الانجراف الجيني وتلوث الجينوم بين الأحياء

أيوب عبيد ألفلاحي
قسم المحاصيل الحقلية
كلية الزراعة/جامعة الانبار

فدوى وليد عبد القهار
قسم الصناعات الغذائية
كلية الزراعة/جامعة الانبار

المستخلص

يقصد بالانجراف الجيني انتقال الجينات غير التقليدي من أفراد مجتمع لآخر، وهو ظاهرة تحدث نادراً بصورة طبيعية بين الأفراد المتوافقة وراثياً إذا ما توفرت الظروف الملائمة لذلك. حدث تبادل الجينات بين المحاصيل وبين قريباتها من الأنواع البرية والأدغال منذ قرون، وسيستمر بالحدوث. تحدث هذه العملية في نباتات المحاصيل سواء كانت نباتات ذلك المحصول قد طوّرت من خلال التربية التقليدية أو طرائق التقنية الحيوية. يعد احتواء الجينات المحورة وراثيا أمراً مثيراً للقلق في المحاصيل المحورة وراثياً "GMC" (Genetically Modified Crops) وخصوصاً تلك التي يمكن حدوث التلقيح الخلطي بينها وبين الأنواع البرية القريبة. إن إطلاق الكائنات المحورة وراثياً قد يخلق مشاكل جدية للبيئة وللسلسلة الغذائية. بما أن للمحاصيل المحورة وراثياً المقدرة على التكاثر ومضاعفة أعدادها، لذا فانه من خلال التلقيح الخلطي يمكن للجينات "الدخيلة" في هذه النباتات أن تنتقل إلى محاصيل أخرى أو إلى الأنواع البرية مسببة ما يعرف بالتلوث الوراثي"Genetic Contamination"، لذا يمكن لمشكلة التلوث الوراثي أن تتعاظم بمرور الوقت. كما يمكن لبذور محاصيل GMC أن تنتشر وتختلط مع بذور النباتات غير المحورة وراثيا مما قد يؤدي إلى تفاقم المشكلة. أُنشئت مزارع المستحضرات الصيدلانية الحيوية لإنتاج البروتينات الصيدلانية من النباتات المحورة وراثياً. يرى المؤيدون لهذه التقنية أن PMPs (Plants Made Pharmaceuticals) المصنعة في النبات يمكن أن تنتج بكلفة منخفضة مقارنة بطرائق الإنتاج الحالية. إن احد أهم الأمور المثيرة للقلق فيما يتعلق بهذه التقنية هو احتمال حدوث تلوث لمحاصيل الغذاء بجينات هذه المستحضرات، فضلاً عن أن هذه المنتجات ربما يكون لها تأثيرات سلبية على النظام البيئي في المستقبل القريب أو البعيد.

The Iraqi Journal of Agricultural Sciences 41 (2):126-149 (2010) Al-Falahi & Abdalqahar.

BIOTA GENE FLOW AND GENOME CONTAMINATION

A. O. Al-falahi
Dept. of Field Crop Sciences
College of Agric. /Univ. of Alanbar

F. W. Abdalqahar
Dept. of Food Sciences
College of Agric. /Univ. of Alanbar

ABSTRACT

Gene flow means the unconventional transfer of genes from one population's individual to another. This is a rare naturally occurring phenomenon among genetically compatible individuals if the appropriate conditions are available. Crops have exchanged genes with their wild and weedy relatives for centuries, and this will continue in happening. This process can occur in crop plants whether the crop plant was developed through conventional plant breeding or biotechnology methods. Transgene containment is a major concern in genetically modified crops (GMC), especially for those with potential to crosspollination their wild relatives. Releasing GM organisms into the environment can create serious threats to the environment and the food chain. GMC crops have the ability to reproduce and multiply. Therefore, through crosspollination, the "foreign" genes they contain can be transferred to other crops and wild species and cause what we call it "Genetic Contamination". Genetic contamination problem can, therefore, magnify over time. GMC seeds can also be spread, mixed with non GMC seed and compounding the problems. Bio-pharming originates to produce pharmaceutical proteins in genetically manipulated plants. Supporters of this technology claim that PMPs (Plants Made Pharmaceutical) can be made in plants at a significantly reduced cost compared to current production methods. One of the major concerns with bio-pharming is that food may become contaminated with genes of these products, as well as these products may have negative effects on natural ecosystems in near or far future.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

المقدمة

كان يعتقد في السابق انه من النادر حدوث التهجين بين أنواع المحاصيل المنزرعة والأنواع البرية حتى ولو نمت بجوار بعضها البعض، وكانت هذه الفكرة سائدة حتى مطلع التسعينات. لقد دعمت هذه الفكرة الاعتقاد السائد بتباين واستقلالية مسالك التطور للأنواع النباتية المنزرعة وأسلافها البرية مما سيزيد من الانعزال التكاثري بينهما، كما يؤيد ذلك صعوبة حصول مربي النبات على الهجن من تضريب الأنواع المنزرعة والبرية [86]. لقد وجد من خلال عدد من الدراسات أن هناك العديد من حالات التهجين هذه بين ألأنواع المنزرعة والبرية من المحاصيل، فقد وجد أن التهجين يحدث بشكل تلقائي بين الذرة البيضاء (*Sorghum bicolor*) وحشيشة جونسن (*Sorghum halepense*)، ولم تكن مسافات العزل تتجاوز 100 متر [6] والأخير من أسوأ الأدغال في العالم، بالرغم من أنهما ينتميان لنوعين مختلفين وعدد كروموسوماتهما مختلف أيضاً. لذا فقد أصبح من المؤكد حدوث حالات انسياب جيني من الذرة البيضاء المنزرعة إلى الأنواع البرية، ولا يمكن تحديد عددها بدقة إلا ان بالإمكان القول أنها حدثت لمرة واحدة على الأقل وليس هناك من سبب يدعو إلى الاعتقاد بأنها ستتوقف. [87,7]. لقد أجريت دراسات مماثلة على كل من زهرة الشمس (*Helianthus annuus*) و البنجر السكري (*Beta vulgaris*) [5,123,9] والرز (*Oryza sativa*) [38] و السلجم (*Brassica napus*) والدخن اللؤلؤي *Pennisetum glaveum* [46] ، وتبين أن احتمال حدوث التهجين بين الأنواع المنزرعة من زهرة الشمس وقريباتها البرية في بعض مناطق التماس قد تتراوح نسبتها ما بين 10-30% [19]. إن انتقال الجينات من الأنواع المنزرعة إلى الأدغال مثلاً، سوف يتسبب بظهور نوع أو أكثر من الأدغال المستعصية. من الجدير بالملاحظة أن التهجين مع الأنواع البرية كان له اثر كبير في تطور أنواع الأدغال الأكثر عدوانية والتي تنمو مع سبعة محاصيل من أصل أهم 13 محصولاً في العالم [47,46]. يمكن أن يكون للانسياب الجيني (Gene flow) من المحاصيل المنزرعة إلى الأنواع البرية مساوئ أخرى، إذ أن التهجين بين الأنواع الشائعة مع أحد الأنواع النادرة يمكن أن يتسبب بانتشار النوع النادر بعد بضعة أجيال بشكل واسع إذا ما توفرت الظروف الملائمة [78,45].

إن إمكانية حدوث الانسياب الجيني من المحاصيل المحورة وراثياً إلى الأنواع البرية والتي كانت لها تبعات غير مرغوبة قد تم اكتشافها بشكل منفصل من قبل عدد من المختصين [44,31,27]، لعل أهم ما كتب في هذا المجال " إن انتقال الجينات من الأنواع الجديدة إلى الأنواع البرية التي تشابه في طبيعتها الأدغال، يمكن أن يتسبب بإنتاج أدغال مستعصية لها مقدرة اكبر على البقاء، كما يمكن أن يكون له الأثر البالغ على التركيب الوراثي للمجتمعات الطبيعية [77]، وهذا يمثل الخطر الأكبر الذي يتهدد البيئة" [66]. كما اعتبر تسرب جينات غير مرغوبة إلى البيئة يمثل مشكلة أكثر تعقيدا من مشكلة تسرب المواد الكيمياوية. يعتقد المختصون في بيئة النبات ووراثة المجتمعات النباتية انه يجب التمحيص في المشاكل التي تعترض زراعة المحاصيل المحسنة تقليديا لمواجهة المخاطر المحتملة للمحاصيل المحورة وراثياً ومن بين أكثر تلك المشاكل هي:

1. التهجين الحاصل بين المحاصيل والأنواع البرية وتسببه بتحول الأنواع البرية إلى أدغال.

2. التغايرات الحاصلة في الحشرات لمقاومة الطرائق الجديدة في مكافحتها.

3. التأثيرات التي تنعكس على الأنواع غير المستهدفة والموجودة في النظام البيئي، مثل حالات التسمم التي تصيب الحشرات المفيدة [127,69].

إن آلافاً من البكتريا والفايروسات والنباتات والحيوانات المحورة وراثياً يمكن إطلاقها في النظام البيئي للأرض لأغراض تجارية، تبدأ بإنتاج المستحضرات الصيدلانية "Biopharmaceuticals" وتنتهي بإنتاج الوقود الحيوي "Biofuel" [135,80]. يمكن للبعض من هذه الأحياء أن تسبب ضررا بالغاً للغلاف الحيوي للكوكب محدثة اضطراباً جينياً واسع النطاق وتلوثاً جينياً قد يكون مميتاً. بدأت زراعة وإنتاج النباتات المحورة وراثياً منذ منتصف التسعينات من القرن الماضي، وخصوصاً في الجزء الشمالي من القارة الأميركية التي أصبحت تلك المحاصيل فيها تشكل

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

30% من الناتج الزراعي السنوي، ومنذ ذلك الوقت وقع عدد من كوارث التلوث في المحاصيل غير المحورة وراثياً، وجلبت تلك الكوارث المعاناة للمزارعين كما تسببت بخسائر اقتصادية كبيرة، كما أصبحت تشكل تهديداً جدياً لصحة المستهلكين ووضعت زراعة المحاصيل التقليدية على المحك. يمكن أن يحدث التلوث الجيني حتى في التجارب الحقلية الصغيرة، إذ تم تغريم شركة "Pioneer" الأمريكية مبلغ 72,000 دولار لعدم إبلاغها السلطات عن حالة تلوث لدى إجراء تجارب حقلية في هاواي [53]، وبما أن زراعة المحاصيل المحورة وراثياً لا زالت في بدايتها وان وتيرة العمل بها في تزايد مستمر، فان هناك حاجة ملحة لوضع أكثر من حاجز وقائي للحيلولة دون حدوث التلوث.

التزاوج بين الاصناف:

أدى التلقيح الخلطي بين أصناف السلجم "Canola" المحورة وراثياً لتحمل مبيدات الأدغال، إلى إنتاج صنف متحمل لثلاثة أنواع من المبيدات هي Liberty و Roundup و Clearfield أطلق عليه Super weed، (شكل1)[42,35,20].

شكل 1. نبات "Super weed"

لقد نتج هذا الصنف من التلقيح بين الأصناف المتحملة للمبيدات المذكورة، إلا أن هذه الأصناف باتت تعامل معاملة الأدغال بعد أن نمت مع المحاصيل في المواسم اللاحقة طوعياً "Volunteer" ونتيجة لاكتسابها صفة التحمل للمبيدات بالتحوير الوراثي أصبحت تمثل مشكلة كبيرة لصعوبة مكافحتها. تدعى صفة المقاومة لأكثر من مبيد "Gene stacking"، وقد وجد أن هناك "Gene stacking" في عينات السلجم المأخوذة من 11 موقعاً في كندا، وكان هذا مؤشراً لحصول الانسياب الجيني مع مسافة عزل تجاوزت 800 متر[112,70]. تمت التوصية بضرورة استخدام مبيدات 2,4-D و Paraquat للسيطرة على نمو أصناف الكانولا المقاومة للمبيدات [12]، بالرغم من أن مبيد 2,4-D يعد عالي السمية ويسبب أضراراً للعين [107] فضلا عن سمية بعض أشكاله للأسماك [54].

النقل الجيني:

يتضمن تعبير "Pharming" الإشارة إلى الزراعة "Farming" و المستحضرات الصيدلانية "Pharmaceuticals"، ويشار به إلى استخدام تقنيات الهندسة الوراثية في حشر الجينات المسؤولة عن تشفير تكوين المستحضرات الصيدلانية في جسم الحيوان أو النبات المضيف، والاخيرة لا تتضمن مثل تلك الجينات في حالتها الطبيعية. نتيجة لهذه العملية سيقوم الكائن العائل بتصنيع

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

المنتجات الصيدلانية بكميات كبيرة، يمكن تنقيتها لاحقا لتصبح منتجاً علاجياً. إن بعض هذه المستحضرات أو العناصر الغذائية يمكن الاستفادة منها عن طريق الاستهلاك المباشر للنبات أو الحليب. تمتاز مثل هذه المستحضرات بكونها عبارة عن بروتينات متجمعة أو نواتج ايضية لتلك البروتينات وقد أكسبتها هذه السمة صفة التأثير العالي وقلة الآثار الجانبية مقارنة مع الجزيئات العضوية الأصغر حجماً، كما أنها تستهدف أسباب المرض بشكل مباشر، فضلا عن معالجتها لأعراض ذلك المرض. بالرغم من أن مثل تلك البروتينات قد تم إنتاجها باستخدام الأحياء المجهرية كالبكتريا أو الخمائر، إلا أن استخدام النباتات لهذا الغرض سيرفع من سقف الفائدة التي سيحصل عليها المنتجون، إذ لن تكون هناك حاجة لإنشاءات وبنى تحتية مكلفة، كما يمكن الوصول إلى السعة الإنتاجية القصوى المطلوبة لسد الطلب المتزايد بشكل سريع. تشير بعض التوقعات إلى أن تكلفة إنتاج المستحضرات الصيدلانية من النباتات المحورة وراثيا يمكن أن تنخفض بمقدار 70% مقارنة بالتكلفة الحالية.

