قبل طرحها تجارياً. يحاول الإطار القانوني الذي ينظم الأغذية والأعلاف المعدلة وراثياً ضمان مستويات حماية عالية لصحة الإنسان والحيوان وكذلك البيئة. في جميع أنحاء العالم، اعتمدت السلطات المسؤولة عن تقييم المنتجات المعدلة وراثياً استراتيجيات محددة بناءً على مقدار الخبرة والمعرفة العلمية المكتسبة في العقود القليلة الماضية لتقييم سلامتها. تم تقديم هذه المبادئ لأول مرة في عام 1993 من قبل منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) وتم تفصيلها بشكل أكبر من قبل هيئة دولية تم إنشاؤها بالاشتراك بين منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) ومنظمة الصحة العالمية (WHO).

في عام 1963، أنشأت منظمة الأغذية والزراعة ومنظمة الصحة العالمية هيئة الدستور الغذائي. يطور الدستور الغذائي معايير ومبادئ توجيهية ومدونات سلوك دولية للأغذية لحماية صحة المستهلكين ولضمان ممارسات عادلة في تجارة الأغذية. علاوة على ذلك، فإنه يعزز تنسيق جميع أعمال المواصفات الغذائية التي تقوم بها المنظمات الدولية. في عام 1999، أنشأ الدستور الغذائي فريق المهمات الحكومي الدولي المخصص للأغذية المشتقة من التقانة الحيوية (الشكل 2).

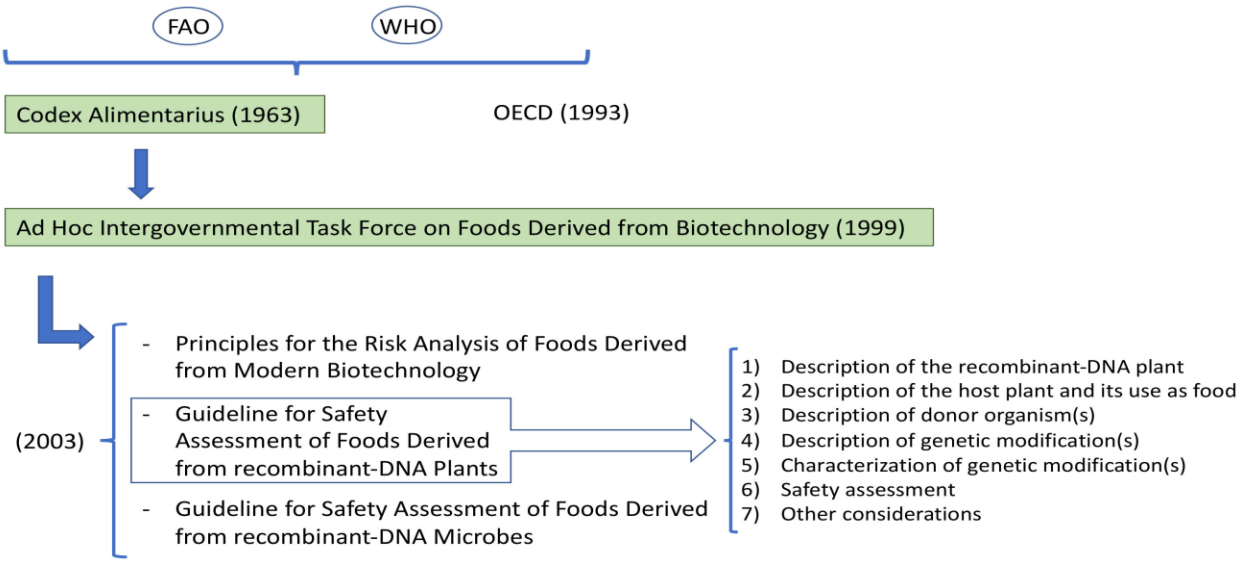


Figure 2:تطوير المعايير والتوصيات للمنتجات الناتجة عن التكنولوجيا الحيوية.

هذه المجموعة مسؤولة عن تطوير ووضع مبادئ توجيهية أو معايير أو توصيات للأغذية المشتقة من تطبيق التكنولوجيا الحيوية الحديثة. نشر فريق العمل ثلاث وثائق في عام 2003 اعتمدها الدستور الغذائي: مبادئ لتحليل مخاطر الأغذية المشتقة من التكنولوجيا الحيوية الحديثة؛ مبادئ توجيهية لتقييم سلامة الأغذية المشتقة من النباتات المؤتلفة ذات الدنا؛ خط إرشادي لتقييم سلامة الأغذية المشتقة من ميكروبات الحمض النووي المؤتلف. الوثيقة الأولى عبارة عن إطار عمل لإجراء تحليلات المخاطر على الغذاء الكامل المشتق من استخدام التكنولوجيا الحيوية أو مكونات تلك الأطعمة. يناقش تقييم المخاطر وإدارة المخاطر والإبلاغ عن المخاطر. يحتوي الدليل الإرشادي للنبات على مزيد من التفاصيل حول مبادئ تحليلات المخاطر للأغذية المشتقة من التكنولوجيا الحيوية الحديثة. على وجه التحديد، تصف الفقرة 18 إطار عمل إجراء مثل هذا التقييم لسلامة الأغذية المشتقة من نبات الدنا المترابط. يتبع إطار عمل تقييم السلامة هذا عملية متدرجة لمعالجة العوامل ذات الصلة.

يعد وضع العلامات على الكائنات المعدلة وراثياً ضرورياً أيضاً لمساعدة المستهلكين على اتخاذ قرارات مستنيرة. يهتم المستهلكون بتفاصيل معينة، مثل المصدر، وما إذا كان الطعام معالجاً، وما إذا كان يحتوي على مواد مضافة. الكائنات المعدلة وراثياً محاطة بالكثير من الجدل. منذ أن تم إطلاق أول المنتجات المعدلة وراثياً تجارياً، كان النقاش حول المخاطر الحقيقية المتصورة لاستخدام الكائنات المعدلة وراثياً جارياً. في الوقت الذي يحتدم فيه الخلاف، دفعت مخاوف الجمهور بشأن المحاصيل المعدلة وراثياً الحكومات إلى التدخل واعتماد تشريع يصر على تصنيف المنتجات المعدلة وراثياً. على الرغم من ذلك، لم يتم التوصل إلى اتفاق من قبل الوكالات الحكومية حول وضع العلامات التجارية، مما يجعل الإستراتيجية غير فعالة وأيضاً يجعل النقل والتجارة في غاية الصعوبة .

إن الخلاف حول وضع العلامات على الكائنات المعدلة وراثياً مبني على مقدار المعلومات التي يجب أن يتلقاها المستهلكون وما إذا كانت هذه المعلومات توفر معرفة كافية حول المحتويات لمساعدة المستهلكين على اتخاذ قرارات أفضل. يوجد فرق بين وضع العلامات الطوعية والإلزامية على الكائنات المعدلة وراثياً. يُعلم وضع العلامات الطوعي المستهلكين أن المنتجات لا تحتوي على مواد معدلة بيولوجياً. يذهب وضع الملصقات الإلزامي إلى أبعد من ذلك لأنه يتوقع أن تتضمن جميع المنتجات الغذائية التي تحتوي على كائنات معدلة وراثياً ملصقات تحذيرية. كل من مخططات وضع العلامات لها مزاياها وعيوبها. للمستهلكين الحق في معرفة ما يحتويه طعامهم، ويجب أن تساعدهم الملصقات على اتخاذ قرارات الشراء. ومع ذلك، نظراً لأن معرفة المستهلك بالتكنولوجيا الجديدة مثل GE محدودة، فلا يمكنهم في كثير من الأحيان تحديد ما إذا كانت المنتجات المعدلة وراثياً تسبب خطراً أو كيفية قياس أي مخاطر معينة مقابل الفوائد المحتملة. ومن ثم، يعتمد الأفراد على الأشخاص الذين يعتبرونهم خبراء جديرين بالثقة للوصول إلى استنتاجات مستنيرة، والتي قد يستخدمونها لتكوين آرائهم الخاصة. وبالتالي، فإن الثقة أمر بالغ الأهمية في تقييمات الأشخاص العاديين للأطعمة المعدلة وراثياً.

تم وضع أول تشريع خاص بوضع العلامات على الأغذية المعدلة وراثياً من قبل الاتحاد الأوروبي (EU) في عام 1997. وفي وقت لاحق، تم إجراء المزيد من التعديلات على التشريع الخاص بالمشتقات المعدلة وراثياً. في عام 2007، بذلت هيئة الدستور الغذائي محاولة لإنتاج إرشادات لوضع العلامات على منتجات التكنولوجيا الحيوية، ولكن تم منع ذلك لأنه لم يتم التوصل إلى توافق في الآراء من قبل مختلف البلدان.

ومع ذلك، فقد شارك عدد متزايد من البلدان في وضع العلامات بخصائص تنظيمية متميزة. ما لا يقل عن 64 دولة حول العالم، مثل دول الاتحاد الأوروبي والصين وأستراليا، تتوقع شكلاً من ملصقات الكائنات المعدلة وراثياً. تختلف السياسات ومدى اعتمادها من بلد إلى آخر. عالجت لجنة دستور الأغذية التكاليف المتكبدة لتنفيذ وإنفاذ الملصقات، بالإضافة إلى المزايا المحتملة. متطلبات الاختبار، وتتبع الإنتاج الزراعي، والمعالجة والتوزيع، والتحقق من الوثائق، وجدوى الطريقة التحليلية وحدود الكشف، وتثقيف المستهلك ليست سوى بعض الاهتمامات الرئيسية التي يتم تناولها. يبدو من غير المحتمل أن يتم التوصل إلى اتفاقية عالمية في المستقبل القريب لأن الولايات المتحدة تعارض بشدة وضع العلامات. يعتمد وضع العلامات على جنرال موتورز في الولايات المتحدة على فرضية "التكافؤ الجوهري (SE) "ظهر هذا المفهوم لأول مرة في عام 1993 وهو يجسد فكرة أنه إذا كان للطعام الجديد نفس تركيبة وميزات الطعام التقليدي، فيجب اعتباره آمناً مثل الطعام التقليدي. يقول أنصار مبدأ SE أن طلب الملصقات ليس ضرورياً لأن العملاء يهتمون بالصحة والسلامة والوظائف واستخدام الغذاء أكثر من اهتمامهم بعمليات التصنيع. يعطي وضع الملصقات الإلزامية للكائنات المعدلة وراثياً انطباعاً، بل إنه بمثابة تحذير، بأن هذه الأطعمة تختلف أو أقل أماناً من نظيراتها غير المعدلة وراثياً. يتخذ الاتحاد الأوروبي "موقفاً احترازياً". نظراً لأن المخاطر المتصورة أو الحقيقية للكائنات المعدلة وراثياً في التعرض طويل الأجل لا تزال غير معروفة، فإن وضع العلامات أمر حيوي لاعتبارات التتبع، إلى جانب تشريع "حق المستهلك في المعرفة". وفقاً للاتحاد الأوروبي، ليس من السهل التفكير في تأثيرات هذه الأطعمة وقياسها لأن السكان لم يتعرضوا لها لفترة طويلة. لا يستبعد نقص الأدلة احتمال الفاصل الزمني بين التعرض للمخاطر الصحية / البيئية وعواقبها.

الإطار التنظيمي للاتحاد الأوروبي للكائنات المعدلة وراثياً

وضع الاتحاد الأوروبي إطاراً قانونياً لنشر الكائنات المعدلة وراثياً في الأسواق لضمان مستويات حماية عالية لصحة الإنسان الحيوان والبيئة. الهدف من هذا الإطار التنظيمي هو إضفاء درجة عالية من الشفافية في عملية الترخيص. يعتمد على ثلاثة مبادئ أساسية: ترخيص ما قبل السوق بناءً على تقييم مخاطر مسبق؛ التتبع. وضع العلامات. يمكن الموافقة على الأطعمة والأعلاف المعدلة وراثياً في الاتحاد الأوروبي بشرط أن تجتاز بنجاح تقييمات سلامة صارمة. تظهر إجراءات تقييم وترخيص الأطعمة والأعلاف المعدلة وراثياً في الوثائق التالية:

(1) التوجيه رقم EC18/2001 / ، الذي ينظم الترخيص بالإطلاقات المتعمدة ووضع الكائنات المعدلة وراثياً في السوق؛

(2) لائحة المفوضية الأوروبية رقم 2003/1829، التي تنص على إجراء ترخيص محدد للأغذية والأعلاف المعدلة وراثياً

توفر هذه المستندات قواعد لتقييم سلامة الكائنات المعدلة وراثياً بواسطة تنظيم إنتاج الأغذية والأعلاف المعدلة وراثياً، وواردات الكائنات المعدلة وراثياً، وإطلاق الكائنات المعدلة وراثياً في البيئة.

