

الهندسة الوراثية لتحسين صفات الجودة

تتنوع كثيراً صفات الجودة المرغوب فيها بتنوع المحاصيل والأنواع النباتية، ولذا .. فإننا نتناول هذا الموضوع بنظرة عامة، ولا نتطرق إلى التفاصيل الدقيقة لصفات الجودة فى كل محصول على حدة إلا بالقدر الذى يتناسب مع مقدار الجهد الذى بذل لأجل تحسين صفات الجودة المعنية فى تلك المحاصيل. وسوف نولى فى هذا الفصل اهتماماً خاصاً لموضوع تحسين القيمة الغذائية كأحد أهم عناصر صفات الجودة ذات الطبيعة العامة، بالإضافة إلى التركيز على بعض صفات الجودة الخاصة فى كل من الخضر الثمرية ونباتات الزهور.

التحول الوراثى لتحسين القيمة الغذائية

التحسين الكمى والنوعى للمحتوى البروتينى

أمكن عن طريق الهندسة الوراثية إحداث تغييرات هامة فى مخزون البذور من البروتين كماً ونوعاً، وذلك بهدف تحقيق الأغراض التالية:

- ١ - زيادة المحتوى البروتينى للبذور.
- ٢ - زيادة محتوى البذور من الأحماض الأمينية الضرورية، مثل الليسين، والمثيونين.
- ٣ - جعل البذور تقوم بتخزين أنواع جديدة من البروتينات أفضل فى قيمتها الغذائية.
- ٤ - زيادة محتوى حبوب القمح من البروتين ذات الوزن الجزيئى المرتفع: جلوتينين glutenin، الذى يؤدي إلى زيادة لدانة الطحين.

أهمية تحسين المحتوى البروتيني

لا يمكن لجسم الإنسان أن يقوم بتمثيل سوى عشرة أحماض أمينية فقط من بين العشرين حمضا أمينياً التي تتكون منها مختلف البروتينات، أما العشرة أحماض الأخرى، فإن تواجدها في غذائه يعد ضرورياً لأنه لا يستطيع تمثيلها مما يتوفر بالغذاء من مصادر كربونية ونيروجينية ولذا يتعين تواجد سوازن بين الأحماض الأمينية التي يتناولها الإنسان في غذائه. الأمر الذي قد يشكل مشكلة أحياناً كما هو الحال عند الاعتماد الكبير على الحبوب - التي تعد مصدراً هاماً للطاقة - وبذور البقول - التي تعد مصدراً رئيسياً للبروتينات؛ ذلك لأن الحبوب الصغيرة غالباً ما تكون فقيرة في الحامض الأميني الضروري ليسين lysine، بينما تكون بذور البقوليات - غالباً - فقيرة في الحمضين الأمينيين الكبريين methionine، وسيستين cysteine

وتجدر الإشارة إلى أن الحيوانات الزراعية يمكنها تحويل الميثيونين إلى سيستين، ولكنها لا تستطيع إجراء التحويل العكسي، ولذا يسعى مربو النباتات - من خلال تقنيات الهندسة الوراثية - إلى إنتاج محاصيل تصلح لغذاء الحيوانات الزراعية تكون أكثر غنى في محتواها من البروتين بصورة عامة، ومن البروتينات الغنية في الأحماض الأمينية الكبريتية والحامض الأميني ميثيونين methionine بصورة خاصة

استراتيجيات تحسين المحتوى البروتيني

تنوعت الاستراتيجيات التي اتبعت لأجل تحسين المحتوى البروتيني للنباتات التي تستعمل كغذاء للإنسان والحيوانات الزراعية، كما يلي:

١ - الاعتماد على جينات نباتية محورة:

جرت محاولة لعزل جين مسئول عن إنتاج بروتين فقير في الأحماض الأمينية الكبريتية، تم تحوير نتاجاته من القواعد الآزوتية بما يسمح بتشفيره لزيد من الأحماض الكبريتية، ولقد حدث ذلك بالنسبة لبروتينات، مثل الفاصولين phaseolin من الفاصوليا، والفيسلين vicilin من الفول، إلا أن البروتينات الناتجة المحورة كانت إما غير ثابتة، وإما كانت فقيرة جداً في الميثيونين؛ مما جعلها بغير ذي فائدة

٢ - الاعتماد على جينات مخلقة معملياً:

جرت محاولات أخرى لتشكيل جينات كاملة في العمل تشفر لتكوين بروتينات غنية في الأحماض الأمينية الكبريتية، ونجح بالفعل إنتاج بروتين جديد يحتوى على ١٣٪ ميثيونين، وأمكن التعبير عن الجين الصناعي - الذى يشفر لتكوينه - فى البطاطا.

٣ - الاعتماد على جينات ذات أصول نباتية:

أمكن التعرف على عديد من البروتينات الغنية فى الميثيونين فى كل من: الذرة (البروتين 21-kDa zein الذى يحتوى على ٢٨٪ ميثيونين، والبروتين 10-kDa zein الذى يحتوى على ٢٣٪ ميثيونين)، والأرز (البروتين 10-kD prolamin الذى يحتوى على ٢٠٪ ميثيونين)، ودوار الشمس (البروتين 2S sunflower seed albumin الذى يحتوى على ١٦٪ ميثيونين، و ٨٪ سيتوسين)، والكاجو (جوز البرازيل) Brazil nut (ألبومين الكاجو الذى يحتوى على ١٨٪ ميثيونين، و ٨٪ سيتوسين). ولقد أمكن نقل الجينات المسئولة عن تمثيل تلك المركبات إلى عدد من المحاصيل الزراعية، منها الذرة، وفول الصويا، والترمس، ولفنت الزيت (عن Slater وآخريين ٢٠٠٣).