يتم حالياً إنتاج البروتينات العلاجية باستخدام طرائق التقنية الحيوية في منشآت التخمر المعقمة، إذ تستخدم مزارع الأحياء المجهرية أو الخلايا الحيوانية الموضوعة في حاويات معدنية لتنتج تلك الأحياء مجموعة من المواد المحورة وراثياً [55]. فمثلا اغلب هرمون الأنسولين البشري الموجود حاليا يتم إنتاجه من المزارع البكتيرية. نتيجة لارتفاع تكلفة إنشاء مثل هذه المنشات، لم يعد بإمكان تلك الصناعة مجاراة الطلب المتنامي على الدواء [1]، فهناك مجموعة المستحضرات يتم استخلاصها من أنسجة الحيوان أو الإنسان، إذ ينتج الأنسولين من أنسجة الخنزير أو الأبقار، بينما تنتج بروتينات الدم من دم الإنسان [58] . نتيجة للقفزات الكبيرة في مجال الهندسة الوراثية في العقدين الماضيين أصبح بالإمكان إجراء التحوير الوراثي على أنواع نباتية معينة لإنتاج عدد كبير من المواد العلاجية التي يتطلع أن تكون تكلفة إنتاجها اقل بكثير من تكلفة الإنتاج الحالية. قد يصبح بالإمكان إنتاج المضادات الحيوية التي تكلف حاليا آلاف الدولارات للغرام الواحد بسعر لا يتجاوز مائتي دولار للغرام الواحد إذا ما استخدمت النباتات لهذا الغرض. بلغت مبيعات العالم من الأدوية في احدى السنوات 430 بليون دولار وكان معدل النمو في صناعة الأدوية المصنعة كيمياوياً "صغيرة الجزيئة" 7-8% في نفس الفترة، مقارنة بمعدل نمو صناعة البروتينات العلاجية "كبيرة الجزيئة" الذي بلغ 15%.

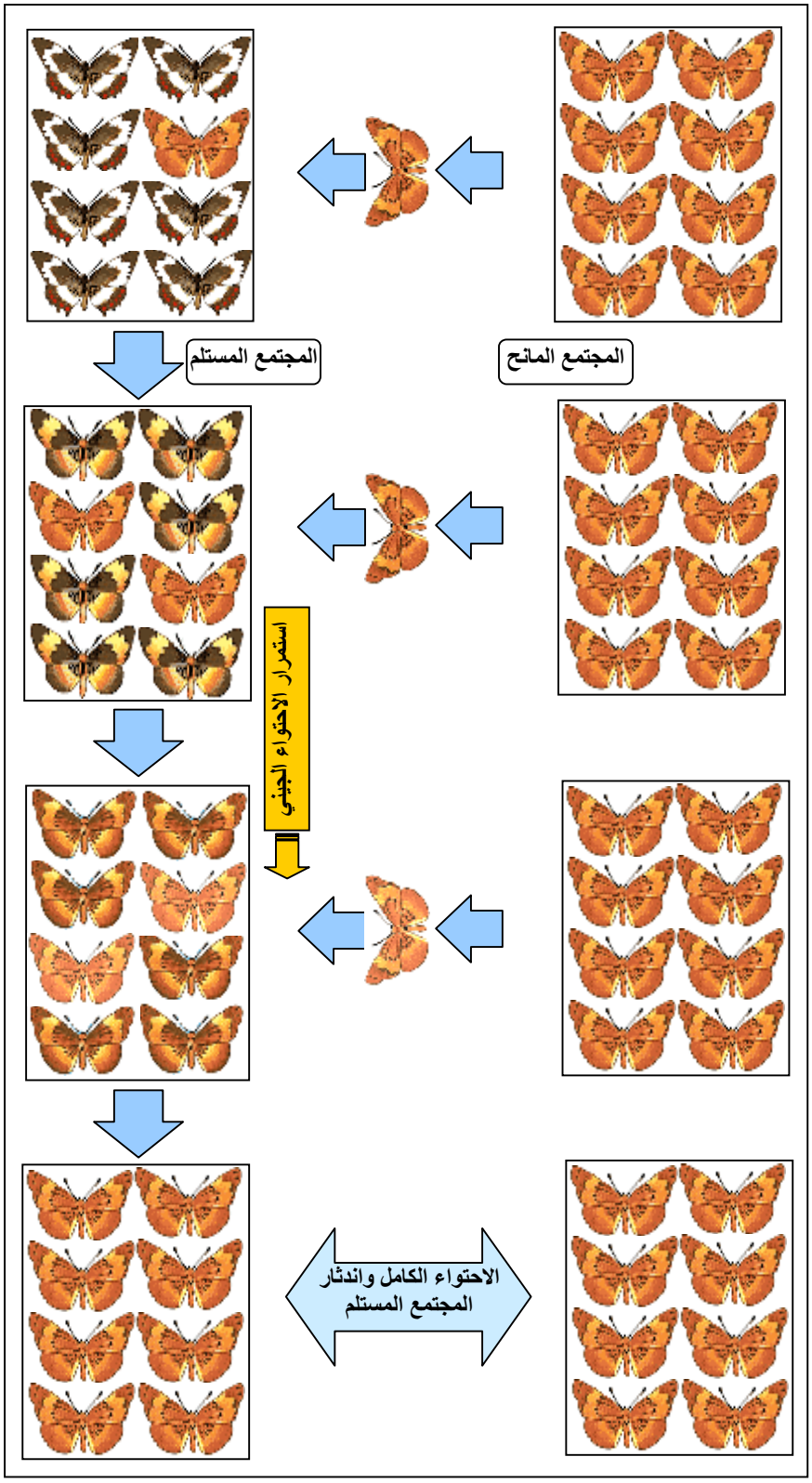
يستخدم نبات أذن الفار Arabidopsis عادة كأنموذج لدراسة التعبير الجيني وذلك لصغر جينومه، بينما يكون الإنتاج الفعلي باستخدام نباتات الذرة الصفراء والرز والبطاطا والتبغ والكتان والعصفر. إن الغرض من استخدام الرز والكتان مثلا يكون بسبب طبيعة التلقيح الذاتي فيهما والتي يمكن من خلالها تجنب حدوث الانسياب الجيني، كما أن استخدام المحاصيل الثانوية كالتبغ والعصفر يمكن أن يقلل خطر إحداث عجز في تجهيز الغذاء، كما هو الحال مع استخدام محاصيل السلع الأساسية كالرز والبقوليات. هناك جدل كبير حول مدى كون استخدام النباتات لإنتاج البروتينات العلاجية عملياً، فهناك خشية من حدوث التلوث الجيني للمحاصيل الغذائية، فعلى سبيل المثال، إن حقلاً مساحته 10 هكتار من محصول السلجم بلغت نسبة التلوث الوراثي فيه3% ، فان ذلك يعني وجود 30000 نبات محور وراثيا في ذلك الحقل [10]. تتطلب الطرائق التقليدية لإنتاج البروتينات الصيدلانية استثماراً ماديا كبيرا وتستغرق وقتا طويلاً، وهناك حوالي 30 بروتيناً علاجياً في الأسواق وما يقارب 100 أخرى في مراحل الاختبارات النهائية على الإنسان، وهذا شجع الشركات المتخصصة على إيجاد خيارات متعددة من البروتينات المنتجة للأغراض العلاجية. يرى المساندون لاستخدام النباتات في إنتاج المستحضرات الصيدلانية أنها تقنية يمكن إدارتها بسهولة ومنخفضة الكلفة وأمينة فيما لو تم إتباع إجراءات صحيحة وصارمة لمنع حدوث التلقيح الخلطي، كما تجدر الإشارة إلى أن هناك إمكانية لسد الطلب العالمي على بروتين علاجي معين من خلال استخدام النباتات المزروعة ضمن مساحة محدودة لا تتجاوز بضعة دونمات، كأن تكون في بيوت بلاستيكية، ولذلك يرى بعض المختصين أن استخدام مصطلح "gardening" انسب من "farming" إشارة إلى صغر المساحة المطلوبة.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

هجرة الجينات وأثرها في التكرار الجيني للمجتمعات:

تعد هجرة الجينات "Gene migration" فضلاً عن قوى التطور الأخرى كالانتخاب والانجراف الوراثي من بين أهم الآليات التي توجه التكرار الجيني ضمن المجتمعات الطبيعية [49]. يمكن أن يرجع التباعد الوراثي بين المجتمعات إلى الانجراف الوراثي الناجم عن الانعزال الكلي أو الجزئي أو من الانتخاب المتباين. إن هجرة الأفراد " مثل البذور والأمشاج" [5] ضمن تلك المجتمعات "تحت المجتمع الواحد" سيقضي على التباعد بين المجتمعات الرئيسية، وسيتسبب بخفض التباين الوراثي بين مجاميع تحت المجتمع وزيادة في التباين الوراثي ضمن تلك المجاميع، وكما هو الحال مع الانجراف الوراثي فان هجرة الجينات هي عملية محايدة وتؤثر في التكرار الجيني للمجتمعات الطبيعية [92,23]. يمكن وصف أنموذجين أساسيين لهجرة الجينات الأول: "الأنموذج المتماثل symmetric models" ويفترض تماثل الحجم لجميع مجاميع تحت المجتمع ومعدل هجرة متناسق [140]. بمعنى آخر تفترض هذه النماذج أنه في كل تحت المجتمع يكون عدد الأفراد المهاجرين إلى تلك المجموعة يكون مساوياً لعدد الأفراد الذين يهاجرون منها. أما الأنموذج الثاني: "الأنموذج غير المتماثل Asymmetric model " ففيه يكون حجم مجاميع تحت المجتمع ومعدل الهجرة متبايناً [74].من المتوقع أن تؤثرالهجرة المتناسقة على هيكل التباين الوراثي من خلال التجانس في التكرار الجيني بين مجاميع تحت المجتمع، في حين لن يكون لها تأثير في التباين الوراثي الكلي لان التكرار الجيني للمجتمع سيبقى ثابتاً. أما النماذج غير المتناسقة فإنها ستؤثر بشكل كبير في التكرار الجيني والتباين الوراثي الكلي للمجتمع، وهذا قد يؤدي بالنتيجة إلى اندثار بعض مجاميع تحت المجتمع. لذا فان التكرار الجيني للمجموعة المستلمة سيميل إلى أن يكون مماثلا للتكرارالجيني للمجموعة المانحة، وهذا سيؤدي في الحالات الشديدة إلى تلاشي بعض مجاميع تحت النوع أو يحدث لها ما يسمى بالاحالوراثي"Geneticassimilation" ويقصد به احتواء المجموعة المانحة للمجموعة المستلمة [142]. طبقاً إلى أنموذج الهجرة المتناسقة للجينات، فان اعداد الجينات المطلوبة لمنع حدوث التطور المستقل لمجاميع تحت المجتمع تكون منخفضة نسبياً (مهاجر واحد لكل جيل)، وهذا يبين انه في حاله التباين الشديد في معدل الانتشار والتلقيح الخلطي بين الأنواع وضمنها، من المتوقع أن يكون للانسياب الجيني دور بارز في هيكلة التباين الوراثي للمجتمعات الطبيعية [77](شكل 2).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل 2. هجرة الجينات والأفراد والاحتواء الجيني، وفيه يتم احتواء المجموعة الثانية "اندثارها" إلى يسار الشكل من قبل المجموعة الأولى إلى يمين الشكل.

