الفصل الثالث

تحديات الإنتاج الخاصة بصفات الجودة ووسائل التعامل معها

نتناول بالشرح فى هذا الفصل تحديات الإنتاج ذات الصلة بصفات الجودة، وكيف يمكن تحسينها وتجنب تدهورها.

تندرج تحت صفات الجودة جميع صفات الثمرة الخارجية منها المنظورة والداخلية المحسوسة. وللتعرف على العوامل المؤثرة فى كل صفة، وكيفية تطويعها لأجل تحسينها، فإن الأمر يتطلب الإلمام بخصائص تلك الصفات ومكوناتها.

حجم الثمار

طبيعة الزيادة فى الحجم

نجد أن مبيض الزهرة، فى معظم الأنواع النباتية، ينمو بالانقسام الميتوزى mitosis أثناء مراحل تكوين الزهرة، ثم يتوقف الانقسام فى خلايا المبيض بعد تفتح الزهرة، أما بعد العقد، فإن نمو الثمرة يحدث نتيجة للزيادة فى حجم خلايا المبيض التى اكتمل عددها قبل العقد. وتعتبر الطماطم والبطيخ من المحاصيل التى تنمو ثمارها بهذه الطريقة، ولكن تحدث فى الطماطم انقسامات ميتوزية خلال الأسبوع الأول بعد العقد، وكذلك الأسبوع الثانى أحيانًا، حيث يزيد عدد طبقات الخلايا فى الجدر الثمرية من ٨ إلى ٣٠. وترجع الزيادة الكبيرة فى حجم الخلايا إلى تكوين فجوات عصارية تصل فى البطيخ إلى أحجام كبيرة لدرجة رؤيتها بالعين المجردة (عن Wareing & Phillips ١٩٧٨).

فبعد يوم أو يومين من الإخصاب تندمج الفجوات التى توجد فى كل خلية — معًا — لتكون فجوة عصارية واحدة كبيرة فى كل خلية. ويصبح السيتوبلازم خلال الأسبوعين التاليين لذلك عبارة عن طبقة رقيقة تحيط بالجدر الداخلية للخلايا، كما تبدأ فى هذا الوقت

أولى مراحل انفصال الجدر الخلوية حيث يبدأ الانفصال عند أماكن الاتصال بين الخلايا المتجاورة، ويستمر على امتداد الصفيحة الوسطى. وتزداد هذه المسافات خلال جميع مراحل تطور الثمرة ونموها. وتكون الروابط البروتوبلازمية بين الخلايا دقيقة جدًّا، ولكنها تبقى موجودة (عن Ho & Hewitt ١٩٨٦).

وقد وجد Owen & Aung (١٩٩٠) ارتباطًا قويًّا بين قطر مبيض الزهرة عند تفتحها وبين الحجم النهائى لثمرة الطماطم فى عدد كبير من الأصناف.

ويتوقف الشكل النهائى للثمرة على النمو النسبى للمبيض فى كل من محوريه القطبى والاستوائى قبل تفتح الزهرة.

وفى خلال المراحل الأولى لتكوين الثمرة، تمتد المشيمة — تدريجيًّا — داخل المساكن، لتحيط بالبذور بعد نحو ١٠ أيام من العقد، وتملأ كل حيز المسكن خلال الأيام القليلة التالية لذلك. ويكون نسيج المشيمة صلبًا فى الثمار غير مكتملة النمو، ولكن مع اكتمال النمو، تبدأ الجدر الثمرية فى الانهيار، إلى أن يأخذ النسيج المشيمى فى الثمار الخضراء المكتملة النمو مظهرًا جيلاتينيًّا. وفى المراحل التالية لذلك قد تتراكم بعض السوائل الخلوية فى الفجوات، ولكن يبقى بروتوبلازم الخلايا سليمًا على الرغم من ذلك (عن Ho & Hewitt ١٩٨٦).

معدل الزيادة فى حجم الثمرة أو وزنها والعوامل المؤثرة فيه

تنمو ثمرة الطماطم فى الأصناف الحديثة من مبيض يتراوح وزنه بين ٥ و ١٠ ملليجرامات إلى وزن نهائى يتراوح بين ١٥ جرامًا فى الأصناف الكريزية، و٤٥٠ جرامًا فى أصناف طراز البيف ستيك beef steak type فى مدة ٤٩ إلى ٧٠ يومًا حسب الصنف، والظروف الجوية، والممارسات الزراعية؛ ولذا نجد أن معدل نمو الثمرة يتباين كثيرًا من صنف لآخر. وعلى الرغم من ذلك فإن نمو ثمار جميع الأصناف يتبع منحنى أُسىّ (سيجمويد أو شبيه بحرف S) Sigmoid.

