الفصل الثانى

بعض أوجه وتحديات التربية لتحسين صفات الجودة

تحديات وإيجابيات

تُواجه جهود التربية لتحسين بعض صفات جودة الثمار بآثار سلبية على المحصول، فقد تبين من دراسة أجريت على أصناف الطماطم اليابانية المحسنة التى كان التركيز فيها على تحسين صفات الجودة المتعلقة بالطعم – وخاصة محتوى الثمار من المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة الكلية – أن ذلك الاتجاه – الذى أفرز تحسنًا فى صفات الجودة – كان على حساب كمية المحصول (Higashide وآخرون ٢٠١٢).

وترتبط مختلف صفات الجودة – سلبًا أو إيجابًا – بصفات جودة أخرى وبصفات نباتية هامة؛ الأمر الذى تتضح أبعاده فى جدول (٢–١). وطبيعى أن الارتباطات الموجبة تفيد المربى، بينما تُعد الارتباطات السالبة معوقة له.

جدول (٢–١): الارتباطات بين صفات الجودة وبعض الصفات النباتية الأخرى (Radwan وآخرون ١٩٧٩).

الصفة	نوع الارتباط	الصفات المرتبطة
النمو المحدود	موجب	المحصول المبكر، والمحتوى المرتفع من كل من فيتامين ج، والحموضة المعايرة.
النمو غير المحدود	موجب	حجم الثمرة، ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية بها.
قوة النمو الخضرى	سالب	محتوى الثمار من فيتامين ج.
المحصول الكلى	موجب	وزن الثمرة، وعدد الثمار بالنبات.
المحصول الكلى	سالب	المحصول المبكر، ومحتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية.
المحصول المبكر	موجب	عدد الثمار بالنبات، ومحتواها من الحموضة المعايرة.
الحموضة المعايرة	موجب	محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية.

يتبع

تابع جدول (٢-١):

الصفة	نوع الارتباط	الصفات المرتبطة
المواد الصلبة الذائبة الكلية	سالب	حجم الثمرة.
نسبة السكريات	موجب	محتوى الثمار من فيتامين ج.
الحموضة المعايرة	سالب	حجم الثمرة وعدد حجراتها.
صلابة الثمرة	سالب	حجم الثمرة، وعدد حجراتها، ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية بها.
صلابة الثمرة	موجب	سمك الجدر الثمرية.
وزن الثمرة	موجب	عدد الحجرات بالثمرة.
وزن الثمرة	سالب	محتوى الثمرة من فيتامين ج، والحموضة المعايرة.

ومن أبرز تحديات التربية لتحسين صفات الجودة تأثر تلك الصفات بالعوامل البيئية، فقد أظهرت بعض صفات جودة ثمار الطماطم (وهى محتوى المواد الصلبة الذائبة، وفيتامين ج، والحموضة الكلية المعايرة) تباينًا كبيرًا جدًّا فى المواقع المختلفة للزراعة، وصل إلى تغير بنسبة ٢١١٪ فى سلوك بعض التراكيب الوراثية. وأظهر الليكوبين أكبر قدر من التأثر بالعوامل البيئية، بينما كانت الحموضة الكلية المعايرة الأقل تأثرًا. وقد توافق ذلك مع تقديرات كفاءة التوريث التى بلغت ١٦٪ لليكوبين، بينما قدرت بنحو ٨٧٪ للحموضة الكلية المعايرة (Panthee وآخرون ٢٠١٢).

وقد وجد أن سلالة الطماطم lecer6 تفتقر إلى القدرة على إنتاج الإنزيم β-ketoacyl-Coenzyme A synthase (اختصارًا: LeCER6) الذى يلعب دورًا فى عملية تمثيل الشمع المغطِّى لبشرة الثمرة. وتبين أن لهذا الجين تأثيرات أخرى متعددة على عديد من الصفات البستانية الهامة والخصائص الفسيولوجية (Ehret وآخرون ٢٠١٢).