يُمنح ترخيص الكائنات المعدلة وراثياً طالما لم يتم تحديد آثار صحية أو بيئية ضارة. في الاتحاد الأوروبي، تلعب هيئة سلامة الأغذية الأوروبية (EFSA) الدور الرئيسي في تقييم المخاطر. يتمثل دور الهيئة الأوروبية للرقابة المالية في تقييم سلامة الكائنات المعدلة وراثياً الجديدة وتقديم المشورة العلمية قبل أن يتخذ مديرو المخاطر في أوروبا قرارات (المفوضية الأوروبية والدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي).

يتم إجراء تقييمات الهيئة العامة للرقابة المالية وفقاً للملفات العلمية للمتقدمين وأي بيانات علمية أخرى ذات صلة. يضعون في اعتبارهم الجوانب التالية:

(1) التوصيف الجزيئي؛

(2) تحليل مقارن بين المصنع المعدل وراثيا والنظير التقليدي.

(3) تقييم السمية والحساسية المحتملة؛

(4) تقييم التأثيرات البيئية المحتملة.

وفقاً لتشريعات الاتحاد الأوروبي، يمكن لجميع الدول الأعضاء اتخاذ قرار بشأن زراعة المحاصيل المعدلة وراثياً في أراضيها. بمجرد اعتماد أحد الكائنات المعدلة وراثياً، فإنه يحصل عادةً على ترخيص سوق من الاتحاد الأوروبي مدته 10 سنوات. في وقت لاحق، يجب إعادة تقييمه من قبل الهيئة العامة للرقابة المالية قبل اتخاذ أي قرارات إعادة تفويض أخرى

تضمن قواعد التوسيم والتتبع للمشغلين والمستهلكين الوصول إلى معلومات الكائنات المعدلة وراثياً الهامة. تماشياً مع لائحة المفوضية الأوروبية رقم 2003/1829 بشأن الأغذية والأعلاف المعدلة وراثياً ورقم 2003/1830 بشأن إمكانية تتبع ووسم الكائنات المعدلة وراثياً، يجب أن تكون المنتجات التي تتكون من أو تحتوي على كائنات معدلة وراثياً مرخصة أو منتجة من كائنات معدلة وراثياً موسومة بوضوح على هذا النحو. لا تنطبق هذه المتطلبات على الأطعمة التي تحتوي على 0.9>٪ من المواد المعدلة وراثياً المصرح بها طالما أن المادة المعدلة وراثياً لا مفر منها تقنياً أو عرضياً. يحدد إطار عمل الاتحاد الأوروبي إمكانية التتبع وعتبة العلامات للكائنات المعدلة وراثياً المعتمدة، وتوجد سياسة "عدم التسامح" مع الكائنات المعدلة وراثياً غير المعتمدة. ما يقصدونه هو أن الكائنات المعدلة وراثياً غير المعتمدة في الاتحاد الأوروبي لا يمكن بيعها. قامت العديد من الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي بسن لوائحها الوطنية الخاصة التي تسمح بوضع العلامات الطوعية على "أغذية أو علف خالٍ من الكائنات المعدلة وراثياً" أو "الأطعمة التي تنشأ من حيوانات لا تتغذى على الأعلاف المعدلة وراثياً".

تتضمن لائحة الاتحاد الأوروبي الخاصة بالكائنات المعدلة وراثياً أحكام إنفاذ فعالة. يجب على المتقدمين الذين يرغبون في وضع الكائنات المعدلة وراثياً في سوق الاتحاد الأوروبي إعداد وتقديم طريقة كشف مقبولة وعينات تحكم إيجابية وسلبية ومواد مرجعية معتمدة. تشكل هذه الطرق جزءاً من أنظمة الرقابة والتفتيش الخاصة بالسلطات الوطنية للتأكد من أن أي كائنات معدلة وراثياً مطروحة في السوق قد تمت الموافقة عليها على النحو الواجب وتوسيمها وفقاً للتشريعات.

أساطير وحقائق المحاصيل المعدلة وراثياً

ظل البشر يغيرون جينومات النبات والحيوان منذ آلاف السنين. منذ العصور القديمة، كان التناسل الانتقائي، المعروف أيضاً باسم الانتقاء الاصطناعي، أسلوباً روتينياً في الزراعة. على سبيل المثال، دفع البشر تطور الذرة من نبات به العديد من الفروع والأكواز الصغيرة إلى نبات يحتوي على عدد أقل من السيقان الكبيرة والحبوب الأكبر، وهو ما ينتج عن اختيار البذور الانتقائي للنباتات ذات الصفات المرغوبة للغاية. حدث شيء مشابه مع البندورة، والتي نتجت عن تطبيق اختيار جيني دقيق لتغيير حجمها وشكلها وبذورها وطعمها

(الشكل 3). على الرغم من أن عملية إنشاء سمات جديدة تستغرق وقتاً لأنها تتطلب طفرات جينية عفوية، فقد أدى تطوير أدوات GE إلى تسريع إنتاج الكائنات المعدلة وراثياً.

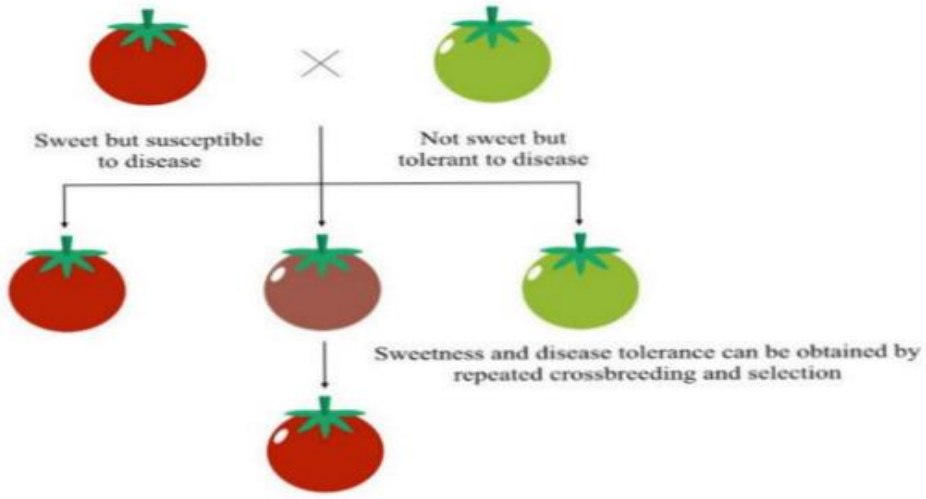


Figure 3:الاعتناء الانتقائي للبندورة.

تم إنشاء أول نبتة معدلة وراثيا في عام 1983: نبتة تبغ تقاوم المضادات الحيوية. ومع ذلك، لم يتم تسويق أول طعام معدّل وراثياً في الولايات المتحدة حتى عام 1994: Flavr SavrTM late-ripening tomato. على الرغم من أن دراسة البندورة Flavr Savr كانت ناجحة علمياً، إلا أن الرأي العام زور فشلها التجاري. كان أحد أسباب فشلها التجاري هو أن الأطعمة المعدلة وراثياً ألهمت الجدل الأخلاقي الذي ارتبط ارتباطاً وثيقاً بآراء حول ما يعتبر "غير طبيعي". يرتبط الدين عموماً بمعارضة جنرال إلكتريك، ويعتقد بعض الناس أنه مثل "لعب دور الرب". ومع ذلك، هناك دليل على أن نقل الجينات بين الأنواع ليس غير طبيعي كما نعتقد. على سبيل المثال، *Elysia chlorotica* هي رخويات بطنيات الأقدام البحرية التي دمجت جيناً من طحلب في جينومها، مما يمنحها القدرة على التمثيل الضوئي.

يجادل نشطاء مكافحة الكائنات المعدلة وراثياً بأن المحاصيل المعدلة وراثياً تشغل مساحة كبيرة وترتبط بأنظمة الزراعة الأحادية المكثفة. على الرغم من أن الزراعة الأحادية توفر العديد من المزايا، إلا أنها لا تزال قضية مثيرة للجدل في الزراعة الحديثة. ينطوي الزراعة الأحادية على الكثير من العيوب، بما في ذلك فقدان التنوع البيولوجي. مع نقص التنوع البيولوجي، تكون المحاصيل أكثر عرضة للآفات، وتنتشر هذه التهديدات بسرعة أكبر. وبالتالي، يستخدم المزارعون المزيد من مبيدات الأعشاب والمبيدات لحماية المحاصيل. عادة ما تغرق هذه الملوثات في الأرض وتلوث التربة والمياه الجوفية. نظراً لأن الزراعة الأحادية تستهلك التربة عن طريق حرمانها من التنوع البيولوجي، فإن المزارعين يرغبون في تعزيز خصوبة حقولهم المتضررة بشكل مصطنع واستخدام الأسمدة الكيماوية. تؤثر المغذيات الاصطناعية بشدة على التكوين الطبيعي للتربة، وبالتالي يكون لها تأثير مدمر على النظام البيئي ككل. يؤثر استخدام مبيدات الأعشاب ومبيدات الآفات والمواد الكيميائية الأخرى بشدة على النحل والملقحات الأخرى (نظام مراقبة

الأرض). ومع ذلك، فإن الزراعة الأحادية ضرورية لإطعام سكان العالم وقد امتدت إلى ما يقرب من 5 أضعاف منذ عام 1900. من وجهة نظر الزراعة، فإن حجم الزراعة الأحادية (الزماني والجغرافي) هو ما يجعلها مفيدة أو ضارة. يواجه المزارعون التحدي المتمثل في تنفيذ استراتيجيات طويلة الأجل لإدارة المحاصيل، وتناوب المحاصيل، وإدارة المزارع لحماية صحة التربة والتنوع البيولوجي. فيما يتعلق بالمحاصيل المعدلة وراثياً، واستناداً إلى تاريخ هذه الممارسة، لا علاقة لهم بأصول المحصول الأحادي. أجرى المزارعون الزراعة الأحادية في جميع أنحاء العالم قبل وقت طويل من ظهور البذور المعدلة وراثياً في السوق. يؤدي استخدام المحاصيل المعدلة وراثياً إلى تعزيز الغلة وتقليل إزالة الغابات والأنشطة الضارة الأخرى التي يتم إجراؤها لتوليد الأراضي الزراعية. في الوقت الحاضر، تتوفر فواكه وخضروات أكثر ومتنوعة أكثر من أي وقت مضى. أصناف البذور المعدلة وراثياً التي تم إنشاؤها خصيصاً لتشمل الجينات من النباتات والبكتيريا الأخرى أدت إلى توسيع التنوع الجيني للمحاصيل السلعية الكبيرة في التسعينيات

كشفت دراسة استقصائية مؤخراً أن آراء المستهلكين بشأن الأغذية المعدلة وراثياً قد تغيرت بالكاد منذ تقديمها في منتصف التسعينيات. يدرك الأوروبيون أن الكائنات المعدلة وراثياً غير آمنة، ويعتقدون أنها يمكن أن تضر ليس فقط المستهلكين ولكن أيضاً بالبيئة. وفقاً لمبادرة بيو لعام 2005، فإن 50٪ من الأمريكيين غير مدركين للأطعمة المعدلة وراثياً ويعارضون إدخالها في النظام الغذائي. ومع ذلك، يظهر قبول الأطعمة المعدلة وراثياً للاعتماد على تطورها والاستخدام المقصود. على سبيل المثال، يتم قبول التعديلات التي تم إجراؤها لزيادة القيم الغذائية على نطاق واسع أكثر من تلك التي تم إجراؤها لزيادة غلة المحاصيل.

من ناحية أخرى، بناءً على نوع التغيير الجيني الذي تم إجراؤه، تُفضل التغييرات "الجينية" على التعديلات "المعدلة وراثياً" (الشكل 4). الاستنتاج هو أنه "كلما كانت العلاقة بين الكائنات أكثر بعداً، كلما بدا التعديل أقل قبولاً"

توجد العديد من الأساطير السائدة حول جنرال إلكتريك وتغطي موضوعات واسعة النطاق، من الصحة والسلامة إلى مجالات السلامة البيئية الأخرى. ترتبط الحساسية والسمية ونقل الجينات الأفقي المحتمل (HGT)إلى البيئة أو الأنواع الأخرى والعديد من الحالات الشاذة مثل الاضطرابات الأيضية وتكوين الورم أو العقم باستهلاك المحاصيل المعدلة وراثياً. بشكل عام، هناك إجماع علمي كبير قائم، بقدر ما لا تشكل الأغذية المعدلة وراثياً التي يتم تسويقها حالياً مخاطر أعلى من الأطعمة التقليدية. يقدم المؤلفون تحليلاً للمخاطر والفوائد يعتمد على الأدلة العلمية ويفندون الخرافات التي نشرتها مجموعات المصالح.