ويمكن تقسيم منحنى النمو إلى ثلاث مراحل كما يلى:

١- فترة أولى من النمو البطئ تمتد لنحو أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع، ولا يتعدى فيها

النمو ١٠٪ من الوزن النهائى الذى تصل إليه الثمرة. ونجد أن نمو المبيض يتوقف عند تفتح الزهرة، ولكن يستعيد المبيض نموه مرة أخرى بعد الإخصاب. ويزداد انتقال الغذاء المجهز إلى المبيض كثيرًا فى خلال يومين من التلقيح، حيث يزداد معدل التراكم اليومى من المادة الجافة من ٣٠ ملليجرامًا فى هذا الوقت إلى نحو ١٥٠ ملليجرامًا فى نهاية الأسبوع الثانى من التلقيح والإخصاب.

٢- يلى ذلك فترة من النمو السريع تمتد لنحو ٣-٥ أسابيع. وعند منتصف هذه الفترة (بعد نحو ٢٠-٥٠ يومًا من تفتح الزهرة) يصل النمو اليومى إلى أقصى معدلاته، سواء كان ذلك فى صورة زيادة فى الحجم، أم فى الوزن الطازج، أم فى الوزن الجاف. وتكتسب الثمرة معظم وزنها خلال مرحلة اكتمال النمو وهى خضراء mature green stage.

٣- فترة ثالثة تمتد لنحو أسبوعين ولا تحدث فيها زيادة كبيرة فى وزن الثمرة، ولكن يحدث خلالها تغيرات حيوية كبيرة. فتظهر بدايات التلوين بعد مرور يومين إلى ثلاثة أيام من وصول الثمرة إلى مرحلة اكتمال النمو وهى خضراء، ثم يتغير اللون تدريجيًّا بعد ذلك من الأصفر إلى البرتقالى، فالأحمر.

هذا.. وينتج النمو الأول البطئ من انقسام الخلايا وازديادها الأوَّلى فى الحجم، بينما يعود النمو السريع التالى لذلك – كليًّا – إلى ازدياد الخلايا فى الحجم. وبينما يكون النمو المطلق absolute growth الأوَّلى بطيئًا، فإن معدل النمو النسبى relative growth يزداد بشدة (فى صورة زيادة فى الحجم)، ليصل إلى حده الأقصى – وهو ٠,٨ سم^{٣}/سم^{٣} من حجم الثمرة يوميًّا – فى نهاية الأسبوع الأول بعد التلقيح والإخصاب، ثم ينخفض المعدل لوغاريتميًّا – بعد ذلك – خلال بقية مراحل نمو الثمرة. وبينما يزداد الوزن الجاف التراكمى للثمرة خلال مرحلة النمو الثانية (التى يبدو فيها النمو سريعًا) فإن معدل انتقال الغذاء المجهز إليها (الكربون) ينخفض من ١٤٠ ملليجرامًا يوميًّا إلى نحو نصف هذه الكمية، مع زيادة محتوى الثمرة الكربونى من ٢٠٪ إلى ٩٠٪. ويتوقف انتقال الغذاء المجهز إلى الثمرة بعد نحو ١٠ أيام من ظهور بداية التلوين فيها، ويرتبط ذلك بتكوين طبقة انفصال Abscission Layer بين الثمرة والكأس.

وبينما ترتبط زيادة الجدر الثمرية فى الحجم إيجابيًّا مع نشاط الأوكسين فى الثمرة، فإن الزيادة فى حجم المساكن تتأثر بتكوين ونمو البذور. وإذا ازداد نمو الجدار الثمرى الخارجى كثيرًا عن نمو الأنسجة المشيمية فإن الثمرة تظهر فيها فجوات وهو ما يُعرف بالجيوب.