ومن أبرز الأمثلة على عمليات التحول الوراثي لتحسين المحتوى البروتيني بالاعتماد على الجينات ذات الأصل النباتي، ما يلي:

جرت محاولات عديدة لزيادة محتوى بعض المحاصيل الزراعية الهامة من الحامض الأميني الضروري ليسين lysine، ومن أبرز حالات النجاح فى هذا المجال، ما يلي

عدد أضعاف الزيادة فى الليسين

الحصول (الذرة)	الجين المنقول ومصدره	الحر	الكلبي
لفت الريت	dhdps من المكتيريا <i>Corynebacterium</i>	١٤٠-٣,١	١,٧٥-١
لفت الريت	Dhdps من البكتيريا <i>Corynebacterium</i>		
	، و ak من المكتيريا <i>E. coli</i>	٣٨-٤,٧	٢,٠-١
فول الصويا	Dhdps من البكتيريا <i>Corynebacterium</i>	٢٥-١٢	١,٢٥

عدد أضعاف الزيادة في الليسين

الحصول (البذور)	الجين المنقول ومصدره	الحر	الكلبي
في فول الصويا	Dhdps من البكتيريا <i>Corynebacterium</i>	٣٣٥	٤,٧-٠,٩
الشعير	، و ak من <i>E. coli</i> Dhdps من <i>E. coli</i>	٢	١,٠٥

• جرت محاولات مماثلة لتحسين مستوى الليسين بطرق الهندسة الوراثية في كل من البطاطس (التي تحسن فيها محتوى الليسين الحر في الدرناات بمقدار خمسة أضعاف دون حدوث أى تغير في محصول الدرناات أو مواصفاتها الأخرى)، والذرة الرفيعة (التي لم يتحقق فيها نجاح مماثل). وقد أجرى التحول الوراثي في كلا المحصولين باستعمال الطفرة *dhdps-r1* (عن Jacobs وآخرين ٢٠٠٢).

• أمكن عزل الجين المسئول عن تكوين بروتين جوز البرازيل (الكاجو) Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) - المعروف باسم BN2S protein - والذي يحتوى على ميثيونين methionine بنسبة ١٩٪، وسيستين cysteine بنسبة ٨٪ - أمكن عزل هذا الجين ونقله بطرق الهندسة الوراثية إلى البطاطس، حيث عبر عن ذاته في كل من أنصال الأوراق، وأعناق الأوراق والدرناات، مع تركيز للبروتين في الدرناات يزيد بمقدار ٨ أمثال عن التركيز في الأوراق وأعناق الأوراق. وبينما لم يكن للتعبير عن هذا الجين أى تأثيرات ضارة على نباتات البطاطس، فإن تركيز البروتين لم يرتفع إلى درجة يمكن أن تؤثر في مستوى الميثيونين بالدرناات (Tu وآخرون ١٩٩٤) ومن مساوئ الاعتماد على هذا البروتين أنه يسبب الحساسية لدى الأفراد ذوى الحساسية للكاجو، بما يعنى حتمية إجراء اختبارات دقيقة وموسعة قبل الاعتماد على مثل هذه البروتينات المسببة للحساسية في عمليات التحول الوراثي (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

• على الرغم من أن الفاصوليا من المحاصيل البقولية الهامة، فإنها تعد فقيرة في الحامض الأميني الضرورى ميثيونين methionine، ولقد أمكن تحويلها وراثياً بجين مسئول عن تكوين بروتين الكاجو الذى أسلفنا الإشارة إليه، وبلغ مستوى حامض الميثيونين في النباتات المحولة وراثياً قيماً تزيد بمقدار ١٤-٢٣٪ عن نظيراتها في النباتات غير المحولة وراثياً (Aragao وآخرين ١٩٩٩)

• أمكن التعبير عن بروتين غنى فى الليسين فى إندوسبرم الأرز. ولأجل تحقيق أفضل تعبير عن البروتين ومكان التعبير عنه فى الأرز وقع الاختيار على بروتين فول الصويا: الجليسينين glycinin، وهو أحد أفراد عائلة الجلوبيولين IIS globulin. ومن أهم خصائص الجليسينين أنه يُمتل ويخزن فى فول الصويا بطريقة تتشابه كثيراً مع حالة جلوتيلينات glutelins الأرز. وقد تبين عند دراسة نباتات الأرز المحولة وراثياً أن كلا الجلوبيولينين (الجلوتيلين والجليسينين) عبّر عنهما وكونا معقدات بأحجام مميزة كان من السهل التعرف عليها، وبغير حدوث ذلك لم يكن من الممكن الحصول على مستويات مثلى من البروتينات. ومن الأمور الأخرى الهامة لبروتينات الجليسينين فى فول الصويا أنها تكون مصاحبةً بتأثير hypocholesterolaemic (خافض للكوليسترول) إذا زاد ما يتناوله الإنسان منها فى طعامه عن ٦ جم يومياً. وبذا .. فإن التعبير عن جين فول الصويا فى الأرز له ميزتان: زيادة محتوى إندوسبرم الأرز من الليسين، والإسهام فى زيادة ما يحصل عليه الإنسان من جلوبيولينات فول الصويا ذات التأثير المنخفض للكوليسترول (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

• أمكن عزل الجين AmA1 من النبات *Amaranthus hypochondriacus*، وهو جين مسئول عن تكوين بروتين الألبومين البذرى، الذى يتميز بكونه لا يسبب الحساسية، ويغناه فى الأحماض الأمينية الضرورية. وتبعاً لمعايير منظمة الصحة العالمية للتغذية المثالية للإنسان فإن هذا البروتين تنطبق عليه الشروط المثالية. أمكن نقل هذا الجين إلى البطاطس بطرق الهندسة الوراثية، وبالدراسة .. وجد أن النباتات المحولة وراثياً كانت أقوى نمواً، وأكثر إنتاجاً للدرنات، وكانت درناتها أعلى فى محتواها البروتينى، مع زيادة فى معظم الأحماض الأمينية الضرورية - وبصورة واضحة - عما كان عليه الحال فى النباتات غير المحولة وراثياً. وقد عبرت البطاطس عن البروتين الجديد المنقول إليها فى كل من السيتوبلازم والفجوات العصارية (Chakraborty وآخرون ٢٠٠٠).

