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 بالسيستين: 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 إيجابيًا 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، والموز، وهى التى ينطلق منها الإثيلين ذاتيًا فى بداية مرحلة اكتمال التكوين ولهذا الهرمون – الإثيلين – تأثيرات عديدة، منها كسر سكون البذور، وتحفيز النضج، وذبول الأوراق وسقوطها، وذبول الأزهار.

يتم تمثيل الإتيلين من أكثر المركبات البادئة شيوعًا، وهو S-adenosylmethionine (اختصارا. SAM)، وهو الذى يتكون بكل من المثيونين methionene والـ ATP ويكون

تمثيل الإثيلين فى خطوتين محددتين يتحكم فيهما جينات مختلفة. يتحكم إنزيم الـ ACC synthase (اختصارًا: ACS) فى تحويل SAM إلى 1-aminocylopropane-1-carboxylate (اختصارًا: ACC)، وهو الذى يتحول بواسطة إنزيم ACC oxidase (اختصارًا: ACO) إلى إثيلين. وفى جميع النباتات التى درست حتى الآن .. يُشفَر لـ ACS بعائلة مركبة من الجينات المتعددة. وفى الطماطم – على سبيل المثال – يوجد ما لا يقل عن ١٠ جينات تشفر لـ ACC synthases مختلفة، وهذه الجينات على درجة عالية من التنظيم، ويستحث كل منها على العمل بطريقة مختلفة تحت مؤثرات داخلية تطورية أو خارجية بيئية. ويوجد جينان من الـ ACS مسئولين عن تمثيل إنزيم الـ ACS الذى يتكون أثناء نضج ثمار الطماطم. ويتم تنظيم عمل هذه الجينات إيجابيًّا بواسطة الإثيلين. وهذا التنظيم يفسر عملية تزايد تمثيل الإثيلين أثناء نضج الثمار؛ إذ يؤدى تمثيل قدر ولو ضئيل من الإيثلين إلى حدوث زيادة كبيرة وسريعة فى إنتاج الهرمون عند بداية النضج. ويبدو أن عملية تمثيل الـ ACC هى أكثر الخطوات تنظيمًا فى تمثيل الإثيلين. كذلك فإن الـ ACO يُنَظِّم تمثيله إلى حد ما – حيث يحث إنتاج الإثيلين – ولكنه لا يبدو مُحَدِّدًا لإنتاجه فى الظروف الطبيعية.

ونظرًا لأن أى نقص فى نشاط أى من الإنزيمين ACC synthase، و ACC oxidase يقود تلقائيًّا إلى نقص فى إنتاج الإثيلين .. لذا كان الاتجاه نحو تثبيط عملهما باستخدام الشفرة المعاكسة، (أو بالتثبيط المشترك cosuppression).

كذلك يمكن وقف نشاط الجينات التى تلعب دورًا فى تمثيل الإثيلين بطريقة بديلة تتضمن التعبير عن جين يشفر للإنزيم ACC deaminase. يقوم هذا الإنزيم بتحليل ACC إلى الحامض α-ketobutyric acid، وهو المادة التى تتكون منها الأحماض الأمينية ذات السلاسل المتفرعة. وكان هذا الجين قد عُزِلَ أصلاً من أنواع من الجنس البكتيرى *Pseudomonas* (مثل: *P. chloraphis*) عزلت من التربة. وعند التعبير عن هذا الجين فى النباتات يتنافس الإنزيم مع الـ ACO على الـ ACC، فإذا ما تواجدت كمية كافية من الـ ACC deaminase، فإن كميات الـ ACC التى تتراكم بالنبات تقل كثيرًا عما فى الحالات العادية. يعمل هذا الإنزيم على فتح حلقة الـ ACC cyclopropane، لإنتاج الـ

α-ketobutyrate وفى هذه الحالة .. فإن بادئ الإثيلين ACC يختفى من المسار الأيضى؛ مما يضعف إنتاج الإثيلين بشدة.