هذا.. إلاّ أن التربية فى بعض الأوجه لا تعنى بالضرورة حدوث تراجع فى صفات الجودة، فقد أظهرت دراسة أجريت على مدى التحسين فى أصناف طماطم التصنيع خلال العشرين عامًا السابقة للدراسة (١٩٧٧–١٩٩٦) فى كل من كاليفورنيا وإسرائيل، ما يلى (Grandillo وآخرون ١٩٩٩):

الصفة	مدى التحسين السنوى (٪) فى كاليفورنيا	إسرائيل
محصول الثمار	١,٥٤	٠,٤
نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية	غير جوهرى	٠,٥٣
نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية × المحصول	١,٥	٠,٩
لون الثمار	١,١٥	٢,٧٣

إن التربية لتحسين صفات الجودة تتضمن كل صفات الثمرة تقريبًا، وهى الأمور التى سنتناولها بالشرح فى هذا الفصل والفصول التالية. ومن الأمور التى قد لا يفكر فيها الكثيرون مدى صلاحية الثمار للتعليب. ذلك لأن تعبئة ثمار الطماطم كاملة فى العلب تتطلب إزالة جلد الثمرة دون الإضرار بها. وتؤدى هذه العملية إلى تلف نسبة كبيرة من الثمار؛ ففى كاليفورنيا.. تتلف أربع ثمار مقابل كل ثمرة يتم سلخ جلدها بصورة جيدة تصلح معها للتعليب؛ لذا.. فإن التربية لسهولة سلخ جلد الثمرة من الأهمية بمكان فى تلك الصناعة (عن Stevens ١٩٧٩).

ويعتبر صنف الطماطم موريتا Murrietta من أصلح أصناف الطماطم للتعليب، لسهولة سلخ جلد ثماره.

وراثة بعض صفات الجودة

فى دراسة تضمنت ٩٠ تركيبًا وراثيًّا من الطماطم (١٥ سلالة محسنة، و ٤ سلالات اختبارية، و٦٠ هجينًا ما بين السلالات المحسنة والسلالات الاختبارية) ثم تقييمها فى موعدين للزراعة، وُجد أن الفعل المضيف كان هو السائد لكل من: متوسط وزن الثمرة، ودليل شكل الثمرة، ومحتواها من الليكوبين، بينما كان التباين غير المضيف هو السائد لكل من: دليل الصلابة، وعدد حجرات الثمرة، وسمك الجدار الثمرى، ومحتوى الثمار من المواد الصلبة التى لا تذوب فى الكحول، ونسبة المادة الجافة، ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية، والحموضة المعايرة، ونسبة المواد الصلبة الذائبة إلى الأحماض، والـ pH، ومحتوى حامض الأسكوربيك، وفترة الصلاحية للتخزين (Garg وآخرون ٢٠٠٨).

كما وجد لدى دراسة معامل التوريث فى المعنى العام للصفات الفسيولوجية / الكيميائية (الليكوبين، والحموضة المعايرة الكلية، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، وفيتامين ج) والصفات الموروفولوجية (شكل الثمرة وحجمها) فى ٤٤ صنفًا قديمًا (عتيق أو كلاسيكى vintage) من الطماطم.. وُجد أن كفاءة التوريث تراوحت بالنسبة للصفات الفسيولوجية / الكيميائية بين ٥,٨٪ لصفة محتوى الليكوبين، و٣٥,٧٪ للحموضة المعايرة الكلية، وتراوحت بالنسبة للصفات الموروفولوجية بين ٨,١٪ لصفة عدم انتظام وضع مركز الثمرة proximal eccentricity إلى ٩٧,٣٪ لصفة دليل شكل الثمرة، وتراوحت بالنسبة للون من ٦٩,٠٪ للـ a*-value إلى ٩٩,٣٪ للـ b*-value (Panthee وآخرون ٢٠١٣).

وأمكن التعرف على ٢٢٢ QTLs تتحكم فى ١٥ صفة من صفات الجودة فى طماطم التصنيع (مثل السكريات والأحماض العضوية والطعم وغيرها). وكان لإحدى الـ QTL تأثيرات جوهرية جدًّا ترتبط بنسبة السكريات إلى حامض الجلوتامك، وهى الصفة عالية الارتباط بالطعم الجيد (Fulton وآخرون ٢٠٠٢).