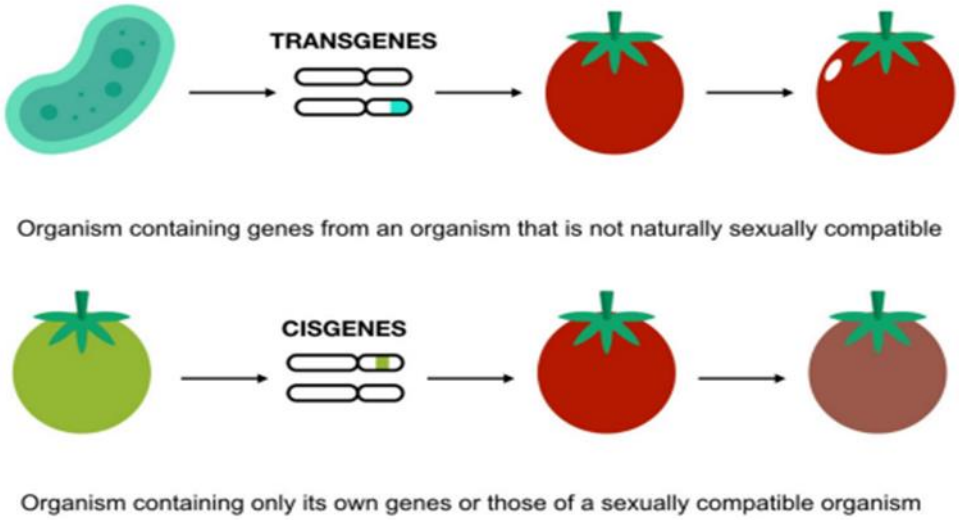


Figure 4:التعديل الجيني من النمطين سيس وترانس

دراسات السلامة البيئية

الغرض الرئيسي من تقييمات المخاطر البيئية (ERA) هو تحديد ما إذا كان لصنف جديد من المحاصيل المعدلة وراثياً تأثيرات مباشرة على البيئة الطبيعية. تهدف تقييمات المخاطر هذه إلى تحديد التأثيرات التي تحدثها المحاصيل التكنولوجية المعدلة وراثياً على التنوع البيولوجي في المجتمعات النباتية والحيوانية، وتنوع أنواع المحاصيل، والآثار المحتملة على النظم الإيكولوجية والمناظر الطبيعية مثل التغيرات في جودة التربة والمياه. يهدف الصك التنظيمي الدولي المعروف باسم بروتوكول قرطاجنة للسلامة الحيوية (CPB) إلى حماية التنوع البيولوجي من التهديدات المحتملة التي تشكلها المحاصيل المعدلة وراثياً. ينص هذا البروتوكول على وجوب تطبيق المبدأ الوقائي لحماية البيئة. ومع ذلك، لم يتم وضع إجراءات موحدة للمحاصيل المعدلة وراثياً في ERA، وتحكم قوانين كل دولة هذا الوضع. اليوم، المنهجية المثالية المتبعة لتحليل المخاطر البيئية التي تشكلها المحاصيل المعدلة وراثياً هي تقييم كل حالة على حدة. انتشر مفهوم الألفة أيضاً على المستوى الدولي في سياق السلامة البيئية للكائنات المعدلة وراثياً: فالتعرف عليه يعني الحصول على معلومات كافية لتسهيل تقييمات المخاطر والسلامة. نظراً لأن الألفة تستند إلى فهم النظام البيئي وتفاعلاته مع أي كائنات تم إدخالها، فقد لا تنطبق تقييمات المخاطر والسلامة في منطقة ما على منطقة أخرى.

الأدلة على ربط المحاصيل المعدلة وراثيا بمشاكل زراعية أو بيئية معاكسة نادرة. فيما يتعلق بالجوانب الزراعية، فإن إدخال المحاصيل المعدلة وراثياً لم يؤد إلى زيادة غلة المحاصيل في المزرعة، إلا عندما يكون ضغط الآفات الحشرية مرتفعاً. ومع ذلك، نظراً لتفاوت معدلات تبني المحاصيل المعدلة وراثياً التي يأخذها المزارعون، فضلاً عن الاختلافات في جودة الأراضي والموارد المالية، لم يكن من السهل أحياناً تحديد المساهمة النوعية لسمات المحاصيل المعدلة وراثياً. ومن ثم، فمن المهم تعزيز الأساليب التجريبية التي تفصل بين تأثيرات السمات المعدلة وراثياً والعوامل الأخرى. الشاغل الرئيسي لـ ERA هو تدفق الجينات (GF) من الجينات المحورة إلى الأقارب البرية GFهو نتيجة الحركة الأمشاج أو الأفراد من مجموعة معينة إلى أخرى، ليس فقط بين مجموعات من نفس النوع ولكن أيضاً بين الأنواع ذات الصلة الوثيقة. يمكن أن يؤدي

هذا الحدوث إلى تغيير ملحوظ في تردد أليل المجتمع المستقبِل. قد يحدث هذا التنقل في مجموعات النباتات الطبيعية عن طريق التكاثر الخضري أو البذور أو حبوب اللقاح، وتختلف أهميتها حسب نوع النبات. لاكتساب نظرة ثاقبة على معدلات وأهمية التهجين، فإن الطرق العامة لقياس GF تستخدم مبيدات الأعشاب الأجنبية والجينات المقاومة للمضادات الحيوية. هناك حاجة أيضاً إلى الواسمات المورفولوجية والجزيئية للمساعدة بسرعة في تحديد أو تحديد / تأكيد الهجينة.

تمت مناقشة المخاطر المحتملة من GF لإنتاج التلقيح المتبادل بين المحاصيل المعدلة وراثياً والأنواع البرية. أثناء إنتاج المحاصيل التجارية المعدلة وراثياً، تم الإبلاغ عن GF بوساطة حبوب اللقاح في الذرة والقطن وفول الصويا وأنواع أخرى. تم إدخال مصطلح "التعايش" للحد من أي GF غير مرغوب فيه والسماح للمحاصيل المعدلة وراثياً وغير المعدلة وراثياً بالتواجد مع التسامح المتبادل. وفقاً لتعريف توصية اللجنة لعام 2003، "التعايش يشير إلى قدرة المزارعين على الاختيار العملي بين إنتاج المحاصيل التقليدية والعضوية والمحاصيل المعدلة وراثياً، وفقاً للالتزامات القانونية الخاصة بوضع العلامات و / أو معايير النقاء". يشير هذا المفهوم إلى حق المستهلكين في الاختيار بين المحاصيل التقليدية والعضوية والمحاصيل المعدلة وراثياً. لجعل هذا الحق في الاختيار ممكناً، من الضروري ليس فقط عزل سلاسل التوريد الثلاث ولكن أيضاً تزويد كل منها بالقدرة الاقتصادية على البقاء. يمكن تعريف التعايش على أنه الحد الأدنى للمسافة بين حقول المحاصيل المعدلة وراثياً وغير المعدلة وراثياً من نفس النوع والتي يجب أن تمنع معدل التلقيح المتبادل من الوصول إلى مستويات العتبة. تؤثر العديد من العوامل على تحديد مسافات العزل المناسبة، مثل ظروف الرياح المحلية أو تزامن الإزهار بين الحقول المانحة والمستقبلية.

يوضح الجدول 1 المسافات الدنيا المطلوبة للمحاصيل الأربعة المعدلة وراثياً الرئيسية (الذرة والكانولا وفول الصويا والقطن) للحفاظ على نسب الإخصاب المتبادل أقل من عتبات التحمل القانونية. على سبيل المثال، أظهرت الدراسات البحثية أن مسافة العزل المطلوبة للحفاظ على مستويات التخصيب المتبادل أقل من 1٪ في محاصيل الذرة هي 20 متراً. يمكن العزل فقط من خلال نظام فعال للتتبع ووضع العلامات من المزارع إلى المستهلكين النهائيين.

جدول1 :مسافات العزل المطلوبة للمحاصيل الرئيسية الأربعة المعدلة وراثياً.

Crop	Isolation Distance	Cross-Fertilization Level
Maize	50 m 20 m	<0.5% <1%
Canola	30 m 33–200 m	<0.03% <0.015%
Soybean	5 m >10 m	0.9% 0.1%
Cotton	10 m >9 m	<0.9% <0.1%
Alfalfa	50 m 20 m	1.39% 0.08%

نقل الجينات الأفقي (HGT)

وصف فريد جريفيث آلية نقل المادة الوراثية من العقدية الرئوية الخبيثة المميتة للحرارة إلى نوع ضار من البكتيريا، والذي أشار إليه بالتحول. تم تحديد وتوثيق الاقتران والتنبيغ وأنواع أخرى من نقل الجينات غير الإنجابية بين الكائنات الحية. يشير HGT إلى حركة المادة الجينية إلى خلية أو كائن حي عبر الحدود بين الأنواع دون تكاثر أو تدخل بشري. يمكن أن يحدث HGT ليس فقط بين الكائنات الحية ذات الصلة الوثيقة ولكن أيضاً ذات الصلة البعيدة، مثل الفيروسات والحيوانات أو النباتات والبكتيريا. إنها عملية تحدث في خطوتين: الأولى تتكون من مادة وراثية من متبرع تمر عبر غشاء (أغشية) الخلية للخلية المتلقية، بما في ذلك الغلاف الآخر هياكل مثل جدار الخلية أو الغشاء النووي ؛ والثاني يتضمن دمج المادة الوراثية المانحة في جينوم الكائن المتلقي بحيث يمكن استمرار الجين الجديد من خلال النسل. إذا كان الكائن المستقبِل متعدد الخلايا، يجب أن يكون الانتقال إلى الخلايا الجرثومية، والتي تكون أقل تواجداً وأقل سهولة من الخلايا الجسدية. ساعدت هذه الظاهرة في ظهور ضراوة أكبر في البكتيريا وحقيقيات النوى والفيروسات وفي الانتشار السريع لمقاومة المضادات الحيوية بين البكتيريا المسببة للأمراض.

تم الإعراب عن بعض المخاوف في السنوات الأخيرة حول استهلاك الأغذية المعدلة وراثياً لأنها يمكن أن تنتج HGT وتضر بصحة المستهلك. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن HGT ليس تأثيراً عكسياً لاستهلاك الأغذية المعدلة وراثياً ولكنه حدث قد يؤدي أو لا يؤدي إلى ضرر. ومن ثم، فإن الحاجة إلى إجراء تقييمات للمخاطر تشمل شدة واحتمالية العواقب السلبية أمر ضروري. تسلسل الأحداث المتسلسلة يحدد احتمال أن يشكل HGT خطراً على صحة المستهلك: لقاء بين الكائن المتلقي والمادة الجينية من الكائن الحي المتبرع؛

دخول المادة الوراثية المانحة إلى الخلية أو النواة؛ دمج DNA أو RNA المتبرع في جينوم الكائن المتلقي؛ التعبير عن سمة جديدة في الكائن المتلقي؛ استمرار هذه السمة وانتقالها إلى النسل. لكل هذه الأسباب، حتى لو كان تواتر HGT مرتفعاً، فإن الاحتمال القريب من الصفر لأي من العمليات الأخرى يقلل من احتمالية الإصابة إلى مستوى قريب من الصفر. إذا تم نقل المادة الوراثية من النباتات المعدلة وراثياً إلى الحيوانات، فإن الطريقة الأكثر جدوى هي دمج الحمض النووي عبر المسار المعدي المعوي. يمكن لشرائح الحمض النووي أن تبقى على قيد الحياة في العصارات المعوية، مما يعني وجود احتمال ضئيل فقط لدمج الحمض النووي المؤتلف في الجينوم البشري أو الحيواني لأعضاء الجهاز الهضمي. ومع ذلك، خلصت معظم الدراسات إلى أن مثل هذا الخطر HGT ضئيل.