وفى اتجاه بديل . نجح الباحثون فى تحويل الطماطم وراثيًا بجين غريب عنها، مثل الجين S-adenosylmethionine hydrolase (اختصارًا AdoMet hydrolase) الذى عُزِلَ – أصلاً – من البكتيريوفاج تى ٣ bacteriophage T3 يقوم هذا الإنزيم (AdoMet hydrolase) بتحويل SAM إلى كل من methylthiodenosine، و homoserine ولقد عبّرت ثمار نباتات الطماطم المحولة وراثيًا عن SAMase خلال مختلف مراحل النضج وكانت قدرتها على إنتاج الإثيلين منخفضة.

وبذا . فإن أهم الجينات التى تُستهدف للحد من إنتاج الإثيلين بالثمار، هى ما يلى

AdoMet synthetase
N-ACC malonyltransferase
ACC synthase
ACC oxidase
ACC deaminase

(عن Good وآخرين ١٩٩٤، و Wehling ٢٠٠٠، و Klee & Clark ٢٠٠٢).

ولقد أمكن وقف التعبير عن أى من الإنزيمات: ACC synthase، أو ACC oxidase، أو phytoene synthase فى نباتات الطماطم المحولة وراثيًا باستعمال تقنية الشفرة المضادة antisense technology، وتبين ثبات وراثة الصفات المنقولة فى النباتات التى حولت وراثيًا.

إن التحويل الوراثى للطماطم باستخدام أى من Antisense ACC synthase، أو Antisense ACC oxidase يُحدث بها تثبيطًا لهذين الإنزيمين وتُظهر بطئًا فى كل من النضج وفى الوصول إلى مرحلة ما بعد النضج. كذلك تُظهر النباتات المحولة وراثيًا بالـ Acc oxidase antisense تأخيرًا فى شيخوخة الأوراق (عن Grierson & Fray ١٩٩٤)

وقد أنتج صنف الطماطم المعدل وراثيًا Freshworld Farms Endless Summer (فى عام ١٩٩٥)، حيث تمت هندسته وارثيًا بالتثبيط المزدوج cosuppression لجين ACC synthase، مما أدى إلى زيادة فترة احتفاظ الثمار بجودتها لمدة ٣٠-٤٠ يومًا بعد الحصاد، علمًا بأن هذه الثمار تنضج بصورة طبيعية إذا ما عوملت بالإثيلين من مصدر خارجى (عن Wehling ٢٠٠٠)

ثانيًا استراتيجية إبطاء فقد الثمار لصلابتها

بالنسبة للاتجاه نحو تأخير فقد الثمار لصلابتها فى المراحل الأخيرة من النضج ركز العلماء على تثبيط عمل الإنزيمات التى تقوم بتحليل المكونات الخلوية المسئولة عن صلابة الثمار، مثل السيليليوز، والهيمى سيليليوز، والبكتينات. ومن بين إنزيمات الـ pectinase التى تعمل على البكتينات الإنزيم: بولى جالاكتورونيز polygalacturonase (اختصارا PG)، الذى يقوم بتحليل الروابط α-1,4 فى حامض البولى جالاكيترونك polygalacturonic acid فى الجدر الخلوية. وهذا الإنزيم يتم تمثيله - خاصة - أثناء النضج، حيث يطلق فى المسافات بين خلايا الجدار الثمرى (البيريكارب pericarp) وتعد وظيفة إنزيم الـ PG - أثناء النضج الطبيعى للثمار - تحليل بكتين الصفيحة الوسطى بين خلايا الجدر الثمرية، مما يؤدى إلى فقد الثمار لصلابتها.

ومن أشهر حالات تثبيط تحليل البكتين بالهندسة الوراثية تثبيط جين الإنزيم PG باستخدام تقنية الشفرة المعاكسة (الرنا المعاكس للشفرة antisense-RNA technique)، وهى التى استخدمت فى إنتاج صنف الطماطم FlavrSavr

ومن بين الاتجاهات الأخرى التى طبقت فى ذات المجال (تقنية الشفرة المعاكسة) تثبيط الإنزيم pectin methylesterase (الذى يلعب دورًا فى تحلل البكتينات)، والإنزيم 1,4-β glucanase (الذى يعتقد بأنه يلعب دورًا فى طراوة الثمار لما يعرف عنه من تحليله للهيمى سيليليوز الرئيسى. xyloglucan) (عن Wehling ٢٠٠٠).