ويتوقف الحجم النهائى لثمرة الطماطم على العوامل التالية:

١- حجم مبيض الزهرة:

يتأثر الحجم النهائى لثمرة الطماطم — إلى حد كبير — بعدد الخلايا الموجودة فى المبيض عند تفتح الزهرة. ويعنى ذلك إمكانية زيادة حجم ثمرة الطماطم بتهيئة الظروف المساعدة على تكوين مبايض زهرية كبيرة. ويتحقق ذلك باتباع الوسائل التالية:

أ- التربية لإنتاج أصناف ذات ثمار كبيرة؛ الأمر الذى يُشاهد فى عديد من الأصناف.

ب- التغذية الجيدة.

ج- تعريض النباتات لدرجة حرارة منخفضة نسبيًّا قبل الإزهار (Nitsch ١٩٦٢). ونجد أن حجم الثمار يزداد كلما ازدادت الفترة من تفتح الأزهار إلى النضج. وتتأثر هذه الفترة أساسًا بدرجة الحرارة، حيث تزداد بانخفاض الحرارة. ويحدث ذلك سواء أكانت الثمار بكرية أم غير بكرية، وسواء أكان العقد البكرى طبيعيًّا (أى وراثيًّا) أم بسبب معاملات منظمات النمو (Corella وآخرون ١٩٨٦).

وكمثال عن تأثير درجة الحرارة على حجم ثمرة الطماطم نقدم جدول (٣-١) الذى يبين متوسط وزن ثمار عدد من الأصناف فى العروات الصيفية، والخريفية، والشتوية فى محافظة الفيوم. ويلاحظ من الجدول أن ثمار العروة الخريفية التى تكونت أزهارها أثناء ارتفاع درجة الحرارة خلال شهر أغسطس كانت أقل الثمار وزنًا، بينما كانت ثمار العروتين الصيفية، والشتوية أكبر حجمًا، وقد تكونت أزهارهما أثناء اعتدال الحرارة خلال شهرى مارس، وأكتوبر على التوالى (تقارير نشاط الطماطم البحثى — مشروع تطوير النظم الزراعية — زراعات عام ١٩٨٠).

جدول (٣-١): متوسط وزن ثمار بعض أصناف الطماطم فى العروات المختلفة بمحافظة الفيوم.

العروة	متوسط وزن الثمرة بالجرام من أصناف			
	Castlong	E 6203	Peto 86	UC 82
الصيفية	٥١,٩	٦٢,٥	٦٤,٤	٥٢,٥
الخريفية	٢٠,٥	٢٧,٣	٢٩,٢	٢٧,٨
الشتوية	٦٣,٧	٧٣,١	٥٩,٤	٤٦,٩

٢- معدل انتقال الغذاء المجهز إلى الثمرة:

وجد Grange & Andrews (١٩٩٣) أن الحجم النهائى لثمرة الطماطم يرتبط بأعلى معدل لنمو الثمرة بعد نحو ٤٠ يومًا من تفتح الزهرة، ولا يرتبط بفترة إكمال الثمرة لنموها، وأن ارتفاع معدل نمو الثمرة خلال المراحل المتأخرة لتكوينها لم يؤخر وصولها إلى مرحلة النضج.

ويرتبط معدل نمو الثمار بمعدل وصول الغذاء المجهز إليها؛ وبذا.. يرتبط الحجم النهائى للثمرة بمعدل وصول الغذاء المجهز إليها. ويحدث ذلك عند خف نحو ٣٠٪ من الثمار التى توجد فى طرف العنقود الثمرى، وعند زيادة مسافة الزراعة.

٣- عدد البذور والمساكن:

يرتبط الحجم النهائى لثمرة الطماطم إيجابيًّا بعدد البذور أو وزنها وبعدد المساكن الثمرية. هذا ويختلف عدد البويضات فى متاع زهرة الطماطم – باختلاف الأصناف – من ٢٥٠ إلى ١٠٠٠ بويضة، بينما تختلف نسبة البويضات التى تكوِّن بذورًا بين ٢٠٪ و٥٠٪، وتكون النسب الأعلى فى حالات العدد الأقل من البويضات.

