الفصل العاشر

مقدمات فى الهندسة الوراثية

تمهيد

تُعَرَّف النباتات المحولة وراثيًّا transgenic plants بأنها تلك التى تحمل جينات غريبة نقلت إليها – عادة – من كائنات لا تمت لها بصلة قرابة. تعرف العملية الكاملة التى تتضمن عملية إدخال الجين، ودمجه فى جينوم الكائن، والتعبير عنه فى ذلك الكائن العائل له باسم التحول الوراثى genetic transformation. وبالاعتماد على كل من تقنيات الدنا وطرق نقل الجينات، وتقنيات مزارع الأنسجة .. أمكن إنتاج النباتات المحولة وراثيًّا بكفاءة فى أعداد كبيرة من المحاصيل الزراعية.

ولقد برزت تلك التقنية كأداة جديدة لإنجاز ما أصبح يعرف بالتربية للجين الواحد single gene breeding، أو التربية بالتحول الوراثى transgenic breeding. وعلى خلاف التربية الكلاسيكية، فإن الجين المرغوب فيه ينقل منفردًا، ومجردًا من أى جينات أخرى – مرغوبًا أو غير مرغوب فيها – قد تكون مرتبطة به. وبذا .. فإن الصنف المحول وراثيًّا – والذى يفترض أن يكون جيدًا – لا يحتاج إلى أى تلقيحات رجعية (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

وتاريخيًّا .. حُصل على أول نبات محول وراثيًّا – وكان قادرًا على نقل الجين المنقول إليه مندليًّا – فى عام ١٩٨١. وفى عام ١٩٩٤ سمحت وزارة الزراعة الأمريكية بالإنتاج التجارى لأول صنف محصولى حُوِّلَ وراثيًّا، وهو صنف جديد من القطن عُدِّلَ وراثيًّا ليكون مقاومًا لمبيد الحشائش bromoxynil. ويعد ذلك بقليل أعطى التصريح بإنتاج أول صنف لمحصول غذائى محول وراثيًّا، وهو صنف الطماطم Flavr-Savr الذى تميز ببطء نضج ثماره (عن Owens ١٩٩٥).

وعلى الرغم من أن الغالبية العظمى لحالات التحول الوراثى التى أجريت على النباتات حتى الآن كانت باستعمال جين واحد أو جينين، فإنه أمكن فى حالات قليلة جدًا إجراء تحويل وراثى بعدد كبير من الجينات فى آن واحد. ومن أمثلة ذلك تحويل فول الصويا وراثيًا بـ ١٢ جينًا بطريقة القذف الدقيق، والحصول على نباتات أرز خصبة تحمل ١٣ جينًا نقلت إليها بتحويلات وراثية مستقلة (عن Bhat ٢٠٠٠)

وتتطلب الاستفادة من تقنيات الصندسة الوراثية فى الإنتاج التجارى للأصناف النباتية المحسنة وراثيًا، ما يلى:

١ – عزل الجين المعنى وإكثاره.

٢ – إجراء عملية التحول الوراثى والتأكد من تعبير الجين عن ذاته فى النوع المعنى بالتحويل.

٣ – إجراء الاختبارات الحقلية

٤ - تطوير صنف محسن يناسب الزراعة التجارية ويحتوى على الجين المنقول

٥ - توصيف الصنف وإجراء كافة الاختبارات اللازمة لتسجيله

٦ – قبول الصنف الجديد من جمهور المستهلكين

٧ تسويق الصنف الجديد (Horsch ١٩٩٣)

هذا ومن المعروف أن تركيب الجينات ونشاطها على المستوى الجزيئى لا يتحدد فقط بشفرته الوراثية، وإنما – كذلك – بتتابعات أخرى بالدنا تحدد الجزء من النبات الذى يحدث فيه التعبير الجينى ووقت حدوث ذلك التعبير. ومعدل حدوثه، وهى التعليمات الوراثية التى تتحدد بما يعرف باسم الـ promoter region للجين، والتى تتضمن التتابعات المحفزة enhancer sequences التى تُملى أى الأنسجة، وأى مراحل التكوين التى يحدث فيها - وعندها – التعبير الجينى.

إن الـ promoters الخاصة بالجينات المنقولة من مصادر غير نباتية لا يعبر عنها – غالبا – بصورة مرضية فى النباتات، مما يستلزم عزل promoters مناسبة لذلك ويتيسر حاليًا مجموعة من الـ promoters التى يقود بعضها إلى زيادة فى تعبير الجين وهو فى موقعه الجديد فى النبات المحول وراثيًا.

وحتى بعد التحول الوراثى الناجح، فإن الخلايا أو النباتات الناتجة يجب أن تقيم لأجل تحديد النباتات المحولة وراثيًا وتمييزها عن تلك التى لم يحدث بها تغيير. ولذا يجب إيجاد علاقة بين الجين المنقول وجين آخر تسهل ملاحظته، وهو الذى يعرف باسم reporter gene

وتعرف حزمة الجينات التى تشمل الجين المنقول - والذى يعرف باسم structural gene - والـ promoter gene، والـ reporter gene باسم gene construct.

وبالإضافة إلى التحويل الوراثى للأنواع النباتية المزروعة، فإن الهندسة الوراثية أصبحت تستخدم - على نطاق واسع - لأجل إنتاج مركبات كيميائية معينة يمكن أن تستعمل فى مجالات عدة عن طريق التحويل الوراثى للكائنات الدقيقة التى تُنمىّ على نطاق واسع لأجل إنتاج تلك المركبات، وهو ما أصبح يعرف باسم molecular pharming، أى الزراعة الجزيئية لأجل إنتاج المركبات الصيدلانية (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

ونقدم - فيما يلى - عرضًا لأبرز الإنجازات التى أسهمت فى تطور الهندسة الوراثية فى مجال الإنتاج النباتى:

السنة	الموضوع
١٩٨٠	أول نقل للدنا البكتيرى من *Agrobacterium tumefaciens* إلى النبات
١٩٨٣	توفر الـ selective markers
	تجريد الـ Ti plasmid من قدرته على إحداث النمو السرطانى
	أول تحويل وراثى باستعمال البروتوبلاست النباتى
١٩٨٥	هندسة نباتات مقاومة لمبيدات الحشائش
١٩٨٦	هندسة نباتات مقاومة للفيروسات
	أول تقييم حقلى لنباتات محولة وراثيًا
١٩٨٧	هندسة نباتات مقاومة للحشرات
	التحويل الوراثى بالقذف الدفعى الدقيق
١٩٨٨	التحكم فى نضج ثمار الطماطم بطريق الهندسة الوراثية
١٩٨٩	إنتاج أجسام مضادة فى النباتات بطريق الهندسة الوراثية
١٩٩٠	إحداث العقم الذكرى النباتى بطريق الهندسة الوراثية
١٩٩١	هندسة نباتات بمحتوى كربوهيدراتى معدل

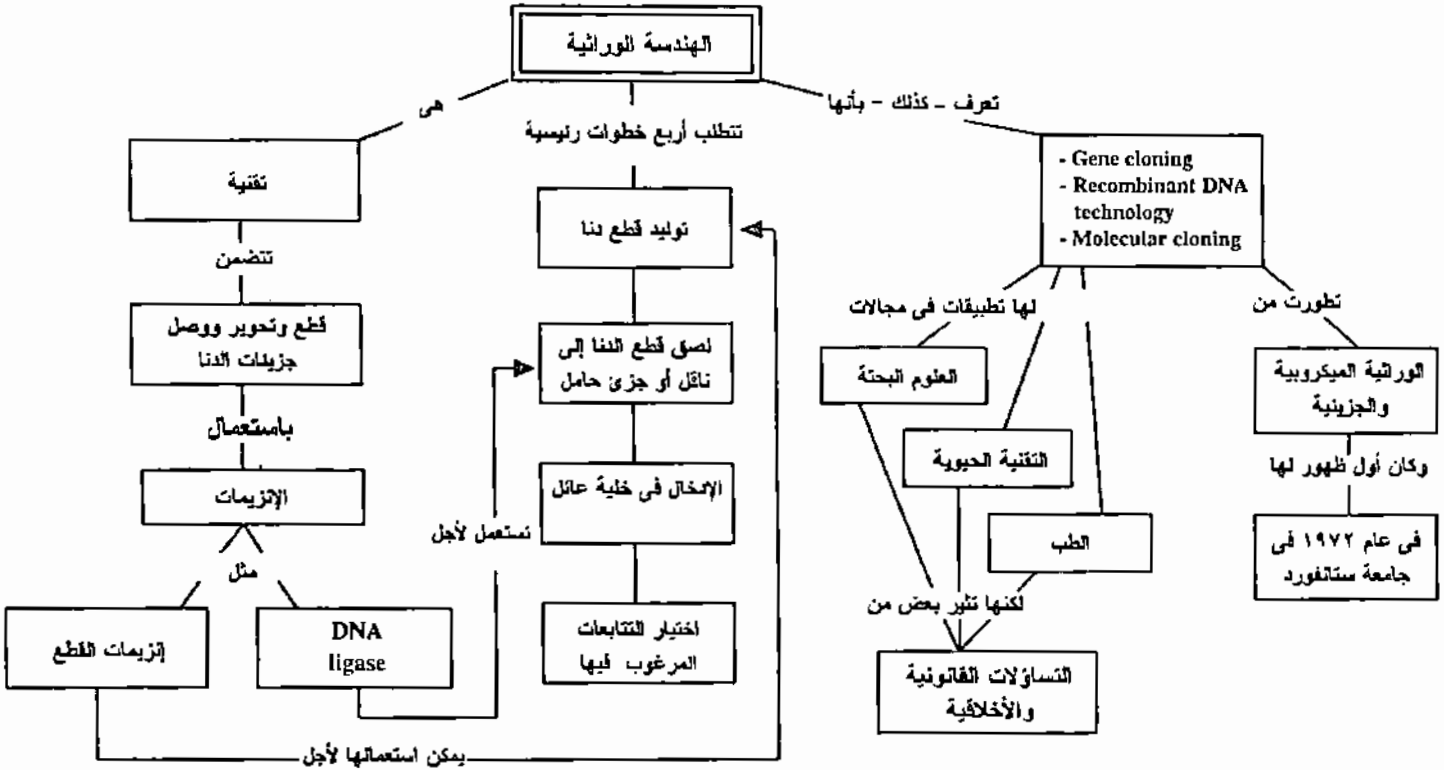
السنة	الموضوع
١٩٩٢	هندسة نباتات بمحتوى معدل من الأحماض الدهنية
	تحويل القمح وراثيًا بطريق القذف الدقيق
	إنتاج نباتات محولة وراثيًا قادرة على إنتاج بلاستيك يمكن أن يتحلل بيولوجيًا
١٩٩٤	إنتاج أول محصول غذائي معدل وراثيًا (صنف الطماطم FlavrSavr)
١٩٩٨	نقل أكثر من ١٠ جينات – كل على انفراد – إلى نبات واحد
	اعتماد أكثر من ٤٨ صنف محول وراثيًا على المستوى العالمي
	إنتاج أرز محول وراثيًا أعلى في قيمته الغذائية
	زراعة أكثر من ٤٠ مليون هكتار (>٩٥ مليون فدان) – على المستوى العالمي – بالمحاصيل المعدله وراثيًا
١٩٩٩	إجراء أكثر من ٩٠٠٠ تجربة تقييم حقلية على المحاصيل المعدلة وراثيًا

هذا وللتفاصيل المتعلقة بالمراجع الخاصة بتلك الإنجازات . يراجع Kempken (٢٠٠١)، كما أننا سنتطرق إلى تفاصيل جميع تلك الأحداث – وغيرها – في الفصول التالية من هذا الكتاب.