كما أمكن باستخدام واسمات RFLP تمييز ٢٩ جينًا – تُحمل على أحد عشر كروموسومًا من كروموسومات الطماطم الإثنى عشر – وتتحكم فى صفات محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية، و pH الثمار، ومتوسط وزن الثمرة. يُستفاد من تلك الواسمات فى التعرف على نباتات الجيل الثانى الحاملة للجينات المتحكمة فى الصفات ذات كفاءة التوريث المنخفضة مثل محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية، بينما تتساوى أهميتها مع الشكل المظهرى فى التعرف على النباتات الحاملة للجينات المتحكمة فى الصفات ذات كفاءة التوريث المتوسطة مثل pH الثمرة، ولا يكون لها أهمية بالنسبة للصفات ذات كفاءة التوريث العالية مثل متوسط وزن الثمرة (Paterson وآخرون ١٩٩١).

حجم الثمرة، ووزنها، وعدد حجراتها

يختلف الحجم المناسب لثمرة الطماطم باختلاف ذوق المستهلك. ويفضل المستهلك العربى – عادة – الثمار المتوسطة إلى الكبيرة الحجم التى يتراوح وزنها من ١٠٠–١٣٠ جم. أما أصناف التصنيع.. فإن ثمارها تكون – غالبًا – صغيرة الحجم. وعادة.. تستخدم كلمتا الوزن والحجم دونما تمييز بينهما.

تدل الدراسات التى أجريت على حجم أو وزن ثمرة الطماطم أن تلك الصفة كمية يتحكم فيها عدة جينات تؤثر فى كل من عدد وحجم خلايا الثمرة. ولكن اختلفت نتائج الدراسات بشأن طبيعة تأثير هذه الجينات؛ فذكر بعض الباحثين أن تأثيرها مضيف additive بصفة رئيسية، بينما ذكر آخرون خلاف ذلك. ففى دراسة وراثية أجريت على سلالتين من الطماطم هما: Mo. Accession 223 التى يبلغ متوسط وزن ثمارها ٢٣,٣ جم و I-417-1 التى يبلغ متوسط وزن ثمارها ١٦٧,٤ جم .. وجد أن عدد الجينات التى تتحكم فى متوسط وزن الثمرة يتراوح من ١١–٢٠ زوجًا، وكانت صفة الثمار الصغيرة سائدة جزئيًّا، بينما كانت الجينات ذات تأثير هندسى متجمع geometrically cumulative. وقد قدرت كفاءة توريث هذه الصفة فى المعنى العام بنحو ٢٩٪، إلا أن هذا التقدير ارتفع إلى ٧١٪ فى دراسة أخرى (Cuaetero & Cubero ١٩٨٢).

والملاحظ أن عدد حجرات الثمرة يتراوح عادة من ٢–٣ حجرات فى أصناف التصنيع ذات الثمار الصغيرة، بينما يزيد العدد على ذلك فى أصناف الاستهلاك الطازج ذات الثمار الأكبر حجمًا. كما يكون عدد الحجرات منخفضًا كذلك فى الأصناف ذات الثمار الكريزية الشكل الصغيرة الحجم. وتبعًا لـ Boswell (١٩٣٧).. فإن العدد المنخفض للحجرات (حجرتان/ ثمرة) صفة بسيطة سائدة. إلا أن الدراسات الحديثة نسبيًّا تظهر أن عدد الحجرات بالثمرة صفة كمية تقدر درجة توريثها فى المعنى العام بنحو ٦٦٪.

وقد أمكن التعرف على QTL – أُعطيت الرمز fw2.2 – تقع على نفس الموقع على الكروموسوم٢ فى كل من *S. pennellii*، و *S. pimpinellifolium*، وإليها يعود ٤٧٪، و ٣٠٪ من التباين فى حجم الثمار فى النوعين، على التوالى (Alpert وآخرون ١٩٩٥).