٤- موقع الثمرة على العنقود:

تكون الثمار التى عند قاعدة العنقود الثمرى أكبر حجمًا من تلك التى تقع عند قمته، مع تدرج الحجم بين الموقعين. ويرتبط هذا العامل بجميع العوامل السابقة، حيث

يكون معدل النمو وتراكم النشا بالثمار أعلى فى الثمار القاعدية عنها بالثمار القمية فى العنقود الواحد. وعند النضج يزيد تركيز السكريات المختزلة فيها مقارنة بالثمار القمية. وتحتوى مبايض الأزهار القاعدية على عدد أكبر من الخلايا عند تفتح الزهرة مقارنة بالأزهار القمية. كذلك يزيد تركيز إندول حامض الخليك، ويقل تركيز حامض الأبسيسك فى الثمار القاعدية مقارنة بالثمار القمية (عن Ho & Hewitt ١٩٨٦).

وتبعًا لدراسة يابانية على أحد أصناف الطماطم الشيرى، قُدِّرت فيها التغيرات اليومية – على مدار الساعة – فى كل من حجم الثمرة، ومعدل انتقال الغذاء المجهز إليها، وإصابتها بالتشقق، واستخدم لذلك تقنيات الـ laser beam sensor system، و sapflow system.. وجد أن الثمار يزداد حجمها خلال الليل وساعات النهار الأولى، وهى نفس الفترة التى يتدفق فيها الغذاء المجهز إلى الثمار عبر العنق، كما أنها ذات الفترة التى تزداد فيها الإصابة بالتشقق (Ohta وآخرون ١٩٩٧).

ولا يُعد البناء الضوئى الذى تقوم به الثمرة ذاتها – وهى خضراء – ضروريًّا لاحتياجات الطاقة بها أو لتطورها، ولكنه يُعد – فى التوقيت المناسب – ضرورى لتطور تكوين البذور (Lytovchenko وآخرون ٢٠١١).

هذا.. إلاّ أن الأجزاء الثمرية الخضراء – مثل الكأس والكتف الأخضر والجدار الثمرى الخارجى pericarp وخلايا الحجيرات الثمرية البرانشيمية locular parenchyma – تقوم بعملية البناء الضوئى فى ثمرة الطماطم، وتُسهم بنصيب فى مدِّ الثمار بالغذاء المجهز، وربما تُسهم فى التأثير على نسبة الأحماض إلى السكر بالثمرة؛ ومن ثم تؤثر فى جودتها (Smillie وآخرون ١٩٩٩).

لون الثمار

بداية.. فإن لون ثمرة الطماطم صفة وراثية تتحدد بالتركيب الوراثى للصنف المستخدم فى الزراعة؛ حيث تتباين الأصناف – كثيرًا – فى لون ثمارها الناضجة من

الأصفر إلى البرتقالى بدرجاته، والوردى، والأحمر العادى، والأحمر القانى (crimson color)؛ فضلاً عن توفر سلالات وأصناف متوارثة heirloom تكون ثمارها بلون بنى أو بنفسجى أو أسود.

ويرجع اللونان الأصفر والبرتقالى إلى محتوى الثمار من الصبغات الكاروتينية الصفراء، وخاصة صبغة البيتاكاروتين (وهى بادئ فيتامين أ) حال غياب تمثيل صبغة الليكوبين، بينما يرجع اللون الأحمر إلى صبغة الليكوبين الحمراء التى تطغى — عند تواجدها بصورة طبيعية — على اللون الأصفر للصبغات الكاروتينية الصفراء. وبينما يُصبح اللون الأحمر قانيًا crimson عند زيادة تركيز صبغة الليكوبين مع ضعف تركيز صبغة البيتاكاروتين؛ فإن الظروف غير المواتية للتمثيل الطبيعى لليكوبين تسمح بظهور اللون الأصفر للصبغات الكاروتينية؛ فتصبح الثمار حمراء باهتة اللون، أو وردية pink، أو صفراء. ويزداد تركيز البيتاكاروتين إلى نحو ١٠ أضعاف التركيز العادى فى الأصناف البرتقالية عنه فى الأصناف الصفراء (عن Thompson وآخرين ١٩٦٧).

هذا.. وتحتوى الجدر الثمرية على نسبة أعلى من الليكوبين إلى الكاروتين عما فى المساكن؛ لذا يظهر المقطع العرضى بلون أفضل فى الثمار ذات المساكن الصغيرة (Magoon ١٩٦٩).