إن إمكانية وراثة الحمض النووي المؤتلف في الجيل التالي غير مهمة أيضاً لأن احتمال وصول الحمض النووي إلى الخلايا الجرثومية والانضمام إلى الجينوم بمحفز مناسب أقل. تشكل العديد من البكتيريا المسببة للأمراض والانتهازية جزءاً من الجراثيم المعوية. انتقال الجينات إلى البكتيريا هو حدث يحدث بسهولة أكبر. ومع ذلك، غالباً ما تكون هذه الجينات وفيرة في البيئة ويمكن نقلها بالتساوي عن طريق الاقتران والتنقل. على الرغم من أن هذا ليس حدثاً محتملاً، فقد شجعت كل من منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة على استخدام تكنولوجيا نقل الجينات التي لا تنطوي على مقاومة المضادات الحيوية. استناداً إلى الأدلة العلمية الحالية، تشكل HGT بين النباتات المعدلة وراثياً والكائنات الأخرى مخاطر غير كبيرة على صحة الإنسان والسلامة البيئية لأن هذه الأحداث نادرة.

دراسات الحساسية

في الولايات المتحدة، تم الإعراب عن مخاوف بشأن احتمال حدوث ردود فعل تحسسية نتيجة لاستهلاك الأطعمة المعدلة وراثياً. وبالتالي، فإن العديد من المحاصيل المعدلة وراثياً غير معتمدة للاستهلاك البشري من قبل السلطات الأمريكية. على سبيل المثال، تم إدخال جين 2 Sالزلال من جوز البرازيل في صنف فول الصويا لأغراض غذائية. ومع ذلك، فقد ثبت أن المنتج المعدّل وراثياً يشكل خطراً لردود الفعل التحسسية البشرية، لا سيما لدى الأشخاص المصابين بحساسية الجوز البرازيلي. تم الإعراب عن مخاوف بشأن بروتين Cry9C، وهو نوع من البروتين المقاوم للآفات الحشرية، نظراً لاستقراره الحراري الأكبر وإمكانية هضمه الأطول. ومع ذلك، لا يوجد ارتباط مباشر بين تفاعلات الحساسية واستهلاك الأطعمة المعدلة وراثياً.

أعلنت منظمة الصحة العالمية أنه من غير الممكن التعميم حول سلامة المحاصيل المعدلة وراثياً، وبدلاً من ذلك، يجب تقييم كل حالة على حدة. اجتازت المحاصيل المعدلة وراثياً التي تم تسويقها تقييمات للمخاطر، بما في ذلك اختبارات الحساسية؛ لا توجد تقارير حالة حول التأثيرات السمية المناعية أو ردود الفعل التحسسية التي تنتج عن تناولها. في البشر، لم يتم إنشاء أي تقنية للتنبؤ باستجابات الحساسية للبروتينات غير الذاتية. وفقاً للهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية، يجب استخدام النماذج الحيوانية لتقييم إمكانية التحسس للبروتينات الجديدة على أساس كل حالة على حدة. يتم استخدام نماذج القوارض بشكل متكرر لدراسات السمية المناعية والحساسية. ما إذا كانت هذه النماذج تصف بدقة الحساسية للبروتينات في البشر أو الماشية هي مسألة نقاش. وبالتالي، فإن تطوير نماذج حيوانية معيارية تم التحقق من صحتها لتقييم الحساسية أمر حيوي. بعيدا، بمعزل، على حد من النماذج الحيوانية، واختبارات قابلية الهضم في المختبر، وتماثل تسلسل الأحماض الأمينية، وفحص المصل هي أكثر الطرق شيوعاً حالياً لتحديد الحساسية.

جدول 2: بعض الطرق الاكثر شيوعاً لتحديد الحساسية.

Method	Basis
Amino acid sequence homology	A bioinformatic approach run to establish if a new protein is closely related to a known allergen. However, these approaches cannot predict if a new protein will become an allergy, so other methods might be required
In vitro digestibility tests	It provides information about a new protein's susceptibility to digestion. The in vitro pepsin resistance assay is the most widespread protein digestion test
Serum screening and immunoassays	Methods to assess endogenous allergens that employ human sera from people with relevant allergies. Despite these tests being the present gold standard for the in vitro detection and characterization of allergenic proteins, their utility in GM feed safety assessments is limited

دراسات السمية

أساس يتم تشغيل نهج المعلومات الحيوية لتحديد ما إذا كان البروتين الجديد وثيق الصلة بمسببات الحساسية المعروفة. ومع ذلك، لا يمكن لهذه الأساليب التنبؤ بما إذا كان البروتين الجديد سيتحول إلى حساسية، لذلك قد تكون هناك حاجة إلى طرق أخرى .يوفر معلومات حول بروتين جديد القابلية للهضم. اختبار مقاومة البيسين في المختبر هو اختبار هضم البروتين الأكثر انتشاراً.

طرق تقييم مسببات الحساسية الذاتية التي تستخدم الأمصال البشرية من الأشخاص الذين يعانون من الحساسية ذات الصلة. على الرغم من أن هذه الاختبارات هي المعيار الذهبي الحالي للكشف عن البروتينات المسببة للحساسية وتوصيفها في المختبر، فإن فائدتها في تقييمات سلامة التغذية المعدلة وراثياً محدودة .نظراً لأنها مصممة لتحديد المواد الكيميائية التي تم التعبير عنها حديثاً، يمكن إجراء دراسات السمية والحساسية في وقت واحد. يمكن أن تسبب ردود الفعل التحسسية أعراضاً شديدة، ولكن في بعض الأشخاص فقط. السمية متوقعة وقابلة للتكرار لأنها تؤثر على الغالبية العظمى من الأشخاص الذين يعانون من تفاوتات قابلية متواضعة فقط. يتم إجراء أعمال السموم للكشف عن الآثار الخطرة غير المقصودة. يمكن أن تحدث السمية ليس فقط عندما يشفر الجين الجيني مادة سامة ولكن أيضاً عندما يكون له تأثير سام غير متوقع، على سبيل المثال، قمع الجينات أو يعزز الإفراط في التعبير عن السموم. يجب إجراء جميع تقييمات السمية للمحاصيل المعدلة وراثياً على أساس كل حالة على حدة ويجب أن تأخذ في الاعتبار الخصائص السمية للمواد الكيميائية التي تم إدخالها حديثاً. غالباً ما يتم إجراء دراسات على الحيوانات لتحديد سمية مادة معينة. على سبيل المثال، أجريت دراسة على الحيوانات الحية لتقييم سلامة الأرز المعدل وراثيا EH الغني ب-كاروتين. تم إنشاء مجموعتين تجريبيتين من الفئران لقياس معايير متميزة: علم التشريح، النمو، أو مؤشرات كيمياء المصل.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن الأرز المعدل وراثياً كان مغذياً مثل الأرز غير المعدل وراثياً، وأن التأثيرات غير المقصودة كانت مفقودة.

تم الإبلاغ عن منهجيات جديدة مثل تقنيات التنميط "omics-" عالية الإنتاجية، والتي تشمل علم النسخ، وعلم الأيض، والبروتيوميات، لتحديد المواد السامة في المحاصيل المعدلة وراثياً. على سبيل المثال، تم استخدام مناهج omics في مجال GM في العديد من الأعمال البحثية في الفطريات ومستقلباتها الثانوية. السموم الفطرية هي المواد التي تنتجها الفطريات المرتبطة بالمحاصيل، وتشكل خطراً جسيماً. احتوت الذرة المعدلة وراثياً المقاومة للآفات الحشرية على تركيز أقل من السموم الفطرية من الذرة غير المعدلة وراثياً. نظراً لأن هجرة أبواغ الفطريات والاستعمار يمكن أن يساعدهما ضرر الحشرات، فقد تم افتراض أن الانخفاض الملحوظ في السموم الفطرية يمكن أن يعزى إلى الحد من الآفات في الذرة المعدلة وراثياً.

النباتات المعدلة وراثياً المقاومة للغليفوسات هي واحدة من أكثر المحاصيل المعدلة وراثياً المتاحة إثارة للجدل. كانت السمية طويلة المدى لكل من مبيدات الأعشاب والذرة المعدلة وراثياً NK603 المقاومة للغليفوسات أساس بحث مثير للجدل نُشر في عام 2012. قام التعاون البحثيG-TwYST بتقييم الذرة المعدلة وراثياً المقاومة للغليفوسات NK603 من حيث السمية والسرطنة. تم تمويله من قبل المفوضية الأوروبية. لم يسجل هذا البحث أي عواقب سلبية من إطعام الذرة NK603 المزروعة مع أو بدون تقرير إخباري لمدة تصل إلى عامين. أكد الاتحاد الأوروبي من جديد موافقته على استهلاك الذرة المعدلة وراثياً المصممة لمقاومة تقرير إخباري في عام 2019. وهذا يتعارض مع بعض الدراسات حول الآثار السمية قصيرة وطويلة الأجل لنفس الكائنات المعدلة وراثياً أو تقرير مبيدات الآفات. الغليفوسات حاليا مرخص له للعمل في الاتحاد الأوروبي حتى 15 كانون أول 2022. قامت مجموعة تقييم الغليفوسات (AGG) بمراجعة جميع البيانات التي قدمتها تلك الشركات التي تسعى للحصول على تصريح متجدد. ستجري المشاورات حول التقرير من قبل الهيئة الأوروبية للرقابة المالية والوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية .(ECHA) سيتمكن الجمهور من المشاركة في هذه المناقشات، التي بدأت في الأسبوع الأول من سبتمبر 2021. سيتم تقييم تصنيف الغليفوسات من قبل لجنة تقييم المخاطر (CRA) التابعة للوكالة الأوروبية للمواد الكيميائية وفقاً للتصنيف والتوسيم والتغليف (CLP) اللائحة. ستكمل الهيئة الأوروبية للرقابة المالية مراجعتها وتنشر النتائج التي توصلت إليها بعد موافقة ECHA على قرارها، على الأرجح في أواخر عام 2022. ستحدد المفوضية الأوروبية ما إذا كان سيتم تمديد الغليفوسات أم لا اعتماداً على تقييم المخاطر هذا. باختصار، طريقة تقييم الكائنات المعدلة وراثياً ليست معيارية، والتقييمات تتطلب نهج كل حالة على حدة. بالنسبة للأغذية المعدلة وراثياً، كانت التقنية الشائعة هي إجراء مقارنة مع نظيراتها التقليدية. نظراً لأنه يمكن استخدام مجموعة متنوعة من الأعضاء النباتية للاستهلاك الحيواني أكثر من الاستهلاك البشري، وبما أن ظروف تخزين منتجات الأعلاف المعدلة وراثياً يمكن أن تكون أقل صرامة من حيث التحكم والتنظيم مقارنة بالأغذية المعدلة وراثياً، فقد يلزم إجراء تقييم أكثر دقة ودقة للأعلاف المعدلة وراثياً.

تطبيق الكائنات المعدلة وراثياً على الزراعة وإنتاج الغذاء

بعد تطوير أدوات التكنولوجيا الحيوية مثل CRISPR-Cas، تهدف العديد من أعمال البحث إلى تكييفها مع التطبيقات الصناعية المحتملة. بالنظر إلى الطلب المتزايد على الموارد الغذائية، تُظهر الزراعة اهتماماً كبيراً بتطبيق هذه التقنيات. يمكن إجراء التعديل الجيني للنباتات من خلال آليتين (الشكل 5): إضافة جينات لتزويدها بصفات جديدة أو إسكات جينات معينة عن طريق منع التعبير عن السمات غير المرغوب فيها. منذ عام 1996، نمت المحاصيل المعدلة وراثياً بشكل متزايد، مع 190 مليون هكتار في جميع أنحاء العالم في عام 2016. كانت السمات الزراعية، مثل مقاومة مبيدات الآفات والفيروسات ومبيدات الأعشاب وتحمل الأمراض وتأخر النضج، هي أول ما تركز عليه الهندسة الوراثية في النباتات. توفر معظم المحاصيل المعدلة وراثياً الحماية ضد الحشرات العاشبة وتحمل مبيدات الأعشاب مثل الغليفوسات. تمثل هاتان السمتان الفرديتان والمشتركتان99 <٪ من الأراضي المستخدمة لزراعة المحاصيل المعدلة وراثياً على مستوى العالم. ومع ذلك، يهتم العلماء باستخدام GE لإنشاء وإنتاج نباتات ذات خصائص مرغوبة مثل الجودة الفائقة أو المحتوى الغذائي العالي. على سبيل المثال، يشمل ذلك المحاصيل ذات المظهر المحسن للأحماض الدهنية والأغذية المدعمة بيولوجياً، مثل الأرز الذهبي. يمكن أن تكون العناصر المعدلة وراثياً مفيدة أيضاً في إنتاج المحاصيل ذات التطبيقات التجارية لتعزيز صحة الإنسان، مثل اللقاحات الصالحة للأكل أو النباتات الصيدلانية. يمكن الاطلاع أدناه على استعراض لبعض أكثر المحاصيل المعدلة وراثياً ذات الصلة.