ولقد أمكن عزل الجين fw.2.2 من الطماطم، ووجد أنه المسئول عن الفرق فى حجم ثمار السلالات المكسيكية الصغيرة الحجم وحجم ثمار نظيراتها من الأصناف ذات الثمار الكبيرة الحجم جدًّا (Doebley ٢٠٠٠)، ويُعتقد بأن هذا الجين لعب دورًا جوهريًّا فى تطور صفة حجم الثمرة فى الطماطم المنزرعة (Frary وآخرون ٢٠٠٠).

وتُعد الـ QTL المعروفة بالرمز fw2.2 مسئولة عن نحو ٣٠٪ من الاختلافات فى حجم الثمرة بين الطماطم التجارية ذات الثمار الكبيرة وأنواعها البرية القريبة ذات الثمار الصغيرة. وفى دراسة استخدمت فيها سلالات ذات أصول وراثية متماثلة تبين أن هذا الجين يؤثر فى حجم مبايض الأزهار؛ ومن ثم حجم الثمار المنتجة، لكن ذلك يتم تعويضه بإنتاج عدد كبير من الثمار؛ الأمر الذى يرجع – أساسًا – إلى حدوث زيادة جوهرية فى أعداد النورات، ولكن دون أن يحدث تغير فى الكتلة الكلية للثمار (Nesbitt & Tanksley ٢٠٠١).

كذلك يعد الجين fw3.2 أحد المواقع الرئيسية التى تتحكم فى وزن ثمرة الطماطم، كما أن لها تأثير ثانوى على شكل الثمرة (Zhang وآخرون ٢٠١٢).

وفى دراسة على الـ QTLs التى تتحكم فى حجم ثمار الطماطم فى تلقيح بين سلالة من *S. pimpinellifolium* (يبلغ متوسط وزن ثمرتها جرام واحد) والصنف المتوارث Giant Heirloom (الذى يحمل ثمارًا يزيد وزنها عن الكيلوجرام) أمكن التعرف على ست QTLs تُحمل على الكروموسومات ١، و٢، و٣، و ١١. لم تكن أى من تلك الـ QTLs جديدة، لكن الجديد أنها ظهرت – جميعها – فى تلقيح واحد؛ بما يعنى أن الصنف Giant

Heirloom قد تجمعت فيه كل العوامل الوراثية المسئولة عن زيادة حجم الثمرة. ولقد أمكن عزل إحدى الـ QTLs، وهى: fw2.2، وهى التى تُظهر تأثيرها على حجم الثمرة من خلال تحكمها فى انقسام الخلايا خلال المراحل المبكرة لتكوين الكرابل والثمرة. ووجد أن إحدى الـ QTL (وهى: fw11.3, lcn11.1) تُحدث تأثيرها من خلال تحكمها فى عدد الكرابل والحجيرات، وهو نفس التأثير الذى تُحدثه QTL أخرى (هى: fw2.1, lcn2.1). وقد اقترح أن هاتين الـ QTLs هما ذاتهما الجينان اللذان سبق وصفهما: f (من fascinated)، و lc (من locule number) (Lippman & Tanksley ٢٠٠١).

ويُعرف حاليًا جينان يتحكمان فى وزن ثمرة الطماطم، وجينان آخران يتحكمان فى عدد الحجرات بالثمرة، وهى الصفة التى تؤثر – بدورها –فى وزن الثمرة. وقد أمكن التعرف على ثلاث من الـ QTLs التى تؤثر على كلتا الصفتين، تقع إحداها (fw11.2) على الطرف البعيد للكروموسوم ١١ أعلى الجينين المعروفين fas، و fw11.3، وتقع الثانية (fw1.1) فى المنطقة الـ pericentromeric على الكروموسوم ١، وتقع الثالثة (fw3.3) على مسافة حوالى ١,٦ Mb (أسفل جين معروف لوزن الثمرة هو: SIKLUH/FW3.2. وتم كذلك التعرف على ثلاث QTLs أخرى أقل أهمية (Illa-Berenguer وآخرون ٢٠١٥).