أما اللون الأحمر الضارب إلى البنى فإن مرده يكون إلى حمل الثمار لجين اللُب الأخضر green flesh (وهو الجين gf)، الذى لا يجعل تحلل الكلوروفيل كاملاً فى الجدر الثمرية (مع وجود الليكوبين)؛ فتكتسب الثمار لونها المميز. وأما اللون البنفسجى فيكون – غالبًا — بسبب جين الجل الأخضر green gel، الذى يُبقى على جل مساكن الثمار الناضجة أخضر اللون، فتظهر مع الليكوبين فى الجدر الثمرية — بلون قرمزى. ومثل هذه الثمار تحتفظ بكامل قيمتها الغذائية، وتتميز — عادة — بمذاق جيد.

وإلى جانب ما تقدم ذكره من جينات، فإن وجود جين النضج المتجانس uniform ripening (وهو u) يؤدى إلى غياب اللون الأخضر الداكن من أكتاف الثمار غير

الناضجة، وإلى تلونها بلون يُماثل لون باقى الثمرة. أما الأصناف التى تحمل الجين السائد U – مثل سوبر مارمند، وفى إف ١٤٥ – بى – ٧٨٧٩ (أو استرين بى)– فإن أكتاف ثمارها تكون بلون أخضر داكن يبقى له أثر طفيف فى لون الثمار الناضجة، وتتميز تلك الثمار بطعم جيد.

وقد أدت إضافة حامض الأبسيسك (الذى يُعد من منتجات مسار التمثيل البيولوجى للكاروتينويدات) إلى المحلول المغذى بتركيزات متزايدة تراوحت بين ٠,٥، و١٠,٠ مجم/لتر إلى إحداث زيادات جوهرية فى كل من البيتاكاروتين، والليوتين lutein، والزيازانثين zeaxanthin، والنيوزانثين neoxanthin فى الأوراق والثمار، وفى كلوروفيل أ، وب بالأوراق (Barickman وآخرون ٢٠١٤).

ويتحدد التوازن بين الصبغات – ومن ثم لون الثمار – بالعوامل التالية:

١- درجة الحرارة:

يتأثر تلوين الثمار بدرجة الحرارة السائدة أثناء النضج سواء أكان ذلك فى الحقل، أم فى المخزن، فلا تتلون الثمار جيدًا إذا انخفضت درجة الحرارة عن ١٣ °م، نظرًا لأن تحلل الكلوروفيل يتوقف فى هذه الظروف، وتبقى الثمار خضراء اللون. وإذا استمر تعرض الثمار لدرجات حرارة أقل من ١٣ °م لفترة طويلة، فإنها لا تتلون بصورة جيدة عند ارتفاع درجة الحرارة فيما بعد.

وأفضل حرارة لتكوين الليكوبين هى ٢٤ °م.

ومع ارتفاع درجة الحرارة عن ذلك يقل تكوين الليكوبين ثانية إلى أن يتوقف تكوينه نهائيًّا فى حرارة ثابتة مقدارها ٣٠ °م، أو أعلى من ذلك، لكن يستمر تكوين الصبغات الصفراء (البيتاكاروتين، والألفاكاروتين، والجاماكاروتين، وغيرها من الصبغات الكاروتينية الصفراء اللون) فى درجات الحرارة المرتفعة (حتى ٤٠ °م)؛ وبذلك يكون لون الثمار أحمر مصفرًا. وتتلون هذه الثمار بصورة طبيعية إذا انخفضت الحرارة إلى المجال

المناسب للتلوين، والذى يتراوح بين ٢٠ و ٢٤ °م. ومع أن درجة الحرارة قد ترتفع عن ٣٠ °م لفترة قصيرة بعد الظهر، إلا أن ذلك لا يؤثر بالضرورة على تلوين الثمار، وذلك لأن انخفاض الحرارة ليلاً يعادل التأثير الضار لارتفاع الحرارة نهارًا، كما أنها تظلل بالنمو الخضرى غالبًا.

٢- شدة الضوء:

تزداد كمية الكاروتين فى الثمار المعرضة للضوء أثناء نضجها، عنها فى الثمار التى تنضج فى الظلام. ويعنى ذلك أن الثمار التى تقطف وهى فى طور النضج الأخضر، وتخزن لحين نضجها تكون أقل فى محتواها من الكاروتين. ومع أن ثمار الطماطم تتلون باللون الأحمر عند نضجها، سواء أنضجت فى الضوء أم فى الظلام، فإن تلوينها فى المخزن يكون بصورة أفضل إذا عرضت للضوء أثناء نضجها.