إن من أبرز مزايا الجين المعاكس للشفرة أنه يمنع التعبير عن تكوين إنزيم البولى

جالاكتورونيز polygalacturonase، ويبطئ من عملية فقد الثمار لصلابتها، ويمنع وصولها إلى مرحلة زيادة النضج يكون نشاط إنزيم البولى جالاكتورونيز فى ثمار النباتات الحاملة لهذا الجين منخفضا جدًا أو معدوما، ويكون فقدها لصلابتها بطيئا جدًا. وتستخدم تلك التقنية – حاليًا – على نطاق واسع فى إنتاج أصناف جديدة يمكن حصاد ثمارها بعد اكتمال تلوينها – حيث تكون أكثر جودة – مع استمرار احتفاظها بقدرتها على تحمل التداول والتخزين

ومن الأمثلة البارزة على التطبيق التجارى لتلك التقنية صنف الطماطم FlavrSavr الذى يحتوى على الـ antisanse construct للجين الخاص بتكوين الإنزيم بولى جلاكتورونيز، والذى كان أول صنف تجارى يُنتج بالاعتماد على تلك التقنية، وأول صنف لمحصول غذائى ينتج بطريق الهندسة الوراثية (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢)

وتُظهر النباتات التى تتلقى نسختان من جين الـ polygalacturonose antisense مستويات من البولى جالاكتورونيز تبلغ حوالى ١٪ من المستوى الطبيعى، كما تنخفض فيها – كذلك – كل الصور الشبيهة isoforms للإنزيم، وتكون غالبية نسبة الـ ١٪ المتواجدة فى صورة polygalacturonase 1، بينما لا يحدث فيها أى انخفاض فى مستوى الـ polyuronides الذائبة، إلاّ أن أوزانها الجزيئية تزداد (عن Grierson & Fray ١٩٩٤)

حالة الطماطم فلافرسافر:

كان صنف الطماطم FlavrSavr أول غذاء محول وراثيًا يعرض للبيع للجمهور (وذلك فى ٢١ مايو ١٩٩٤)، بعد اعتماد إدارة الغذاء والدواء Food and Drug Adminstration الأمريكية له فى ١٨ مايو ١٩٩٤، وهو صنف محول وراثيًا باستعمال مضاد شفرة جين البولى جالاكتورونيز antisense polygalacturonase gene. ولقد أنتج هذا الصنف بهدف حصاد الطماطم وهى مكتملة النضج – دون أن تفقد صلابتها – ومن ثم تكون أفضل طعما وهذا الجين (جين الـ polygalacturonase) عزل من الطماطم، ثم أعيد إليها فى وضع الشفرة المضادة antisense orientation

يعد البولى جالاكتورونيز هو الإنزيم الرئيسى فى عملية أيض البكتين أثناء نضج الثمار، وهو يرتبط بفقد الثمار لصلابتها ويؤدى استعمال الشفرة المضادة لهذا الجين فى تحويل النباتات وراثيًا إلى تقليل التعبير عن جين البولى جالاكتورونيز فى الطماطم ويتسبب فى تقليل ذوبان البكتين فى الثمار أثناء نضجها، الأمر الذى يؤدى إلى احتفاظ الثمار المكتملة النضج بصلابتها لفترة طويلة، كما يسمح بإجراء عملية الحصاد بعد اكتمال نضج الثمار على عروشها، الأمر الذى يزيد من جودتها.

ولقد أنتجت أولى سلالات الطماطم المحولة وراثيًا باستعمال polygalacturonase antisense construct أخذ الرمز *p*CGN 1416.

وتبين أن غياب إنزيم بولى جالاكتورونيز فى نباتات الطماطم المحولة وراثيًا يكسب الثمار قدرة على البقاء بحالة جيدة وصلبة عند تأخير الحصاد حتى اكتمال التلوين، كما يزيد من مقاومتها لبعض الفطريات التى تصيب ثمار الطماطم – عادة – بعد الحصاد.