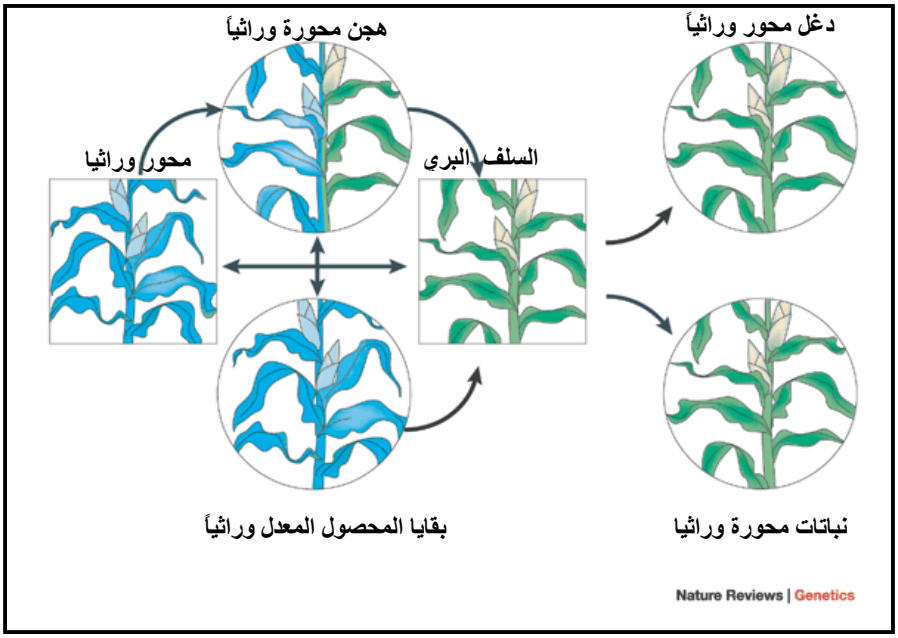
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

لاشك أن الانسياب الجيني بين الأنواع البرية والمنزرعة ستكون له عواقب مهمة على تطبع الأنواع، وسيساهم ولو جزئياً في استعادة التباين الوراثي للمجتمعات المنزرعة [8]. يمكن أن تشكل المناطق التي تتوزع فيها الأنواع البرية مصدراً مهماً للاليلات الجديدة التي يحتاجها المربي، كما أن الانسياب الجيني من الأنواع البرية إلى الأنواع المنزرعة في مثل تلك المناطق لا زال مصدراً مهما للتغاير الجيني وهذا الأخير ضروري للتطور [81] . لقد شاع مؤخرا استقدام بعض الجينات من الأنواع البرية إلى الأنواع المنزرعة ومن أهمها جينات المقاومة، فضلاً عن بعض مواقع الصفات الكمية (QTL's) لغرض تحسين كمية ونوعية الحاصل [132]. قد يؤدي الانسياب الجيني من الأنواع المنزرعة إلى البرية إلى تقليل التباين الوراثي للمجتمعات البرية، وهذا سيقود في بعض الحالات إلى تلاشي التوليفة الوراثية لتلك المجتمعات [142,63,46]. إن ظهور الأصناف المحورة وراثيا في مناطق تواجد الأنواع البرية سيزيد من مخاطر انتقال جينات جديدة غير مرغوب بها في المجتمعات البرية مثل جينات تحمل مبيدات الأدغال، وهذا قد سيسهل تطور الأنواع البرية إلى أدغال شديدة الضرر [83,56]، وبالتالي ظهور مشاكل حياتية وبيئية سببها النقل الوراثي العمودي.

تظهر المحاصيل المنزرعة وأسلافها البرية اختلافات مظهرية واضحة تسمى متلازمة التدجن "Domestication syndrome" [71]. تنتج هذه الاختلافات بفعل الضغط الانتخابي الطبيعي أو الصناعي الذي يجري على مراحل مختلفة من تطور المحصول خلال عملية استزراعه [73]. يتم خلال عملية التدجن الانتخاب لمجاميع متشابهة من الصفات، منها حدوث عجز في نظام الانتشار ألزماني و المكاني "الانفراط والسكون"، وتغير حجم العضو النباتي المستغل من قبل الإنسان "كالبذور"، والشكل الهندسي للنبات "تحديد الشكل" واختصار دورة حياة النبات "تبكير التزهير والنضج وعدم التحسس تجاه الفترة الضوئية". تظهر اغلب صفات أعراض التدجن نتيجة لفعل جينات قليلة "واحد أو أكثر". كما أن اغلب أليلات التدجين تنشأ من حدوث طفرات فقد الوظيفة "Loose function" وتوجد هذه الاليلات بصورة متنحية [62,19]. تتضمن عملية التدجن الانتخاب لصفة التأقلم للظروف البيئية السائدة ووفقا للمتطلبات البشرية. يظهر فعل التدجن بشكلين يتم من خلالهما تقليل التباعد الوراثي للمحاصيل المدجنة مقارنة بأسلافها البرية، والشكلان هما: عنق الزجاجة "Bottleneck" وفيه يحدث انجراف وراثي عشوائي على مستوى الجينوم بسبب صغر حجم المجتمع المدجن الأصلي وحدوث الانتخاب على المناطق المستهدفة ومواقع الارتباط بسبب الاتحادات الجديدة. أما الشكل الآخر فهو ما يعرف "بالتوصيل المجاني Hitchhiking " ويتوقع الشكل من التدجن أن يكون فعالاً في الأنواع ذاتية التلقيح (Autogamous) بينما ينخفض تأثيره كثيرا في الأنواع خلطية التلقيح (Allogamous) ، وهذا ما لوحظ فعلا في الذرة الصفراء *Zea mays* التي وجد أن Hitchhiking له تأثير واضح على مناطق الجينوم المقيدة "Restricted genomic regions" التي تتضمن عدة مئات من أزواج القواعد حول مواقع التدجن المنتخبة [138,137,133,25]. بالرغم من الاختلافات الكبيرة في التراكيب المظهرية التي تنشأ من عملية التدجن، إلا أن كلا من المحصول وسلفه البري سيبقيان عائدان لنوع حيوي واحد [72]. لذلك فعندما ينمو المحصول وسلفه البري احدهما بجوار الآخر ويكون هناك تزامن في مرحلة التزهير فمن المتوقع أن يحدث التهجين بينهما وينتجان ذرية خصبة، وهذا ما لوحظ بالفعل في عدد من الاختبارات التي تضمنت طرائق ونماذج مختلفة ونفذت على عدد من المحاصيل التي تعود لأنواع ذاتية وخلطية التلقيح [46].

تحدث بعض حالات التزاوج بين الأنواع البرية والمنزرعة لتطور مجتمعات الأدغال التي يمكن أن تتواجد في الحقول أو الأراضي البور وحتى على جوانب الطرقات. كما يمكن أن تظهر مجتمعات الأدغال كبقايا للأنواع المنزرعة التي تتطور لاحقاً إلى أدغال، وتسلك مجتمعات الأدغال سلوكا وسطا بين صفات النوع البري والمنزرع، وفي جميع الأحوال يمكن لمجتمعات الأدغال تلك أن تعمل عمل الجسر الوراثي " Genetic bridge" الذي يسهل انجراف الجينات بين الأنواع المنزرعة والبرية (شكل3).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل3. المحاصيل المحورة وراثياً وتطور مجتمعات الأدغال لدى انتقال جينات معينة من الأنواع المنزرعة إلى الأنواع البرية.

عموماً، فان كلا من النوع البري والمنزرع يحافظان على صفاتهما المميزة لكل منهما حتى ولو نميا متجاورين. ففي الأنواع الخلطية التلقيح كالذرة الصفراء مثلاً، فان الانتخاب الثنائي الذي يحدث نتيجة لحالة التناوب في صفات التدجن يعد عاملاً مهماً ويفسر استمرار تواجد كلاً من النوع المنزرع وسلفه البري في نفس المنطقة. أما في الأنواع الذاتية التلقيح فان نظام التكاثر فيها يعطي تفسيراً مغايراً. هناك العديد من الأمثلة على حالات التبادل في المادة الوراثية بين الأنواع البرية والمنزرعة، وهذا يبين أن الانسياب الجيني يمكن أن يحدث بكلا الاتجاهين من الأنواع البرية إلى المنزرعة وبالعكس [81,47,46]. باستثناء حالات التلوث الوراثي الناجمة عن طرائق التربية الحديثة، فان الانجراف الجيني من الأنواع البرية إلى المنزرعة يحدث فقط عندما يلجأ المزارعون إلى ترك جزء من المحصول لغرض إنتاج البذور لزراعتها في المواسم اللاحقة بدون العودة إلى المصادر التجارية لتجهيز البذور. لدى الحديث عن الطرائق الحديثة في تربية النبات فان فعل الانجراف الجيني سيكون في اتجاه واحد فقط من المجتمعات المنزرعة إلى البرية. إذ ثبت من خلال عدد من الدراسات أن الانجراف الجيني قد أدى إلى حدوث هجرة غير متناسقة ويكون معدل حدوثها من الأنواع المنزرعة باتجاه الأنواع البرية أعلى من الاتجاه المعاكس [142,108,95,82]. قد يرجع في ذلك إلى كبر حجم المجتمعات النباتية في الأنواع المنزرعة مقارنة بالأنواع البرية، فضلاً عن اختلاف أنواع الانتخاب فيما بين بيئات تلك المجتمعات [109]. إذ نجد في البيئات الزراعية انه فضلاً عن شدة الانتخاب المسلطة من قبل النظام البيئي الزراعي "Agroecosystem"، فهناك شدة انتخاب اخرى من قبل المزارع، وثانياً: إن أليلات الجينات المسؤولة عن إحكام السيطرة الوراثية على ظاهرة التدجن هي متنحية عموماً، لذا ستظهر هجن الجيل الأول بتركيب وراثي مماثل للأب البري وبذلك ستكون لهذه الهجن مقدرة اكبر على التطبع مع الظروف البرية. لذلك سيكون الانتخاب فعالاً في الجيل الأول في البيئات الزراعية، بينما يكون الانتخاب في الأجيال اللاحقة فعالاً أكثر في البيئات البرية، مما سيسمح بظهور الاتحادات الجديدة وبالتالي انجراف الاليلات من المجتمعات المنزرعة الى أسلافها

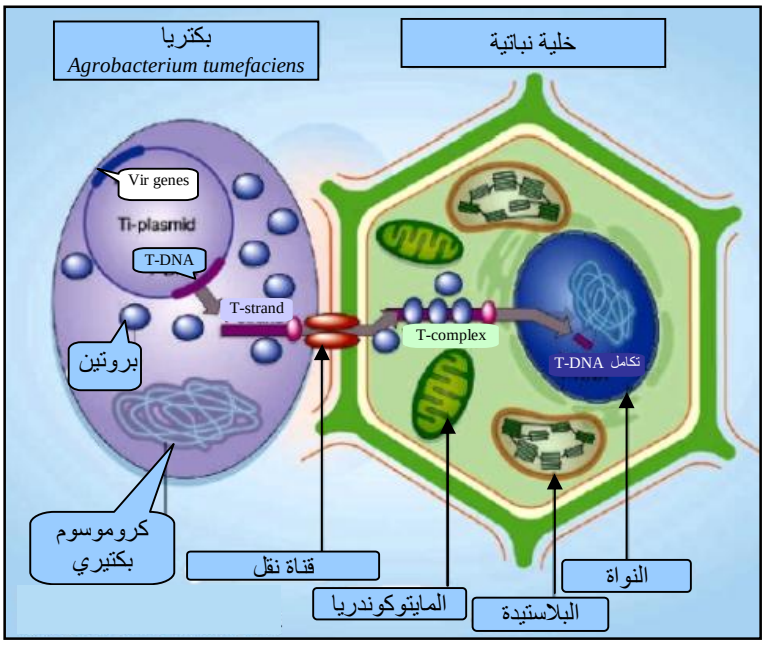
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

البرية. إن كلاً من الاختلاف في حجم المجتمع وطريقة إدارة الانتخاب يمكن أن تحفز انتقال غير متناسق للاليلات وهذا سيؤدي إلى إزاحة الاليلات البرية واحلال أليلات المجتمعات المدجنة محلها. في حالة حدوث انخفاض حاد في التباعد الوراثي في المجتمعات المدجنة مقارنة مع الأشكال البرية "عنق الزجاجة"، فان تأثير الانتقال غير المتناسق سيكون على شكل انخفاض في التباعد الوراثي للمجتمعات البرية، ولن ينعكس تأثير هذه العملية على مجمل الجينوم، وهذا يرجع إلى حدوث الاتحادات الجديدة والانتخاب على مواقع التدجن تحديداً. لذلك فمن المتوقع أن يحافظ المجتمع البري على التباعد الوراثي الأصلي بسبب حالات الارتباط حول مواقع التدجن. لقد أثبت العديد من الاختبارات التي طبقت على أنواع نباتية مختلفة أن مناطق الجينوم التي ستشهد انتقال الجينات إليها من المجتمعات المنزرعة محدودة جداً، ويعد الانتخاب العامل المحدد لحجم تلك المناطق التي يمكن توسعتها لبضع "Centimorgans". لقد اصطلح على هذه المناطق "بنوافذ الجينوم المحروسة" وتعتمد كثيراً على معدل الاتحادات الجديدة الفعّالة. فإذا كان معدل الاتحادات الجديدة عالياً كما هو الحال مع الأنواع الخلطية، فان تلك المناطق ستكون ذات نطاق محدود جداً وستقتصر على جزء محدد من الجينوم، بينما سيكون حجم المناطق المذكورة اكبر في الأنواع الذاتية التلقيح. استناداً للنتائج المتعلقة بهيكلة التركيب الوراثي على طول جينوم الانواع الاولى مثل الذرة الصفراء [137] وجينوم ذاتية التلقيح مثل نبات أذن الفأر *Arabidopsis thaliana* [105] اذ من المتوقع أن يكون حجم تلك "النوافذ" متبايناً بين بضع مئات من أزواج القواعد إلى مئات kb، وهذا يعتمد في جزء منه على نظام التربية المتبع في تلك الأنواع.