ويؤدى تعرض الثمار لضوء الشمس القوى المباشر إلى إصابتها بلسعة الشمس، حيث ترتفع درجة الحرارة فى الأنسجة المعرضة للضوء القوى عن ٣٠ °م، ويتوقف فيها التلوين، كما يُفقد منها الكلوروفيل؛ وبذا تصبح بيضاء اللون. وتزداد حدة هذه الحالة إذا تعرضت الثمار لأشعة الشمس القوية بصورة فجائية. وهو ما يحدث عند قلب النباتات أثناء الحصاد، أو تعديلها بغرض العزق – حيث تتعرض الثمار السفلية التى كانت مغطاة بالنموات الخضرية لأشعة الشمس القوية بصورة فجائية، فتصاب غالبًا بلسعة الشمس. ولذا.. فمن الضرورى أن تعاد النباتات إلى وضعها الطبيعى بعد الانتهاء من عمليتى الحصاد والعزق.

صلابة الثمار

تختلف أصناف الطماطم العادية فى درجة صلابة ثمارها، وبينما تنخفض درجة الصلابة فى بعض الأصناف القديمة ذات الطعم الجيد، مثل أيس، وفى إف إن ٨، فإن غالبية الأصناف الحديثة (سواء أكانت من أصناف التصنيع أم من أصناف الاستهلاك

الطازج، وسواء أكانت للإنتاج الحقلى، أم للزراعات المحمية) ذات ثمار جيدة الصلابة، وتتساوى فى ذلك الأصناف الثابتة وراثيًّا مع الهجن.

وقد وجد ارتباط موجب بين صلابة الثمار، ومحتواها من المواد غير القابلة للذوبان فى الكحول Alcohol Insoluble Solids (تختصر هكذا: AIS) والتى من أهمها المركبات التالية:

Soluble polysaccharides

Polygalacturonides

Water-insoluble polysaccharides

Acid hydrolysed polysaccharides

وجميع المركبات غير القابلة للذوبان فى الكحول، هى مركبات بكتينية وسيليلوزية تؤدى إلى زيادة لزوجة العصير، والمعجون (الصلصة)، والكاتشب، وغيرها من منتجات الطماطم. لذا.. يلاحظ وجود ارتباط آخر بين صلابة الثمار، ولزوجة العصير.

ويوجد ارتباط سالب بين محتوى الثمار من المواد غير القابلة للذوبان فى الكحول (AIS)، والمواد الصلبة الذائبة الكلية Total Solbule Solids (اختصارًا: TSS). ونظرًا لكون ثمار أصناف التصنيع صلبة وغنية فى المواد غير القابلة للذوبان فى الكحول؛ نجد أن محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية أقل مما فى أصناف الاستهلاك الطازج. وعلى الرغم من إمكانية تربية أصناف غنية فى كل من المواد غير القابلة للذوبان فى الكحول، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، إلا أن ذلك يصاحب بانخفاض فى المحصول، لأن قدرة النبات على إنتاج المادة الصلبة محدودة، وذلك أمر غير مقبول فى أصناف التصنيع التى ينبغى أن يكون محصولها عاليًا حتى تنخفض أسعار الطماطم المورَّدة للمصانع، وتنخفض بذلك تكاليف المنتجات المصنعة، فتكون منافسة للطماطم الطازجة (عن Stevens ١٩٧٩).

وتكون ثمار جميع الأصناف صلبة وهى خضراء، ثم يبدأ ظهور الاختلافات بينها فى الصلابة أثناء نضجها، وتزداد الاختلافات تدريجيًّا حتى وصولها إلى طور النضج الأحمر التام.

وتفقد الثمار صلابتها أثناء نضجها بفعل التغيرات الإنزيمية التالية فى المركبات البكتينية:

١- تلتصق خلايا الثمار غير الناضجة بشدة بواسطة مادة البروتوبكتين protopectin التى تتوفر فيها، وخاصة فى الصفيحة الوسطى.

٢- يتحول البروتوبكتين إنزيميًّا أثناء نضج الثمار إلى بكتين Pectin بفعل إنزيم بروتوبكتينيز Protopectinase. ويعتبر البكتين أقل قدرة على لصق الخلايا من البروتوبكتين.