• كذلك طورت فى الهند أصنافاً من البطاطا محولة وراثياً غنية فى قيمتها الغذائية بنقل هذا الجين (AmA1) إليها من *A. hypochondriacus*. يتحكم هذا الجين فى إنتاج

بروتيناً خاصاً في السيتوبلازم والفجوات العصارية للبطاطا. وكما أسلفنا .. فإن هذا البروتين لا يسبب الحساسية، ويتميز بارتفاع محتواه من جميع الأحماض الأمينية الضرورية ويعد - تبعاً لنظمة الصحة العالمية - مثاليًا لتغذية الإنسان (عن Ahloowaha & Khush ٢٠٠١).

• جرت - كذلك - محاولات لزيادة محتوى البرسيم الحجازى - الذى تتغذى عليه الأغنام - فى محتواها من الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت، بهدف زيادة إنتاجها من الصوف، علماً بأن الصوف ذاته عبارة عن بروتين غنى جداً بالكبريت، وأن نموه يتحدد بمدى توفر الكبريت فى العليقة المستخدمة (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

٤ - الاعتماد على جينات ذات أصول حيوانية:

تمكن العلماء من نقل جين الدواجن ovalbumin إلى البرسيم الحجازى (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

التحسين الكمي والنوعي للمحتوى الكربوهيدراتى

لم يقتصر الاهتمام بعمليات التحول الوراثى لأجل التحسين الكمي والنوعي للمستوى الكربوهيدراتى على الجانب الغذائى فقط، بل شمل كذلك الجوانب الصيدلانية والصناعية، كما يلى:

أولاً: (الجوانب الغذائية والصناعات الغذائية)

من بين الأمثلة على عمليات التحول الوراثى لأجل التأثير فى المحتوى الكربوهيدراتى للمحاصيل الزراعية بما يجعلها أكثر صلاحية كغذاء، أو أكثر صلاحية لعمليات التصنيع الغذائى، ما يلى:

١ - التأثير فى المحتوى النشوى لدرنات البطاطس:

من بين الدراسات فى هذا المجال، ما يلى:

أ - زيادة المحتوى النشوى للدرنات.

لا تزيد نسبة النشا فى أصناف البطاطس التجارية المتداولة عن ٢٢٪، وبينما تكون

الأصناف التي تحتوى على تلك النسبة المرتفعة أو القريبة منها هي الأصلح لصناعة الشبس، فإن النسبة المثلى للنشا فى الدرنات لأجل صناعة الشبس هي ٢٥٪، وهى نسبة لا تتوفر فى أى من أصناف البطاطس التجارية أو سلالاتها وأنواعها البرية. وقد أمكن بالفعل تحقيق هذا الهدف باستعمال تقنيات الهندسة الوراثية بالاعتماد على جين حُصلَ عليه من أحد الأنواع البكتيرية.

يؤثر هذا الجين فى عملية تمثيل النشا ذاتها. فجزئ النشا فالنشا - وهو الذى يتركب من جزيئات جلوكوز كثيرة متراسة - ينمو بنقل جزيئات الجلوكوز واحدة تلو الأخرى من مصدر مانح للجلوكوز يسمى ADP-glucose إلى مستقبل له. ويبدو أن الإنزيم المسئول عن هذا النقل يوجد بوفرة فى البطاطس، إلا أن الإنزيم المسئول عن تكوين الـ ADP-glucose لا يوجد بوفرة. وقد أمكن عزل هذا الجين (adenosine diphosphate glucose pyrophosphorylase) من أحد الأنواع البكتيرية ونقله إلى البطاطس، حيث أظهرت النباتات المحولة وراثياً تمثيلاً سريعاً لك ADP-glucose عن النباتات العادية، ومن ثم كانت أقدر على إنتاج النشا (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

ب - منع التحول الإنزيمى لنشا البطاطس إلى سكر
من الممكن تخزين البطاطس لفترات طويلة فى الحرارة المنخفضة، إلا أن النشا يتحول - فى تلك الظروف - إلى سكر، الأمر الذى يجعلها غير صالحة للقلى أو لصناعة الشبس. ولقد أمكن منع هذا التحول الإنزيمى للنشا بتحويل البطاطس وراثياً بـ "tobacco invertase-inhibitor-like protein" (عن Kempken ٢٠٠١).

ثانياً: الجوانب الصناعية

تلعب المركبات الكربوهيدراتية دوراً كبيراً فى الصناعة، وبتناول هذا الأمر بالشرح من الجوانب التى لاقت اهتمام العاملين فى مجال الهندسة الوراثية.

المحتوى النشوى:

لا ينظر إلى النشا فى الصناعة كمصدر للسعرات الحرارية، ولكن كمادة خام يكمن أن

تصنع منها مواد أخرى تدخل في صناعة الأغذية أو الصناعات الأخرى ويمكن لعمليات التخمر تحويل النشا إلى عديد من المركبات المفيدة الأخرى، علماً بأن نحو ١٠٪ من الإنتاج الكلى للنشا يستعمل بهذه الطريقة.

