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

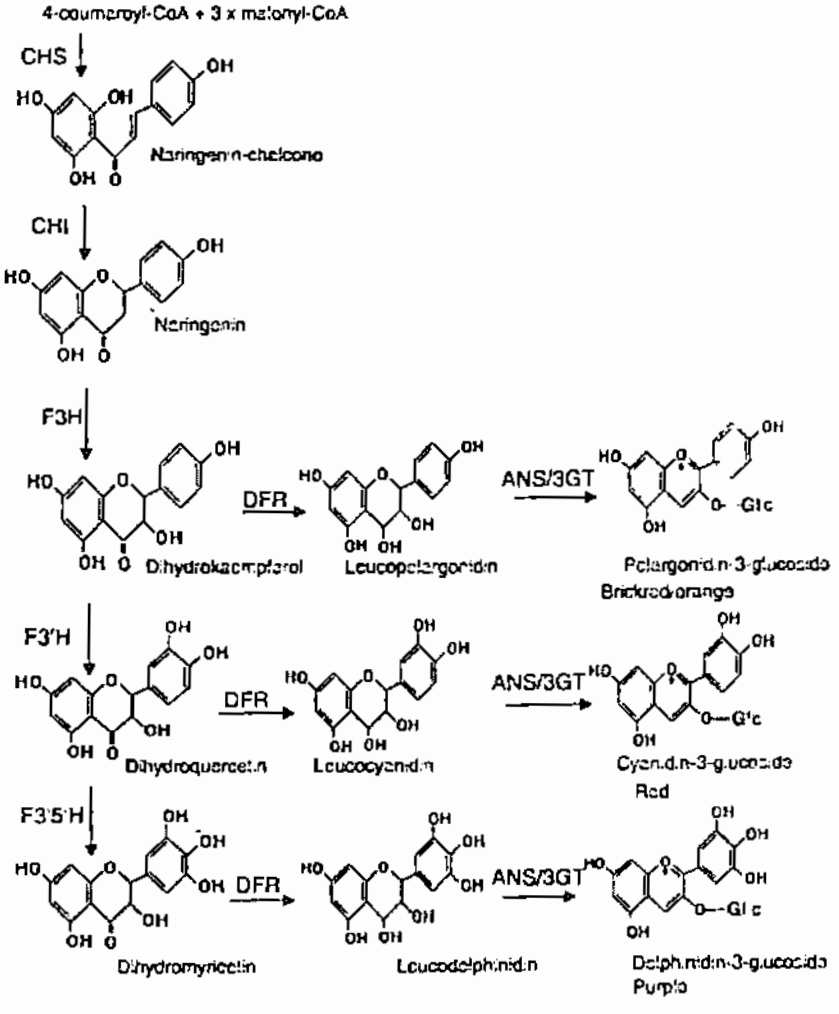
ولقد أدت زيادة التعبير عن الإنزيم phytoene synthase إلى إعادة اكتساب طفرات الطماطم الصفراء الثمار القدرة على إنتاج الكاروتين وإلى تحسين اللون فى الأصناف الأخرى (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣)

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.



Anthocyanin synthesis pathway. (CHS, chalcone synthase; CHI, chalcone flavanone isomerase; F3H, flavanone-3-hydroxylase; F3'H, flavonoid-3'-hydroxylase; F3'5'H, flavonoid-3', 5'-hydroxylase; DFR, dihydroflavonol-4-reductase; ANS anthocyanidin synthase; 3GT, UDP-flavonol 3-O-glucosyltransferase.)

شكل (١٨-٤): المسارات الأيضية التى تؤدى إلى تمثيل بعض الصبغات الأنثوسيانينية (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

يلاحظ فى الشكل أنه عند أكثر من موضع فى المسارات يمكن أن تحدث تحورات فى المركبات المتكونة من خلال نشاط الإنزيمات dihydroflavonol-4-reductase

(اختصارًا: DFR)، و anthcyanidin synthase (اختصارًا: ANS)، و UDP-flavonol 3-O-glucosyltransferase (اختصارًا: 3GT)، مما يؤدى إلى تمثيل صبغات بألوان مختلفة (البرتقالى والأحمر والأزرق)

هذا إلاّ أن بعض تلك الإنزيمات لا تتواجد فى بعض الأنواع النباتية، ومن ثم يستحيل على تلك الأنواع تمثيل بعض الألوان فى أزهارها. ولقد أمكن من خلال الجمع بين التربية بالطفرات والهندسة الوراثية إنتاج نباتات قادرة على تمثيل صبغات لم تكن قادرة على تمثيلها من قبل. وعلى سبيل المثال .. فإن البيتونيا لا يمكنها إنتاج الصبغات ذات الصلة بالبلارجونيدين pelargonidin (الأحمر الطوبى/البرتقالى) نظرًا لأن إنزيمها DFR لا يمكنه العمل على المركب dihydrokaempferol. هذا .. إلاّ أنه أمكن التعرف على طفرة من البيتونيا فى الجينين favonoid-3′-hydroxylase (اختصارًا: F3′H)، و flavonoid-3′,5′-hydroxylase (اختصارًا: F3′5′H). هذه الطفرة لم تكن قادرة على العمل على المركب dihydrokaempferol فى الأجزاء الأخرى من النبات، مما أدى إلى تراكمها ولقد أمكن تحويل هذه السلالة الطفرية وراثيًا بجين الذرة DFR، مما مكن النباتات من العمل على الـ dihydrokaempferol وتحويله إلى الصبغة ذات اللون الأحمر الطوبى pelargonidin-3-glucoside، مما سمح بإنتاج بيتونيا ذات أزهار حمراء طوبية اللون (عن Slater وآخرين ٢٠٠٣).