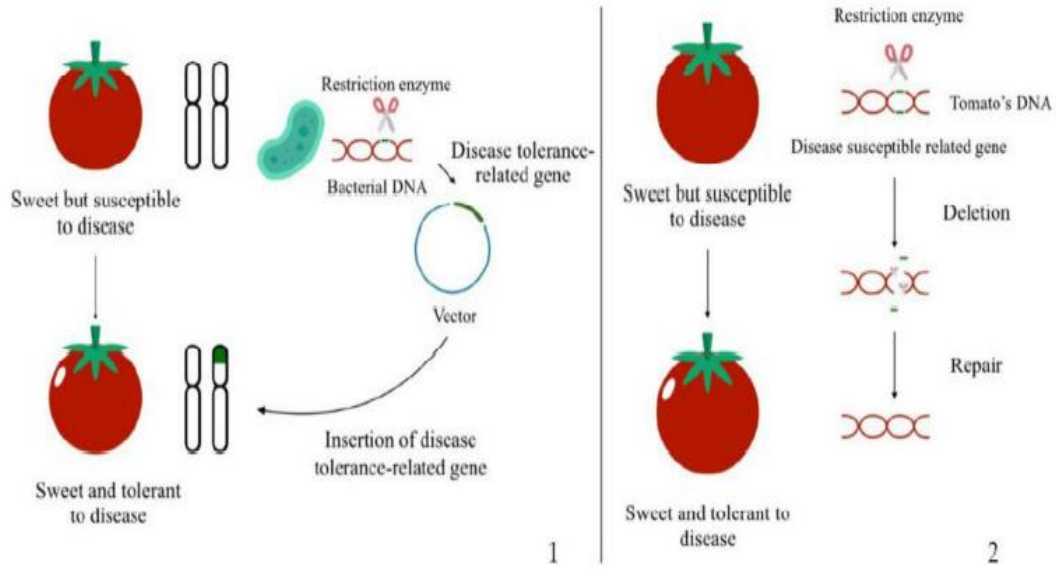


Figure 5:توضيح لطريقتين رئيستين للتعديل الجيني:1-إضافة الجينات. 2-إسكات الجينات.

النضج المتأخر

أول منتج محصول معدّل وراثياً يتم تسويقه هو طماطم Flavr SavrTMتبقى البندورة صلبة وناضجة فقط لفترة زمنية محدودة. يمكن أن يكون عمر البندورة أقصر من الوقت الذي يستغرقه الوصول إلى السوق لأن التليين يمكن أن يضر بالفاكهة أثناء نقلها، ومن هنا يظهر الاهتمام بتأخير التليين. حتى ذلك الحين، يتم قطف الفاكهة الخضراء وتنضجها صناعياً عن طريق معالجة الإيثيلين، والتي تمنح البندورة لونها الناضج ولكن ليس المجموعة الكاملة من النكهات. في الثمانينيات، كشفت بعض الدراسات البحثية أن إنزيم polygalacturonase (PG)قد يكون مرتبطاً بتليين البندورة لأنه يحلل البكتين الموجود في جدار الخلية. اقترحت شركة Calgene في كاليفورنيا تطوير طماطم أكثر مقاومة للتعفن عن طريق إضافة جين مضاد للحساسية يمنع تراكم PG في البندورة الناضجة. في عام 1987، حدد باحثو كالجين واستنساخ جين طماطم PGوأنتجوا طماطم معدلة وراثياً عن طريق إدخال تركيبات الحمض النووي PG المضادة للحساسية. كانوا يتوقعون إنتاج ثمار بقيت متماسكة لفترات طويلة من خلال السماح بنقلها إلى الأسواق، حتى بعد النضج. تظهر بعض سلالات البندورة المولدة 1 ٪ فقط من PG مقارنة بالخطوط التقليدية. بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها من التجارب الميدانية، في مايو 1994، وافقت إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA) على تسويق طماطم Flavr SavrTM كان الاختلافان الوحيدان اللذان لوحظا بين طماطم Flavr SavrTM والبندورة التقليدية هما أن بكتين جدار خلية الفاكهة يتحلل بشكل أبطأ وأن لزوجة معجون البندورة كانت أكبر. على الرغم من أن الطلب لم يكن منخفضاً، إلا أن إنتاجه توقف في عام 1997 بسبب ارتفاع تكاليف الإنتاج والتوزيع.

وبالنظر إلى الدور الأساسي الذي يلعبه الإيثيلين في إنضاج ثمار سن الذروة، فقد اهتم العديد من الباحثين بالتلاعب الجيني لتلك الجينات التي تشفر الإنزيمات المشاركة في التخليق الحيوي للإيثيلين. على سبيل المثال، تتمتع البطيخ بعمر افتراضي قصير لأن نضج الثمار ناتج عن إنتاج الإيثيلين. عن طريق إدخال الجين المضاد للحساسية الذي يثبط التعبير عن) ACC-oxidase إنزيم مشارك في التخليق الحيوي للإيثيلين)، تم تطوير البطيخ المعدّل وراثياً مع تعزيز تماسك اللحم ويمتد فترة صلاحيته إلى 30 يوماً مقارنةً بأقل من 12 يوماً من العلاج التقليدي. فاكهة. مثال آخر على المحاصيل المعدلة وراثياً للنضوج المتأخر هو الموز. في البلدان النامية، يعتبر الموز غذاءً أساسياً لملايين الأشخاص، ويرجع ذلك أساساً إلى كونه مصدراً مهماً للكربوهيدرات والمغذيات. يمكن تحقيق تأخر نضج الثمار عن طريق تقليل تخليق الإيثيلين. هناك جينان:

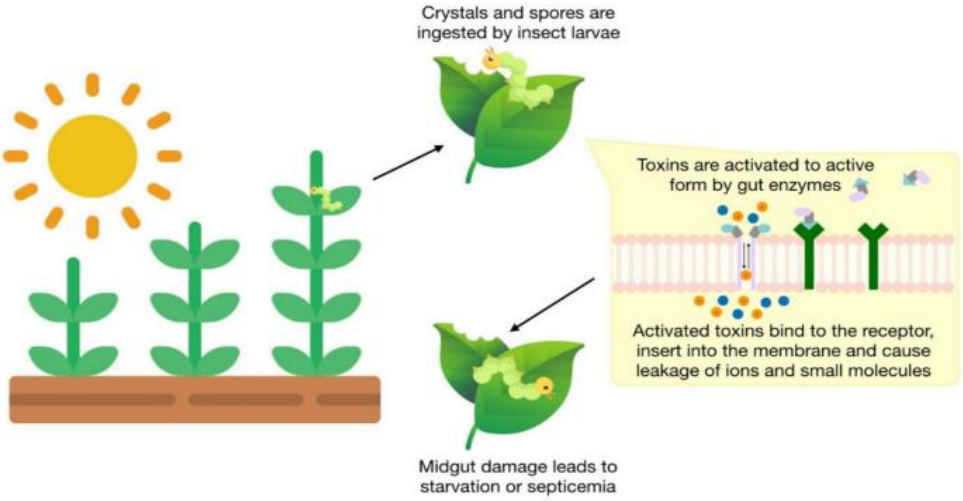
- ✓ MaMADS1
- ✓ وMaMADS2

مرتبطان وظيفيا بنضج الموز. عند قمع أي من الجينات (عن طريق تداخل الحمض النووي الريبي أو مضاد المعنى((RNAi) ، يتم إنشاء نبات موز معدّل وراثياً. يُظهر تأخير النضج المحدد وأنماطاً ظاهرية طويلة العمر الافتراضي، بما في ذلك تأخر تطور اللون وتنعيمه. النضج المتأخر يسمح بقطف الثمار من النباتات لاحقاً، وهذا نضج أكثر طبيعية، مما يعزز الخصائص الحسية للفاكهة والقيم الغذائية.

الحماية من الحشرات والتسامح مع مبيدات الأعشاب

في السبعينيات، عندما أصبح من الواضح أن الإفراط في استخدام مبيدات الآفات الكيميائية يمكن أن يؤدي إلى عواقب سلبية خطيرة على صحة الإنسان والبيئة، حددت منظمة الأغذية والزراعة مفهوم الإدارة المتكاملة للآفات .(IPM) المكافحة المتكاملة للآفات معترف بها دولياً كمعيار مرغوب فيه لوقاية النبات يأخذ في الاعتبار جميع تقنيات مكافحة الآفات المتاحة ويحافظ على مبيدات الآفات والتدخلات الأخرى على مستويات تقلل أو تقلل من المخاطر على صحة الإنسان والبيئة. تعتبر النباتات التي تم تعديلها وراثياً لمقاومة الآفات حجر الزاوية في الإدارة المتكاملة للآفات ويمكن استخدامها جنباً إلى جنب مع تقنيات إدارة الآفات الأخرى. كما ذكرنا سابقاً، توفر معظم المحاصيل المعدلة وراثياً تحملاً لمبيدات الأعشاب (على سبيل المثال، الغليفوسات، D4-2 ، أو الغلوفوسينات الأمونيوم)، أو الحماية من الآفات lepidopteran و / أو coleopteran، أو مزيج من كلتا السمتين. بعض مزايا تبني المحاصيل المعدلة وراثياً لإدارة الحشرات معترف بها عموماً، مثل إمكانية تقليل استخدام مبيدات الآفات أو الخصوصية العالية للآفات .في منتصف التسعينيات، أدى إدخال المحاصيل المعدلة وراثياً إلى تعديلات جوهرية في نظام مكافحة الآفات. لفترة طويلة، تم استخدامBacillus thuringiensis ، وهي بكتيريا موجبة الجرام تنتج بلورات داخلية عند التكوُّن، كمبيد بيولوجي للآفات. البروتينات الموجودة في هذه البلورات سامة لبعض يرقات الحشرات، في الغالب أنواع dipteran وlepidopteran .

في ظل الظروف القلوية للمعي المتوسط للحشرة، تتفكك البلورات وتحرر البروتينات التي يتم هضمها بالبروتياز إلى أجزاء أقل خطورة (الشكل 6). في عام 1985، كانت الشركة البلجيكية Plant Genetic Systemsأول شركة طورت نباتات معدلة وراثياً قادرة على تحمل الحشرات عن طريق إدخال جين البروتين البلوري .(bt2) ابتكرت هذه الشركة نباتات تبغ مُهندَسة تدافع عن نفسها من حشرات قشريات الأجنحة الحساسة ضد توكسين باسيلس ثورينجينسيس. هذه هي الطريقة التي تم بها تطوير وزراعة المحاصيل المعدلة وراثيا Bt منذ عام 1996. كانت الذرة المعدلة وراثياً واحدة من أولى المحاصيل المعدلة وراثياً التي تم تسويقها. أنتجت شركة مونسانتو أنواع مختلفة من الذرة المقاومة لمبيدات الأعشاب الغليفوسية، وكذلك ذرةBt ، وهي مادة معدلة وراثياً معروفة بأنها تعبر عن سم واحد أو أكثر من .Bt اليوم، تظهر العديد من المحاصيل مقاومة الغليفوسات، مثل فول الصويا المعدل وراثياً والكانولا والقطن وبنجر السكر والبرسيم، ومقاومة الحشرات، والتي يتم منحها أساساً عن طريق سموم باسيلس ثورينجينسيس وتوجد بشكل أساسي في القطن وفول الصويا والذرة. علاوة على ذلك، يعد الباذنجان (Solanum melongena L.) أحد أكثر الخضروات إنتاجاً واستهلاكاً في آسيا لتكلفته المنخفضة، وقد تم زراعة محاصيل الباذنجان المعدلة وراثياً في بنغلاديش منذ عام 2014.



الشكل 1: آلية عمل *Bacillus thuringiensis*.