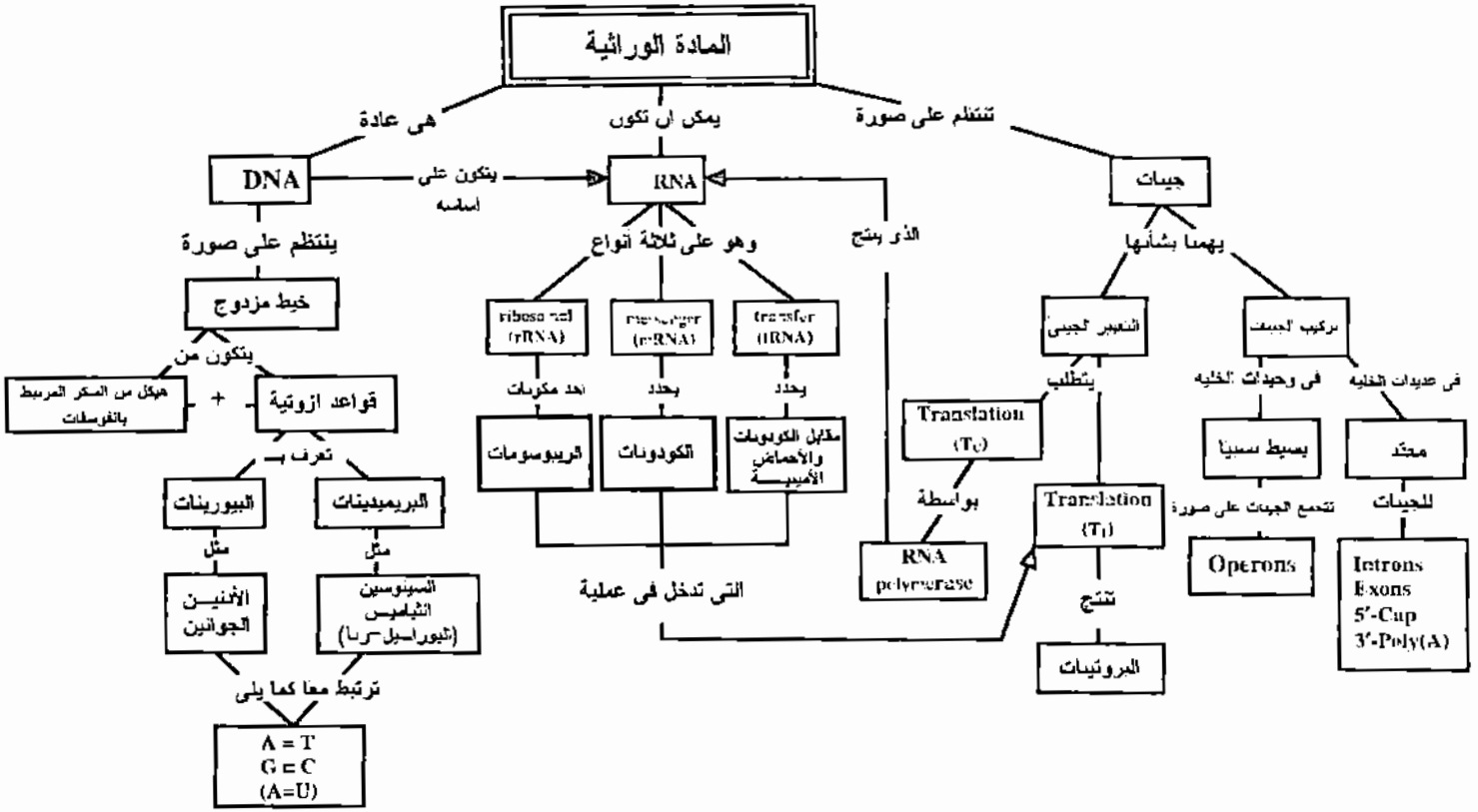
المفهوم العام للهندسة الوراثية

نقدم – فيما يلي – (نقلاً عن Nicholl ١٩٩٤) موجزًا للمفهوم العام للهندسة الوراثية في صورة ثلاثة أشكال تخطيطية، يوضح الأول (شكل ١٠–١) عرضًا لماهية الهندسة الوراثية، والثاني (شكل ١٠–٢) عرضًا لماهية المادة الوراثية التي تُخضع لتقنيات الهندسة الوراثية، والثالث (شكل ١٠–٣) عرضًا لمختلف تطبيقات الهندسة الوراثية

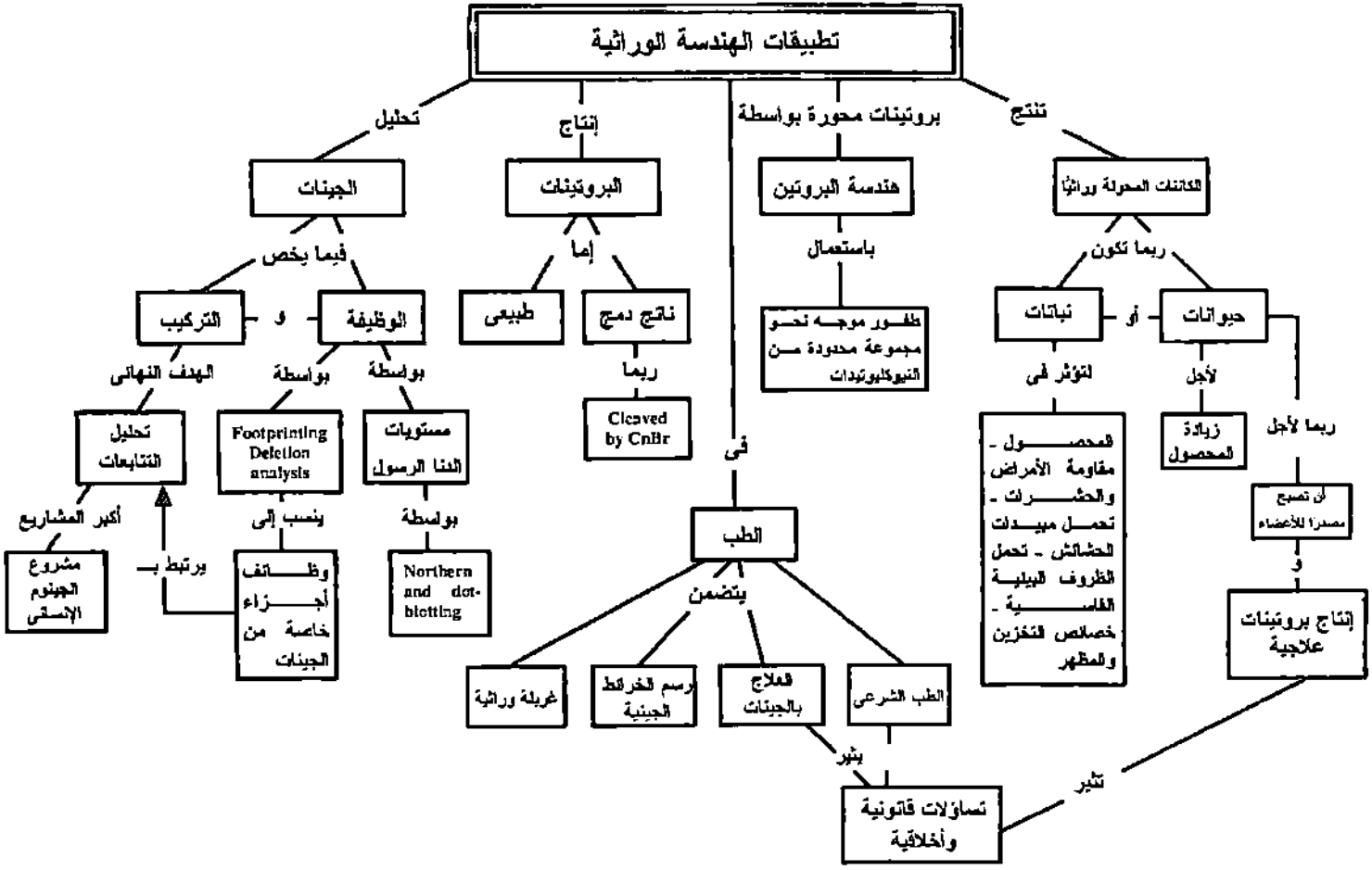
هذا ويلخص شكل (١٠–٤) خطوات استعمال الهندسة الوراثية في تحويل النباتات وراثيًا بجينات غريبة عنها (عن Hopkins ١٩٩٥).