كذلك أمكن التعرف على أربع QTLs على الكروموسوم ٢، وثلاث QTLs على الكروموسوم ٨ خاصة بصفات مورفولوجية للثمرة، وذلك من تلقيح بين صنف الطماطم Rio Grande والسلالة LA1589 من *S. pimpinellifolium* (Green وآخرون ٢٠١٦).

شكل الثمرة

يهتم مربى الطماطم حاليًّا بطراز شكل الثمار "سالاديت" saladette، وهو الطراز الذى يكون فيه طول الثمرة ضعف عرضها تقريبًا (الطول هو القطر القطبى والعرض هو القطر الاستوائى). كان الصنف Rio Grande هو أول الأصناف التى أُنتجت من هذا

الطراز، وقد أصبح – حاليًا – أكثر طُرز أشكال الثمار انتشارًا فى جميع أنحاء العالم؛ ربما لأنه يجمع ما بين خصائص جودة الثمار لكلٍ من أصناف الاستهلاك الطازج الكروية وأصناف التصنيع المكعبة الدائرية square round. ولهذه الثمار خصائص التركيب الداخلى وسمك الجدر لأصناف التصنيع، والتى تسمح بزيادة الصلاحية للتخزين وتحمل التداول أثناء الشحن والتسويق، إضافة إلى احتوائها على بعض الجل والعصير؛ مما يجعل جودتها مقبولة للاستهلاك الطازج (Heisey ٢٠١٥).

يتحكم فى شكل الثمرة البيضاوى oval جين متنحٍ يأخذ الرمز o. وعن وجود هذا الجين بحالة متنحية أصيلة مع جين آخر متنحٍ (يأخذ الرمز c) بحالة متنحية أصيلة فإن الشكل البيضاوى يُصبح كمثرى، ويرجع ذلك إلى أن الجين c يجعل التويج يضغط بقوة على الثمرة فى مرحلة مبكرة جدًّا من نموها؛ مما يؤدى إلى تحززها؛ ومن ثم ظهورها بشكل كمثرى مع استمرار تكوينها (Warnock ١٩٩٠).

وقد دُرست وراثة شكل ثمرة الطماطم الكمثرى فى الصنف Yellow Pear فى تلقيحات مع السلالة كروية الثمار LA1589 من *S. pimpinellifolium*، ووجد أنه يتحكم فى الصفة QTL رئيسية تُحمل على الكروموسوم رقم ٢. وبدرجة أقل QTL ثانوية تُحمل على الكروموسوم رقم ١٠. وتبين أن الجين الذى يُحمل على الكروموسوم ٢ هو – ذاته – ما سبق أن أُعطى الاسم ovate فى دراسات مبكرة. كما وجد أن دليل شكل الثمرة (الطول/ القطر) وتحزز عنق الثمرة يرتبطان بدرجة عالية؛ بما يعزز الافتراض بأن الجين ovate يتحكم فى كلتا الصفتين، أو أن الجينات التى تتحكم فيهما وفى صفة الثمرة الـ ovate شديدة الارتباط على الكروموسوم ٢. هذا.. ولم يظهر أى تفاعل بين الـ QTL الثانوية على الكروموسوم ١٠ والجين ovate على الكروموسوم ٢ فيما يخص دليل شكل الثمرة (Ku وآخرون ١٩٩٩).

ويتحكم فى وراثة شكل ثمرة الطماطم المطاول elongated – كما ظهر فى طفرة من صنف الطماطم Sun 1642 – مقارنة بالشكل الكامل الكروية – كما يوجد فى السلالة LA1589 من النوع البرى *S. pimpimellifolium* – جينًا واحدًا يقع على الكروموسوم ٧، أُعطى الاسم sun. يتحكم هذا الجين فى تطور تكوين الثمرة خلال الأسبوعين التاليين للتلقيح (Van der Knaap & Tanksley ٢٠٠١).

وأمكن التعرف على أربع QTLs رئيسية تتحكم فى مواصفات شكل ثمرة الطماطم (Brewer وآخرون ٢٠٠٧).