يتكون النشا من مخلوط من نوعين من المركبات الكربوهيدراتية الكبيرة المعقدة، هما: الأميلوز amylose، والأميلوبكتين amylopectin. يتكون الأميلوز من سلسلة طويلة من جزيئات الجلوكوز يتراوح طولها بين ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠٠ جزئ، ويتباين هذا الطول باختلاف النوع النباتي. أما الأميلوبكتين فهو يتكون من نحو ٣٠٠٠٠٠٠ إلى ثلاثة ملايين من جزيئات الجلوكوز المتفرعة. ويحدد المحتوى النسبي للأميلوز والأميلوبكتين في النشا خصائصه الكيميائية والفيزيائية، وبالتالي مدى صلاحيته لإنتاج بعض المنتجات الصناعية، وللاستعمال في مختلف الصناعات الغذائية.

يعتمد تمثيل النشا على ثلاثة إنزيمات، وهي التي يحدد مستواها النسبي الكميات النسبية لكل من الأميلوز والأميلوبكتين (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

وقد أمكن الحصول على نباتات بطاطس ذات مستوى منخفض من الأميلوز بالدرنات من خلال تثبيط التعبير عن الجين المسئول عن التشفير لتكوين الإنزيم granule-bound starch synthase (اختصاراً GBSS) باستعمال الشفرة العكسية (-antisense RNA mediated inhibition). هذا علماً بأن GBSS هو أحد الإنزيمات الرئيسية التي تلزم لتمثيل النشا، وهو المسئول عن تكوين الأميلوز. وقد أدت عملية التحول الوراثي تلك إلى منع تكوين الإنزيم GBSS، ومن ثم منع تكوين الأميلوز كلية، دون أن يكون لذلك أدنى تأثير على محصول الدرنات المحولة وراثياً، أو محتواها من النشا والسكر، أو صفات الجودة الخاصة بها (Kuipers وآخرون ١٩٩٤).

كذلك أمكن تحويل البطاطس وراثياً بالشفرة العكسية للجين المسئول عن تكوين الإنزيم ADP-glucose pyrophosphorylase - بهدف تثبيط تكوين النشا - وهو ما أنقص - بشدة - محتوى الدرنات من المادة الجافة، مع حدوث انخفاض شديد مماثل في محتواها من النشا، ومع تراكم في محتواها من السكريات الذائبة. وقد حولت تلك

النباتات - التي يثبط فيها تمثيل النشا - حولت وراثياً بالجين المسئول عن تمثيل الإنزيم *levan sucrose* من البكتيريا *Erwinia amylovora*. أدى هذا التعديل الوراثي الأخير إلى تراكم الفروكتان *fructan* بالدرنات بنسبة بلغت ٢١٪ من وزنها الجاف، وكان هذا الفروكتان معائلاً تماماً لك *levan* المعزول من *E. amylovora* (Rober وآخرون ١٩٩٦).

المحتوى من المركبات الكربوهيدراتية الأخرى:

من بين حالات التحول الوراثي التي استهدفت التأثير في إنتاج مختلف المواد الكربوهيدراتية الأخرى في النباتات للأغراض الصناعية، ما يلي:

١ - تحويل التبغ والبطاطس والذرة وراثياً بالجين *fructosyl transferase* من البكتيريا *Bacillus subtilis* لجعلها تخزن الفروكتان *fructan*. علمًا بأنها لا تخزن هذا المركب الكربوهيدراتي بصورة طبيعية.

٢ - تحويل التبغ وراثياً بالجين *mannitol-1-phosphate dehydrogenase* (ورمزه *mtID*) من البكتيريا *E. coli*؛ لأجل تمثيل كمية أكبر من المانيتول *mannitol*. علمًا بأن النباتات المحولة وراثياً كانت أكثر تحملاً للتركيزات العالية من الأملاح.

٣ - تحويل التبغ وراثياً بالجين *myo-inositol o-methyl transferase* من *Mesembryanthemum crystallinum* (نبات الثلج *ice plant*)؛ لأجل إنتاج الـ *cyclic sugar alcohol* من الـ *myo-inositol*.

٤ - تمثيل كميات صغيرة من التريهالوز *trehalose* من نباتات التبغ المحولة وراثياً، علمًا بأن المركب يضاف إلى الأغذية المصنعة والمجففة لإكسابها طعمًا أفضل (عن Chawla ٢٠٠٠).

٥ - تحويل بنجر السكر وراثياً بجين من الخرشوف لأجل إنتاج الفروكتانات.

٦ - كذلك تحويل التبغ وراثياً بجين من *E. coli* لأجل إنتاج الفروكتانات أيضاً (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

ثالثاً. (لجوانب) الصيرلانية

أمكن تحويل البطاطس وراثياً بجين بكتيري (حُصل عليه من البكتيريا *Klebsiella pneumoniae*) يشفر لإنتاج إنزيم يتخصص في تمثيل جزيئات نشا صغيرة حلقيية يحتوى كل منها على 7-8 جزيئات جلوكوز. تعرف هذه الجزيئات باسم سيكلودكستريينات cyclodextrins، ويمكنها تكوين معقدات مع جزيئات أخرى صغيرة بداخلها، وبهذه الطريقة تكتسب تلك الجزيئات خصائص جديدة، مثل زيادة الثبات والقدرة على الذوبان وهذه السيكلودكستريينات استعمالات صيدلانية، وتستخدم فى التخلص من المركبات غير المرغوب فيها (مثل الكافيين) من الأغذية ونظراً لأن إنتاج تلك السيكلودكستريينات صناعياً يعد أمراً مكلفاً، فإن الحصول عليها من درنات البطاطس المحولة وراثياً مباشرة يعد أمراً واعداً (عن Chrispeels & Sadava 2003)