انتقال الجينات ضمن وبين جينومات الأنواع:

برزت من خلال بحوث الجينوم العديد من الأدلة على انتقال DNA بشكل مستمر من والى جينومات النباتات والحيوانات والبكتريا [41]!!. يدعى انتقال الجينات بين الأنواع بالانتقال الافقي "Horizontal gene transfer (HGT)" [131] وهو انتقال المادة الوراثية من كائن مانح إلى كائن آخر مستقبل، بغض النظر عن إمكانية التزاوج بينهما [52]، ويساهم بشكل كبير في تطور الكائنات البدائية. إذ تبلغ مساهمته حوالي 20% من حجم الجينوم لتلك الكائنات[102,90,88]، بينما تكون مساهمته في تطور الكائنات الحقيقية النواة اقل بكثير مما هو عليه الحال في الكائنات وحيدة الخلية [118] . أما الانتقال العمودي للجينات "Vertical gene transfer (VGT)" فيشار به إلى انتقال الجينات من نبات منزرع إلى نبات آخر بري قريب له شريطة وجود توافق وراثي بينهما [52]. لقد شاع منذ سنين استخدام بكتريا *Agrobacterium tumefaciens* في تقنيات الهندسة الوراثية، إذ تعمل هذه البكتريا ناقلاً للجين المعني وإدخاله إلى جينوم النبات المراد تعديل تركيبته الوراثية [18]. كما تم توثيق العديد من حالات الانجراف الجيني من النباتات المحورة وراثيا إلى بكتريا التربة، فقد وجد أن هناك تطابق كبير بين تتابع بلازميد البكتريا وجينوم بلاستيدات التبغ المعدل وراثيا [84]. بالرغم من فعالية إنزيمات "Nucleases" في كل من النبات والأحياء المجهرية في التربة إلا أن احتمال وجود قطع من DNA هذه الكائنات يبقى قائماً، مع عدم إغفال دور جزيئات الطين والرمل التي يمكن أن تعيق فعالية DNases بسبب امدصاص قطع DNA على سطوح تلك الجزيئات [61,43,36]. (شكل 4)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل 4. الانتقال الأفقي للجينات من البكتريا إلى الخلية النباتية.

هناك العديد من الآليات التي يتم من خلالها انتقال الجينات من نوع نباتي إلى آخر ومنها التبادل الجيني الذي يحدث بين العائل والمتطفل [35,34] ونقل الجينات عن طريق الفيروسات النباتية [94,14,13] وعن طريق فطريات المايكورايزا "Micorhizal fungi" [34] وانتقال الجينات بفعل لسع الحشرة [131] أو نتيجة الإخصاب غير الطبيعي كالتلقيح بأكثر من حبة لقاح [64]. هناك عدد من الأمثلة التي اكتشفت مؤخراً تتضمن انتقال جيني بين الأنواع ومنها انتقال جين إنزيم "Isomerase" من جنس *Poa* إلى جينوم جنس آخر *"Festuca ovina "* وانتقال "Transposon" من الرز إلى أفراد من جنس "*Setaria*" [39] وانتقال جين المايتوكوندريا من Asteroid (مجموعة من النباتات الزهرية ومن ضمنها العائلة الباذنجانية) إلى أفراد من جنس *Gentum* وهي من مغطاة البذور[143]. إن مما لاشك فيه انه كلما تم إحراز تقدم في مجال تحليل وتحديد تتابع الجينوم كلما تكشفت حقائق جديدة حول انتقال الجينات بين الأنواع المتباعدة ولأبعد مما يعتقد حاليا. إذ أن استخدام التقنيات الحديثة في تشخيص وعزل الجينات التي تسيطر على الصفات الرئيسية المنظمة لأداء المحاصيل ضمن ما يعرف بالتقنيات الحيوية الزراعية "Agbiotic" كتقنية "TILLING" [51] و "MAS" قد ساعد كثيراً في تقصي الحقائق المتعلقة بتركيب الجينوم واوجه التشابه والاختلاف ضمن وبين الأنواع النباتية، بل هناك حالات حدث فيها انتقال جيني من النباتات إلى الحيوانات، إذ وجد أن الحيوان المائي *Hydra viridis* يحتوي على جين " Ascorbate peroxidase" الفعال كلياً، والذي انتقل إليه من الطحلب الاخضر "*Chlorela vulgaris*" وترتبط بينهما علاقة تعايشية [67]. يعتقد انه نتيجة لانتقال DNA خلال عمليات التطور عبر ملايين السنين، فان ما نسبته 90% من DNA الحالي لأغلب الحيوانات والنباتات مصدره من خارج النوع، إلا أن النسبة الأكبر من هذا DNA "الدخيل" غير فعّالة بل وقد يكون متطفلا في بعض الحالات. ربما يفسر هذا إزالة بعض المحاصيل لجزء من DNA كما في الرز، الذي نجح في التخلص من اغلب DNA الفائض خلال مراحل تطوره. فإذا كان هذا صحيحاً، فلم لا تسلك بقية المحاصيل سلوكاً مماثلاً؟ قد تكون الإجابة على مثل هذا التساؤل معقدة بشكل لا يمكن معه إعطاء إجابات قطعية، اذ ما تمت معرفته لحد اليوم عن الجينوم وتطوره يكاد لا يمثل شيئاً أمام ما هو مجهول. إلا أن من الممكن أن تكون مادة DNA الدخيلة قد أصبحت لها وظيفة لا يمكن للكائن الاستغناء عنها ، لذلك

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

يرى البعض أن هذا هو احد أسباب استمرار زيادة نسبة DNA الدخيل في كل من الحنطة والذرة الصفراء حتى وصلت إلى 80-90% من الجينوم الكلي[110]. نورد هنا بعض الأمثلة على حالات التهجين في بعض العوائل النباتية:

عائلة Heliantheae:

تحدث حالات من التهجين بين النوع المنزرع من زهرة الشمس (*Helianthus annuus* L.) والأجناس البرية Argyroxiphium (DC) و Bidens (L.) و Dubautia (Gaud.) و Lipochaeta (DC) و Wilkesia (A. Gray). [121,47,46,19,4]. فقد وجد انه بالإمكان حدوث التهجين بين جنس Argyroxiphium وكلٍ من الجنسين القريبين له Dubautia و Wilkesia [22] . أظهرت أنواع الجنس Bidens خصوبة واضحة لدى التهجين فيما بينها. بينما نتج عن التهجين بين أنواع الجنس Lipochaeta أفراداً بمجاميع كروموسومية مختلفة تدعى "Polyphyletic" [136]. إن احد أشكال التكيف في حبة لقاح زهرة الشمس هو كونها مشوكة، وهذا يمنحها ميزة إضافية تسهل نقلها بواسطة الحشرات ، وطالما أن حبة اللقاح تلك ثقيلة نسبياً، لذا لا يعول كثيراً على الرياح في إتمام عملية التلقيح [57] . حيث تبين أن احتمال حدوث التلقيح بين الأنواع المنزرعة والبرية يبلغ 2% على مسافة ألف متر [4]. هناك عدد من العوامل التي يمكن أن تقلل من نسبة حدوث التلقيح منها مدى انتشار حبوب اللقاح والمسافة الفاصلة بين الأنواع وحيوية حبوب اللقاح وخصوصاً في الجنسين Argyroxiphium و Wilkesia ومدى القرابة التي تربط بين الأنواع. وبحسب آخر تصنيف فان الأجناس Argyroxiphium و Dubautia و Wilkesia تقع ضمن عائلة واحدة Compositae.

عائلة Gossypieae:

تتضمن القطن المنزرع *Gossypium barbadense L.* و *G. hirsutum L.* و *G. arboreum* . إن احتمال حدوث الانجراف الجيني من القطن المنزرع الى النوع *G. tomentosum* عالية جداً، وهذا عائد إلى ان القطن المنزرع والبري هما رباعيا التضاعف ذاتياً "52=2n" [37]. أما الجنس البري *Kokia* "24=2n" فليس من المتوقع حدوث التلقيح بينه وبين الجنس المنزرع بسبب التباعد الوراثي الكبير بينهما، فضلاً عن صغر حجم المجتمعات الطبيعية التي يتواجد بها الأول. هناك عدد كبير من العوامل التي تؤثر في الانجراف الجيني من أنواع القطن المنزرعة منها حجم ووزن حبة اللقاح ونسبة التلقيح الذاتي وتركيب الزهرة وأوقات التزهير وحجم الاختلافات الوراثية ووجود الملقحات وعدم التوافق والعقم الذكري.

عائلة Solaneae:

منها نوع البطاطا المنزرعة *Solanum tuberosum L.*، التي يفصل بينها وبين بقية أنواع الجنس ذاته غير الحاملة للدرنات عائق تكاثري قوي جداً [89,47]. إن انتشار حبوب اللقاح في النوع المنزرع محدود جداً إذ تبلغ نسبة التلقيح 0.017% على مسافة 10 متر وهي نسبة منخفضة جداً لحدوث الانجراف الجيني [96]، ولم يتم تسجيل أية حالة تلقيح بين النوع المنزرع من البطاطا وأي نوع من العائلة الباذنجانية، بينما جرت عدة محاولات ناجحة لإحداث التلقيح الصناعي [141,124,65].

عائلة Phaseoleae:

منها فول الصويا المنزرعة *Glycine max L.* والأجناس البرية *Canavalia (Adans.)* و *Erythrina (L.)* و *Mucuna (Adans.)* و *Strongylodon (Vogel)* و *Vigna (Savi)*. يمكن أن يزرع فول الصويا في العديد من المناطق الجغرافية الواسعة على مدار السنة وهذا يزيد من احتمال حدوث الانجراف الجيني منه إلى الأنواع البرية القريبة. ليس هناك دليل على حدوث التهجين الطبيعي بين فول الصويا المنزرع والأنواع البرية، وهذا يرجع في جزء منه إلى التباعد الوراثي ضمن نفس القبيلة وانخفاض حالات التلقيح الخلطي بين أصناف فول الصويا المنزرعة تحت ظروف الحقل [113,24,16].

ماهية المستحضرات الصيدلانية المصنعة نباتياً:

يعد استخدام النباتات في تصنيع المستحضرات الصيدلانية احد أهم انجازات الهندسة الوراثية في العقدين المنصرمين. إن استخدام التقنية الحيوية فيما يسمى"الزراعة الحيوية الصيدلانية" "Biopharming" قد شهد الانتقال من مرحلة التكهنات النظرية إلى مرحلة الاختبارات الحقلية أو البيوت

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الزجاجية في مختلف أرجاء العالم، مما يعد بإنتاج اكبر وكلفة ارخص للعديد من المستحضرات الصيدلانية مثل مصول اللقاحات (Vaccines) للأمراض المعدية والبروتينات العلاجية المستخدمة لمعالجة حالات السرطان وأمراض القلب وغيرها. يتم إنتاج "المستحضرات الصيدلانية المصنعة نباتياً" (PMPs) بالنباتات المحورة وراثياً لغرض إنتاج مركبات معينة، وغالباً ما تكون بروتينات يتم استخلاصها وتنقيتها بعد إتمام الحصاد، وهذا بالطبع لا يشمل تلك النباتات التي تنتج بطبيعتها مواد أو مركبات لها استخدامات صيدلانية.عادة ما تكون البروتينات الشكل الشائع لمستحضرات PMPs، إذ أنها غالبا ما تشفر بشكل مباشر من قبل الجينات، لذا فان هذه الخاصية تجعل من إنتاج هذه المواد بطرائق الهندسة الوراثية أكثر سهولة ومباشرة مقارنة بالمركبات الكيموحيوية الأخرى التي تصنع ضمن آليات متداخلة أكثر تعقيداً. يظهر الجدول 1 بعض الأمثلة على المنتجات الصيدلانية وطبيعتها.

جدول 1. المستحضرات الصيدلانية الممكن إنتاجها بطرائق هندسة النبات الوراثية.