وبالنسبة للثمار المنتجة لغرض التصنيع أدى غياب التعبير عن إنزيم البولى جالاكتورزنيز فيها إلى حدوث تحسن جوهرى فى قوام العصير ولزوجته

وفيما عدا ذلك .. لم تختلف النباتات المحولة وراثيًا عن نظيراتها العادية فى أى من الصفات البستانية الأخرى، وذلك فى عديد من الاختبارات الحقلية والمعملية فباستثناء تأثير الـ antisense gene على تركيب البكتين فى الثمرة لم تظهر له أية تأثيرات على محتوى الثمار من الفيتامينات والعناصر المغذية، والتوماتين tomatine، والطعم، ورقم الحموضة pH، والحموضة المعايرة، واللون، والحجم، والقدرة على التأقلم والمنافسة تحت الظروف الطبيعية ... إلخ (جدول ١٨–٢).

كذلك ثبت أن ثمار الطماطم FlavrSavr ليست معرضة لأية إصابات غير عادية بالأمراض أو الآفات، ولا تشكل أية خطورة على البيئة.

وتحتوى نباتات هذا الصنف على تتابعات نيكليوتويدية معينة تم إدخالها فى الهيئة الكروموسومية للطماطم من خلال الناقلات الثنائية التكوين binary vectors: *p*CGN1547،

أو pCGN1548، أو pCGN1549، أو pCGN1557، أو pCGN1558، أو pCGN1559، أو pCG1578 بالإضافة إلى جين الـ antisense polygalacturonase، مع الـ promoter، والـ terminator الخاصين به (عن Kramer & Redenbaugh ١٩٩٤).

جدول (١٨-٢): المحتوى الغذائي لثمار صنف الطماطم Savr Flavr مقارنة بالمدى الطبيعي ومحتوى سلالات الشاهد غير المحولة وراثيًا (عن Kramer & Redenbaugh ١٩٩٤)

المحتوى	المدى الطبيعي للطماطم	المدى المقدر للسلالات المحولة وراثيًا	المدى المقدر لسلالات الشاهد	وحدة القياس
البروتين	٠,٨٥	١,١٤-٠,٧٥	١,٠٥-٠,٥٣	جم
فيتامين أ	١٩٢-١٦٦٧	١٦٠٠-٣٣٠	٢٢٠٠-٤٢٠	وحدة دولية
الثيامين (ب١)	١٦-٨٠	٧٢-٣٨	٦٤-٣٩	ميكروجرام
الريبوفلافين (ب٢)	٢٠-٧٨	٣٦-٢٤	٣٦-٢٤	ميكروجرام
فيتامين ب٦	٥٠-١٥٠	١٥٠-٨٦	١٤٠-١٠	ميكروجرام
فيتامين جـ	٨,٤-٥٩	٢٩,٢-١٥,٣	٢٩,٢-١٢,٣	مجم
حامض النيكوتينك (النياسين)	٠,٣-٠,٨٥	٠,٧٠-٠,٤٣	٠,٧٦-٠,٤٣	مجم
الكالسيوم	٤,٠-٢١	١٣-٩	١٢-١٠	مجم
المغنيسيوم	٥,٢-٢٠,٤	١٢-٧	١٣-٩	مجم
الفوسفور	٧,٧-٥٣	٣٧-٢٥	٣٨-٢٩	مجم
الصوديوم	١,٢-٣٢,٧	٥-٢	٣-٢	مجم
الحديد	٠,٢-٠,٩٥	٠,٤١-٠,٢	٠,٤٢-٠,٢٦	مجم

تأثير التحول الوراثي لزيادة القدرة التخزينية على الصفات الثمرية الأخرى

يلخص جدول (١٨-٣) التأثيرات التي يُحدثها تثبيط فعل بعض الجينات المؤثرة في نضج ثمار الطماطم وزيادة قدرتها التخزينية على الصفات الثمرية الأخرى.