أمكن - كذلك - تحويل البطاطس وراثياً بالجينين المسئولين عن تعثّل الإنزيمين fructan-fructan 1-fructosyltransferase و sucrose sucrose 1-fructosyltransferase والمتحصل عليهما من الخرشوف، والمسئولين عن تمثيل جزيئات الإنيولين mulin بكل أطوال السلاسل التى تتكون بصورة طبيعية، والتي تكونت فى درنات البطاطس التى حولت وراثياً بنسبة 5% من الوزن الجاف، وكان ذلك مصاحباً بنقص فى محتوى تلك الدرناات من النشا، مما يدل على أن تمثيل الإنيولين لم يؤد إلى زيادة القدرة التخزينية للمواد الكربوهيدراتية فى الدرناات (Hellwege وآخرون 2000)

التحسين النوعى لمحتوى الدهون

تحدد نوعية الزيوت والدهون بكل من محتواها من الأحماض الدهنية، وطول السلسلة، ودرجة عدم التشبع، والمجموعات الكيميائية المرتبطة بها إلخ.

وتتكون جميع الزيوت الصالحة لعداء الإنسان (ومعظم الزيوت غير صالحة) من أحماض دهنية تتشابه فى احتوائها على 18 ذرة كربون مع رابطة واحدة غير مشبعة بها، أو رابطتين أو ثلاث وباستثناء زيت الزيتون وزيت الكانولا (لفت الزيت) اللذان يتميزان بانخفاض محتواهما من الأحماض الدهنية المشبعة، ودهن الكاكاو الذى يتميز

الهندسة الوراثية لتحسين صفات الجودة

بخصائص فيزيائية تجعله أكثر صلاحية لمنتجات التجميل والحلويات فإن باقى الزيوت تتماثل معاً إلى حد كبير.

وبالنسبة للأغراض الصناعية فإنه يلزم أن تكون الزيوت أو الدهون ذات محتوى عالٍ من أحماض دهنية بفرده لا مثيل لها أو غير عادية، أو ذات محتوى جديد من تلك الأحماض (جدول ١٨-١)، وجميعها أمور يصعب تحقيقها بوسائل التربية الكلاسيكية، لعدم توفرها - أصلاً - فى الأصول الوراثية المتاحة، إذ لا تتوفر سوى فى أنواع لا تُستأنس كمحاصيل زيتية، أو لا تهجن مع الأنواع المزروعة من المحاصيل الزيتية. هذا . بينما يمكن تحقيق ذلك بوسائل الهندسة الوراثية بزيادة أو خفض التعبير الخاص ببعض الإنزيمات.

جدول (١٨-١): بعض الاستعمالات الخاصة للأحماض الدهنية والزيوت (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

نوع الدهن	مثال	المصدر	الاستعمالات
سلسلة متوسطة الطول (C _٨ -C _{١٤})	Lauric acid	Palm kernel, coconut, <i>Cuphea</i>	المنظفات
سلسلة طويلة (C _{٢٢})	Erucic acid	Rapeseed, <i>Crambe</i>	الشحوم - النبلون - اللدائن
Epoxy	Vernolic acid	Soybean, <i>Veronia</i>	اللدائن
Hydroxy	Ricinoleic acid	Castor bean, <i>Lesquerella</i>	الأغذية - الغلطات
Trienoic	Linolenic acid	Flax	الغلطات - المجففات
Low melting solid	Cocoa butter	Cocoa bean	الشيكلات - مستحضرات التجميل
Wax ester	Jojoba oil	Jojuba	الشحوم - مستحضرات التجميل

وقد تبين لدى حصر عشرات الآلاف من الأنواع النباتية أن ٩٥٪ من كل الزيوت النباتية تتكون من ستة أحماض دهنية فقط. وعلى الرغم من ذلك فإنه يعرف أكثر من ألف من التراكيب المختلفة للأحماض الدهنية، يوجد معظمها فى النباتات غير المستأنسة وقد وجدت لبعض من تلك الأحماض الدهنية استعمالات صناعية خاصة

بها، علماً بأن بعضها يتواجد في نباتات مستأنسة وبعضها الآخر في نباتات برية غير مستأنسة وباستعمال تقنيات الهندسة الوراثية يمكن نقل الجينات المسؤولة عن تمثيل تلك الأحماض الدهنية من الأنواع غير المستأنسة إلى الأنواع المحصولية التي نعرف جيداً كيف نقوم بإنتاجها ونستفيد منها، وذلك بدلاً من محاولة استئناس نباتات برية

ويعد نبات الخروع *Ricinus communis* مثلاً لما يمكن عمله في هذا المجال. ينمو هذا النبات برماً في عديد من الأنحاء، ولكنه يزرع تجارياً على نطاق ضيق في الهند تحتوى بذور هذا النبات على أربعة مركبات سامة للإنسان، هي lectin سام، ومركب يسبب حساسية شديدة، ومركب قلواني (ألكالويدى) سام، وزيت يحتوى على ٩٠٪ ricinoleic acid، وهو المعروف بتأثيره المسهل الشديد وبخلاف معظم الأحماض الدهنية . تحتوى السلسلة الهيدروكربونية للـ ricinoleic acid على مجموعة هيدروكسيل وكذلك على رابطة غير مشبعة ويتضمن الاستعمال الصناعى لزيت الخروع تصنيع النيلون، وتصنيع الشحوم، والسوائل الهيدروليكية، والبلاستيك، ومستحضرات التجميل وحتى إذا ما استئنست النباتات لأجل زيادة إنتاجها من الزيت فإننا سنواجه بما تحتويه بذور النبات من مركبات سامة ولقد أظهر البحث العلمى أن إنزيما واحداً فى بذور الخروع يعمل على تحويل حامض أمينى عادى - هو حامض الأوليك oleic acid - إلى هذا الحامض غير العادى ricinoleic acid (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣)