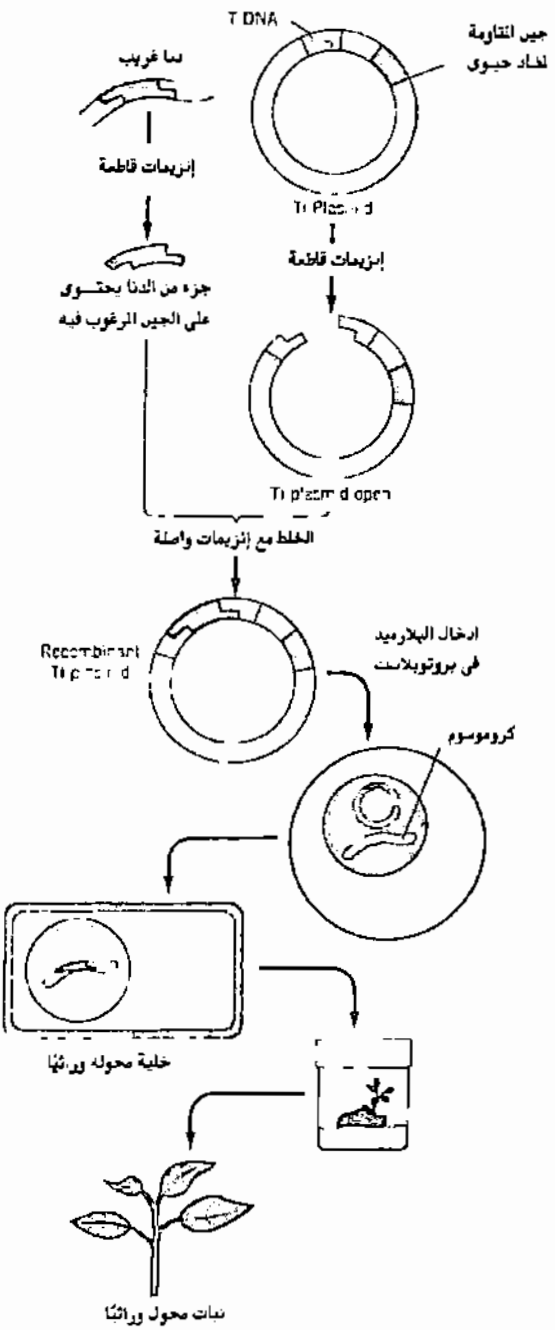
شكل (١٠-١): المفهوم العام للهندسة الوراثية.



شكل (١٠-٢) المادة الوراثية التى تُخضع لتقنيات الهندسة الوراثية



شكل (١٠-٣): تطبيقات الهندسة الوراثية.



شكل (١٠-٤): ملخص لخطوات استعمال الهندسة الوراثية فى تحويل النباتات وراثيًا بجينات غريبة عنها.

ولقد استخدمت البكتيريا *A. tumfaciens* – على سبيل المثال – فى نقل جينات من مصادر مختلفة إلى الطماطم، منها جينات من أصناف أخرى من الطماطم، ومن البكتيريا والفيروسات، والبقوليات، والذرة، ومن نباتات أخرى من العائلة الباذنجانية (عن Fobes ١٩٨٧).

وتتميز الفيروسات – كذلك – بقدرتها على إصابة النباتات ونقل أحماضها النووية إلى عوائلها، لذا .. فإنها تستخدم هى الأخرى لأغراض الهندسة الوراثية، ويستفاد فى هذا الشأن من الفيروسات التى يكون حامضها النووى من نوع دى إن إيه DNA سواء أكانت مزدوجة الخيط double-stranded DNA (مجموعة Caulimovirus التى يعرف منها عديدًا من الفيروسات، مثل فيرس موزايك القنبيط Caulıflower Mosaic Vırus الذى يتكون من رنا مزدوج الخيط double-stranded DNA ويصيب نباتات العائلة الصليبية بصفة أساسية) أو مفردة الخيط Sıngle–stranded DNA (مثل فيروسات مجموعة الجمنى gemini viruses، التى يوجد منها عديد من الفيروسات، منها فيرس موزايك الفاصوليا الذهبى، وفيرس تخطيط الذرة).