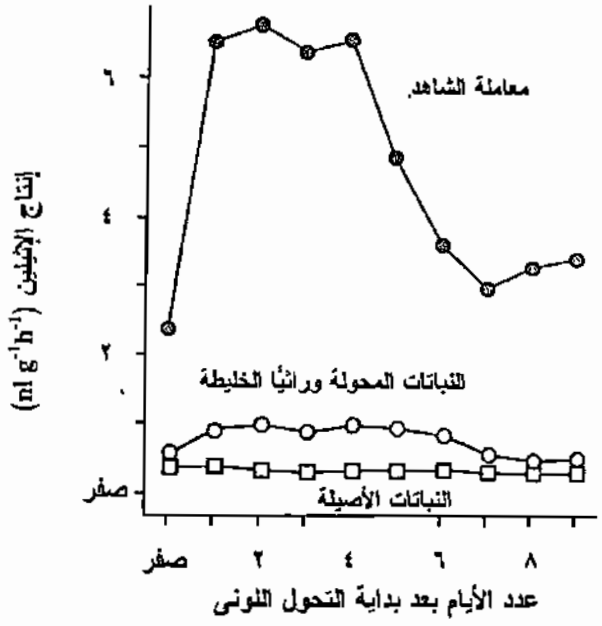
وفي أشكال (١٨-١) إلى (١٨-٣) يظهر تأثير التحولات الوراثية على عدد من الصفات، فيوضح شكل (١٨-١) تأثير التحول الوراثي بالشفرة المضادة للـ ACC

oxidase على إنتاج الثمار من الإثيلين، وفى شكل (١٨-٢) يظهر تأثير التحول الوراثى بالجين ذاته على تكوين الصبغات بالثمار. أما شكل (١٨-٣) فيظهر فيه تأثير التحول الوراثى بالشفرة المضادة للـ polygalacturonase على نشاط الإنزيم بالثمار خلال مراحل نضجها (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

جدول (١٨-٣): التأثيرات التى يُحدثها تثبيط فعل بعض الجينات المؤثرة فى نضج ثمار الطماطم (عن Grierson & Fray ١٩٩٤).

الجين	الوظيفة	التحسُّن
Polygalacturonase	الجدر الخلوية	زيادة القدرة التخزينية (تحسين الطعم كتأثير غير مباشر) تحسين خصائص التصنيع زيادة القدرة على مقاومة أعفان الثمار أثناء التخزين
Pectinestrase	الجدر الخلوية	تحسين خصائص التصنيع
Phytoene synthase	المواد الكاروتينية	تحسن (فيتامين أ)
ACC oxidase	C_2H_4	التحكم فى النضج، ومنع زيادة النضج، وزيادة القدرة التخزينية، وخفض خسائر التخزين
ACC synthase	C_2H_4	التحكم فى النضج، ومنع زيادة النضج، وزيادة القدرة التخزينية، وخفض خسائر التخزين

ولقد كان عصير ثمار الطماطم المحولة وراثيًا بالشفرة المعاكسة للـ polygalacturonase أكثر لزوجة (معبرًا عن ذلك بمسافة انسياب العصير فى وحدة الزمن) عن عصير الطماطم غير المحولة، علمًا بأن نشاط البولى جالاكتورونيز فى ثمار تلك النباتات كان أقل من ١٪ من النشاط الطبيعى له فى الثمار غير المحولة وراثيًا فى جميع مراحل نضج الثمار. وعلى الرغم من أن صلابة تلك الثمار لم تختلف عما فى الكنترول، إلا أن قدرتها التخزينية وقدرتها على تحمل النقل دون أن تحدث بها أضرار كانت أفضل (Schuch وآخرون ١٩٩١).

