الفصل الرابع

التربية لتحسين الرقم الأيدروجينى والحموضة المعايرة والمذاق والنكهة

نجمع فى هذا الفصل بين مناقشة حموضة الثمار (رقمها الأيدروجينى وحموضتها المعايرة) وصفة المذاق؛ نظرًا لما لصفة حموضة الثمار – مع صفة محتوى الثمار من السكريات – من أهمية بالغة فى تحديد جودة المذاق. ولا يخفى أن الأحماض العضوية – التى تحدد مستوى الحموضة المعايرة – تشكل جزءًا – ولو يسيرًا – من محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية.

حموضة الثمار (الحموضة المعايرة والـ pH) : أهميتها وطرق تقديرها ووراثتها

أهميتها

ترجع أهمية حموضة ثمار الطماطم إلى أنها تؤثر فى مذاق الطماطم؛ من حيث الإحساس بالحموضة sourness، ودرجة تركيز الطعم flavor intensity؛ كما أنها تفيد فى خفض فترة التعقيم، مع استمرار توخى الأمان ضد النموات الميكروبية. ويرجع إلى pH الثمار المنخفض (الأقل من ٤,٤) الفضل فى ضعف نشاط البكتيريا المحبة للحرارة *Bacillus coagulans*. وقد ثبت أن البكتيريا *Clostridum botulinum* المسببة للتسمم البوتشيلينى يمكنها النمو، وإنتاج السموم فى الأغذية التى يكون رقم حموضتها ٤,٨، أو أعلى، بما فى ذلك منتجات الطماطم.

هذا.. ويستدل من معظم الدراسات على وجود ارتباط جوهرى سالب بين الـ pH والحموضة المعايرة. وقد تراوحت نسبة تركيز أيون الأيدروجين (H^+) إلى الحموضة المعايرة من ٥٩– ٧٤ فى ٢٥ تركيبًا وراثيًّا متباينًا فى هاتين الصفتين (عن Stevens ١٩٨٦).

وفى دراسة شملت ٢٥٠ صنفًا وسلالة من الطماطم تراوح pH الثمار فيها بين ٤,٢٦، و٤,٨٢، وتركيز حامض الستريك بين ٠,٤٠٪، و ٠,٩١٪ (عن Stevens & Rick ١٩٨٦).

الحموضة المعايرة

تقدر الحموضة المعايرة فى عصير الطماطم بحساب عدد ملليلترات أيدروكسيد الصوديوم العُشر أساسية (0.1 N)، اللازمة لمعادلة ١٠ مل من راشح العصير مع استعمال دليل الفينول فثالين phenolphthalin (Porter ١٩٦٠). وترجع الاختلافات بين أصناف الطماطم فى حموضتها المعايرة إلى اختلافها فى محتوى ثمارها من الأحماض العضوية.

يعتبر حامض الستريك citric acid من أهم الأحماض العضوية؛ حيث يشكل نحو ٤٠٪ – ٩٠٪ من المحتوى الكلى للعصير من الأحماض العضوية. وتتوقف نسبته الفعلية على الصنف، والظروف البيئية، ودرجة نضج الثمار، والمعاملات التالية للحصاد. ويليه فى الأهمية حامض الماليك malic acid، الذى يوجد بنسبة ٥٠٪ – ٦٠٪ من تركيز حامض الستريك حسب الصنف، بينما توجد بقية الأحماض العضوية بتركيزات منخفضة جدًّا؛ ومن أمثلتها حامض الجالاكترونك الذى يُنتج بسبب تحلل البكتينات، والذى يزداد تركيزه مع نضج الثمار، إلى أن يصل إلى أعلى مستوى له فى الثمار الزائدة النضج، وحامض بيروليدون – كاربوكسيلك pyrrolidone-carboxylic الموجود بتركيز منخفض للغاية، والذى ربما يكون إنتاجه من تحلل حامض الجلوتامنك glutaminc، أو حامض الجلوتامك glutamic. ويعد الأخير من أكثر الأحماض الأمينية تركيزًا فى ثمار الطماطم. وبالرغم من أن الطماطم تُعد من الخضر الغنية بحامض الأسكوربيك ascorbate (فيتامين ج) – حيث يوجد بتركيز يتراوح من ١٠ إلى ٣٥ ملليجرامًا/١٠٠ جم – إلا أن تأثيره فى الحموضة المعايرة ضعيف (عن Stevens & Long ١٩٧١).