ولكن يعاب على استخدام الفيروسات فى مجال الهندسة الوراثية أنه لم يمكن إضافة قطعة دنا كبيرة إلى الحامض النووى الخاص بالفيرس دون التأثير فى قدرته على إصابة العائل، وهى الخطوة الضرورية لإحداث التحول المطلوب. كما أن الجينات الصغيرة المضافة تبطئ حركة الفيرس من خلية إلى أخرى، ويرجع ذلك إلى أن الحامض النووى الخاص بالفيرس صغير بطبيعته فهو لا يتعدى واحدا من ثلاثين جزءًا من الـ Ti plasmid (Kado ١٩٨٢).

وقد تبين أن دنا فيرس موزايك القنبيط يحمل ستة جينات، ليس لأحدها (وهو الجين رقم II) ضرورة بالنسبة لتكاثر الفيرس، أو تمثيل بروتين الفيرس، أو حركة الفيرس من خلية إلى أخرى، ولكنه يؤثر فى عملية الانتقال الحشرى الفيروسى فى الطبيعة، ويعد هذا الجين موقعًا مناسبًا لإضافة الجينات المرغوب فيها إلى دنا الفيرس. كما وجدت منطقة كروموسومية أخرى من دنا الفيرس (هى الجين رقم VI) تتحكم فى شدة أعراض المرض، حيث يؤثر أى تغيير فى هذه المنطقة كثيرًا على شدة الأعراض.

ووجد أن أعراض الإصابة بالفيرس ، قد تلاشت تقريبًا حينما أضيفت ١٢ نيكليوتيدة فى هذا الموقع الجينى، ونمت النباتات التى تمت عدواها بهذه الطفرة من الفيرس بصورة طبيعية (Shepherd وآخرون ١٩٨٢)

الجينوم الإنسانى والجينومات النموذج

الجينوم الإنسانى

بدأت فكرة رسم خريطة شفرة الجينوم الإنسانى فى منتصف ثمانينيات القرن العشرين، ومع نهاية ذلك العقد كان قد تحقق لهذا المشروع ما يكفى من قوة الدفع للتفكير جديًا فى تنفيذه وقد جاءت البداية من الولايات المتحدة حيث بدأ مشروع الجينوم الإنسانى Human Genome Project – رسميًا – فى أكتوبر ١٩٩٠. ومع تكوين جمعية الجينوم الإنسانى Human Genome Organisation فى العام ذاته أخذ المشروع طابعًا دوليًا، حيث كان الهدف من تلك الجمعية هو تنسيق الجهود التى بذلها العلماء فى هذا الخصوص فى عديد من دول العالم.

ولقد كان الهدف هو الانتهاء من المشروع فى بدايات القرن الحادى والعشرين، إلاّ أنه انتهى فعليًا فى عام ٢٠٠٠. ومن خلال هذا المشروع أمكن التعرف على نحو ١٠٠٠٠٠ جين فى الجينوم الإنسانى، ولكن هذه الجينات لم تمثل سوى ٥٪ من الدنا الجينومى الذى قدر أنه يحتوى على نحو ثلاثة بلايين زوج من النيكيلوتيدات.

الجينومات النموذج أو الموديل

إلى جانب الجينوم الإنسانى، فقد بدأ العلماء – كذلك – وقاموا بتطوير موديلات جينومية أخرى تمثل كل منها مجموعة من الكائنات، مثل جينومات كل من

١ – البكتيريا *E coli*.

٢ – الخميرة (الفطر) *Saccharomyces cerevisiae*.

٣ – النيماتودا *Caenorhabditas elegans*.

٤ – النبات *Arabidopsis thaliana*.

٥ – الحشرة *Drosophila melanogaster*.

٦ – الفأر.

٧ – الخنزير (عن Nicholls وآخرين ١٩٩٤).

الجينوم النباتى الموديل أرابيدوبسس ثاليانا

على الرغم من أن تحسين النباتات بطرق الهندسة الوراثية يمكن أن يعتمد على نقل جينات إليها من أى كائن حىّ، فإن النباتات تبقى هى المصدر الرئيسى لتلك الجينات، ولمّا كان التعامل مع النباتات على مستوى الدنا ليس بالسهولة التى يكون عليها التعامل مع الكائنات الدقيقة؛ لذا .. كان الاتجاه نحو اختيار نبات "موديل" يسهل التعامل معه ويتم التركيز عليه للتعرف على جينومه الكامل.

ونظرًا لما يتمتع به النبات *Arabidopsis thaliana* من مزايا عديدة تجعل التعامل معه أمرًا ميسورًا عن غيره من النباتات الراقية، فقد اختير ليكون هو النبات "الموديل"، حيث تناوله الكثير من الباحثون فى عديد من دول العالم بالدراسة المفصلة جزيئيًّا، وربط ذلك بالمستوى الخلوى، وبنموه وتطوره، وبصفاته المميزة. وحاليًّا .. يعتبر هذا النبات كائن قنطرى لإسراع تطوير نباتاتنا الاقتصادية وراثيًّا، حيث يُستعان بجيناته الهامة فى تطوير الأنواع النباتية الأخرى، إما بنقلها بصورة مباشرة إلى الأنواع الأخرى، وإما باستعمالها فى التعرف على الجينات المثيلة لها فيها (عن Flavell ١٩٩٢).

يعتبر *A. thaliana* أحد نباتات العائلة الصليبية (الكرنبية) الذى طالما استخدم فى الدراسات الوراثية الكلاسيكية لمدة تزيد عن أربعة عقود، ولكنه لم يصبح أحد أهم الكائنات المستخدمة فى البحوث الوراثية إلاّ منذ منتصف ثمانينيات القرن الماضى حينما أتضح أن الهيئة الكروموسومية لهذا النبات صغيرة للغاية، ولا تحتوى – تقريبًا – على أى دنا مكرر كذلك الذى ينتشر ويتوزع بطول الكروموسومات فى الأنواع الأخرى. وقد برز *A. thaliana* منذئذٍ كموديل مناسب للدراسات الوراثية فى المملكة النباتية، مثل دراسة وتحليل العمليات الأيضية، والتطور، والاستجابة لمختلف عوامل الشدّ البيئى، والمقاومة للأمراض والحشرات ... إلخ.