ومن بين حالات القبول الموراثى التى استصدرت إحداثه تغييرات فى نوعيات الحصون فى النباتات - لكل من الأنراض الغطائية والصالحية - ما يلى،
١ - أمكن تحويل نقت الزيت وراثياً لأجل إنتاج حامض اللوريك lauric acid. وهو ذو ١٢ ذرة كربون، ويستعمل فى إنتاج الصابون والمنظفات الصناعية. وقد تحقق ذلك بواسطة شركة كال جين Calgene فى صنف تجارى أطلق عليه اسم Launcal، وقد حُصل على الجين اللازم لذلك من شجرة California bay، وهو جين يقوم بوضع نهاية لتمثيل الأحماض الدهنية بعد تكوينها لإثنتى عشرة ذرة كربون بدلاً من ثمانى عشرة ذرة من السلسلة الطبيعية للأحماض الدهنية بهذا النبات، وذلك دون التأثير على إنتاج

النبات من الدهون. وقد وصلت نسبة حامض اللوريك في بعض سلالات لفت الزيت التي حولت وراثياً إلى نحو ٤٠٪ من محتواها من الزيت.

٢ - كذلك تمكنت كالجين من تحويل لفت الزيت وراثياً بالجين C8/C10 thioestrase، حيث احتوت السلالات المنتجة على أحماض دهنية ذات سلاسل متوسطة الطول (8:0 أو 10:0) بنسبة وصلت إلى ٢٨٪ في الزيت، مع انخفاض مماثل في محتوى الزيت من الأحماض الدهنية الطويلة (C18)، مثل: حامض اللينوليك Linoleic acid، وحامض اللينولينك Linolenic acid (عن Williamson ٢٠٠٢).

٣ - يتميز زيت نبات لسان الثور (*Borago officinalis*) باحتوائه على حامض جاما لينوليك gamma-linoleic بنسبة ٢٥-٤٠٪، بينما ليس لهذا الحامض وجود في زيت لفت الزيت. ولقد أمكن بنقل الجين $\Delta 6$ -desaturase من لسان الثور إنتاج نباتات محولة وراثياً من لفت الزيت تحتوي على ٢٠,٨٪ حامض أوليك oleic، و ٢٣,٤٪ حامض لينوليك linoleic، و ٤٣٪ حامض جاما لينوليك.

٤ - أدى التعبير عن جين الإنزيم thioestrase (TE) من النبات الاستوائي جوز جندم mangosteem (وهو: *Garcinia monostana*) في لفت الزيت إلى تراكم حامض الاستياريك stearic به بنسبة ٢٠٪.

٥ - استخدمت الهندسة الوراثية - كذلك - في تغيير طول سلسلة الأحماض الدهنية، ومن الأمثلة على ذلك أن التعبير عن جين الإنزيم TE من نبات California bay (وهو: *Umbellularia californica*) - الذي يحتوي على ٧٠٪ حامض لوريك lauric في زيتته - التعبير عنه في *Arabidopsis thaliana* رفع نسبة تراكم الأحماض الدهنية المتوسطة الطول (١٢ ذرة كربون) به إلى ٢٥٪.

٦ - أمكن من خلال التعبير المعاكس anti-sense expression للـ $\Delta 9$ -stearoyl-ACP desaturase زيادة كمية حامض الاستياريك إلى نحو ٤٠٪ من المحتوى الكلي من الأحماض الدهنية في لفت الزيت (عن Weber وآخرين ٢٠٠١).

٧ - أمكن زيادة مستوى الدهون ذات الأحماض الدهنية الـ monounsaturated،

بهدف تحسين قيمتها الغذائية وقد تحقق ذلك بتحويل التبغ وراثياً بجين desaturase حُصل عليه من الفئران، حيث أدى إلى زيادة مستويات كلا من حامض البالميتوليك palmitoleic acid (وهو 16:1)، والأوليك oleic acid (وهو 18:1) (عن Chawla 2000)

تحسين محتوى الفيتامينات

فيتامين أ (ولذلك الكاروتينات) والزانثوفيللات بصورة عامة

يُعد المسار الكاروتيني الأيضى من المسارات الأساسية فى النباتات التى تقود إلى إنتاج مجموعتين من المركبات: الكاروتينات carotens، والزانثوفيللات xanthophylls. وتقود سلسلة جانبية من هذا المسار إلى إنتاج الهرمون سيتوكينين cytokinin الذى يتم عن طريق الإنزيم isopentenyl transferase

تعد الكاروتينات من أهم الصبغات فى عديد من الثمار والخضروات، كالطماطم، والبقدونس، والبرتقال وغيرهم. وفى الطماطم يكون مرد اللون الأحمر إلى صبغة الليكوبين lycopene ومن بين أكثر من 600 من المركبات الكاروتينية التى تتكون بصورة طبيعيه فى النباتات، فإن ثلاثة منها فقط لها نشاط فيتامين أ، وهى α -carotene، و β -carotene، و ϵ -carotene وتلك الكاروتينات، إضافة إلى γ -carotene والكاروتينات الليكوبين، والليوتين lutein - وهى التى لا تتحول إلى فيتامين أ - يعتقد بأنها توفر حماية للجسم من الإصابة ببعض أنواع الأمراض السرطانية، مثل سرطان الثدي، وسرطان الرحم، وسرطان البروستاتا كذلك ترتبط الكاروتينات باستجابة مناعية للجسم تحمى الجلد من الأشعة فوق البنفسجية. وبالإضافة إلى ذلك فإنها توفر حماية ضد الأكسدة لإنزيمات الكبد التى تعرف باسم glutathione Phase II detoxification enzymes، وبذا . فهى تُسهم فى التخلص من الملوثات والسموم التى قد تتواجد فى الجسم.