في الوقت الحاضر، يطالب المزارعون والمستهلكون بمزيد من ضمان سلامة الغذاء. الغرض الرئيسي من استراتيجية المكافحة المتكاملة للآفات هو دعم الإنتاج المستدام لمحاصيل عالية الجودة مع تقليل الآثار البيئية المنسوبة إلى الآفات. على الرغم من أن المحاصيل المعدلة وراثياً قد تبدو حلاً محتملاً على المدى القصير لمكافحة الآفات، إلا أن الرؤية طويلة المدى ضرورية لأنه، عن طريق مبيدات الأعشاب وصفات تحملBT. ستظهر الحشائش والحشرات مقاومة مع مرور الوقت. لهذا السبب، فإن أحد أهداف خطة المكافحة المتكاملة للآفات هو الحد من الاعتماد على تقنية واحدة. يوفر تطبيق إستراتيجية المكافحة المتكاملة للآفات فوائد واضحة إلى حد ما، بما في ذلك تقليل المخاطر على صحة الإنسان والبيئة، وتقليل استخدام مبيدات الآفات الكيميائية، وإدارة أكثر ديمومة للآفات في أنظمة إنتاج المحاصيل. تعد المحاصيل المعدلة وراثياً أداة قوية في استراتيجيات المكافحة المتكاملة للآفات المستدامة والعقلانية البيئية. ومع ذلك، من المهم جمع كل المعلومات والخبرات المكتسبة مع المحاصيل المعدلة وراثياً لفهم قيود التكنولوجيا لتعزيز متانة وتعدد استخدامات خطط المكافحة المتكاملة للآفات للمحاصيل المستقبلية.

النباتات المقاومة للفيروسات

تعد العدوى الفيروسية من أكثر الأسباب شيوعاً لتقليل المحاصيل وخسائر اقتصادية كبيرة في الزراعة. نظراً لأن العدوى الفيروسية في المحاصيل تتسبب في خسائر تتراوح بين 10 و15٪ في الغلة العالمية، فإن استخدام جنرال إلكتريك لإنشاء نباتات مقاومة للعدوى الفيروسية قد يكون حلاً للتغلب على هذه المشكلة. على سبيل المثال، تصيب الفيروسات من عائلة Geminiviridae مجموعة واسعة من النباتات في جميع أنحاء العالم، والتي تشمل الفول والذرة والبندورة والقطن الفلفل والبطاطا وغيرها. تسبب هذه الفيروسات أضراراً زراعية كبيرة، مما يؤدي إلى انخفاض الغلة. الفسيفساء، تجعيد الأوراق، البقع، اصفرار الوريد، اصفرار الأوراق، التجعد، والقسوة ليست سوى بعض علامات الأمراض التي تسببها الفيروسات الجيمانية. نظراً لأن

تغير المناخ يؤثر عالمياً على توزيع ناقلات الحشرات، مع وجود مستويات عالية من إعادة التركيب، وإعادة الترتيب، والطفرات في الجينوم الفيروسي، فقد زاد انتشار وشدة الأمراض المرتبطة بالفيروس الجيني بشكل ملحوظ في العشرين عاماً الماضية. ستشكل هذه الفيروسات تهديداً كبيراً للزراعة في جميع أنحاء العالم. برز استخدام أدوات جنرال إلكتريك كإمكانية فعالة لتحقيق مقاومة ضد الفيروسات الجيمينية. على سبيل المثال، أظهرت الدراسات الحديثة فعالية نظام CRISPR-Cas في تطوير مقاومة *Nicotiana benthamiana*. تشير هذه النتائج إلى أنه يمكن اتباع هذا النهج لخلق نباتات مقاومة بشكل متزايد للعدوى الفيروسية مع مرور الوقت. يتم التحقيق في هذه الأساليب على نطاق واسع لتطوير مقاومة لفيروسات النبات واسعة النطاق. أحد الأمثلة على ذلك هو أدواتGE ، التي تم استخدامها مع الخيار لتعزيز مقاومة اثنين من فيروسات potyvirus وثلاثة فيروسات أخرى تسبب ضرراً شديداً للخيار. يمثل جنس Potyvirusنسبة عالية من فيروسات الخضروات وهو مسؤول عن تقليل إمكانية تسويق العديد من المحاصيل. يمكن لنظام CRISPR-Cas أن يحد من الإمراضية ويحسن تحمله ضد فيروسات البوت، في حين لم يتم ملاحظة فروق ذات دلالة إحصائية في الوزن الجاف والازهار والنمو بين النباتات المعدلة وراثياً والنباتات البرية، على الرغم من ضرورة إجراء مزيد من الاختبارات على متانة هذه المقاومة.

مقاومة المحاصيل الفيزيائية والكيميائية

يعتمد عدد من النباتات على المواقع الجغرافية والمناخات المحددة جداً للنمو، مما يحد ليس فقط من قابلية زراعة المحاصيل في بعض المناطق ولكن أيضاً من زيادة الإنتاج. قد تكون GE وسيلة لمساعدة المحاصيل على التكيف مع ظروف النمو المختلفة. على سبيل المثال، تُزرع الذرة في الغالب عن طريق تطبيق ممارسات الزراعة الجافة، على الرغم من أنها لا تدير الجفاف بشكل جيد. أظهرت الأبحاث الحديثة أن تحرير الجينوم في منظم سلبي لاستجابة الإيثيلين، موضع ARGOS8، يولد محاصيل تتحمل الجفاف. بعد تعرضها للكدمات أو التقطيع، تُفقد معظم الخصائص الفيزيائية للمحاصيل. يتسبب التعبير عن جين معين من مادة البوليفينول أوكسيديز (PPO) في تحول*Agaricus bisporus* ، المعروف باسم فطر الزر الأبيض، إلى اللون البني. في الآونة الأخيرة، طورت مجموعة من جامعة ولاية بنسلفانيا حذفاً في عائلة الجينات المشفرة لـ PPO وخلقت عيش الغراب غير البني.

تحسين التغذية

بصرف النظر عن التحسينات المذكورة أعلاه، تم تطبيق تقنيات GE لزيادة القيمة الغذائية للنبات. جذبت أهمية التغذية والغذاء في صحة الإنسان الكثير من الاهتمام في السنوات الأخيرة. يُعرف تعزيز محتويات العناصر الغذائية للمحاصيل بدلاً من إضافة العناصر الغذائية إلى الطعام أثناء معالجتها باسم التقوية الحيوية. أظهرت الدراسات الحديثة قيمة التقوية الحيوية مع التربية التقليدية كتدخل ناجح للتغذية والصحة العامة في البلدان النامية في جنوب شرق آسيا، وأفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، وأمريكا اللاتينية. تعد الأطعمة المعدلة وراثياً التي توفر فوائد غذائية واعدة للغاية لمكافحة سوء التغذية (الجدول 3).

على سبيل المثال، يعتبر الريتينول أو فيتامين أ من المغذيات الدقيقة القابلة للذوبان في الدهون والموجودة بشكل أساسي في البيض والكبد والزبدة. تنتج الخضراوات الخضراء والصفراء أيضاً سلائف فيتامين أ، مثل ب-كاروتين والكاروتينات الأخرى. نظراً لأن الكثير من الريتينول يمكن أن يسبب زيادة سامة في فيتامين أ،

فإن الكاروتينات النباتية لها ميزة على الريتينول من المصادر الحيوانية لأن الكاروتينات يمكن تحويلها إلى ريتينول اعتماداً على متطلبات التمثيل الغذائي. قد يسبب نقص فيتامين أ (VAD) العديد من الأمراض مثل العمى الليلي وجفاف الملتحمة ونقص نمو العظام أو تلين القرنية أو قد يضعف جهاز المناعة ويمكن أن يؤدي إلى مشاكل خطيرة، اعتماداً على عمر المريض. الأطفال هم أكثر الفئات السكانية ضعفاً، حيث يصل معدل الوفيات إلى 50٪. وفقاً لمنظمة الصحة العالمية، يعد VAD مصدر قلق عالمي للصحة العامة، خاصة للأطفال، ويؤثر على 140-250 مليون طفل في سن ما قبل المدرسة في أكثر من 118 دولة. الأرز هو الغذاء الرئيسي لمئات الملايين من الناس في جميع أنحاء العالم. الجزء الصالح للأكل من حبوب الأرز يحتوي على حبيبات النشا والأجسام البروتينية ولكنه يفتقر إلى العديد من العناصر الغذائية الأساسية، مثل الكاروتينات، التي تحافظ على الصحة.

هذا يجعل VAD المتعلق بالنظم الغذائية المرتكزة على الأرز مشكلة صحية عامة خطيرة في 26 دولة على الأقل، بما في ذلك مناطق في آسيا، وأفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، وأمريكا اللاتينية. في عام 1984، تم اقتراح مفهوم الأرز الذهبي لأول مرة، وهو أرز مصمم هندسياً حيث تتحول السويداء إلى اللون الأصفر من خلال تراكم ب-كاروتين (المؤيد لفيتامين أ). تم تصميم أول أرز ذهبي عن طريق إدخال جين PSY من *Narcissus pseudonarcissus* وجين *Phytoene desaturase* (CrtI) من *Erwinia uredovora*، والذي يمكن أن يحفز الفيتوين إلى سلائف الريتينول. ومع ذلك، وفقاً لكل من منظمة الأغذية والزراعة ومنظمة الصحة العالمية، فإن محتوى الكاروتين في الأرز الذهبي لا يلبي الحد الأدنى من المتطلبات الغذائية، ولا حتى إذا تم تناوله كغذاء أساسي. ومع ذلك، قامت شركة التكنولوجيا الحيوية Syngentaبتطوير Golden Rice2 في عام 2005 عن طريق اختيار جين الذرة PSY بدلاً من جينات PSYالمستخدمة سابقاً. زاد هذا المحصول الجديد من محتوى الكاروتين بنسبة تصل إلى 23 ضعفاً مقارنة بالأرز الذهبي الأصلي واقترب من المستوى الواقعي لتخفيف VAD للأطفال. بسبب محتواها العالي من الكاروتين، يمكن أن يكون الأرز الذهبي بمثابة علاج محتمل لجهاز المساعدة البُطينية ويمكن أن يؤثر بشكل إيجابي على صحة الإنسان. على هذا النحو، فإن تكيفه مع الزراعة المحلية مناسب وهو قيد الدراسة.

مثال آخر على المحاصيل المعدلة وراثياً التي يتم فيها تحسين القيمة الغذائية يمكن أن يكون عن طريق تغيير صورة الأحماض الدهنية. الفوائد الصحية المرتبطة بنظام غذائي يحتوي على أحماض أوميغا 3 الدهنية طويلة السلسلة غير المشبعة هي حقيقة معروفة من حقائق الحياة. ثبت علمياً أنها تقلل من خطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية، وتعمل كوسطاء إيجابي للدهون المضادة للالتهابات، وتلعب دوراً في وظائف الدماغ والشبكية. حالياً، يتم الحصول على هذه الأحماض الدهنية بشكل أساسي من المحيطات عن طريق الصيد البري للأسماك البحرية والمحار. في أواخر التسعينيات، بدأ الاهتمام بالمصانع الهندسية لتجميع أحماض أوميغا 3 الدهنية غير المشبعة طويلة السلسلة .(LC-PUFAs) تشتمل أحماض أوميغا LC-3 PUFAsعلى حمض إيكوزابنتانويك (EPA) وحمض الدوكوزاهيكزانويك (DHA)، والتي لا توجد في النباتات العليا. يتضمن التخليق الحيوي لـEPA & DHA العديد من الإنزيمات التي لا يتم التعبير عنها في النباتات العليا. منذ عدة عقود، لم يكن المجتمع العلمي يعرف الهوية الجزيئية لهذه الأنشطة التخليقية الحيوية، ولكن اكتشاف desaturases والإطالة يتطلب توليف EPA وDHA لجعل التعبير عن أوميغا LC-3 PUFAsممكناً في النباتات. في السنوات الأخيرة، أظهرت الدراسات أن الكانولا يمكن أن تكون بديلاً لاستهلاك الأسماك.

GM Crop	Substances Involved	Effect	Molecular Target
Golden Rice2	B-carotene	Anti-VAD	PSY
Tomato	Lycopene Flavonoids Carotenoids	Antioxidant Anticancer	DET1
Indigo Rose Tomato	Anthocyanins	Protection against biotic and abiotic stressors	-SIAN2/SIMYB75 -SIANT1 -SIAN2-like/Aft

جدول 3:التقوية الحيوية للمحاصيل المعدلة وراثياً.

بصرف النظر عن إنتاج المحاصيل المدعمة بيولوجياً لمكافحة سوء التغذية، فإن التكنولوجيا الحيوية تمكّن من زراعة أغذية صحية لعامة الناس (الجدول 4). في الآونة الأخيرة، كان هناك قلق متزايد بشأن إنتاج مادة الأكريلاميد أثناء القلي. يحدث تفاعل Maillard بين بعض الأحماض الأمينية، بما في ذلك الأسباراجين الحر، ويقلل من السكريات عندما تكون بعض الأطعمة النشوية ذات الرطوبة المنخفضة في درجات حرارة تزيد عن 120 درجة مئوية. ناتج هذا التفاعل هو مركب عضوي منخفض الوزن الجزيئي قابل للذوبان في الماء بدرجة عالية. إنه يحمر الطعام، ويؤثر على مذاقه، وقد صنفته الوكالة الدولية لأبحاث السرطان (IARC)مؤخراً على أنه مادة مسرطنة محتملة للإنسان (المجموعة 2 أ). يُعرف هذا المركب باسم الأكريلاميد، وحتى الآن، كانت نتائج الدراسات التي أجريت على البشر غير حاسمة بشأن سميته. تعد البطاطا رابع أكبر محصول أساسي في العالم بعد الذرة والقمح والأرز.