هذا.. ويختلف مدى الحموضة المعايرة – كنسبة مئوية من حامض الستريك – فى ثمار الطماطم باختلاف الدراسات وباختلاف الجيرمبلازم المستخدم؛ فهو يتراوح فى

الطماطم من ٠,٢٥٪ إلى ٠,٥٠٪، ووصل فى بعض الدراسات إلى ٠,٩١٪، بينما يتراوح فى النوع *S. pimpinellifolium* من ٠,٤٧٪ إلى ٠,٩٥٪.

وقد أوضحت دراسات Lower & Thompson (١٩٦٧) أن صفة الحموضة المعايرة يتحكم فيها جين واحد سائد، إلا أن الانعزالات لم تظهر بوضوح؛ لأن الصفة كمية وتتأثر بالعوامل البيئية بدرجة كبيرة. وقد قدِّر الباحثان كفاءة توريثها بنحو ٦٤,٢٪. وتوصل Stevens & Long (١٩٧١) إلى أن التركيز المنخفض لحامض الماليك صفة بسيطة سائدة. كما درس Stevens (١٩٧٢) وراثة تركيز الحامضين الرئيسيين المسئولين عن الحموضة فى ثمار الطماطم؛ وهما: حامض الستريك، وحامض الماليك، ووجد أن تركيز كليهما صفة بسيطة، وأن الجينين السائدين يتحكمان فى التركيز المرتفع لحامض الستريك والتركيز المنخفض لحامض الماليك، وأنهما يوجدان فى نظام ازدواجى coupling على مسافة ١٨ وحدة عبور بين كل منهما، وأنه لا توجد ضرورة للتربية لنسبة معينة من أحد الحامضين إلى الآخر.

الـ pH (الرقم الأيدروجينى)

يقدر pH الثمار يأخذ عينة تتراوح من ١٠ إلى ٢٠ ثمرة، تقطع كل منهما إلى أربعة أجزاء، ثم توضع فى خلاط على سرعة عالية لمدة دقيقتين، ثم يقدر الـ pH فى المخلوط بواسطة جهاز pH meter ذى تدريج دقيق مع استخدام منظم ذى pH قدره ٤,٨. وقد توصل Thompson (١٩٦٥) إلى طريقة أسهل من ذلك لتقدير الـpH فى الثمار المنتخبة، وذلك بقطع الثمار عرضيًّا، ثم غمس العمود الزجاجى للجهاز dual glass electrode فى المساكن. يكفى ثلاث قراءات فى مساكن مختلفة لكل ثمرة، مع تقدير الـ pH لثلاث ثمار من كل نبات. ويشترط — لدقة النتائج — أن تكون الثمار على درجة واحدة من النضج.

ويبدو — من الدراسات الوراثية القليلة التى أجريت على صفة pH الثمار — أن كفاءة توريثها منخفضة؛ حيث قدرها Lower & Thompson (١٩٦٧) بنحو ٣٧,٦٪.

التربية لتحسين المذاق والنكهة

تتأثر نكهة الطماطم بمحتواها من المركبات المتطايرة volatile substances؛ أما المذاق.. فيتأثر أساسًا بنسبة السكريات إلى الأحماض، علمًا بأن النهكة يتم الإحساس بها عن طريق الأنف، أما المذاق .. فيكون الإحساس به عن طريق الفم.