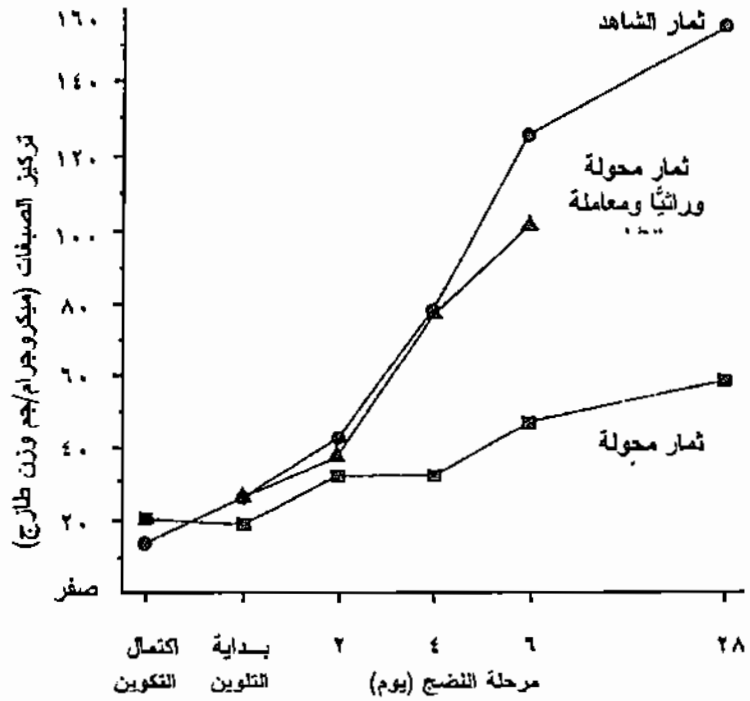


شكل (١٨-١): إنتاج الإثيلين فى ثمار الطماطم المحولة وراثيًا بالـ **antisense ACC oxidase construct**. يلاحظ أن الزيادة الكبيرة التى تحدث فى إنتاج الثمار غير المحولة وراثيًا (معاملة الشاهد) تنخفض بشدة فى الثمار التى تحمل جين **antisense** واحد (الخليطة وراثيًا)، وتنعدم تقريبًا فى النباتات المحولة وراثيًا الأصيلة التى تحمل جينين **antisense**.

تحسين القدرة التخزينية لثمار الكنتالوب (القاوون)، وما يرتبط بذلك من صفات ثمرية أخرى

اتبعت مع الكنتالوب استراتيجية خفض إنتاج الإثيلين بالثمار مثلما اتبعت مع الطماطم، وذلك بهدف زيادة قدرتها التخزينية؛ فقد تمكن Ayub وآخرون (١٩٩٦) من إنتاج كنتالوب شارانتيه يعبر فيه عن الشفرة العكسية لجين الإنزيم ACC oxidase، وهو الإنزيم الذى يُتَّم الخطوة الأخيرة فى عملية تمثيل الإثيلين، وذلك بتحول 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (اختصارًا: ACC) إلى إثيلين. ولقد وجد أن إنتاج الإثيلين فى ثمار النباتات المحولة وراثيًا يقل عن ٥٠٪ من إنتاجه فى ثمار النباتات العادية غير المحولة وراثيًا، كما توقفت فى هذه الثمار عملية النضج تمامًا قبل

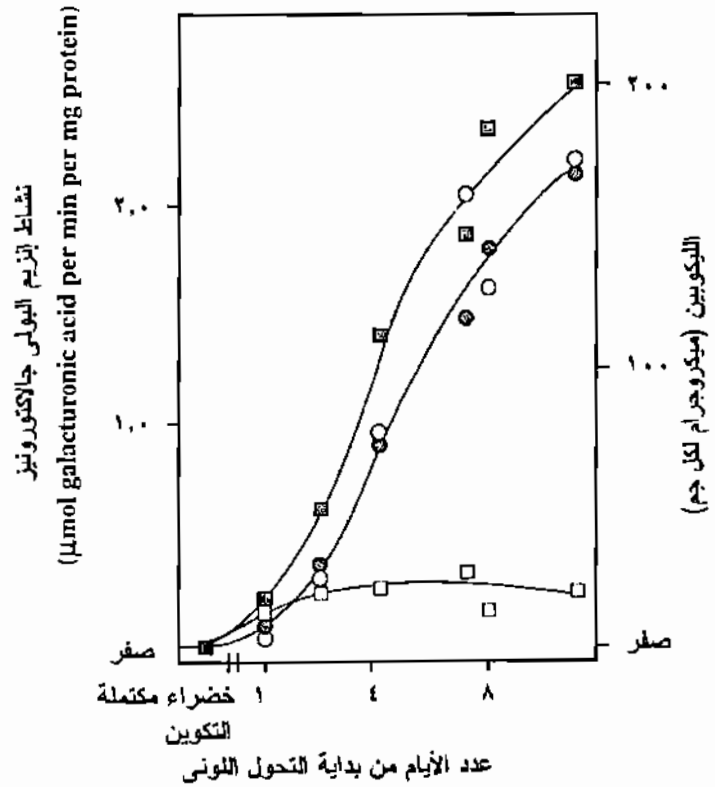
القطف وبعده، وأمكن وقف هذا التأثير - واستكمال الثمار لنضجها - بمعاملتها بالإثيلين. ويمكن إجراء هذه المعاملة قبل الوقت المتوقع لاستهلاك الثمار بفترة قصيرة، مما يعنى إمكان احتفاظ الثمار بقدرتها التخزينية وصفاتها الجيدة لفترة طويلة.