أما المجموعة الثانية من الكاروتينات - الزانثوفيللات - فإن منها - كذلك - مركبات ذات خصائص بيولوجية إيجابية، مثل الـ canthaxanthin (يوفر حماية من الأشعة فوق

البنفسجية)، والـ cryptoxanthin، والـ zeaxanthin، والـ astaxanthin. ويبدو أن هذه المركبات توفر حماية لفيتامين أ وفيتامين E ومركبات كاروتينية أخرى. ومثلما عليه الحال مع الكاروتينات، يبدو أن الزانثوفيللات تكون فعالة في أنسجة خاصة، فمثلاً يُعتقد بأن الـ cryptoxanthin يوفر حماية لأنسجة الرحم

ولقد أطلق على الكاروتينات عدة أسماء تصف مصدرها البيولوجي وأهميتها الغذائية والصحية والطبية، مثل الأسماء: phytochemicals، و phytonutrients، و phytofoods، و functional foods.

وعلى سبيل المثال فإن تثبيط فعل الإنزيم phytoene synthase الذى يعمل على إنتاج الكاروتين الأول فيتوين phytoene ربما يؤدي إلى إنتاج طماطم بدرجات مختلفة من اللون الأصفر وفى الجانب الآخر . فإن التعبير الزائد بصورة غير عادية لهذا الإنزيم قد يؤدي إلى إنتاج طماطم أكثر أحمراراً وأكثر قيمة فى محتواها من الكاروتينات (عن Wehling ٢٠٠٠).

ومن أبرز جهود الهندسة الوراثية لتحسين مستوى الكاروتينات النشطة بيولوجياً كفيتامين تلك التى بُدلت لأجل إنتاج أرز غنى بفيتامين أ، أو ما أصبح يعرف بالأرز الذهبي golden rice

يعد الأرز من أهم المحاصيل الغذائية فى عديد من دول العالم، وخاصة فى جنوب وجنوب شرق آسيا

وعلى الرغم من أن الغلاف الثمرى الخارجى للأرز يعد غنياً فى الفيتامينات، والزيوت، وبعض العناصر، إلا أنه يتم التخلص منه أثناء عملية ضرب الأرز وتلميعه، علماً بأن الحبة يجب أن تلمع بعد إزالة الغلاف الخارجى لأن الزيوت المتبقية سريعاً ما تتزنخ، مما يفقد حبة الأرز صلاحيتها للاستهلاك كغذاء هذا .. ولا يحتوى الإندوسبرم المتبقى بعد ذلك على فيتامين أ أو أى من المركبات التى يتكون منها الفيتامين، مثل البيتاكاروتين، كما لم يكتشف أى جيرمبلازم من الأرز يحتوى على صبغات صفراء من تلك التى يتكون منها فيتامين أ فى الإنسان والحيوان

ولقد أمكن التعبير عن بادئ فيتامين أ (البيتاكاروتين) فى الأرز بتحويله وراثياً بالجين phytoene desaturase من البكتيريا *Erwinia uredovora*، والجينين phytoene synthase والـ β -cyclase من النرجس البرى *daffodil*. (وهو *Narcissus pseudonarcissus*). وكما كان متوقعاً اكتسب إندوسيرم الأرز لوناً أصفر واحتوى على كميات متباينة من البيتا كاروتين (بادئ فيتامين أ) بالإضافة إلى نوعين آخرين من المركبات الكاروتينية. هما اللوتين *lutein*، والزيازانثين *zeaxanthin*، اللذان يلعبان دوراً فى تقليل ظهور البقع الجلدية المتغيرة اللون لدى المرضى المتقدمين فى العمر تُحمل هذه الصفة فى صنف الأرز TP 309، وهو صنف لم يلق - بكل أسف - أية قبول من قبل منتجى الأرز على المستوى العالم كله؛ مما يعنى ضرورة نقل تلك الصفة بطرق التهجين والانتخاب إلى سلالات أرز أخرى أكثر قبولاً، أو محاولة إنتاج سلالات أخرى محولة وراثياً تكون أفضل من سابقتها، هذا بالإضافة إلى ضرورة توعية المستهلكى الأرز بالقيمة الغذائية للأرز الذهبى اللون (عن Zeigler 2001).