المذاق (الطعم أو الحلاوة)

إن أفضل طعم للطماطم يكون فى الثمار التى لا تقل فيها نسبة السكريات إلى الأحماض عن ٨,٥ :١، بشرط ألا تقل نسبة السكريات عن ٣٪؛ ويعنى ذلك ألا تقل نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية عن ٥,٥٪، وألا يزيد رقم الـ pH عن ٤,٣٥. ويقصد بنسبة الأحماض الحموضة المعايرة كنسبة مئوية من حامض الستريك، الذى يجب ألا يقل تركيزه عن ٠,٣٥ جم/١٠٠ جم من الوزن الطازج (عن Stevens ١٩٧٣).

يتبين مما تقدم أن الكميات المطلقة من السكريات والأحماض لا تقل أهمية عن النسبة بينهما فى تحديد طعم ثمار الطماطم.

تقاس الحلاوة فى ثمار الطماطم بتقدير أى من ثلاثة قياسات، هى المواد الصلبة الذائبة الكلية total soluble solids (اختصارًا: TSS)، ونسبة الـ TSS إلى الأحماض، ودليل الحلاوة الكلى total sweetnes index (اختصارًا: TSI).

تدل قراءة الرفراكتوميتر للـ TSS على النسبة المئوية للمواد الصلبة الذائبة فى العصير، وهى مجموع كل من السكريات (السكروز والسكريات السداسية والتى تشكل – معًا – ٦٥٪)، والأحماض (الستريك والماليك اللذان يشكلان ١٣٪)، ومكونات ضئيلة أخرى (الفينولات والأحماض الأمينية والبروتينات الذائبة وحامض الأسكوربيك والمعادن) فى لب الثمرة. وهذا التقدير غير دقيق إلا أنه شائع الاستخدام لأنه رخيص وسهل وسريع ويرتبط بما فيه الكفاية بمستوى السكر فى الثمرة. وقد لا يكون التقدير مُعَّبرًا عن حقيقة مستوى السكريات إذ استخدم فى مقارنة تراكيب وراثية يتراكم فيها مستويات منخفضة أو عالية

بصورة غير عادية من الأحماض. هذا.. وتعكس نسبة الـ TSS محتوى المادة الجافة، وهى تتناسب عكسيًّا مع حجم الثمرة، حيث إنها تتراوح بين ٣٪، و٥٪ فى الثمار الكبيرة الحجم، وبين ٥٪، و٧٪ فى الثمار المتوسطة الحجم، وبين ٩٪، و١٥٪ فى ثمار الشيرى الصغيرة الحجم.

ويستعمل دليل الحلاوة الكلى TSI كمقياس للحلاوة. ويُوصف إسهام كل سكر فى هذا الدليل نسبة إلى السكروز، الذى يعطى القيمة ١. ويُحسب (الـ TSI) بالمعادلة التالية:

$$\text{TSI: } [(1.00 \times \text{sucrose}) + (0.76 \times \text{glucose}) + (1.50 \times \text{fructose})]$$

هذا.. وتكون الثمار التى تحتوى على قيم متماثلة للسكريات الكلية – ولكن بمحتوى أعلى نسبيًّا من الفراكتوز أو السكروز – أحلى طعمًا. ويختزن بثمار أصناف الطماطم المنتجة حديثًا كميات أقل من السكروز، بينما يتراكم فيها الجلوكوز والفراكتوز بنسبة ١: ١ تقريبًا، ومن بين أهداف التربية الهامة زيادة نسبة الفراكتوز.

ونظرًا لأن الأحماض تؤثر على الإحساس بالحلاوة فإن نسبة الـ TSS إلى الحموضة المعايرة تُعد أحد الدلائل المفيدة لتقدير الحلاوة. وتحتوى الطماطم على حامضين رئيسيين، هما الستريك والماليك، علمًا بأن حامض الستريك تبلغ حموضته نصف حموضة حامض الماليك، كما أن مستويات حامض الستريك العالية تُعطى الجلوكوز دليلاً أعلى للحلاوة الظاهرية عن الفراكتوز. وتكون الطماطم جيدة الطعم عندما لا تقل الـ TSS عن ٥٪، ولا تقل الـ TA عن ٠,٤، حيث تكون نسبة الـ TSS إلى الحموضة المعايرة TA ١٢,٥. هذا.. وتتباين نسبة الـ TSS إلى الحموضة المعايرة بين أجزاء الثمرة الواحدة؛ حيث تنخفض فى المساكن مقارنة بالجدار الثمرى، وتتأثر بكل من: مرحلة النضج؛ حيث تنخفض الحموضة المعايرة فى المراحل المتأخرة من النضج، وظروف النمو التى تؤثر فى الأيض.