إن أحد أهداف المشتغلين بالهندسة الوراثية فى مجال تحسين نباتات الزهور هو إنتاج أزهار ذات لون أزرق فى الأنواع التى لا تنتج بطبيعتها أزهارًا بهذا اللون، مثل الورد والقرنفل ولقد وجد أن الأنثوسيانين دلفنيدين delphinidin هو المسئول عن إنتاج هذه الصبغة الزرقاء كما أسلفنا، وأمكن بالفعل عزل جين من البيتونيا *Petunia hybrida* مسئول عن التشفير للإنزيم 3′,5′-hydroxylase الضرورى لتمثيل الدلفنيدين ونقله إلى الورد وعلى الرغم من أهمية ذلك الأمر إلاّ أن ظهور الصبغات الزرقاء يتوقف على الرقم الأيدروجينى فيما بين الخلايا intracellular pH، وهو أمر يتحكم فيه عدد من الجينات الأخرى (عن Woodson ١٩٩٧)

وفى استراتيجية أخرى تم الإخلال بالمسار الأيضى الموجود بالفعل فى البيتونيا عن طريق تقنية الشفرة المضادة، حيث استعمل الجين CHS - فى شفرته العكسية - فى تحويل البيتونيا وراثيًا. أظهرت تلك النباتات شفرة الـ CHS المضادة، وهى التى تفاعلت مع الشفرة العادية للجين، مما أدى إلى تعطيل مسار الأنثوسيانين؛ وترتب على ذلك إنتاج أزهار بلون أقل دكنة تدرجت حتى اللون الأبيض (عن Swarup & Swarup ١٩٩٣).

ولقد تمكنت بعض الشركات، مثل Florigene من إجراء تحولات وراية فى المسار الأيضى لتمثيل الأنثوسيانين فى نباتات، مثل: الورد، والقرنفل carnation، والأقحوان chrysanthemum، والجربارة gerbera، مما مكنها من إنتاج أزهار فى المجال اللونى الأزرق (الموف - البنفسجى - الأزرق). وهذه النباتات لا يمكنها - بطبيعتها - إنتاج الأنثوسيانين ديلفيندين delphinidin؛ نظرًا لأنها لا تحتوى على الإنزيم F3'5'H ولقد قامت الشركة بعزل هذا الجين ونقله إلى تلك الأنواع الزهرية، مما سمح بإنتاج أزهار زرقاء اللون منها. وكان أول الأصناف التجارية التى أنتجت وعرضت للبيع صنف القرنفل Moondus ذو الأزهار الموف اللون، وذلك فى عام ١٩٩٦ (عن Slater وآخرون ٢٠٠٣).

التحكم فى شكل الأزهار

يحاول الباحثون فى مجال الهندسة الوراثية تغيير شكل الأزهار، وذلك كما فى كل من: الخَطْم *Antirrhinum majus*، والـ *Petunia*، والـ *Arabidopsis*، حيث تعرف طفرات تؤثر على كل من سيمترية (تساوق أو تماثل أو تناظر) الأزهار وتكوين مختلف الأعضاء الزهرية. وأمكن - على سبيل المثال - عزل الجينين deficiens، و globosa من الأنترهينم، وهما يحولان البتلات إلى تراكيب سبلية (عن Swarup & Swarup ١٩٩٣).

تحسين قدرة الزهور على الاحتفاظ بنضارتها بعد القطف

تعرف المدة التى تحتفظ خلالها أزهار الزينة بنضارتها بعد القطف باسم vase life، وهى مدة تتأثر بعملية التلقيح التى تُنشِّط عددًا من التغيرات الفسيولوجية فى الزهرة، تقود فى نهاية الأمر إلى شيخوختها وذبولها وسقوطها إن لم تكن قد قطفت بعد. ويعد الإثيلين هو الهرمون النباتى الرئيسى الذى يتحكم فى تلك التغيرات وفى القرنفل carnation يتحكم فى شيخوخة البتلات مجموعتين من الجينات؛ ينظِّم نشاط إحداها الإثيلين ويمكن إيقافها بالمعاملة بمثبطات الإثيلين، ولا تُنَظمُ الأخرى بفعل الإثيلين، ولا يمكن وقفها بالمعاملة بمثبطات الإثيلين.

ويتضمن تمثيل الإثيلين تحويل المركب S-adenosylmethionine إلى 1-aminocyclo-propane-1-carboxylic acid (اختصارًا: ACC) بالإنزيم ACC synthase، وتحويل ACC إلى إثيلين بواسطة الإنزيم ACC oxidase. ولقد أمكن عزل كلا الإنزيمين ACC synthase، و ACC oxidase، وبذا أمكن التحكم فى إنتاج الإثيلين، ومن ثم فترة حياة الأزهار.

وعلى سبيل المثال أمكن فى القرنفل استعمال cDNA معزول للإنزيم ACC oxidase فى إنتاج قرنفل محول وراثيًا يُظهر الشفرة العكسية لهذا الجين (antisense ACC oxidase). ولقد كانت الأزهار التى أنتجتها تلك النباتات ذات مستوى منخفض للغاية من الإثيلين وازداد عمرها بعد القطف إلى أكثر من ٢٠٠٪.

وفى منحىً آخر يحاول الباحثون إطالة فترة حياة الأزهار بمنع حدوث التلقيح فيها من الأساس، الأمر الذى يتحقق بجعلها عقيمة الذكر، وهو ما تستخدم فيه تقنيات الهندسة الوراثية كذلك (عن Swarup & Swarup ١٩٩٣، و Woodson ١٩٩٧)