شكل (١٨-٢): تكوين الصبغات فى ثمار الطماطم المحولة وراثيًا بالـ antisenic ACC oxidase construct. يلاحظ أن معدل تكوين الصبغات فى الثمار التى قطفت فى مرحلة اكتمال التكوين وهى خضراء المخفض بشدة مقارنة بما حدث فى ثمار الشاهد غير المحولة وراثيًا، بينما استعادت الثمار المحولة وراثيًا قدرتها على تكوين الصبغات عندما عوملت بمصدر خارجى للإثيلين

وقد أوضحت الدراسات أن نباتات الكنتالوب شارانتيه المحولة وراثيًا والتى تحمل الشفرة العكسية للجين ACC oxidase (وهى التى تنتج ثمارها الإثيلين بمعدل يقل عن ٥٠ ٪ من المعدل الطبيعى) أوضحت الدراسات أنها لم تُظهر أى من أعراض أضرار البرودة (تكون النقر السطحية والتلون البنى بالقشرة) لدى تخزينها على ٢°م لمدة ٣-٤ أسابيع، على عكس الحال فى ثمار النباتات التى لم تحول وراثيًا. كما تبين أن منع

إنتاج الإثيلين فى ثمار النباتات العادية بمعاملتها - قبل وصولها إلى مرحلة الكلايمكتيرك - بالمركب 1-methylcyclopropene منع - كذلك - ظهور أعراض أضرار البرودة ولقد كانت القدرة على تحمل البرودة فى ثمار النباتات المحولة وراثيًا مصاحبة بالفشل فى تراكم الإيثانول والأسيتالدهيد، وبعدم حدوث أى تدهور فى الأغشية الخلوية أثناء التخزين البارد. كذلك أدت معاملة ثمار النباتات المحولة وراثيًا بالإثيلين قبل تعريضها للحرارة المنخفضة إلى حدوث زيادة فى ظهور أعراض أضرار البرودة (Ben Amor وآخرون ١٩٩٨)



شكل (١٨-٣): نشاط إنزيم البولى جالاكتورونيز galacturonase، ومحتوى الثمار من الليكوبين أثناء النضج فى نباتات الطماطم المحولة وراثيًا بالـ antisense polygalacturonase construct تظهر فى الشكل مقارنة بين نشاط الإنزيم (المربعات السوداء) ومحتوى الليكوبين (الدوائر السوداء) فى الثمار المحولة وراثيًا، مقارنة بنشاط الإنزيم (المربعات البيضاء) ومحتوى الليكوبين (الدوائر البيضاء) فى الثمار غير المحولة يلاحظ أن جين التحول الوراثى يخفض بشدة نشاط إنزيم البولى جالاكتورونيز، ولكنه لا يؤثر على تراكم تكوين الليكوبين.

وأمكن الاستفادة من نباتات كنتالوب الشارانتيه المحولة وراثيًّا – والتى يثبط فيها إنتاج الإثيلين بشدة – باستخدامها كنموذج للتمييز بين مسارات النضج الأيضية التى تنظم بواسطة الإيثلين وتلك التى لا تنظم. ولقد وجد أنه – مقارنة بثمار النباتات غير المحولة وراثيًّا – لم يظهر بثمار النباتات المحولة وراثيًّا اصفرار خارجى، أو طراوة بلبها هذا إلا أن تلك التأثيرات انعكست تمامًا لدى معاملة الثمار المحولة وراثيًّا بالإثيلين بتركيز ٥٠ ميكروليتر/لتر. وقد تلون لب الثمار مبكرًا قبل بداية الكلايمكتيرك؛ وبذا .. فإن اللون الداخلى للثمار لم يتأثر بتثبيط إنتاج الإثيلين فى الثمار المحولة وراثيًّا. كذلك تراكمت المواد الكلية الصلبة الذائبة بنفس المعدل فى كل من الثمار المعدلة وراثيًّا وغير المعدلة حتى اليوم الثامن والثلاثين بعد التلقيح، حينما بدأت الثمار غير المعدلة فى الانفصال هذا .. إلاّ أن الثمار – ومع تكون طبقة انفصال فى أعناق الثمار المحولة وراثيًّا التى ثُبِّطَ فيها إنتاج الإثيلين – استمرت متصلة بالنبات؛ مما أدى إلى زيادة محتواها من السكريات، وخاصة السكروز. وقد أدى حصاد الثمار المحولة وراثيًّا إلى إنتاجها لكميات صغيرة – ولكن معنوية – من الإثيلين الداخلى الذى ارتبط بفقد الثمار لصلابتها (Guis وآخرون ١٩٩٧).