وتتعين ملاحظة أن قيم الـ TSS والـ TSS إلى الحموضة المعايرة TA ليست سوى دلائل تقريبية لطعم ثمار الطماطم لأسباب كثيرة، كما يلى:

١–قد لا تكون الـ TSS دليلاً دقيقًا على محتوى السكر أو الحلاوة كما أسلفنا.

٢–ربما تكون نسبة الـ TSI إلى الحموضة المعايرة TA دليلاً أفضل للطعم عن كل من الـ TSS، والـ TSS إلى الـ TA.

٣–على خلاف ثمار أخرى مثل التفاح والخوخ والنكتارين، فإن التوازن بين الحامض والحلو فى الطماطم قد لا ينعكس بصورة أساسية على الإحساس بالطعم.

٤–إن زيادة مستويات السكريات والأحماض عن حدود حرجة دون أن يرافق ذلك بتغيرات فى المركبات المتطايرة قد لا يُحسِّن من الطعم (Beckles ٢٠١٢).

هذا.. ويتحسن مذاق ثمرة الطماطم كلما ازدادت نسبة أنسجة المساكن locular tissue إلى الجدر الثمرية اللحمية pericarp، بشرط ارتفاع نسبة كل من السكر والأحماض. ويرجع السبب فى ذلك إلى التأثير الكبير لنسبة المساكن إلى الجدر الثمرية على المتوسط العام لنسبة السكريات إلى الأحماض فى الثمرة.

ففى دراسة أجريت على سبعة أصناف من الطماطم — تراوحت فيها نسبة أنسجة المساكن من ١٤,٤٪ إلى ٣٥,٠٪ من وزن الثمرة — وجد لدى مقارنة السكريات والأحماض فى أنسجة المساكن بتركيزها فى الجدر الثمرية ما يلى (Stevens وآخرون ١٩٧٧):

١–كانت السكريات المختزلة أعلى بنسبة ٢٠٪ فى الجدر الثمرية منها فى المساكن.

٢–كان الجلوكوز أعلى بنسبة ٣٨٪ فى الجدر الثمرية منه فى المساكن.

٣–تساوى تركيز كل من الفراكتوز، والمواد الصلبة الذائبة الكلية فى كل من الجدر الثمرية والمساكن.

٤–كانت الحموضة المعايرة أعلى بنسبة ٤٨٪ فى المساكن عنها فى الجدر الثمرية.

٥- كان حامض الستريك أعلى بنسبة ٥٧٪ فى المساكن عنه فى الجدر الثمرية.

٦- تساوى كل من الـ pH، وتركيز حامض الماليك فى كل من الجدر الثمرية والمساكن.

ويعنى ذلك أن المذاق يكون أفضل فى الأصناف التى تحتوى ثمارها على نسبة عالية من المساكن، مع ارتفاع محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية، مثل أيس، وفى إف ١٤٥ — بى — ٧٨٧٩ عما فى الأصناف التى تحتوى ثمارها على نسبة منخفضة من المساكن، مثل يوسى ٨٢.

وقد أوضح Jones & Scott (١٩٨٣) أن سلالات الطماطم التى ترتفع فيها نسبتا السكر والحموضة كانت أفضل طعمًا من الصنف القياسى كال أيس Cal Ace. وقد أُرجعت معظم الاختلافات فى الطعم إلى الاختلافات فى نسبة المولد الصلبة الذائبة الكلية والحموضة المعايرة؛ وهو ما يعنى أن التربية لتحسين الطعم تعتمد على تحسين تلك الصفتين. هذا.. إلا أن زيادة نسبة السكر ترتبط — عادة — بنقص فى كل من المحصول وصلابة الثمار، فضلاً على أنها صفة كمية ليس من السهل إدخالها — بالتربية — فى سلالات الطماطم. وقد أوضحت دراسة أخرى لهذين الباحثين (Jones & Scott ١٩٨٤) ظهور قوة هجين فى صفة طعم الثمار، حيث كانت الهجن بين سلالات الطماطم العالية فى نسبتى السكر والأحماض أفضل طعمًا من الأبوين (ظهر فيها "طعم الطماطم" بصورة أكثر وضوحًا مما فى الآباء).