فيتامين (إي أو هـ) (E)

تعرف التوكوفيرولات *tocopherols* (وهى دهون ذائبة) - مجتمعة - باسم فيتامين إي *vitamin E*، وهى من مضادات الأكسدة الهامة، وتتوفر فى بعض الزيوت، مثل زيت فول الصويا، وزيت الذرة، وزيت اللفت، ويؤدى تواجدها بصورة أكبر من حاجة الجسم إلى تقليل مخاطر أمراض الشرايين التاجية، وإلى زيادة القدرات المناعية للجسم، وتأخير الشيخوخة التى تظهر كنتيجة لحدوث تدهور تدريجى فى مختلف وظائف الأعضاء

ونجد فى معظم البذور الزيتية أن التوكوفيرول الرئيسى هو الـ γ -*tocopherol* وهو قليل النشاط - نسبياً - كبادئ لك الـ α -*tocopherol* الذى يعد الصورة النشطة لهذا الفيتامين ويتطلب تحول γ -*tocopherol* إلى α -*tocopherol* إضافة مجموعة مثيل ($-CH_3$)، وقد تمكن الباحثون من عزل جين يشفر لإنزيم مسئول عن هذا التفاعل (تفاعل المثلمة *methylation reaction*) فى الأنسجة النباتية الخضراء ويتزويد الجين بـ

promoter خاص بالبذور ونقلهما إلى النبات التجريبي *Arabidopsis thaliana* أمكن إنتاج نباتات كان فيها ٩٥٪ من التوكوفيرول على الصورة النشطة، مع زيادة مقدارها ٨٠٪ في محتواها من فيتامين E النشط (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣)

تحسين محتوى الحديد

ترجع مشكلة نقص الحديد في غذاء الإنسان في الدول النامية إلى عاملين، هما:

- ١ - انخفاض محتوى معظم الأغذية من العنصر، وخاصة الأرز الذي يعد أهم محصول غذائي في عديد من دول العالم، وخاصة في جنوب وجنوب شرق آسيا
- ٢ - ضعف امتصاص الإنسان للعنصر الذي يحصل عليه من مصادر نباتية

وبينما نجد في الدول المتقدمة أن معظم مصادر الحديد هي حيوانية الأصل (heme iron) وسريعة الامتصاص، كما في اللحوم، والبيض، فإن معظم ما يتناوله فقراء العالم الثالث من حديد يوجد في صورة نباتية تكون ضعيفة الامتصاص وتلك الصورة النباتية (nonheme iron) يضعف امتصاصها بفعل حامض الفيتيك phytic acid، وهو مركب تخزين فوسفوري يتواجد في إندوسبرم الحبوب النجيلية وبذور البقوليات هذا بالإضافة إلى أن الأغذية التي تحفز امتصاص الحديد ذات الأصل النباتي - كالفاكهة والخضر الورقية - لا تكون عادة متاحة بوفرة في الدول النامية، إلا أن امتصاص ذلك الحديد يمكن تحسينه باستهلاك الإنسان لكميات إضافية من البيبتيدات الغنية في السيستين cystein-rich peptides كذلك فإن توافر البيتا كاروتين في غذاء الإنسان يحفز امتصاص الحديد ذات الأصل النباتي

ولقد حاول علماء الهندسة الوراثية البناء على تلك الحقائق لأجل إنتاج أرز يكون أكثر محتوى من الحديد، ويكون ما به من العنصر أكثر صلاحية للامتصاص، فَجَرَّبَتْ مَحَاوِلَهُ فِي الْأَتْمَاكَاةِ الْتَالِيَةِ:

- ١ - إنتاج أرز محول وراثياً بجين حُصل عليه من البقوليات يشفر لتمثيل البروتين ferritin الذي يحتوي على الحديد.
- ٢ - نقل جين يتحكم في الإنزيم المقاوم للحرارة فيتيز phytase، الذي يقوم بتحليل

حامض الفيتيك، وذلك من الفطر *Asperigillus fumigatus*، وجين البيتا جلوكانيز β -glucanase من الشعير الذى يحدد موضع الفيتيز فى الأبوبلاست apoplast ٣ - التعبير عن الزائد عن البروتين الغنى بالسيمتين: الميتالوثايونين metallothionein.

٤ - تلقيح سلالات الأرز الغنية بالحديد مع تلك الغنية بالبيتا كاروتين، لإنتاج سلالات غنية فى كليهما، لأجل تحفيز امتصاص الحديد (عن Zeigler ٢٠٠١)

التحول الوراثى لتحسين صفات الجودة فى بعض الخضر الثمرية

تحسين القدرة التخزينية لثمار الطماطم، وما يرتبط بذلك من صفات ثمرية أخرى

يؤثر تحسين القدرة التخزينية لثمار الطماطم إيجابياً فى عدد من صفات الجودة الثمرية الأخرى؛ الأمر الذى قد يحدث بصورة مباشرة أو غير مباشرة، والذى يتوقف على الاستراتيجية التى تتبع لأجل تحسين القدرة التخزينية، وهى التى تعتمد جميعها على خاصية تأخير اكتمال نضج الثمار

أخذت عملية تعديل جينات الطماطم التى تتحكم فى نضج الثمار اتجاهين. اتجاه نحو خفض إنتاج الثمار ذاتها من الإثيلين، الذى يعد الأساس الفسيولوجى لعملية النضج، واتجاه آخر لتأخير فقد الثمار لصلابتها فى المراحل الأخيرة من النضج.

أولاً: (استراتيجية خفض إنتاج الثمار من الإثيلين)

تنتمى الطماطم إلى مجموعة الثمار الكلايمكتيرية، مثل التفاح، والكمثرى، والقاوون، واللوز، وهى التى ينطلق منها الإثيلين ذاتياً فى بداية مرحلة اكتمال التكوين ولهذا الهرمون - الإثيلين - تأثيرات عديدة، منها كسر سكون البذور، وتحفيز النضج، وذبول الأوراق وسقوطها، وذبول الأزهار.

يتم تمثيل الإثيلين من أكثر المركبات البادئة شيوعاً، وهو S-adenosylmethionine (اختصاراً SAM)، وهو الذى يتكون بكل من الميثيونين methionine والـ ATP ويكون