تحسين بعض صفات الجودة الأخرى فى ثمار الطماطم

قد تتحقق زيادة فى محتوى ثمار الطماطم من السكريات – وخاصة الجلوكوز والفراكتوز – بزيادة محتواها من إنزيم الإنفرتيز invertase الذى يقوم بتحويل سكر السكروز إلى مكوناته الأصلية من الجلوكوز والفراكتوز. يحدث هذا التحول مع بداية نضج الثمار، وهو الوقت الذى يتوقف فيه – تقريبًا – تخزين السكروز فى الثمار وبدء تمثيل الإنفرتيز. وقد اقترح أن الهندسة الوراثية باستعمال إنزيم الإنفرتيز يمكن أن تسرع من معدل انتقال السكروز من النبات إلى الثمار، ومن تحويله إلى جلوكوز وفراكتوز.

كذلك وجد أن تثبيط التعبير عن الإنزيم pectin methyl esterase – وهو الذى يلعب دورًا فى عملية تحلل الجدر الخلوية – وذلك باستعمال (شفرته العكسية) – أدى إلى زيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة بنسبة حوالى ١٥٪ دون التأثير على أى من

محصول الثمار أو النمو الخضرى للنبات، إلاّ أنه قلل قليلاً من القدرة التخزينية للثمار. ولا شك أن المواد الصلبة الزائدة التى تتراكم فى تلك الحالة تختلف كليًا عن تلك التى تتراكم فى حالات النضج الطبيعى للثمار.

وتبين أيضًا أن التعبير عن الجين المسئول عن تكوين الإنزيم ADP-glucose pyrophosphorylase فى ثمار الطماطم بطرق الهندسة الوراثية أدى إلى زيادة محتوى الثمار من النشا بدرجة قليلة، إلا أنها كانت كافية لإحداث زيادة هائلة فى درجة لزوجة العصير

ولاشك أن تربية الطماطم بطرق الهندسة الوراثية يمكن أن تلعب دورًا هامًا فى زيادة صلاحية الطماطم لصناعة المعجون (الصلصة) والكتشب

ولقد أدت زيادة التعبير عن الإنزيم phytoene synthase إلى إعادة اكتساب طفرات الطماطم الصفراء الثمار القدرة على إنتاج الكاروتين وإلى تحسين اللون فى الأصناف الأخرى (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣)

التحول الوراثى لتحسين صفات الجودة فى أزهار الزينة

لعل أهم الصفات التى تتبادر إلى الذهن عند ذكر صفات الجودة فى أزهار الزينة هو ألوانها، وأشكالها، ومدى قدرتها على الاحتفاظ بنضارتها بعد القطف، وهى الأمور التى حازت باهتمام الباحثين فى مجال الهندسة الوراثية

التحكم فى لون الأزهار

إن أهم الصبغات التى تتحكم فى لون الأزهار هى الفلافونات flavonoids (مسار الـ shikimate الأيضى)، والكاروتينات carotenoids (مسار الـ isoprenoid الأيضى)، والبيتالينات betalains وأهم الفلافونات المسئولة عن اللون، هى الأنثوسيانينات anthocyanins التى تتحكم فى اللونين الأحمر والأزرق ويبين شكل (١٨-٤) جانب من المسارات الأيضية التى تؤدى إلى تكوين بعض الصبغات الأنتوسيانينة.