وقد اقترحت التربية لزيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة والحموضة العالية كوسيلة لتحسين الطعم، إلا أن التربية لزيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة ليست بالأمر السهل لأن تلك الصفة تورَّث كميًّا، وتوجد علاقة سالبة بين محتوى المواد الصلبة بالثمار والمحصول. ولقد أمكن تحديد ٣٢ QTLs ترتبط بزيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة، وتبين أن إحداها تزيد الـ brix دون أن تنقص المحصول.

أما التربية لزيادة الحموضة فهى أقل صعوبة. وقد وجد أن الحموضة العالية سائدة على الحموضة المنخفضة ويتحكم فيها جين واحد كما أسلفنا، وإن كانت دراسات

أخرى أظهرت أنها صفة كمية ويتحكم فيها جين أساسى. كما وجد – كما أسلفنا – أن التركيز المنخفض لحامض الماليك سائد على التركيز العالى، مع تحكم جين واحد فى الصفة، وتبين وجود جينات مفردة – ترتبط فى نظام تنافرى – وتتحكم فى تركيز كل من حامضى الستريك والماليك. وعمومًا فإن هناك حدودًا لزيادة الحموضة بالنسبة لتحسين الطعم؛ فهى تؤدى حال زيادتها كثيرًا إلى حجب الحلاوة.

ولا تخفى أهمية العوامل البيئية وموسم النمو فى التأثير على طعم ثمار الطماطم؛ الأمر الذى يؤثر سلبيًّا فى الانتخاب للصفة فى برامج التربية (Scott ٢٠٠٢).

ويتجه البعض نحو إعادة التوسع فى زراعة أصناف قديمة تتميز بطعمها الجيد، مثل الصنف Ramapo (على اسم قبيلة هنود حمر تستوطن نيوجيرسى) الذى أنتجته جامعة رتجرز فى عام ١٩٦٨ وتوقفت زراعته لأكثر من ٢٠ عامًا (Lorin ٢٠٠٨).

النكهة

تتحدد نكهة الطماطم بمحتواها من المركبات المتطايرة كما سبق بيانه. ولقد أمكن التعرف على أكثر من ٤٠٠ مركبًا متطايرًا فى عصير الطماطم، منها نسبة عالية من الألدهيدات، والكيتونات، والكحولات، وبعض الإسترات، إلاّ أن ١٦ مركبًا منها – فقط – كان لها أهمية فى التأثير على الطعم (Scott ٢٠٠٢).

كما وجدت اختلافات كمية بين أصناف وسلالات الطماطم فى محتواها من هذه المركبات، التى يقدر تركيز كل منها بالجزء فى البليون، والتى من أمثلتها ما يلى:

amyl alchol	n-pentanol
cis-3-hexenol	acetaldehyde
methyl sulfide	acetone
methanol	ethanol

isovaleraldhyde	n-hexanol
2-isobutylthiazole	methyl salicylate
eugenol	

وقد وجد Stevens (١٩٧٠) من دراسته الوراثية على المركبات الثلاثة الأخيرة ما يلى:

١- يتحكم فى تركيز مركب 2-isobutylthiazole جين واحد ذو تأثير إضافى.

٢- يتحكم فى تركيز مركبى methyl salicylate، و eugenol جينان (واحد لكل منهما) مرتبطان فى نظام ازدواجى coupling، مع سيادة التركيز المنخفض على التركيز المرتفع فى كل منهما.