المنتج	طبيعته	ملاحظات
المضادات الحيوية	البروتينات المتخصصة للجهاز المناعي التي تمثل الاستجابة المناعية للجسم	يمكن تطوير مضادات حيوية معينة لمحاربة مرض السرطان ونقص المناعة المكتسبة والتهاب الكبد الفيروسي و الملاريا وأمراض الأسنان وغيرها.
المصول "الانتيجينز"	المركبات التي تحفز إنتاج الأجسام المضادة الضرورية لحماية الكائن من المسببات المرضية.	يجري الآن تطوير PMPs بشكل مصول للوقاية من الإصابة بالكوليرا وأنواع من الإسهال والتهاب الكبد الفيروسي.
الإنزيمات	البروتينات التي تعمل كعوامل محفزة في التفاعلات الكيموحيوية.	يمكن أن تستخدم الإنزيمات في تشخيص وعلاج الحالات المرضية، فمثلا إنزيم اللايبيز يقوم بتحليل الدهون فضلا عن معالجته لمرض تليف المرارة.
الهرمونات	مواد كيمياوية فعالة في التركيز الواطئ وتنتج في خلايا متخصصة.	الأنسولين الذي ينتج في البنكرياس ويتولى تنظيم ايض السكر، لذا فمرضى السكر الذين يعانون من عجز في تصنيع هذا الإنزيم يحتاجون لأخذه بشكل حقن أو غيرها.
البروتينات البنائية	هي البروتينات التي توفر الدعم الهيكلي للخلايا والأنسجة.	الكولاجين "Collagen" هو من البروتينات البنائية التي تتواجد في عدد من الأنسجة الرابطة، ويشيع استخدامها بشدة اليوم في مستحضرات التجميل.
المواد المضادة للأمراض	طيف واسع من البروتينات	هندسة إنتاج بروتينات مضادة للالتهاب مثل Interferon و Lactoferrin و Aprotinin التي تتحكم بالنزف الجراحي.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

محاصيل PMPs والجزء النباتي المستخدم لإنتاجها:

تقع الذرة الصفراء والتبغ والرز على رأس قائمة المحاصيل المستخدمة في إنتاج المواد الصيدلانية، فضلاً عن عدد من المحاصيل الأخرى ولكن بدرجة اقل كفول الصويا والعصفر والجت والبطاطا والطماطا وقصب السكر. يجب أن تتمتع نباتات العائل بمواصفات محددة منها سهولة هندستها وراثياً ومقدرتها على إنتاج البروتينات بكميات كبيرة، وسهولة استخلاص المادة الفعالة منها، كما أن الإلمام الجيد بطبيعة النمو وفسلجة وآفات وأمراض ذلك المحصول تشكل عوناً كبيراً في ذلك. يصبح المحصول المعد لإنتاج PMPs مثالياً إذا لم يكن من محاصيل السلسلة الغذائية التي ليست لها أصول برية في منطقة الإنتاج، كما لا يمكن لبذور ذلك المحصول النجاة لدى انتقالها إلى بيئات أخرى "أي ذات حيوية محدودة". أما في حالة استخدام المحاصيل الغذائية لغرض إنتاج PMPs فيجب حينها أن تكون حبوب لقاح تلك المحاصيل عقيمة تماماً، وذلك لتقليل فرص تلقيح نباتات المحاصيل الغذائية في الحقول القريبة من قبل حبوب لقاح النباتات المحورة وراثياً إلى الحدود الدنيا. كما إن استخدام حالات تعدد التضاعف "Polyploidy" يمكن أن يساهم كثيراً في هذا المجال من خلال إنتاج نباتات بمستويات تضاعف لا تسمح بنجاح حالات التلقيح بين الأنواع النباتية التي تدخل في السلسلة الغذائية وبين الأنواع المحورة وراثياً، وهو ما يعرف بالعائق الوراثي "Genetic barrier"، وربما ستكون المحاصيل الذاتية التلقيح أفضل من الخلطية لذات الغرض [50].

غالبا ما تكون البذور هي المكان المستهدف في تطبيقات PMPs لكونها احد أهم اعضاء إنتاج وتخزين البروتينات الصيدلانية، إذ تتراكم فيها بصورة طبيعية تراكيز عالية من البروتينات والزيوت، فضلاً عن أن البذور هي الأسهل من ناحية الإدارة والتخزين والنقل إلى منشات التصنيع. لكي يتمكن النبات من إنتاج PMPs في البذور، يجب أن تتم هندسة عدد من الجينات التي تعرف "Promoters" وهي المسؤولة عن تحديد كمية المنتج الجيني وفي أي جزء من النبات سيتم تصنيعه، كما أن أماكن تجميع البروتين داخل الخلية مهمة هي الأخرى لضمان تركيبه الصحيح واستقراريته [98]. بالرغم من جميع المزايا التي ذكرت، إلا أن هناك أماكن أخرى لإنتاج وتجميع PMPs من غير البذور، إذ تعد الأوراق هي الأنسجة المستهدفة في الجت والتبغ، والدرنات في البطاطا [21]. لقد استخدمت تقنيات متنوعة في إنتاج PMPs منها إصابة النباتات بفايروسات "عدوى صناعية" تمت هندستها وراثياً لتنقل جينات إنتاج PMPs إلى النبات العائل، وهذا ما حدث بالفعل لدى إصابة أوراق التبغ بفيروسات محورة وراثياً، إذ أنتجت أنسجة العائل البروتينات الصيدلانية فضلاً عن بروتينات الفايروس الأخرى [58].

آلية إنتاج PMPs:

كي يكون إنتاج PMPs ناجحا لابد أن يكون منظماً بشكل دقيق من قبل مؤسسات متخصصة إذ سيكون إنتاج هذه المواد مختلفاً بشكل كبير عن إنتاج المحاصيل التقليدي. يجب أن تكون عمليات زراعة محاصيل PMPs ونقلها ومعالجتها مدارة بشكل صارم لضمان منتج مستقر عالي النوعية، وتجنب حالات الخلط مع المحاصيل الغذائية وتلافي أي تبعات سلبية أخرى كتلك الناجمة عن الإهمال. إن الرقابة الشديدة اللازم توفرها لدى التعامل مع تلك المحاصيل اقترحت نظاماً للمحافظة على الهوية وهو ما بات يعرف بنظام الحلقة المغلقة "closed loop identity preservation" يتم بموجبه فرض رقابة صارمة على نباتات PMPs من الزراعة حتى الحصاد وانتهاءً بالاستخلاص [55]. كما يتم وفق هذا النظام إبرام العقود وتسليم البذور إلى مزارعين مدربين فقط، يلتزمون بتعبئة البذور بعد الحصاد ونقلها في حاويات محكمة الغلق لتسليمها إلى منشات التصنيع. هناك خطوات عمل محددة ومخصصة تختلف باختلاف نوع محصول PMPs وتبدأ من وجود مسافات عزل آمنة عن المحاصيل الغذائية، واستخدام المعدات الضرورية، فضلا عن التفتيش المستمر على طول موسم النمو ولمدة سنة على الأقل بعد الحصاد. يرافق جميع هذه الخطوات عملية توثيق لأدق التفاصيل لإعطاء صورة أوضح عن كافة حلقات الانتاج.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فوائد PMPs:

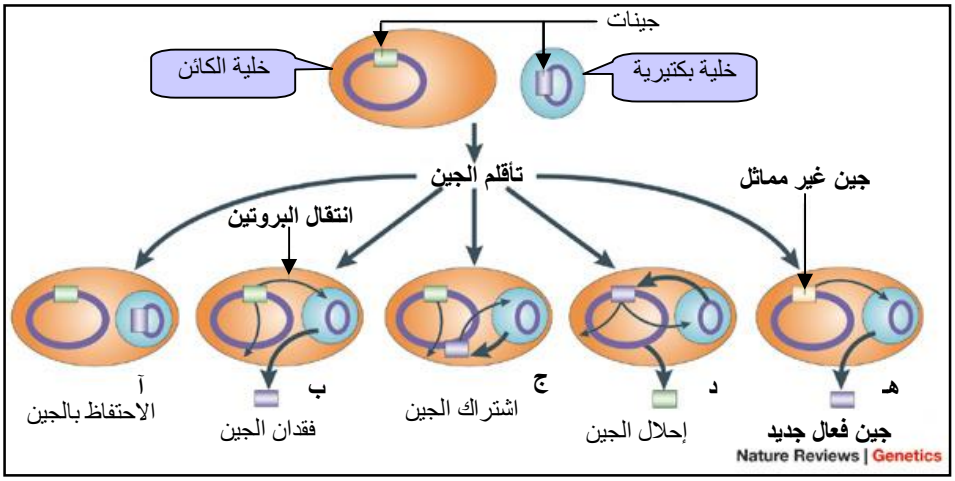
- يمكن أن تنتج PMPs بكلف منخفضة جداً مقارنة بالطرائق التقليدية لإنتاج المستحضرات الصيدلانية، وبذا يمكن لهذه التقنية أن تجعل الكثير من المواد العلاجية في متناول أيدي ذوي الدخل المحدود، لا سيما شعوب دول العالم الثالث الذين هم أكثر حاجة للدواء.
- يمكن أن تتم هندسة النبات وراثياً لإنتاج بروتينات أكثر تعقيدا من تلك المنتجة بواسطة مزارع الأحياء المجهرية [26] ولإنتاج بروتينات لا يمكن إنتاجها من زراعة خلايا الثدييات [2].
- سيستفيد اقتصادياً عدد محدود من المزارعين وعمال الإنتاج من هذه المشاريع، إلا أن المساحة المطلوبة لتحقيق عوائد كبيرة للمنتجين من زراعة محاصيل PMPs ستكون منخفضة بالمقارنة مع المساحة اللازمة لزراعة المحاصيل الغذائية.

مخاطر PMPs:

تختلف المخاطر التي ترافق إنتاج PMPs تبعاً لطبيعة المنتج الصيدلاني ونوع النسيج والمحصول الذي سينتج PMPs، فضلاً عن طبيعة البيئة التي ينمو فيها محصول PMPs، وفيما يلي بعض من المخاطر المرافقة لإنتاج PMPs.

- قد تلقح حبوب لقاح نباتات PMPs نباتات محاصيل إنتاج الغذاء التقليدية في الحقول القريبة خصوصاً تلك التي تعود لنفس النوع، وإذا ما تم ذلك فان المواد الصيدلانية سيتم إنتاجها في بذور تلك المحاصيل، مما سينعكس سلباً على صحة المستهلك لتلك البذور "الإنسان أو الحيوان" فضلا عن تبعات فشل التسويق. إن مخاطر الانجراف الجيني لدى انتقال حبوب اللقاح يكون اكبر في المحاصيل الخلطية التلقيح [49]، عما هو عليه الحال في ذاتية التلقيح. لذا فمن الواجب استخدام الوسائل التي من شأنها تقليل هذه المخاطر منها العزل ألزماني أو المكاني أو استخدام العقم الذكري الذي يمكن إحداثه بطرائق شتى، منها زيادة مستوى التضاعف إلى الحد الذي تصبح فيه النباتات غير قادرة على إنتاج حبوب لقاح فعّالة [50]، وتستخدم آباء خصبة خالية من جينات PMPs لتكون مصدرا لحبوب اللقاح التقليدية لإتمام الإخصاب وإنتاج البذور.
- يمكن أن تحدث حالات خلط بين محاصيل PMPs ومحاصيل الغذاء التقليدية، وهذا قد ينتج لدى حدوث خطأ عند وضع الملصقات على عبوات البذور أو لدى خلط البذور عند الزراعة أو الحصاد أو النقل، أو قد يكون سبب الخلط وجود بذور نباتات PMPs في المواسم اللاحقة في نفس الحقل. لقد فشلت شركة "ProdiGene" في القضاء على نباتات PMPs الذرة الصفراء التي نمت في الموسم اللاحق مع محصول فول الصويا المزروع في نفس الحقل [59]، ودفعت لأجله الشركة المذكورة غرامة قدرها ربع مليون دولار لوزارة الزراعة الأميركية لتعويض خسارة الأخيرة عن إتلاف الاف الاطنان من بذور فول الصويا الذي يحتمل تلوثها بجينات PMPs الذرة الصفراء.
- يمكن أن يكون لهذه الجينات "الملوثة" أو منتجاتها تأثيراً ضاراً على البيئة الطبيعية، وهذا قد يكون من خلال تغذية الحيوانات في الحياة البرية على نباتات تحتوي PMPs ترفع معها مستويات PMPs في أجسام تلك الحيوانات إلى مستويات خطرة. كما قد يتسبب تحلل مخلفات محاصيل PMPs أو إفرازات جذورها في تثبيط نمو أحياء التربة.
- تعرض العاملين في مزارع محاصيل PMPs لمخاطر التعرض لمستويات عالية من تلك المستحضرات لدى امتصاص تلك المنتجات من أوراق النباتات عن طريق الجلد أو استنشاق حبوب اللقاح أو غبار النباتات عند الحصاد.
- يمكن أن تتسبب بقايا المبيدات المستخدمة لمكافحة ألأدغال والآفات في تلك المحاصيل أو أي سموم أو مواد أخرى غير متوقعة في تلويث أو تحوير المنتج النهائي.
- بما أن اغلب عمليات التحوير الوراثي للكائنات الراقية تتضمن استخدام الأحياء البدائية النواة كالبكتريا، لذا فهناك احتمال كبير في انتقال جينات تلك الأحياء إلى البكتريا المستوطنة لأمعاء الإنسان والحيوان [76,75]، وسيكون اكتساب الأنواع الممرضة من الأحياء المجهرية لجينات مقاومة المضادات الحيوية بمثابة كارثة [139]. (شكل 5)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل 5. آ،ب،ج،د، المصير الذي يحتمل أن يواجه الجين المنتقل من البكتريا إلى الكائنات الأخرى.