البطاطا من الأطعمة الغنية بالكربوهيدرات، منها 60-80٪ المادة الجافة عبارة عن نشا، وقد اعتبرت مصدراً غذائياً غير صحي بسبب ارتفاع مؤشر نسبة السكر في الدم نسبياً. في الآونة الأخيرة، تمت دراسة تأثير البطاطا المعدلة وراثياً على تكوين مادة الأكريلاميد. طور فريق بحثي نوعاً من البطاطا المعدلة وراثياً، يُعرف باسم سنودن، والذي يفرط في التعبير عن بيروفات ديكاربوكسيلاز من نبات الأرابيدوبسيس. يبدو أن هذه البطاطا المعدلة وراثياً تزيد من محتوى النشا المقاوم والفوسفور في المادة الجافة للبطاطس. عند التخزين في درجة حرارة 5 درجات مئوية، لوحظ انخفاض بنسبة 69٪ في إنتاج مادة الأكريلاميد في رقائق البطاطا. طورت شركة J.R. Simplot البطاطا الفطرية المعدلة وراثياً، والتي تمت الموافقة عليها من قبل وزارة الزراعة الأمريكية في عام 2014 ومن قبل إدارة الغذاء والدواء الأمريكية في عام 2015. تستخدم البطاطا الفطرية تقنية إسكات الجينات RNAi لتنظيم التعبير عن الجينات المسؤولة عن عملية الاسمرار الأنزيمي، مما يجعلها أقل عرضة للاسمرار وظهور بقعة سوداء من كدمات بسبب الضربات أو الضغط أثناء التخزين. تكشف أحدث الدراسات أيضاً أن البطاطا الفطرية تحتوي على نسبة 52-78٪ أقل من مادة الأكريلاميد عند قليها أو خبزها في درجات حرارة عالية نظراً لاحتوائها على مستويات أقل من الأسباراجين والسكريات

المخفضة. قامت إدارة الغذاء والدواء ووزارة الزراعة الأمريكية بمراجعة البطاطا الفطرية على نطاق واسع وتشير إلى أنها آمنة مثل البطاطا التقليدية. لهذا السبب، تعتقد إدارة الغذاء والدواء الأمريكية أن تبني هذه الأصناف الجديدة من البطاطا يمكن أن يكون بمثابة وسيلة لمساعدة عامة الناس على تقليل تناول الأكريلاميد الغذائي.

جدول 4:المحاصيل الأكثر صحة التي تم الحصول عليها من خلال GE.

GM Crop	Substance	Risk	Modification	Effect
Snowden Potato	Acrylamide	Carcinogen (Group 2A)	Pyruvate decarboxylase overexpression	69% reduction
Innate Potato	Acrylamide	Carcinogen (Group 2A)	RNAi gene silencing technology	52–78% reduction
Wheat	Gluten	Coeliac disease	Gliadin content reduction	97% reduction

بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام المحاصيل المعدلة وراثياً كحل للقضاء على مسببات الحساسية في الغذاء. الداء البطني (CD) هو اضطراب مناعي ناتج عن تفاعل مع الغلوتين، وهو مجموعة من البروتينات المختلفة الموجودة في القمح والحبوب الأخرى التي تؤثر بشكل أساسي على الأمعاء الدقيقة وتسبب مشاكل الجهاز الهضمي التقليدية، مثل الإسهال المزمن أو انتفاخ البطن أو سوء الامتصاص. في السنوات الأخيرة، ازدادت الأمراض البشرية المرتبطة ببروتينات الحبوب في جميع أنحاء العالم، والطريقة الوحيدة لعلاج هذه الحالة المرضية هي تناول نظام غذائي خالٍ من الغلوتين مدى الحياة. ومع ذلك، فإن اتباع نظام غذائي خالٍ من الغلوتين أمر معقد للغاية لأن القمح هو غذاء أساسي والأطعمة الخالية من الغلوتين تميل إلى أن تكون أكثر تكلفة. طورت إحدى المجموعات البحثية خبز القمح الذي يحتمل أن يكون مناسباً لمرضى الاضطرابات الهضمية والأفراد الآخرين الذين يعانون من حساسية الغلوتين. يُصنع هذا الخبز من دقيق القمح الذي يحتوي على نسبة منخفضة جداً من الغليادين والحواتم الرئيسية لغلوتين القمح التي تحفز الاستجابة المناعية في الاضطرابات الهضمية. يُظهر خبز الغليادين المنخفض خصائص حسية وتغذوية مماثلة لتلك الموجودة في الدقيق العادي ولكن مع محتوى أقل بنسبة 97٪ من الغليادين. ومن ثم، يمكن أن يستهلك هذا المنتج عموم سكان الاضطرابات الهضمية .

كما هو موضح هنا، تم إحراز تقدم كبير في السنوات الأخيرة في استخدام النباتات المحورة جينيا كمنصات لإنشاء مجموعة من المركبات المفيدة للصحة. غير أن القبول العام للمحاصيل المعدلة وراثياً هو أحد أكبر العقبات التي تعترض تطبيقها التجاري

الغذاء الوظيفي: لقاحات صالحة

استخدم البشر النباتات القابلة للأكل كمنتجات علاجية لآلاف السنين لأنها خزان للمركبات الدوائية القيمة. أصبحت النباتات مؤخراً منصة جذابة لإنتاج لقاحات صالحة للأكل. نظراً لأن تطوير اللقاح التقليدي طويل ومكلف، فقد يصبح من الصعب للغاية إدارة تفشي الأمراض
العديد من المواقف. على سبيل المثال، في الأشهر الستة الأولى من جائحةCOVID-19 ، تسببت متلازمة الالتهاب التنفسي الحاد الوخيم الفيروسي 2 (SARS-CoV-2) في أكثر من مليون حالة وفاة وتسببت في دمار كل من الاقتصاد العالمي والنظام الاجتماعي. لمنع المزيد من الامراضية والوفيات، فإن تطوير لقاح فعال وعلاج مضاد للفيروسات ضد هذا الفيروس هو حاجة ملحة. تبدو اللقاحات الصالحة للأكل بديلاً ممتازاً، لا سيما في البلدان النامية، حيث لا تحتاج إلى معالجة أو تنقية قبل الإعطاء، كما أنها أقل تكلفة في الإنتاج، كما أنها أسهل في الإدارة، ولا تسبب أي صعوبات في التخزين، كما أنها صديقة للحيوية. يمكن استنساخ جين البروتين Spike (S) أو أحد مكوناتSpike ، مثل الوحدة الفرعية S1، في ناقل التعبير النباتي. يمكن أن تؤكل النباتات المحورة وراثياً وتُعطى بسهولة وفماً لتحصين البشر ضد الفيروس الذي ظهر حديثاً بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الدراسات الحديثة أن اللقاحات الصالحة للأكل تحفز الاستجابات الجهازية والمخاطية، وتغطي المساحة المطلوبة لإنتاج اللقاح الفموي لجميع الرضع في جميع أنحاء العالم 200 هكتار فقط. استخدمت معظم الدراسات البطاطا المزروعة، والتي يبدو أنها نموذج مناسب لإنتاج لقاحات ضد التيتانوس أو الدفتيريا أو التهاب الكبد ب. ومع ذلك، قد لا تكون البطاطا الخيار الأفضل للقاحات الصالحة للأكل لأن الطهي يمكن أن يضعف معظم البروتينات المستضدة. الأرز هو نوع نباتي آخر يستخدم لتطوير لقاحات صالحة للأكل. قد يكون له تأثير شديد على الصحة العامة لأن الأرز هو غذاء أساسي ويظهر تعبيراً عالياً للمستضد. يستخدم الموز أيضاً بشكل متكرر لإنتاج لقاحات صالحة للأكل لأنه لا يحتاج إلى طهي. تعد البندورة والذرة والتبغ والموز والجزر والفول السوداني أنواعاً نباتية تتمتع بمستقبل أكثر إشراقاً مثل لقاحات صالحة للأكل (الشكل 7).

ومع ذلك، تتم دراسة العديد من أنواع النباتات، مثل الخس والبابايا والكينوا والتبغ، لإنتاج لقاحات صالحة للأكل. من بين الأمراض الرئيسية التي يتم تطوير لقاحات غذائية لها، تجدر الإشارة إلى داء الكلب (السبانخ) والتهاب الكبد) B البطاطا والخس) والكوليرا (الأرز) وأمراض الإسهال (البطاطا والذرة) والجمرة الخبيثة (البندورة والسبانخ). في عام 2005، عقدت منظمة الصحة العالمية اجتماعاً حول التقييم التنظيمي للقاحات النباتية، والذي خلص وأثبت أن الدلائل الإرشادية الحالية لتطوير وتقييم واستخدام اللقاحات، باتباع الأساليب التقليدية، يمكن تطبيقها لإنتاج لقاحات صالحة للأكل. على الرغم من أن اكتشاف اللقاحات الصالحة للأكل هو أحد الاختراقات الرئيسية في فرع التكنولوجيا الحيوية، فإن التحدي الرئيسي هو أن يوافق عليها الجمهور. نظراً لأن فوائدها بارزة بدرجة كافية للتغلب على آثارها الجانبية، فإن البحث المناسب ضروري لجعل التحكم الأفضل في الأمراض المعدية ممكناً.

مستقبل المنتجات المعدلة وراثياً

تعتبر الزراعة قطاعاً وثيق الصلة بالاقتصاد العالمي، وهي تمتد إلى ما هو أبعد من إنتاج الغذاء.

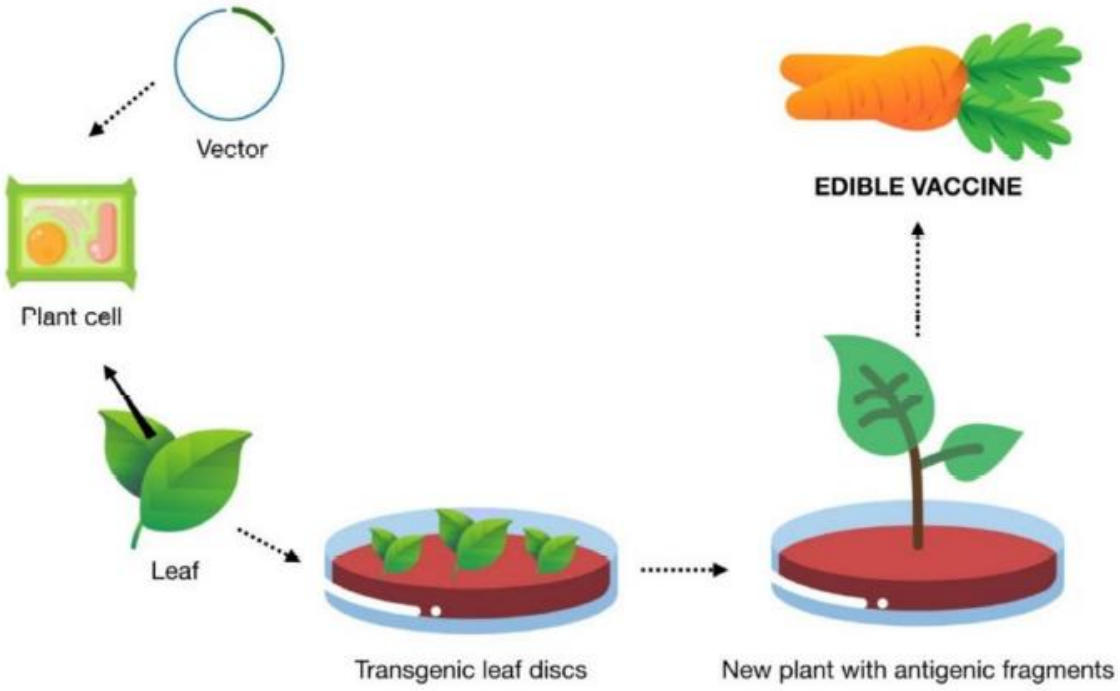


Figure 6:تطوير لقاحات صالحة للأكل.