ومن أهم مميزات *A. thaliana*، ما يلى:

١ – النبات صغير الحجم (٢٥–٣٠ سم)، ويعد أصغر النباتات الراقية المعروفة؛ وبذا يمكن زراعة أعداد كبيرة منه فى حيز صغير فى حجرات النمو.

٢ – تأقلمه على ظروف بيئية متباينة.

٣ – يكمل النبات دورة حياته خلال فترة زمنية قصيرة تبلغ حوالى ٥–٨ أسابيع.

٤ – يُنتج النبات أعدادًا كبيرة من البذور تصل إلى ٤٠٠٠٠ بذرة للنبات الواحد.

٥ – يستجيب النبات لمختلف طرق التحول الوراثى المعروفة.

٦ – الصغر الشديد للهيئة الكروموسومية للنبات، وهى التى تقدر بنحو ٧ × ١٠^{٧} أزواج من النيكليوتيدات؛ وبالمقارنة .. فهى تبلغ نحو ٢٠ ضعف حجم الهيئة الكروموسومية للبكتيريا *E. coli*، وحوالى $\frac{١}{١٠٠}$ من حجم الهيئة الكروموسومية للذرة.

٧ – لا يوجد بالهيئة الكروموسومية سوى القليل جدًّا من الدنا المكرر المنتشر هنا وهناك على امتداد الكروموسومات؛ فنجد أن التتابعات الفريدة (التى لا نظير لها) للدنا تبلغ – فى المتوسط – حوالى ١٢٠٠٠٠ ألف زوج من النيكليوتيدات طولاً فى *A. thaliana*، مقارنة بنحو ١٠٠٠ زوج منها طولاً فى الذرة.

٨ – النبات ثنائى التضاعف.

٩ – يتلقح النبات ذاتيًّا فى الطبيعة، مع نسبة ضئيلة جدًّا من التلقيح الخلطى.

ومن أهم عيوب استخدام *A. thaliana* فى الدراسات الوراثية الصغر الشديد لحجم أزهاره؛ الأمر الذى يتطلب استخدام العدسات المكبرة لأجل خصيها وتلقيحها عند الرغبة فى إجراء التهجينات (عن Gardner وآخرين ١٩٩١، و Coury & Feldman ١٩٩٨).

ولقد بدأ تحليل جينوم *A. thaliana* فى عام ١٩٩٠، واستكمل رسميًّا فى ديسمبر من عام ٢٠٠٠.

بلغ إجمالى عدد الجينات للنبات *A. thaliana* – بعدما اكتملت دراسة جينومه – حوالى ٢٦٠٠٠ جين (حوالى ١١٦ مليون نيكيلوتيدة). وعلى الرغم من أن هذا العدد لا يقل بدرجة كبيرة عما فى عديد من النباتات الزراعية الهامة، إلاّ أن صغر الحجم

الكامل للدنا في هذا النبات أسهم في مهمة دراسته تفصيليًا. فمثلاً يزيد حجم الدنا في نباتات مثل التبغ والقمح بمقدار ٢٠، و ٦٠ ضعف حجم الدنا في الـ *Arabidopsis* – على التوالي – مما يجعل من الصعوبة بمكان البحث عن الجينات في هذه الكمية الزائدة من الدنا.

وعلى الرغم من أن جينوم الـ *Arabidopsis* يزيد عن جينوم *Escherichia coli* بمقدار ٢٥ ضعف فقط، فإن النبات أكثر تعقيدًا بكثير من البكتريا، وهو يقوم بأداء العمليات الحيوية ذاتها التي يقوم بها أي نبات آخر. وفي الواقع .. فإن الـ *Arabidopsis* والإنسان يحتويان – تقريبًا – على نفس العدد من الجينات.

أما عن وظائف تلك الجينات فقد تعرف العلماء على دور الكثير منها، ولكن يبقى نحو ١٥٠٠٠ جين لا تعرف وظائفها على وجه التحديد. ويحاول العلماء التعرف عليها من خلال خاصية قدرة بكتيريا *Agrobacteriun tumefacines* على زرع الدنا الذي تحمله (T-DNA) في أي مكان من جينوم النبات؛ مما يترتب عليه ما اتفق على تعريفه باسم knockout mutant، حيث يختفي تأثير الجين الذي دمج فيه الـ T-DNA؛ لتظهر صفة جديدة لم تكن معروفة من قبل؛ وبذا .. يمكن التعرف على وظيفة الجين الذي يمكن تحديده بسهولة (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

ومن أهم الخصائص التي تم التوصل إليها بخصوص جينوم نبات *Arabidopsis thaliana* ما يلي (عن Kato وآخرين ٢٠٠٣).

أولاً: الدنا:

الطول	١١٥٤٠٩٩٤٩ bp
عدد الجينات	٢٥٤٩٨
كثافة الجينات	٤,٥ kb/جين
متوسط طول الجين	٢,٠١١ bp
متوسط طول الببتيد peptide	٤٣٤ aa
الـ exons	

متوسط الحجم	٢٥٠ bp
الـ introns	
متوسط الحجم	١٦٨ bp
متوسط العدد/جين	٤,١

ثانيًا: الـ proteome:

الأيض الخلوى	٢٢,٥٪
الـ transcription	١٦,٩٪
الدفاع plant defense	١١,٥٪
signaling	١٠,٤٪
النمو	١١,٧٪
مصير البروتين	٩,٩٪
الانتقال داخل الخلايا	٨,٣٪
الانتقال	٨ ٤٪
تمثيل البروتين	٤,١٪
المجموع	٦٩,٩٪

ويوضح جدول (١٠-١) توزيع تلك الجينات على كروموسومات النبات الخمسة (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣)

ولمزيد من التفاصيل عن جينوم *A thaliana* .. يراجع Kato وآخرين (٢٠٠٣)، و Schmidt وآخرين (٢٠٠٣).