التلوث الجيني وارتفاع تكلفة الإنتاج:

- قامت شركة Monsanto باستبدال صنف السلجم "Quest" في ربيع عام 2001 بصنف (Quest GT 73) المحور وراثياً لتحمل مبيدات الأدغال، وثبت أن الأخير ملوث بجينات صنف آخر هو (Quest GT 200) والأخير لم يكن مصرحاً به بعد! [99] وقد كانت المساحة المزروعة بصنف (Quest) تشكل 12% من المساحة الكلية المزروعة بالسلجم في كندا عام 2000[116] .
- وجدت شركة (Advanta) الاسترالية في حزيران من عام 2002 حالات تلوث وراثي في بذور الذرة الصفراء المستوردة لإنتاج البذور وإكثارها في نيوزلندا [97].
- أثارت حالات التلوث الوراثي لبذور الذرة الصفراء قلق شركة (Pioneer Hi-Bred)، مما دفعها إلى نقل أماكن إكثار البذور من مناطق الشمال الأميركي إلى رومانيا وهنغاريا واستراليا.[106]
- تبين لشركة (Advanta) أن بذور السلجم التي وردتها إلى بريطانيا كانت ملوثة وراثيا بنسبة 1%، وان هذه البذور الملوثة قد زرعت في مساحة قدرها 4700 هكتار تقريباً، واتضح أيضا أن مصدر التلوث هو من صنف محور وراثياً زرع على بعد 4 كيلومتر عن حقل السلجم التقليدي!! [122].
- كشفت شركة (Aventis) المعروفة حالياً باسم (Bayer) في عام 2002 أن محصول السلجم المزروع في 12 موقعا منتشراً في بريطانيا كان ملوثا بجينات صنف محور وراثيا لم يتم التصريح به بعد [11].
- صرح فريق من المختصين الأميركيين إلى وجود حالات من التلوث الوراثي تصل نسبته إلى 1% من بذور كل من الذرة الصفراء وفول الصويا والسلجم غير المحورة وراثيا [134].
- أظهرت التحقيقات التي أجريت من قبل وكالة تفتيش الغذاء الفرنسية (AFSSA) وجود حالات من التلوث الوراثي في الذرة الصفراء وفول الصويا والسلجم وان احد أهم مصادر التلوث تلك كانت تجارب زراعة المحاصيل المحورة وراثيا.
- دفعت شركة (Aventis) ما يقارب 100 مليون دولار لإعادة شراء الفي طن من المحاصيل الملوثة. [.115].
- دفعت وزارة الزراعة الأميركية 20 مليون دولار لشراء بذور من شركة صغيرة وتبين إن تلك البذور ملوثة [125].
- وضعت شركتا (Aventis و Garst) وأربع شركات أخرى هي Kraft و Kellogg و Azteca Foods و Mission Foods برنامجاً كلفته 9 مليون دولار لتعويض المستهلكين الذين ينوون مقاضاة تلك الشركات لتسبب منتجاتها بإصابتهم بأمراض الحساسية [117]، وهذا مماثل لحالة نقل بعض صفات حنطة الخبز الى الذرة الصفراء فيتضرر كل من يحمل جينات التحسس لكلوتين الحنطة،

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

وكذلك لدى نقل جينات من الباقلاء الى الحنطة فيتضرر من ياكل الحنطة بسبب جينات الباقلاء التي تسبب حالة "Fabism" للمصابين بها وراثياً.

خسرت شركة (Kraft) مبلغ 10 مليون دولار تعويضات لتسببها بخسارة عدد من المنتجين لمصادر التسويق [93,79].

وضعت شركتا (Aventis و Garst) برنامجا لتعويض المزارعين الذين يطالبون بتعويض عن خسائرهم لفقدانهم مصادر التسويق، كما طالبوا الشركات المذكورة بدفع تكاليف تطهير التربة والمعدات وغيرها لمنع حالات تلوث إضافية، وبلغت قيمة الغرامات الكلية 110 مليون دولار [48].

الخصائص العامة للانجراف الجيني:

في الوقت الذي تكون فيه عملية الانجراف الجيني عملية طبيعية تترافق مع حدوث التلقيح، يجب أن تتوفر مجموعة من الظروف المؤاتية لوقوعها [40]. إذ يجب أن يكون هناك توافق وراثي بين الأنواع النباتية. كما أن خصائص التلقيح لها تأثير هي الأخرى، إذ يسهل حدوث الانجراف الجيني بين الأنواع المنزرعة والبرية من الذرة الصفراء إذا ما توفرت الظروف الملائمة لكون التلقيح فيها خلطياً. بينما يندر حدوثه في الأنواع الذاتية التلقيح كالحنطة وفول الصويا. فضلاً عن ذلك يجب أن ينمو النوع المنزرع وسلفه البري بشكل متجاور [120]. كما انه من الضروري أن يكون الجين المعني"المنجرف" فاعلاً لكي يستمر عبر الأجيال. إذ يجب أن تعمل التحويرات الوراثية على زيادة مقدرة النباتات على التكاثر والبقاء وهذا يعزز المقدرة على الانتخاب الكفء للجينات واستمراريتها. لن تكون هناك فائدة كبيرة للانتخاب لصفة تحمل المبيدات في الأنواع البرية إذا لم تتواجد المبيدات في البيئة الطبيعية لتلك الأنواع، أما الأنواع المنزرعة فإنها عالية التطبع وهي بشكل عام غير قادرة على البقاء في البيئة دون تدخل الإنسان [119]، وفيما يلي إيجاز للخصائص العامة لحالات الانجراف الجيني:

1. يحدث التلقيح الخلطي بين المحاصيل والأنواع المتوافقة وراثياً [128,60,4].

2. تعتمد احتمالية حدوث التلقيح الخلطي على نسبة التوافق الجنسي بين تلك المحاصيل أو الأنواع، وعلى ما إذا كان هناك تزامن في التزهير أم لا [114,46].

3. المسافة التي يمكن لحبة اللقاح أن تقطعها وتبقى محتفظة بحيويتها، وهذه تتأثر بآلية انتشار حبوب اللقاح وحيوية الحبوب نفسها وهما سمتان مرتبطتان بالنوع فضلاً عن عوامل البيئة من رطوبة وحرارة وغيرها [129,91,47,30].

4. تعد المسافة عاملاً محدداً جداً لحدوث التلقيح المقصود [100].

5. إن انتقال الجينات الجديدة من المحاصيل المحورة وراثياً إلى نباتات الأدغال يعتمد ليس فقط على التوزيع الفيزياوي لتلك الجينات، بل وعلى الصفات البيئية والحيوية للكائن المستلم [68].

6. لا يوجد ما يبرر حيازة الأنواع البرية لصفة تحمل المبيدات [85, 29].

7. يمكن أن يكون لمنح المقاومة للحشرات في الانواع البرية فائدة في ظروف محددة [130, 111].

8. يمكن أن تتواجد بعض الأنواع النباتية بصورة محاصيل منزرعة، او نباتات ادغال، ولكن يمكن ان يؤدي التغير البيئي إلى تطور نباتات الأدغال من الأنواع المنزرعة الى الأنواع الضارة [104,103,17,3].

9. .يمكن أن يزيد انتقال البلاستيدات من انتقال الجينات وستزداد بشكل عام إمكانية الانتقال الأفقي للجينات [33,32,15].

10. يمكن تطوير تحمل مبيدات الأدغال في مجتمعات الأدغال التي تستمر بالانتشار مع استخدام تلك المبيدات، فضلاً عن حالات الانجراف الجيني من المحاصيل المتحملة [126,101].

11. لا تمتلك النباتات المحورة وراثيا فرصاً اكبر لتصبح نباتات غازية "Invasive" في الحقول أو البيئات الطبيعية بالمقارنة مع الأنواع غير المحورة وراثياً [28]، ومع ذلك يبقى الاحتمال المخيف قائماً.

لقد أصبح جلياً أن الانجراف الجيني بين المجتمعات المنزرعة والبرية يمثل واحدة من أهم آليات هيكلة التباين الوراثي والتطور في المحاصيل وأسلافها البرية. يبدو أن التأثير المتراكم للانجراف الجيني والانتخاب يشجع حدوث

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

هجرة الجينات من الأنواع المنزرعة باتجاه الأنواع البرية أكثر من الاتجاه المعاكس، وان هذا النوع من الهجرة غير المتناسقة يمكن أن يؤدي إلى تقليل التباعد الوراثي للمجتمعات البرية وقد يؤدي في الحالات الشديدة إلى تلاشي المجتمع البري [47]. تتوزع الاليلات المنتقلة بشكل غير متساوٍ على طول الجينوم وخصوصاً في الأنواع الذاتية التلقيح، ولغرض إزالة تأثيرات الهجرة والانتخاب يمكن استخدام المعلّمات المحايدة والمعلّمات الجزيئية التي يتوقع أن تتأثر بالانتخاب فضلاً عن استخدام الخرائط الوراثية.

كما هو الحال مع جميع التقنيات الحيوية المطبقة على المحاصيل، هناك جدل كبير حول المضي قدماً في مجال إنتاج PMPs، إذ ينقسم المختصون بين مؤيد لهذه التقنية وبين معارض لها. فالمؤيدون لها يعتمدون على كون منتجات PMPs تمثل مصدراً رخيصاً للمواد الصيدلانية يمكن أن يجعل الدواء في متناول شرائح مختلفة من المجتمع وخصوصاً من ذوي الدخل المحدود، فيما يرى المعارضون لتلك المنتجات أنها في ذات الوقت الذي تكون فيه مصدرا علاجيا فإنها ستشكل تهديدا جديا لتلوث السلسلة الغذائية، وانعكاساتها المجهولة على النظام البيئي، وبذلك فإنها ستوفر حلاً قصير الأمد وستظهر اضرارها تباعاً. إن الكم الهائل من الشكوك التي تحيط بنباتات PMPs يجعل من الصعوبة تحديد كم هذه التقنية سوف تشكل جزءا من واقعنا الزراعي والصحي. إن مجمل هذه التساؤلات تعتمد بدرجة ما على مدى كون نباتات PMPs توفر مصدراً علاجياً أميناً وفعالاً للإنسان والحيوان، وهل أن التكلفة الاقتصادية لإنتاجها وخصوصاً عملية التنقية "Purification"، ستكون منخفضة إلى الحد الذي تحقق معه العوائد الاقتصادية المعول عليها، وماهية التوليفة المثالية من النوع النباتي وجزء النبات المنتج وبيئة الانتاج الملائمة والإنتاج المؤمن التي ستعطي المستوى المقبول من التلوث الجيني والتأثر البيئي. وهل إن الهيكلية التنظيمية ملائمة فعلاً لمهمة تنظيم ومراقبة محاصيل PMPs؟ وإذا لم تكن كذلك فما هي التغيرات الواجب إجراءها على تلك الهيكليات؟ وأخيراً إلى أي مدى سيوفر إنتاج محاصيل PMPs فرصاً اقتصادية جديدة للمزارعين وللمجتمع الريفي؟

عليه، يجب أن تخضع عملية إنتاج النباتات المحورة وراثياً بصورة عامة ونباتات PMPs بصورة خاصة إلى رقابة شديدة وتنظيم دقيق. إن العناية الفائقة التي يجب أن تحظى بها محاصيل PMPs ترجع إلى خطورة التعامل مع هذه الأنواع وتعدد احتمالات إحداثها لأضرار بالغة للنظام البيئي فيما لو أسيئ استخدامها. لذا فأن فرض المزيد من القيود على التجارب الحقلية يمكن أن يساهم في منع التلوث الوراثي في النظام البيئي، كما أن تحديد كمية المنتج الجيني وأماكن تواجده في جسم النبات فضلاً عن إجراء اختبارات الحساسية لتلك المنتجات ومدى سمية هذه المنتجات بالنسبة للأحياء الأخرى، يمكن أن تساهم جميعها في جعل التعامل مع تلك النباتات أكثر أمناً. كما يجب أن يخضع المنتج لعدد من الاختبارات الضرورية للتأكد من ثبات نوعيته وفعاليته.

المصادر

1.Alper, J. 2003. Hatching the golden egg: A new way to make drugs. *Science*, 300:729-730.

2.Anonymous, 2002. Pharming the field: A look at the benefits and risks of bioengineering plants to produce pharmaceuticals. The Pew Charitable Trusts. www.pewtrusts.org/our_work_report_detail.aspx?id=35424.

3.Ammann, K., Y. Jacot and R. Al Mazyard, 2000. Weediness in the light of new transgenic crops and their potential hybrids. *J. Plant Dis*. 17:19-29.

4.Arias, D.M. and L.H. Rieseberg, 1994. Gene flow between cultivated and wild sunflowers. *T.A.G.* 89: 655-660.

5.Arnaud, J-F. , F. Viardq, M. Delescluse and J. Cuguen, 2003. Evidence for gene flow via seed dispersal from crop to wild relatives in *Beta vulgaris* (Chenopodiaceae): Consequences for the release of genetically modified crop species with weedy lineages. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 270: 1565–1571.

6.Arriola, P.E. and N.C. Ellstrand, 1996. Crop-to-weed gene flow in the genus Sorghum (Poaceae): Spontaneous interspecific hybridization between johnsongrass, *Sorghum*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Lapradep and H. Van-Dijk. 1993. The origin and evolution of weed beets: Consequences for breeding and release of herbicide resistant transgenic sugar beets *T.A.G.*, 87:471- 478.

18. Broothaerts, W., H.J. Mitchell, B. Weir, S. Kaines, L.M. Smith, W. Yang, J.E. Mayer, C. Roa-Rodriguez, and R.A. Jefferson, 2005. Gene transfer to plants by diverse species of bacteria. *Nature*, 433:629-633.