٣- يتحول البكتين إنزيميًّا مع استمرار نضج الثمار إلى مركبات أخرى، مثل: الأحماض البكتينية Pectic Acids بفعل إنزيمات البكتينيز Pectinase، وبولى جالاكتيورونيز Polygalacturonase، وبكتين – مثيل إستريز Pectin-methyl esterase.

ويرجَّح أن تحلل المواد البكتينية يضعف الشبكة المعقدة للمركبات العديدة التسكر فى الجدر الخلوية، مما يؤدى إلى ضعف الاتصال بين الخلايا وفقد الصلابة بالتالى (Hamason ١٩٥٢، وGould ١٩٧٤). وتحدث هذه التغيرات فى المواد البكتينية فى جميع الأصناف سواء أكانت صلبة، أم غير صلبة (Malis-Arad وآخرون ١٩٨٣).

ويرجع التفاوت بين الأصناف فى سرعة فقد الثمار لصلابتها إلى ما تحمله من جينات توقف أو تُبطئ تلك التحولات الإنزيمية، مثل جين عدم النضج (nor) وجين (rin)، وجين لا تنضج أبدًا (Nr)، وجين ألكوباكا (alc) وغيرهم حيث بلغت حوالى ٢٥ جين تم اكتشافها (عن Redenbaugh & Hiatt ١٩٩٣، و Kramer & Redenbaugh ١٩٩٤) وهى جينات تدخل فى إنتاج بعض الهجن، وتؤدى إلى عدم فقد الثمار لصلابتها.

كما جرت محاولات لزيادة صلابة ثمار الطماطم بتحويلها وراثيًّا – بطريق الهندسة الوراثية – ببعض الجينات التى توقف أو تُبطئ تحلل المركبات البكتينية (مثل الجين المسئول عن تمثيل الإنزيم بولى جالاكتيرونيز)، والجين المسئول عن تثبيط إنتاج الإثيلين (مثل الجين المسئول عن تمثيل الإنزيم ACC-deaminase).

ويُبين جدول (٣–٢) بعض صفات جودة ثمار الطماطم، والخصائص المؤثرة فيها، والجينات التى تتحكم فى تلك الخصائص، وتشمل تلك المؤثرة فى الصلابة وسرعة فقد الثمار لصلابتها.

جدول (٣–٢): بعض الجينات التى عُزِلت من الطماطم والتى تتحكم فى بعض خصائص الجودة فيها (Madhavi & Salunkhe ١٩٩٨).

الصفة	الخصائص المؤثرة فيها	الجينات التى تتحكم فيها (الإنزيمات)
لزوجة العصير	تركيب الجدر الخلوية	Polygalacturonase & Pectinesterase
خصائص التداول	تركيب الجدر الخلوية	Polygalacturonase & Pectinesterase
	معدل النضج	Ethylene synthase, Ethylene oxidase
المواد الصلبة الذائبة	السكريات	Invertase
	البكتينات	Polygalacturonase & Pectinesterase
اللون	الليكوبين	Phytoene synthase
الطعم	نسبة السكريات إلى الأحماض	Invertose

ويُعد الحصاد فى المرحلة المناسبة من النضج، والمعاملات المناسبة بعد الحصاد – كما سيأتى بيانه فى الفصل الأخير من الكتاب – أفضل الوسائل للمحافظة على صلابة الثمار، كى تصل إلى المستهلك بحالة جيدة من الصلابة.

نكهة الثمار

المركبات المتطايرة المسئولة عن النكهة

بداية .. فإن نكهة الثمار تتحدد بمحتواها من المركبات المتطايرة volatile substances

التى تكسبها نكهتها المميزة. ويُعد محتوى الثمار من تلك المركبات من الصفات الوراثية التى تختلف من صنف لآخر، ولا مجال للتحكم فيها بالمعاملات الزراعية. هذا.. إلاّ أن تركيز تلك المركبات يتغير أثناء نضج الثمار؛ فينخفض بعضها أثناء النضج، مثل الـ eugenol، و 1-penten-3-one، ويزداد بعضها الآخر مع تقدم النضج، مثل الـ cis-3-hexenel، و cis-3-hexenol، و 2-isobutylthiazole، و trans-2-hexenal؛ حيث يصل أقصى تركيز لها خلال مراحل بداية التلوين، والتلون الوردى، والتلون الأحمر للثمار. ويختلف محتوى ثمار الأصناف ذات المحتوى المرتفع من البيتاكاروتين (مثل كارو رد)، والدلتاكاروتين (مثل جولد جوبولى) اختلافًا واضحًا فى المركبات المتطايرة عن محتوى ثمار أصناف الطماطم الحمراء (Grierson & Kader ١٩٨٦، و Baldwin وآخرون ١٩٩١، و Buttery وآخرون ١٩٩٤).