وفى دراسة أخرى.. كان 2-isobutylthiazole أهم المركبات المتطايرة تأثيرًا على فرق النكهة بين صنفى الطماطم كامبل ١٤٦ Campbell 146، وكامبل ١٣٢٧.

كما وجد McGlasson وآخرون (١٩٨٧) ٦٩ مركبًا فى ثمار الصنف رتجرز Rutgers، كان لكل منها رائحة خاصة مميزة؛ وقد ربطوا النكهة المميزة للطماطم بستة من هذه المركبات، وهى:

hex-2-enal	linalool
phenylacetaldehyde	methyl salicylate
2-phenylethanol	eugenol

وبرغم وجود هذه الاختلافات الكمية بين أصناف وسلالات الطماطم فى محتواها من المركبات المتطايرة.. إلا انه لم تلاحظ فروق نوعية بينها. كما لم ترتبط أى منها بالنكهة المميزة للثمار، باستثناء حالات قليلة سبقت الإشارة إلى بعضها.

ويبدو – من دراسة العلاقات بين محتوى الثمار من الصبغات الكاروتينية ومحتواها من المركبات المتطايرة – أن المركبات المتطايرة الرئيسية تنتج من تحلل البولينات polyenes والكاروتينات؛ فقد وجدت هذه العلاقة فى الصنفين Caro-Red الغنى بالبيتاكاروتين، و Golden Jubilee الغنى بالزيتاكاروتين.

وقد أظهر أحد أصناف الطماطم ذات النكهة والطعم المميزين على تركيزات أعلى جوهريًّا من المركبين المتطايرين hexanal، و cis-3-hexenal، اللذان يعدان من أهم المركبات المتطايرة إسهامًا فى طعم الثمار. واعتمادًا على عينات من عدد قليل من الثمار من كل صنف – أو من كل نبات – يمكن التعرف على أى اختلافات جوهرية بينها فى محتواها من المواد المتطايرة؛ بما يسمح بالانتخاب لصفة الطعم والنكهة (Ruiz وآخرون ٢٠٠٥).

هذا.. ويهتم المربى بتحديد المركبات أو المواد التى يكون لها علاقة قوية بخصائص الطعم؛ ليمكن إجراء التحسين من خلالها. وفى الطماطم.. وجدت علاقة بين كل من محتوى حامض الستريك ورائحة الطماطم، ومحتوى الجليسين glycine ورائحة الطماطم كذلك، والتحبب granulosity ومحتوى المادة الجافة (Carli وآخرون ٢٠٠٩).

وقد أمكن تحديد مواقع ٣٠ QTLs تؤثر فى ابتعاث واحد أو أكثر من المركبات المتطايرة المسئولة عن نكهة الثمار فى سلالات من الطماطم نُقلت إليها جينات من *S. habrochaites* (Mathieu وآخرون ٢٠٠٩).

وأمكن زيادة محتوى ثمار الطماطم الناضجة من اثنان من المركبات المتطايرة المسئولة عن النكهة، هما: S-linalool، و 8-hydroxylinalool، وذلك بتحويلها وراثيًّا بالجين Clarkia breweri S-linalool synthase. ولم يؤثر هذا التحويل الوراثى على أى من الصفات المورفولوجية أو على مستويات التربينويدات الأخرى، مثل: الألفا والجاما توكوفيرولات، والليكوبين، والبيتاكاروتين، والزانثوفيل (Lewinsohn وآخرون ٢٠٠١).

كما أمكن تحويل الطماطم وراثيًّا بجين من نبات الريحان، وهو جين يوجِّه جزيئات معينة فى مسار تمثيل الليكوبين نحو مسار يُنتج جزيئات خاصة بالنكهة. وقد كانت ثمار النباتات المحولة وراثيًّا أبهت لونًا، لكن نكهتها كانت قوية وطعمها مفضل وبها رائحة الورد، والجيرانيم، وحشيشة الليمون؛ الأمر الذى يفتح المجال واسعًا نحو إنتاج طماطم بالنكهات التى تُضاف إليها عند تجهيز الطعام (Davidovich-Rikanati وآخرون ٢٠٠٧).