واحدة من أهم التحديات الاجتماعية والاقتصادية والعلمية للعالم الحديث هي الزيادة المستمرة في عدد السكان. تشير التقديرات إلى أن عدد سكان العالم سيصل إلى 9 مليارات نسمة بحلول عام 2050. وبما أن المستويات الحالية لإنتاج الغذاء لن تكفي لتلبية الطلب على الغذاء، فإن تحقيق الأمن الغذائي العالمي يشكل تحدياً خطيراً انتفاخ. أسهل طريقة للتغلب على هذا هو زيادة مساحة الأراضي الصالحة للزراعة، لكن الغالبية العظمى من الأراضي الزراعية الصالحة للزراعة غير متوفرة لأنها مستخدمة بالفعل. يعد تغير المناخ عاملاً مقيداً آخر يقلل من الإنتاجية الزراعية بدرجات الحرارة الشديدة والملوحة العالية والفيضانات والظروف الحمضية. على مر التاريخ، حقق البشر تحسينات كبيرة في إنتاج الغذاء. أدى إدخال الأسمدة الكيماوية والمبيدات الحشرية ومبيدات الأعشاب إلى زيادة غلة المحاصيل. في الأربعينيات من القرن الماضي، أدت "الثورة الخضراء" إلى زيادة كبيرة أخرى في غلات المحاصيل. في الوقت الحاضر، تم اقتراح التكنولوجيا الزراعية كإجراء لتزويد سكان العالم المتزايدين في المستقبل ولتكون بمثابة حل لمشكلة "عدم كفاية الغذاء". تعد جنرال إلكتريك وإنتاج المحاصيل المعدلة وراثياً أدوات واعدة للزراعة لأنها يمكن أن تساعد في مواجهة بعض التحديات التي تنتظرنا. هناك فوائد أخرى من المحاصيل المعدلة وراثياً، مثل زيادة غلة المحاصيل دون

الحاجة إلى توسيع المساحات المزروعة وتقليل استخدام الأسمدة وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري. إن إزالة المحاصيل المعدلة وراثياً من الزراعة من شأنه أن يؤدي إلى زيادة كبيرة في مساحة الزراعة العالمية على حساب الغابات المطيرة، مما يؤدي إلى تكثيف انبعاثات غازات الاحتباس الحراري التي بدورها ستؤدي إلى تفاقم تغير المناخ. بصرف النظر عن كل هذه المزايا، هناك فوائد اقتصادية معينة ضمنية. أدى ارتفاع الغلة وتحسين الإنتاجية وخفض التكاليف من المحاصيل المعدلة وراثياً إلى مزايا اقتصادية عالمية بلغت 15.4 مليار دولار أمريكي في عام 2015 و167.8 مليار دولار أمريكي من عام 1996 إلى عام 2015.

يعتبر قبول الجمهور للمحاصيل المعدلة وراثياً أحد العقبات الرئيسية أمام التطبيق التجاري. إن تطوير المستقلبات لتوفير نظرة عامة نوعية وكمية شاملة عن المستقلبات الموجودة في الغذاء يمكن أن يكتسب ببطء شعبية الجمهور. ومع ذلك، قد يظل المستهلكون متشككين بشأن الأغذية المعدلة وراثياً على الرغم من تراكم البيانات العلمية. حاولت الدراسات تحليل التغيرات في المواقف تجاه الأغذية المعدلة وراثياً من خلال التركيز على توفير مزيد من المعلومات حول GE ومخاطرها وفوائدها. بعد الحصول على معلومات حول مخاطر وفوائد المنتجات المعدلة وراثياً، يبدو أن الاستطلاعات العامة الأخيرة تظهر قبولاً أكبر. في معظم الحالات، يستند الرفض إلى حدس أخلاقي وحجج علمية تشير إلى أن الأطعمة المعدلة وراثياً غالباً ما تكون غير فعالة. ولأن هذه الإستراتيجية أثبتت عدم فعاليتها، فقد تمت محاولة إستراتيجية مختلفة تماماً. عملت الدراسات الحديثة على معالجة مشكلة جنرال إلكتريك الأخلاقية من خلال اهتمام عاطفي آخر. تم إطلاع المستجيبين على المشاكل العالمية الخطيرة باستخدام مثال الأنظمة الغذائية التي تفتقر إلى فيتامين (أ) وكيف يمكن للأرز الذهبي أن يمنع وفيات الأطفال والعمى. عندما واجه المستجيبون هاتين المشكلتين الأخلاقيتين، نما قبولهم لشركة جنرال إلكتريك. لذلك، ربما لم تكن التدخلات التي تم إجراؤها مع السكان قوية بما يكفي لمواجهة مواقفهم الأخلاقية القوية تجاه الكائنات المعدلة وراثياً.

في الوقت الحاضر، تتوفر مجموعة واسعة من الخضروات المعدلة وراثياً في السوق، معظمها فول الصويا والذرة والقطن والكانولا، بالإضافة إلى الأنواع الأخرى المعدلة وراثياً مثل الأرز والكوسا والبابايا وبنجر السكر والبطاطا والبندورة. ومع ذلك، يتم التحقيق في إنشاء محاصيل جديدة معدلة وراثيا، مثل التفاح والمانجو والأناناس والموز والبطاطا الحلوة والشعير وجوز الهند والخس.

نظراً لأن معظم المحاصيل المعدلة وراثياً التي يتم تسويقها تقدم الآن القدرة على تحمل مبيدات الأعشاب أو الحماية من الأوبئة، تتم دراسة العديد من الفوائد. من المهم ملاحظة أن المحاصيل المعدلة وراثياً هي إحدى السبل للمساعدة في التغلب على أزمة الغذاء في العالم ومشاكلها البيئية. قضايا الرعاية الصحية هي أيضاً مسألة حاسمة، خاصة بالنسبة للأشخاص في المناطق المتخلفة. على سبيل المثال، يمكن للأرز الذهبي تقديم فوائد ملموسة لتلبية الاحتياجات الاجتماعية والاقتصادية من خلال تخفيف التكاليف البشرية المرتبطة بالعمى والإعاقات الأخرى المرتبطة بفيتامين أ. يمكن أيضاً استخدام المحاصيل المعدلة وراثياً كمغذيات ولقاحات صالحة للأكل دون الحاجة إلى منشآت صناعية واسعة النطاق. لهذا السبب، يجب إعطاء الأولوية لسلامة الأغذية وليس للأساليب التي يتم بها دمج السمات والخصائص الجديدة. في المستقبل القريب، سيؤدي التقدم العلمي إلى نباتات معدلة وراثياً بسمات جديدة، وسيتيح تطوير الأيضات تقييمات أفضل للمخاطر. كما هو الحال في أي جانب من جوانب الحياة، لا يوجد أي خطر في الغذاء، لذلك لا ينبغي تعميم أن جميع الأطعمة المعدلة وراثيا جيدة أو سيئة. يجب التعامل مع الأطعمة المعدلة وراثياً كأطعمة تقليدية. أخيراً، يجب أن ينتقل

النقاش إلى المجال العلمي بدلاً من المجال العاطفي، ويجب إجراء تحليل المخاطر والفوائد قبل تسويق منتج جديد.

الاستنتاجات

اليوم، لا يمكن تسويق سوى عدد قليل من المحاصيل المعدلة وراثياً كغذاء. ومع ذلك، يمكن استخدام تطبيق تقنيات جنرال إلكتريك لتطوير المحاصيل المعدلة وراثياً لمواجهة التحديات الجديدة لتغير المناخ والاستدامة وسلامة الأغذية العالمية. على الرغم من طرح المزيد والمزيد من المحاصيل المعدلة وراثياً في السوق، لا يزال بعض المستهلكين والمجتمع العلمي يرفضونها. نظراً لصعوبة تقييم المخاطر طويلة الأجل لاستهلاك المحاصيل المعدلة وراثياً، فإن إحدى المشكلات الرئيسية هي احتمال أن تشكل بالفعل خطراً محتملاً على صحة الإنسان أو الحيوان أو البيئة. تقليدياً، ارتبطت الكائنات المعدلة وراثياً بمخاطر مختلفة، بما في ذلك مشاكل السمية، وتطور الحساسية، وتطور الورم، والعقم، وإمكانية النقل الأفقي للجينات المحورة إلى البيئة أو إلى الأنواع الأخرى. ومع ذلك، لا توجد أدلة علمية كافية للقول إنها تضر بالصحة بالفعل. حددت منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) مبدأ التكافؤ الجوهري، والذي بموجبه يجب اعتبار الكائنات المعدلة وراثياً آمنة كأغذية تقليدية. على الرغم من أن احتمال نقل الجينات الأفقي منخفض للغاية، فقد تم حظر استخدام الجينات التي تمنح مقاومة المضادات الحيوية كواسمات انتقائية. يتم تضمين العديد من المنتجات في السوق، مثل اللحوم المصنعة أو الكحول، في قائمة منظمة الصحة العالمية للأطعمة المسببة للسرطان، ولكن لا تزال هناك مخاوف من العوامل المعدلة وراثياً. لا تزال الدراسات الاستقصائية السكانية تظهر موقفاً سلبياً تجاه الكائنات المعدلة وراثياً بسبب الجوانب الأخلاقية .معظم الأصناف المعدلة وراثياً الموجودة في السوق اليوم مقاومة لمبيدات الأعشاب والآفات، وتعمل الغالبية كغذاء للحيوانات. ومع ذلك، يتم دراسة مجموعة متنوعة من المحاصيل لإنشاء نباتات ذات سمات مرغوبة، مثل النضج المتأخر والخضروات المدعمة بيولوجياً والنباتات الصحية واللقاحات الصالحة للأكل. كل هذه المحاصيل ستقدم فوائد اقتصادية وبيئية وغذائية ملحوظة وصحة الإنسان. في السنوات القليلة الماضية، تم إحراز تقدم كبير لا يوضح فقط جدوى استخدام النباتات المعدلة وراثياً كمنصات لصنع مجموعة من المركبات المفيدة للصحة، بل يتحرك أيضاً على طول خط أنابيب الترجمة، وفي النهاية نحو الموافقة التنظيمية، والتسويق، والمستهلك المدخول.

يُعتقد أن تطوير المستقلبات سيساعد على تحسين تقييم سلامة الأغذية المعدلة وراثياً، مما سيؤدي تدريجياً إلى مزيد من قبول المستهلك بسبب المواقف الحدودية القادمة بسبب تغير المناخ وارتفاع الطلب على الغذاء .كما هو موصوف في كل مكان، فإن الأطعمة المعدلة وراثياً ليست مفيدة فقط لتغطية النقص الغذائي للأجيال القادمة ولكن يمكنها أيضاً أن تحترم تغير المناخ بشكل أفضل وتقدم فائدة تتجاوز هذه الجوانب العامة، والتي يتجاهلها عامة الناس بشكل أساسي. ومن ثم، يجب أن تكون هذه الفوائد الصحية للمستهلك معروفة لعامة الناس لعكس رفضها الحالي وتبديد الرهاب المتعلق بالكائنات المعدلة وراثياً.

المراجع:

- http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22826253
- https://news.un.org/en/story/2019/07/1042411
- https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html
- http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31695205
- http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31921242
- http://doi.org/10.3390/su10114190
- http://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.05.006
- http://doi.org/10.1002/fes3.161
- http://doi.org/10.1007/s00003-012-0777-9
- https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/53/download/isaaa-brief-53-2017.pdf
- http://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.02.006
- http://doi.org/10.3390/ijms22084206
- http://doi.org/10.1057/jcb.2010.24
- http://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.007
- http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/home/en/
- http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FShared%2BDocuments%252FArchive%252FMeetings%252FCCFL%252Fccfl35%252Ffl35_08e.pdf
- http://doi.org/10.1007/s11248-019-00149-y
- http://doi.org/10.1057/s41599-019-0328-4
- https://geneticliteracyproject.org/gmo-faq/do-gmos-encourage-monoculture-cropping-and-reduce-biodiversity/
- https://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs_341_en.pdf
- http://doi.org/10.1007/s10806-005-6164-0
- http://doi.org/10.1038/sj.embor.7400769
- http://doi.org/10.1021/jf0511650
- http://doi.org/10.1051/agro:2008051
- https://www.researchgate.net/publication/304038768_Best_Practice_Document_for_the_coexistence_of_genetically_modified_soybean_crops_with_conventional_and_organic_farming

- http://doi.org/10.1007/s002170000248
- http://www.biosafety.be/NF/NFMenu.html
- http://doi.org/10.1016/j.fct.2017.08.033
- https://www.efsa.europa.eu/en/news/glyphosate-eu-regulators-begin-review-renewal-assessments
- https://ib.bioninja.com.au/options/untitled/b2-biotechnology-in-agricul/edible-vaccines.html