19. Burke, J.M., K.A. Gardner and L.H. Rieseberg, 2002. The potential for gene flow between cultivated and wild sunflower (*Helianthus annuus*) in the United States. *Am. J. of Bot.*, 89(9): 1550–1552.

20. Callahan, P. 2000. Genetically altered protein is found in still more corn. *Wall Street J.*, 5:236-241.

21. Canadian Food Inspection Service. 2001. Plant molecular farming discussion document. http://www.inspection.gc.ca/english/plaveg/bio/mf/mf_disde.shtml.

22. Carr, G.D., 1985a. Habital variation in the Hawaiian Madiinae (Heliantheae) and its relevance to generic concepts in the Asteraceae. *Taxon.*, 34:22–25.

23. Cavalli-Sforza, L.L., 1966. Population structure and human evolution. *Proc. R. Soc. Lond. Ser.* 164:362-379

24. Caviness, C.E., 1966. Estimates of natural cross-pollination in Jackson soybeans in Arkansas. *Crop Sci*. 6, 211–212.

25. Clark, R.M., E. Linton, J. Messing and J. F. Doebley, 2004. Pattern of diversity in the genomic region near the maize domestication gene tb1. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 101: 700 –707.

26. Collins, S., 2003. Potato the medical factory of tomorrow. The New Zealand Herald, 4.

27.Colwell, R.E., E.A. Norse, D. Pimentel, F.E. Sharples and D. Simberloff, 1985. Genetic engineering in agriculture. *Science*, 229:111-112

28. Councler, R.H., 2001. Gene flow to wild plant relatives. *Nature*, 14:157-171.

29. Crawley, M.J., S. Brown, R. Hails, D.D. Kohn and M. Rees, 2001. Transgenic crops in natural habitats. *Nature*, 409: 682-683.

30. Cresswell, J.E., J.L. Osborne and S.A. Bell, 2002. A model of pollinator mediated *halepense*, and crop sorghum, *S. bicolor*. *Am. J. Bot.* 83: 1153-1160.

7.Arriola, P.E., 2002. Gene flow and hybrid fitness in the *Sorghum bicolor –Sorghum halepense* complex. Gene Flow Workshop, *The Ohio State University*, Ohio, USA. p. 25-29.

8.Badr A., K. Muller, R. Schafer-Pregl, H. El Rabey, S. Effgen, H.H. Ibrahim, C. Pozzi, W. Rohde and F. Salamini, 2000. On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Mol. Bio and Evol.*, 17:499-510.

9.Bartsch, D., M. Lehnen, J. Clegg, M. Pohl-Orf, I. Schuphan and N.C. Ellstrand, 1999. Impact of gene flow from cultivated beet on genetic diversity of wild sea beet populations. *Mol. Ecol.* 8 (10): 1733–1741.

10.BBC News online, 2002. "GM seed spread" warning. http://www.news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/2321443.stm.

11.BBC News 16 August, 2002, Urgent tests on GM crop seeds. http://www.news.bbc.co.uk/1/low/uk/2195762.stm.

12. Beckie, H.J., L.M. Hall and S.I. Warwick, 2001. Impact of herbicide-resistant crops as weeds in Canada. Proceedings Brighton Crop Protection Council. *Weeds*, p.135-142

13. Bergthorsson U., K.L. Adams, B. Thomason and J.D. Palmer, 2003. Widespread horizontal transfer of mitochondrial genes in flowering plants. *Nature*, 424:197–201.

14. Bergthorsson U., A.O. Richardson, G.J. Young, L.R. Goertzen and J.D. Palmer. 2004. Massive horizontal transfer of mitochondrial genes from diverse land plant donors to the basal angiosperm Amborella. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 101: 17747–17752.

15. Bertolla F., R. Nalin and P. Simonet. 2002. In situ transfer of antibiotic resistance genes from transgenic (transplastomic) tobacco plants to bacteria. *App. and Env. Microbiology*, 68: 3345-3351.

16. Boerma, H.R. and A. Moradshahi. 1975. Pollen movement within and between rows to male–sterile soybeans. *Crop Sci*. 15(6)858–861.

17. Boudry P., M. Morchen, V. Saumitou-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Corthier, H.J. Flint, W. Hammes, B. Jacobsen, T. Midtvedt, J. van-der Vossen and A. Von-Wright. 2004. The relevance of gene transfer to the safety of food and feed derived from genetically modified (GM) plants. *Food and Chemical Toxicology*, 42: 1127-1156.

44. Ellstrand, N.C., 1988. Pollen as a vehicle for the escape of engineered genes? In J. Hodgson and A.M. Sugden, (edn), Planned Release of Genetically Engineered Organisms. *Elsevier, Cambridge, UK*, p. 30-32.

45. Ellstrand, N.C. and D.R. Elam, 1993. Population genetic consequences of small population size: Implications for plant conservation. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 24: 217-242.

46. Ellstrand, N.C., H. Prentice and J. Hancock. 1999. Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 30: 539-563.

47. Ellstrand, N.C. 2003. Dangerous Liaisons? When Cultivated Plants Mate with Their Wild Relatives. *The Johns Hopkins University Press. California, USA.* pp. 264.

48. Elias, P., 2003. Biotech firms pay $110 million to settle StarLink lawsuit, Associated Press. http://ipm.osu.edu/trans/023_071.htm

49. Elsahookie, M.M. and K.M. Wuhaib. 1999. Genetic vulnerability. *The Iraqi J. Agric. Sci.*, 30(2):259-270.

50. Elsahookie, M.M. and A.O. Alfalahi. 2008. Polyploidy and its relationship with plant breeding and adaptation. *The Iraqi J. Agric. Sci.*, 39(6):49-71.

51. Elsahookie, M.M. and A.O. Alfalahi. 2008. TILLING: Modern technique combines traditional mutagenesis and functional genomics. *The Iraqi J. Agric. Sci.*, 40(1):1-25.

52. Elsahookie, M.M., 2009. An Introduction to Molecular Biology. College of Agriculture, *University of Baghdad*, Baghdad, Iraq. pp.190.

53. Emily, G., 2003. Biotech traces found in regular corn "Pioneer pays fine in biotech corn mix-up".The Associated Press; *The Washington Post*, E4; 24 April, *USA Today*: 11.

54. Extoxnet. 1996. Extension Toxicology Network, Pesticide Information Profiles 2,4-D. http://www.extoxnet.orst.edu/pips/24-D.htm.

gene flow between plant populations with numerical solutions for bumblebees pollinating oilseed rape. *OIKOS*, 98:375-384.

31. Dale, P.J., 1992. Spread of engineered genes to wild relatives. *Plant Physiol.*, 100:13-15

32. Daniell, H., R. Datta, S. Varma, S. Grat and S.B. Lee. 1998. Containment of herbicide resistance through genetic engineering of the chloroplast genome. *Nature Biotechnology*, 16: 345-348.

33. Daniell, H., 2002. Molecular strategies for gene containment in transgenic crops. *Nature Biotechnology*, 20: 581–586.

34. Davis, C.C. and K.J. Wurdack, 2004. Host-to-parasite gene transfer in flowering plants: phylogenetic evidence from malpighiales. *Science*, 305: 676–678.

35. Davis, C.C., W.R. Anderson and K.J. Wurdack, 2005. Gene transfer from a parasitic flowering plant to a fern. *Biological Sciences*, 272: 2237–2242.

36. Davison, J., 1999. Genetic exchange between bacteria in the environment. *Plasmid*, 42: 73-91.

37. DeJoode, D.R., and F.F. Wendel, 1992. Genetic diversity and origin of the Hawaiian Island cotton, Gossypium tomentosum. *Am. J. Bot.*, 79:1311– 1319.

38. Den Nijs, H.C., D. Bartsch and J. Sweet, 2004. Introgression From Genetically Modified Plants Into Wild Relatives. *CABI, CPL, Scientific Publishing Services Limited*. Amsterdam .Netherlands. pp. 432.

39. Diao, X.M., M. Freeling and D. Lisch, 2006. Horizontal transfer of a plant transposon. *Plos Biology*, 4: 119–128.

40. Doebley, J. 1990. Molecular evidence for gene flow among Zea species. *BioScience* 40(6): 443- 448.

41. Droge, M., A. Puhler and W. Selbitschka, 1998. Horizontal gene transfer as a biosafety issue: A natural phenomenon of public concern. *J. Biotechnology*, 64: 75-90.

42. Downey, R.K., 1999. Gene flow and rape, in BCPC Symposium Proceedings No. 72: Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. *British Crop Protection Council*: Farnham, UK. p. 232-252.

43. Eede, G.V., H. Aarts, H.J. Buhk, G.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

asymmetric hybrids. *Theor. Appl. Genet.* 84, 73–80.

66. Goodman, R.M. and N. Newell, 1985. Genetic engineering of plants for herbicide resistance: status and prospects. In H.O. Halvorson, D. Pramer, and M. Rogul, (eds), Engineered Organisms in the Environment: *Scientific Issues. American Society for Microbiology*, Washington, DC, USA, p. 47-53.

67. Habetha, M. and T.C.G. Bosch, 2005. Symbiotic Hydra express a plant-like peroxidase gene during oogenesis. *J. Exp. Biol.* 208:2157-2164.

68. Hails, R., M. Reeds, D.D. Kohn and M.J. Crawley, 1997. Burial and seed survival in *Brassica napus* subspecies *oleifera* and *Sinapis arvensis* including a comparison of transgenic and non-transgenic lines of the crop. *Proc. R. Soc., Brit. Biol. Sci.*, 264:1-7.

69. Hails, R.S., 2000. Genetically modified plants: the debate continues. *Trends Ecol. Evol.* 15: 14-18.

70. Hall, L., K. Topinka, J. Huffman, L. Davis, and A. Good, 2000. Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B.napus* volunteers. *Weed Science* 48: 688-694.

71. Hammer, K. 1984. Das domestications syndrome. *Kulturpflanze*, 32:11-34.

72. Harlan, J.R. and J.M. De Wet, 1971. Towards a rational classification of cultivated plants. *Taxon*, 20: 509-517.

73. Harlan, J.R. 1992. Crops and Man. "2nd edn", *American Society of Agronomy and Crop Science Society of America*, Madison, Wisconsin, USA. pp.458.

74. Harrison, S., 1991. Local extinction in a metapopulation context: an empirical evaluation. *Biological J. of the Linnean Society*, 42:73-88

75. Heritage, J. 2004. The fate of transgenes in the human gut. *Nature Biotechnology*, 22: 170-172.

76. Heritage, J. 2005. Transgenes for tea? *Trends in Biotechnology*, 23: 17-21.

77. Hooftman, D.A., J.G. Oostermeijer, E. Marquard, and H.C. Den Nijs, 2008. Modeling the consequences of crop-wild relative gene flow: a sensitivity analysis of the effects of

55. Felsot, A. 2002. Pharm farming. Agrichemical and Environmental News, no. 195, http://www.aenews.wsu.edu.

56. Fenster, C.B., X. Vekemans and O.J. Hardy, 2003. Quantifying gene flow from spatial genetic structure data in a metapopulation of *Chamaecrista fasciculata* (Leguminosae). *Evol*., 57(5): 995-1007.

57. Fick, G.N., 1978. Breeding and genetics. In: Carter, J.F. (edn.), Sunflower Science and Technology. American Society of Agronomy, *Crop Science Society of America, Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin, p. 279–338.

58. Freese, B. 2002. Manufacturing drugs and chemical crops: Biopharming poses new threats to consumers, farmers, food companies and the environment. htt://www.foe.org/camps/comm/safefood/biopharm.

59. Fox, J.L. 2003. Puzzling industry response to Prodigene fiasco. *Nature Biotechnology*, 21: 3-4.

60. Garcia, M., C.J. Fugueroa, L. Gomez, R. Townsend and J. Schoper, 1998. Pollen control during transgenic hybrid maize development in Mexico. *Crop Science*, 38: 1597-1602.

61. Gay, P.B. and S.H. Gillespie, 2005. Antibiotic resistance markers in genetically modified plants: a risk to human health? *The Lancet Infectious Diseases*, 5:637-646.

62. Gepts, P., 2002. A comparison between crop domestication, classical plant breeding, and genetic engineering. *Crop Science*, 42:1780-1790.

63. Gepts, P. and R. Papa., 2003. Possible effects of (trans) gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives. *Environmental Biosafety Research*, 2: 89-103.

64. Ghatnekar, L., M. Jaarola and B.O. Bengtsson, 2006. The introgression of a functional nuclear gene from *Poa* to *Festuca ovina*. *Proc. R. Soc., Brit. Biol. Sci.*, 273: 395–399.

65. Gilissen, L.J.W., Van Staveren, M.J., Verhoeven, H.A., Ramulu, K.S., 1992. Somatic hybridization between potato and Nicotiana plumbaginifolia. 1. Spontaneous biparental chromosome elimination and production of

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

87. Klinger. T., N.C. Ellstrand, 1994. Engineered genes in wild populations: fitness of weed-crop hybrids of radish (*Raphanus sativus* L.). *Appl. Ecol.*, 4:117-120.