جدول (١٠-١): توزيع جينات النبات *Arabidopsis thaliana* على كروموسوماته الخمسة

الخصائص		كروموسوم ١	كروموسوم ٢	كروموسوم ٣	كروموسوم ٤	كروموسوم ٥	المجموع
الطول	Length (kbp)	٢٩١٠٥	١٩٦٤٧	٢٣١٧٣	١٧٥٥٠	٢٥٩٥٣	١١٥٤١٠
الذراع العلوى	Top arm (kbp)	١٤٤٤٩	٣٩٩٧	١٣٥٩٠	٣٠٥٢	١١١٣٢	
الذراع السفلى	Bottom arm (kbp)	١٤٦٥٦	١٦٠٤٠	٩٥٨٢	١٤٤٩٨	١٤٨٠٣	
عدد الجينات	Number of genes	٦٥٤٣	٤٠٣٦	٥٢٢٠	٣٨٢٥	٥٨٧٤	٢٥٤٩٨
الأكسونات:	*Exons:*						
العدد	Number	٣٥٤٨٢	١٩٦٣١	٢٦٥٧٠	٢٠٠٧٣	٣١٢٢٦	١٣٢٩٨٢
الطول الكلى	Total length (kbp)	٨٧٧٣	٥١٠٠	٦٦٥٥	٥١٥١	٧٥٧١	٣٣٢٤٩
النسبة من الطول الكلى	% of total length	٣٠	٢٦	٢٩	٢٩	٢٩	٢٩
المتوسط لكل جين	Average per gene	٥,٤	٤,٩	٥,١	٥,٢	٥,٣	
متوسط الحجم	Average size (bp)	٢٤٧	٢٥٩	٢٥٠	٢٥٦	٢٤٢	
الانترونات	*Introns:*						
العدد	Number	٢٨٩٣٩	١٥٥٩٥	٢١٣٥٠	١٦٢٤٨	٢٥٣٥٢	١٠٧٤٨٤
الطول الكلى	Total length (kbp)	٤٨٢٩	٢٧٦٨	٣٣٩٨	٣٠٣١	٤٠٣٠	١٨٠٥٦
النسبة من الطول الكلى	% of total	١٧	١٤	١٥	١٧	١٦	
متوسط الحجم	Average size (bp)	١٦٨	١٧٧	١٥٩	١٨٦	١٥٩	
كثافة الجينات	Gene density (kbp per gene)	٤,٠	٤,٩	٤,٥	٤,٦	٤,٤	

مصادر متنوعة فى مجال الهندسة الوراثية

تمثل القائمة التالية نخبة مختارة من المراجع المتنوعة فى شتى مجالات الهندسة الوراثية

المرجع	الموضوع
Chilton (١٩٨٠)	استخدامات الـ Ti-plasmids فى مجال الهندسة الوراثية
McDaniel (١٩٨١)	الدراسات المبكرة فى مجال الهندسة الوراثية
Panopoulos (١٩٨١)	الدراسات المبكرة فى مجال الهندسة الوراثية
Rachie & Lyman (١٩٨١)	الدراسات المبكرة فى مجال الهندسة الوراثية
Flavell (١٩٨٢)	طرق التعرف على الجينات وفصلها لأغراض الهندسة الوراثية
Schell (١٩٨٢)	استخدامات الـ Ti-plasmids فى مجال الهندسة الوراثية
Schroder وآخرون (١٩٨٣)	استخدامات الـ Ti-plasmids فى مجال الهندسة الورانية
Hull (١٩٨٣)	استخدامات الفيروسات فى مجال الهندسة الورانية
Mantell وآخرون (١٩٨٥)	مقدمة فى الهندسة الوراثية النباتية
Dodds (١٩٨٥)	الهندسة الوراثية للنباتات
Brown (١٩٨٦)	مقدمة فى الهندسة الوراثية
Lycett & Grierson (١٩٩٠)	الهندسة الوراثية لمختلف الأغراض
Nelson وآخرون (١٩٩٠)	التحويل الوراثى لمقاومة الفيروسات بجين غلافها البروتينى
Hilder وآخرون (١٩٩٠)	التحويل الوراثى لمقاومة الحشرات باستعمال جينات ذات أصل نباتى
Ryan (١٩٩٠)	التحول الوراثى لمقاومة الحشرات ومسببات الأمراض بجينات مثبطات إنزيمات البروتييز
Beachy وآخرون (١٩٩٠)	التحول الوراثى لمقاومة الفيروسات بجينات الغلاف البروتينى
Webb & Wilson (١٩٩١)	إنزيمات القطع واستعمالها فى تحضير خرائط الدنا
Franks & Birch (١٩٩١)	التحول الوراثى بتقنيات القذف الدقيق للجينات
Grant وآخرون (١٩٩١)	التعديل الوراثى باستعمال الأجروباكتيريم
Rathus & Birch (١٩٩١)	التعديل الوراثى عن طريق التثقيب الكهربائى للأغشية الخلوية
Gatehouse وآخرون (١٩٩٢)	الهندسة الوراثية لوقاية النباتات
Mullineaux (١٩٩٢)	الهندسة الوراثية لتحمل مبيدات الحشائش
Peferoen (١٩٩٢)	الهندسة الورانية لمقاومة الحشرات باستعمال الجين Bt
Reavy & Mayo (١٩٩٢)	الهندسة الوراثية لمقاومة الفيروسات