كذلك دُرست وراثة شكل الثمار شديدة الاستطالة فى تلقيح بين الصنف Long John ذات الثمار الشديدة الاستطالة والسلالة LA1589 من *S. pimpinellifolium* ذات الثمار التامة الكروية، وبدراسة نباتات الجيل الثانى أمكن التعرف على أربع QTLs تتحكم فى شكل الثمرة، تقع على الكروموسومات ٢، و ٣، و٧، و١١. ويعد الدور الأساسى للـ QTL التى تقع على الكروموسوم ٧ – وهىlifs7 – التحكم فى استطالة الجدار الثمرى الخارجى (الـ pericarp). أما تلك التى تقع على الكروموسومات ٢ (lifs2)، و ٣ (lifs3)، و ١١ (lifs11)، فإنها تتحكم فى الشكل الكمثرى. وقد تبين أن lifs2، و Lifs7 آليليان لجينى شكل الثمرة المعروفين ovate، و sun، على التوالى. أما lifs3، و lifs11 فقد كانا قريبين من جينى شكل الثمار – الأقل تمييزًا ودراسة – fs3.2، و fs11.1، على التوالى (Van der Knaap وآخرون ٢٠٠٢).

وقد لجأ المربون إلى انتخاب سلالات من الطماطم تتميز ثمارها بالطرف الزهرى المدبب؛ لأجل تجنب التشوهات التى تظهر بالطرف الزهرى، والتى منها النُدَب scars الكبيرة والصور المخففة من ظاهرة وجه القط catface.

ومن بين الطفرات ذات الطرف الزهرى المدبب المعروفة، ما يلى:

الطفرة	الصنف أو السلالة التى ظهرت فيها
(pst) persistent style	LA 2-5
(bk) beaky	LA 986
(bk-2) beaky-2	LA 1787
(n) nipple tip	LA 2353
n-2	NC 140
n-3	Fla 890559-24
n-4	Fla 894413-1

وبينما ترتبط صفة الطرف الزهرى المدبب بالتفاف الأوراق لأعلى فى الطفرات الأربع الأولى – الأمر الذى قد يتسبب فى حدوث مشاكل مرضية – فإن ذلك الارتباط لا يوجد فى الطفرات الثلاث الأخيرة (Barten وآخرون ١٩٩٢).

وكما أسلفنا قد يمكن الاستفادة من صفة الطرف الزهرى المدبب للثمار فى خفض معدلات الإصابة بوجه القط فى أصناف طماطم الاستهلاك الطازج، إلاّ أن الاستفادة من تلك الصفة ظلت محدودة بسبب استمرار ظهورها فى الثمار الناضجة؛ مما يترتب عليه زيادة فى خدوش الثمار بعد الحصاد؛ فضلاً عن ارتباط تلك الصفة بصفة التفاف الأوراق التى قد تزيد من معدلات الإصابات المرضية بالنموات الخضرية.

ولقد دُرست وراثة صفة الطرف الزهرى المدبب فى ثلاث سلالات تربية، هى: NC 140، و Fla 890559-24، و Fla 894413-1، وأربع سلالات ذات طرف زهرى سبق تحديده ووصفه، وهى: LA 2-5 ذات القلم الدائم persistent style (أو pst)، و LA 986 ذات المنقار beaky (أو bk)، و LA 1787 ذات المنقار أيضًا beaky-2 (أو Bk-2، والذى أثبتت الدراسة أنه متنح، وأُعطى الرمز bk-2)، و LA 2353 ذات الحلمة nipple tip (أو n). وأمكن التوصل إلى تعريف ثلاث جينات لمظهر الحلمة، هى

تلك التى أسلفنا بيانها: n-2 فى NC 140، و n-3 فى Fla 890559-24، و n-4 فى Fla 894413-1. وبدا أن LA 986، و LA 2-5 يحتويان على نفس الجين. هذا.. ولم تكن صفة التفاف الأوراق جوهرية فى أى من التراكيب الوراثية التى شملتها الدراسة (Barten وآخرون ١٩٩٤).