88. Koonin, E.V., K.S. Makarova and L. Aravind, 2001. Horizontal gene transfer in prokaryotes: quantification and classification. *Annual Review of Microbiology*. 55: 709–742.

89. Koornneef, M., 1993. Allotriploid somatic hybrids of diploid tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) and monoploid potato (*Solanum tuberosum* L.). *Theor. Appl. Genet*. 87, 328–336.

90. Lawrence, J.G. and H. Ochman, 2001. Reconciling the many faces of lateral gene transfer. *Trends in Microbiology*, 10: 1– 4.

91. Lutman, P.J., 1999. Gene flow and agriculture: Relevance for transgenic crops. *Symposium Proceedings*,72: 165–169.

92. Lewontin, R. C. and J. Krakauer, 1975. Testing the heterogeneity of F values. *Genetics*, 80:397-398

93. Madigan, K. 2003. Risky business. Los Angeles, CA: State Public Interest Research Groups, As You Sow Foundation. http://www.66.102.9.104/search?q=cache:GBD 32fPY6hMJ.

94. Martin, W., 2005, Lateral gene transfer and other possibilities. *Heredity*, 94: 565–566.

95. Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M.M. Goodman, G.J. Sanchez, E. Buckler and J. Doebley, 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Science*, 30: 6080-6084.

96. McPartlan, H.C., Dale, P.J., 1994. An assessment of gene transfer by pollen from field-grown transgenic potatoes to non-transgenic potatoes and related species. *Transgenic Res*. 3: 216–225.

97. Ministry of Agriculture and Forestry, 2002. Testing imported seeds for the presence of GM seeds. Investigation into GM maize grown in Pukekohe and Gisborne, New Zealand.

http://www.maf.govt.nz/biosecurity/imports/plants/papers/gm-seeds

98. Moloney, M.M., 2000. Molecular Farming Using Seeds as Hosts. *CRC Press, Boca Raton*, FL., p. 226-253.

outcrossing rates and hybrid vigor breakdown in Lactuca. *J. Appl. Ecology*, 45(4) 1094-1103.

78. Huxel, G.R., 1999. Rapid displacement of native species by invasive species: effect of hybridization. *Biol. Conserv*. 89: 143-152.

79. International Franchise Association. 2001. Taco Bell Franchisees Receive Financial Assistance From Taco Shell Suppliers. http://bizjournals.bison.com/press/pr6-8tacobell.html

80. Ishimarua, K., T. Takadaa, S. Watanabea, K. Kamadaa and H. Ezura, 2006. Stable male sterility induced by the expression of mutated melon ethylene receptor genes in *Nicotiana tabacum*. *Plant Science*, 171(3): 355-359.

81. Jarvis, D.I. and T. Hodgkin, 1999. Wild relatives and crop cultivars: detecting natural introgression and farmer selection of new genetic combinations in agroecosystems. *Mol. Ecology*, 8:159–173.

82. Jenczewski, E., J.M. Prosperi and J. Ronfort, 1999. Differentiation between natural and cultivated populations of *Medicago sativa* (Leguminosae) from Spain: analysis with random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers and comparison to allozymes. *Mol. Ecology*, 8: 1317-1330.

83. Jenczewski, E., J. Ronfort and A.M. Chèvre, 2003. Crop-to-wild gene flow, introgression and possible fitness effects of transgenes. *Environmental Biosafety Research*, 1: 9 -24.

84. Kay, E., T.M. Vogel, F. Bertolla, R. Nalin, and P. Simonet, 2002. In Situ transfer of antibiotic resistance genes from transgenic (Transplastomic) tobacco plants to bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 68: 3345-3351.

85. Keeler, K.H., C.E. Turner and M.R. Bolick, 1996. Movement of crop transgenes into wild plants in herbicide resistant crops-Agricultural, Environmental, Economic, Regulatory and Technical aspects, *CRC Press Inc.*, London, UK. p. 303-330.

86. Klinger, T., P.E. Arriola, and N.C. Ellstrand. 1992. Crop-weed hybridization in radish (*Raphanus sativus*): Effects of distance and population size. *American J. Botany*, 79(12):1431-1435.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Modified Plants into Wild Relatives. *CABI, Wallingford, Oxfordshire, UK*. p. 235–251.

110. Petrov, A.D., T.A. Sangster, J.S. Johnston, D.L. Hartl and K.L. Shaw, 2000. Evidence for DNA loss as a determinant of genome size. *Science*, 287: 1060 – 1062.

111. Ramachandran, S., D. Buntin, J.N. All, P.L. Ramer and C.N. Stewart, 2000. Intraspecific competition of an insect resistance transgenic canola in seed mixtures, *Agron. J.*, 92: 368-374.

112 Ramsay, G., C. Thompson and G. Squire, 2003. Quantifying landscape-scale gene flow in oilseed rape. DEFRA Final Report. http://www.defra.gov.uk/environment/gm/research/epg-rg0216.htm

113. Ray, J.D., Kilen, T.C., Abel, C.A., Paris, R.L., 2003. Soybean natural crosspollination rates under field conditions. *Environ. Biosaf. Res*. 2, 133–138.

114. Raybould, A.F. and A.J. Gray, 1993. Genetically modified crops and hybridization with wild relatives: A UK perspective. *J. App. Ecol.*, 30: 199-219.

115. Reuters, 2000. US exports hurt by StarLink bio-corn chaos. http://www.organicconsumers.org/ge/cornsalesdown.cfm

116. Reuters, 2001. Monsanto replacing GMO canola seed in Canada. http://www.gmfoodnews.com/re250401.txt

117. Reuters, 2002. U.S. Judge Approves $9 Mln StarLink Settlement. http://www.fass.org/fasstrack/news_item.asp?news_id=208

118. Richardson, A.O. and J.D. Palmer, 2007. Horizontal gene transfer in plants. Journal of *Experimental Botany*, 58(1): 1–9.

119. Richter, O and R. Seppelt, 2004, Flow of genetic information through agricultural ecosystems: a generic modeling framework with application to pesticide resistance weeds and genetically modified crops. *Ecol. Mod.* 174: 55-66.

120. Rissler, J. and M. Mellon. 1993. Perils amidst the promise: Ecological risks of transgenic crops in a global market. *Union of Concerned Scientists. Cambridge*, MA. UK. pp, 6-11.

121. Rogers, C.E., T.E. Thompson and G.J.

99. Monsanto, 2001. Quest Canola Seed Replacement Offered (Press release).http://www.monsanto.com/monsanto/layout/media/01/04-25-01b.asp

100. Moyes, C.L. and P.J. Dales, 1999. Organic farming and gene transfer from genetically modified crops. http://www.gmissues.org/orgreport/gmissues.

101. Moyes, C.L., J.M. Lilley, C.A. Casais, S.G. Cole, P.D. Harger and P.J. Dale, 2002. Barriers to gene flow from oilseed rape (*brassica napus*) into populations of *Sinapis arvensis*. *Molecular Ecology*, 11: 103-112.

102. Nakamura, Y., T. Itoh, H. Matsuda and T. Gojobori, 2004. Biased biological functions of horizontally transferred genes in prokaryotic genomes. *Nature Genetics*, 36: 760–766.

103. National Research Council, 1989. Field Testing Genetically Modified Organisms: Framework for Decision. *National Academic Press, Washington*, USA. p.137-148.

104. National Research Council, 2000. Genetically Modified Pest Protected Plants: Science and Regulation. *National Academic Press, Washington*. USA. p. 104-143.

105. Nordborg, M. J. Borevitz, J. Bergelson, C. Berry, J. Chory, J. Hagenblad, M. Kreitman, J. Maloof, T. Noyes, P.J. Oefner, E.A. Stahl and D. Weigel, 2002. The extent of linkage disequilibrium in *Arabidopsis thaliana*. *Nature Genetics*, 30: 190-193.

106. Nuttall, N. 2000. Firms move to avoid risk of contamination. The Times,UK. htt://www.thetimes.co.uk/news/pages/tim/2000/05/29/timnwsnws01017.html.

107. Outcrossing Between Canola Varieties - A Volunteer Canola Control,Issue. http://www.agric.gov.ab.ca/crops/canola/outcrossing.html

108. Papa, R. and P. Gepts, 2003. Asymmetry of gene flow and differential geographical structure of molecular diversity in wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from Mesoamerica. *Theor. Appl. Genet*., 85: 513-520.

109. Papa, R. and P. Gepts, 2004. Asymmetric gene flow and introgression between domesticated and wild populations. In: H.C.M. Den Nijs, D. Bartsch, and J. Sweet (edn.), Introgression from Genetically

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

132. Tanskley, S.D. and S.R. McCouch, 1997. Seed banks and molecular maps: Unlocking genetic potential from the wild. *Science*, 277: 1063-1066.

133. Tenaillon, M.I., M.C. Sawkins, A.D. Long, R.L. Gaut, J.F. Doebley and B.S. Gaut, 2001. Patterns of DNA sequence polymorphism along chromosome 1 of maize (*Zea mays ssp. mays* L.). *Proc. Natl. Acad.Sci. USA*, 98: 9161–9166.

134. Union of Concerned Scientists, 2004. Gone to seed. Transgenic contaminants in the traditional seed supply. UCS: Cambridge, MA. UK. http://www.ucsusa.org/documents/seedreport_full report.pdf.

135. Uzogara, S.G. 2000. The impact of genetic modification of human foods in the 21st century. *Biotechnology Advances*, 18(6): 179-206.

136. Wagner, W.L., Herbst, D.R., Sohmer, S.H., 1999. Manual of the Flowering Plants of Hawaii. Revised (edn), University of Hawaii Press, *Bishop Museum Press*. Honolulu, Hawaii, p. 1356-1357.

137. Wang, R-L., A. Stec, J. Hey, L. Lukens and J. Doebley, 1999. The limits of selection during maize domestication. *Nature*, 398: 236-239.

138. Wang R-L, A. Stec J. Hey L. Lukens and J. Doebley, 2001. Correction: The limits of selection during maize domestication. *Nature*, 410:706 -718.

139. Wilcks, A., A.H. Van Hoek, R.G. Joosten, B.B. Jacobsen and H.J. Aarts, 2004. Persistence of DNA studied in different *ex vivo* and *in vivo* rat models simulating the human gut situation. *Food and Chemical Toxicology*, 42: 493-502.

140. Wright, S., 1931. Evolution in Mendelian populations. *Genetics*, 16: 97-159.

141. Wolters, A.M.A., Schoenmakers, H.C.H., Koornneef, M., 1995. Chloroplast and mitochondrial DNA composition of triploid and diploid somatic hybrids between *Lycopersicon esculentum* and *Solanum tuberosum*. *Theor. Appl. Genet*. 90: 285–293.

142. Wolfe, D.E., Takebayashi N., and L. H. Risenberg, 2001. Predicting the risk of Seiler, 1982. Sunflower Species of the United States. National Sunflower Association, Bismarck, North Dakota. USA. p. 4-63.

122. Rogue GM seeds taint UK crop, 2000. The Guardian (UK). http://www.guardian.co.uk/tone/letters?page=1261 - 81k.

123. Saeglitz, C., M. Pohl and D. Bartsch, 2000. Monitoring gene flow from transgenic sugar beet using cytoplasmic male-sterile bait plants. *Mol Ecol.*, 9(12):2035–2040.

124. Schoenmakers, H.C.H., Wolters, A.M.A., Nobel, E.M., De Klein, C.M.J., and Koornneef, M. 1994. Allotriploid somatic hybrids of diploid tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) and monoploid potato (*Solanum tuberosum* L.). *Theor. Appl. Genet*., 87: 328–336.

125. Schuff, S. 2001. Major seed companies say they have StarLink isolated. Feedstuffs. http://www.aphis.usda.gov/lpa/news/2002/11/prodigene.html

126. Senior, I.J. and P.J. Dale, 2002. Herbicide tolerant crops in agriculture: oilseed rape as a case study. *Plant Breeding*, 121: 97-101.

127. Snow, A.A. and P. Palma, 1997. Commercialization of transgenic plants: potential ecological risks. *BioScience*, 47: 86-96.

128. Snow, A.A., B. Andersen and R.B. Jorgensen, 1999. Costs of transgenic herbicide resistance introgressed from *Brassica napus* into weedy *B.rapa*. *Molecular Ecology*, 8: 605-615.

129. Squire, G.R., J.W. Crawford, G. Ramsay, C. Thompson and J. Brown, 1999. Gene flow at the landscape level. In gene flow and agriculture: relevance for transgenic crops. BCPC, London, UK. p. 57- 64.

130. Stewart, A.N., J.N. All, P.L. Raymer and S. Ramachandran, 1997. Increased fitness of transgenic insecticidal rapeseed under insect selection pressure. *Mol Ecol*, 6: 773-779.

131. Syvanen, M. and C.I. Kado 2002. Horizontal Gene Transfer (2nd Edition), *Academic Press*, London, UK. pp.445

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

extinction through hybridization. *Conservation Biology*, 15:1039-1053.

143. Won, H. and S.S. Renner, 2003. Horizontal gene transfer from flowering plants to Gnetum. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 100(19): 10824-10829.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com