المرجع	الموضوع
Flavell (١٩٩٢)	أهمية النبات "الموديل" *A. thaliana* لمربى النبات
Gressel (١٩٩٣)	التحول الوراثى لتحمل مبيدات الحشائش
Fitchen & Beachy (١٩٩٣)	الهندسة الوراثية لمقاومة الفيروسات
Gatehouse وآخرون (١٩٩٣)	الهندسة الوراثية لمقاومة الحشرات
Broglie & Broglie (١٩٩٣)	استخدام جين الشيتينيز chitinase فى تحويل النباتات وراثيًا لمقاومة الفطريات
Scholthof وآخرون (١٩٩٣)	الهندسة الوراثية لمقاومة الفيروسات
Dale وآخرون (١٩٩٣)	الإنتاج التجريبى والتجارى للمحاصيل المحولة وراثيًا
Nakata & Okita (١٩٩٤)	التحويل الوراثى لتحفيز إنتاج النشا فى درنات البطاطس
Sowokinos (١٩٩٤)	تنظيم تراكم السكروز فى البطاطس – أثناء التخزين – بالهندسة الوراثية
Tu وآخرون (١٩٩٤)	التعبير عن بروتين الكاشو الغنى بالثيونين فى درنات البطاطس.
Nicholl (١٩٩٤)	الهندسة الوراثية
Grierson & Fray (١٩٩٤)	التحكم فى النضج فى الطماطم المحولة وراثيًا
Lomonossoff (١٩٩٥)	الهندسة الوراثية لمقاومة الفيروسات
Grumet (١٩٩٥)	الهندسة الوراثية لمقاومة الفيروسات
Picton وآخرون (١٩٩٥)	الهندسة الوراثية للطماطم بهدف إبطاء التقدم فى نضج الثمار
Kavanagh & Spillane (١٩٩٥)	الهندسة الوراثية لمقاومة الفيروسات
Jahne وآخرون (١٩٩٥)	الهندسة الوراثية لمحاصيل الحبوب الصغيرة
Nascari & Montanelli (١٩٩٧)	الهندسة الوراثية لمقاومة الأمراض
Carozzi & Koziel (١٩٩٧)	الهندسة الوراثية لمقاومة الحشرات
Peferoen (١٩٩٧)	الهندسة الوراثية لمقاومة الحشرات بالبروتينات البللورية للبكتيريا *Bacillus thuringiensis*
Czapla (١٩٩٧)	التحول الوراثى لمقاومة الحشرات باللكتينات lectins
Chrispeels (١٩٩٧)	التحول الوراثى للبقوليات لمقاومة الـ bruchid بواسطة جين مثبط الأميليز من الفاصوليا
Reeck وآخرون (١٩٩٧)	التحول الوراثى لمقاومة الحشرات بجينات مثبطات البروتينيز
Chilton (١٩٩٧)	التحول الوراثى لمقاومة الحشرات بجينات مركبات الأيض الثانوية

المرجع	الموضوع
Kramer (١٩٩٧)	التحول الوراثى لمقاومة الحشرات بجينات الشيتنيز
Roush (١٩٩٧)	كسر الحشرات للمقاومة الحشرية فى النباتات المحولة وراثيًا
Rajesh & Luthra وآخرون (١٩٩٧)	حصر كامل لجميع دراسات التحول الوراثى التى أجريت حتى نهاية عام ١٩٩٥ باستعمال تقنية القذف الدقيق microprojectile technology بالجينات المرغوب فيها
Hedden وآخرون (١٩٩٨)	التحويل الوراثى المؤثر فى الشكل المظهرى بالتحكم فى تمثيل الجبريللين
Amer. Soc. Hort. Sci. (١٩٩٨)	تأثير التكنولوجيا الحيوية على البيئة – ندوة علمية
Herbers & Sonnewald (١٩٩٨)	النباتات المحولة وراثيًا. الأساس الكيميائى الحيوى والفسيولوجى لما يحدث فيها
Altman (١٩٩٨)	مرجع فى التكنولوجيا الحيوية الزراعية، وخاصة الهندسة الوراثية
Potrykus وآخرون (١٩٩٨)	الهندسة الوراثية للمحاصيل الزراعية
Topfer & Martini (١٩٩٨)	هندسة المحاصيل الزراعية فى نوعية المحتوى الغذائى من البروتينات والمواد الكربوهيدراتية والدهون
Pueyo & Hiatt (١٩٩٨)	إنتاج المركبات الدوائية فى النباتات المهندسة وراثيًا
Koziel وآخرون (١٩٩٨)	الهندسة الوراثية لمقاومة الآفات الحشريه
Gressel (١٩٩٨)	الهندسة الوراثية لمقاومة مبيدات الحشائش
Chopra وآخرون (١٩٩٩)	تطبيقات الهندسة الوراثية النباتية
Mandaokar وآخرون (١٩٩٩)	التحول الوراثى بالجين Bt
Gatehouse (١٩٩٩)	الهندسة الوراثية لمقاومة الحشرات
Jannson & Maenpaa (١٩٩٩)	التحول الوراثى بطريقة القذف المدفعى الدقيق للجينات
Bent & Yu (١٩٩٩)	تطبيقات الهندسة الوراثية فى مجال مقاومة الأمراض والحشرات
Chawla (٢٠٠٠)	الهندسة الوراثية النباتية وتطبيقاتها
Kempken (٢٠٠١)	استعراض للتقدمات فى مجال الهندسة الوراثية
Weber وآخرون (٢٠٠١)	تعديل الزيوت النباتية بالهندسة الوراثية
Santaniello وآخرون (٢٠٠٢)	وضع ومستقبل تسويق الأغذية المعدلة وراثيًا عاليًا
Tepfer (٢٠٠٢)	تقييم مخاطر زراعة النباتات المهندسة وراثيًا لمقاومة الفيروسات

المرجع	الموضوع
Oksman-Caldentey & Barz (٢٠٠٢)	التكنولوجيا الحيوية النباتية والهندسة الوراثية
Schulman (٢٠٠٢)	الهندسة الوراثية لتحوير النشا والمواد الكربوهيدراتية الأخرى
Shewry (٢٠٠٢)	الهندسة الوراثية لتحسين المحتوى البروتينى للبذور ونوعيته
Coughlan & Kinney (٢٠٠٢)	الهندسة الوراثية للنباتات كمصدر للزيوت المحورة
Jeske (٢٠٠٢)	الهندسة الوراثية لمقاومة الفيروسات
Tenhaken (٢٠٠٢)	الهندسة الوراثية لمقاومة البكتيريا والفطريات
Llewellyn & Higgins (٢٠٠٢)	الهندسة الوراثية لمقاومة الحشرات
Gressel (٢٠٠٢)	الهندسة الوراثية لمقاومة مبيدات الحشائش
Slater وآخرون (٢٠٠٣)	الهندسة الوراثية: الأساسيات والتطبيقات
Jacobs وآخرون (٢٠٠٢)	الهندسة الوراثية لتحسين القيمة الغذائية
Atkinson وآخرون (٢٠٠٣)	الهندسة الوراثية لمقاومة النيماتودا
Richards وآخرون (٢٠٠٥)	حجج المعترضون على الهندسة الوراثية النباتية والرد عليها
Gray وآخرون (٢٠٠٥)	تصميم واستعمال قاذفة جينات لأغراض الهندسة الوراثية