فإلى جانب أهمية الكاروتينات (وخاصة الليكوبين والبيتاكاروتين) فى إضفاء صفات اللون والقيمة الغذائية لثمار الطماطم، فإنها تُعد مواد بادئة لبعض المركبات المتطايرة الهامة المسئولة عن النكهة المرغوبة، مثل: الـ β-ionone، والـ geranylacetone، والـ 6-methyl-5-hepten-2-one (Vogel وآخرون ٢٠١٠).

إن ثمار الطماطم تحتوى على المئات من المركبات المتطايرة، ولكن تلك التى تُكسبها نكهتها المميزة قليلة، ومنها – إلى جانب تلك التى أسلفنا ذكرها – كلاً من:

β-ionone	furaneol
linalool	eugenol
acetaldehyde	geranylacetone
hexanol	

(Baldwin وآخرون ١٩٩١، و Buttery وآخرون ١٩٩٤).

وقد اقتُرِحَ أن خلطة من تسعة مركبات يمكن عند تواجدها بنسب معينة إعطاء النكهة المميز للطماطم، وتلك المركبات هى:

cis-3-hexenal

hexanal

1-penten-3-one

3-methylbutanal

trans-2-hexenal

6-methyl-5-hepten-2-one

methyl silicylate

2-isobutylthiazole

β-ionone

ومن بين تلك المركبات فإن لكل من cis-3-hexenal، و β -ionone وزنًا أكبر فى تحديد نكهة الطماطم المميزة، كما أن الطماطم تنفرد بالمركب 2-isobutylthiazole. كذلك يبدو أن للمركب furaneol أهمية فى تحديد نكهة الطماطم (Baldwin ٢٠٠٤).

التغيرات فى تركيز المركبات المتطايرة مع النضج

فى محاولة للتعرف على التغيرات التى تحدث فى تركيز بعض المركبات المتطايرة الهامة أثناء نضج الثمار، توصل Baldwin وآخرون (١٩٩١) إلى ما يلى:

١- انخفض تركيز كل من الـ eugenol، و 1-penten-3-one أثناء نضج الثمار.

٢- لم يتغير تركيز كل من الـ ethanol، و trans-2-trans-decadienal، أو تقلب تركيزهما بين الارتفاع والانخفاض أثناء نضج الثمار.

٣- مع تقدم الثمار فى النضج، ازداد تركيز كل من المركبات التالية:

cis-3-hexenol	acetaldehyde
cis-3-hexenal	trans-2-hexenal
hexenal acctone	6-methy-5-hepten-2-one
geranylacetone	2-isobutylthiazole

وقد بلغ تركيز هذه المركبات أعلى معدل لها أثناء مراحل بداية التلوين، والتلون الوردى، والتلون الأحمر للثمار.

تنوع المركبات المتطايرة التى أمكن التعرف عليها

لقد أمكن التعرف على حوالى ٤٠٠ مركبٍ قابلٍ للتطاير Volatile Compounds فى عصير الطماطم، منها نسبة عالية من الألدهيدات، والكيتونات، والكحولات، وبعض الإسترات. ومع كثرة تلك المركبات، لم يرتبط منها بالنكهة المميزة للثمار سوى عدد قليل.

وتبعًا لـ McGlasson وآخرين (١٩٨٧)، أمكن التعرف على ٦٩ مركبًا متطايرًا فى ثمار صنف الطماطم رتجرز Rutgers، بينما لم يمكن التعرف إلا على ٤٦ مركبًا – فقط- منها فى طفرة الطماطم rin، أو nor، أو فى كلتيهما. ولم يوجد بثمار الطفرتين ١٥ مركبًا متطايرًا صنفت على أنها ذات رائحة متوسطة إلى قوية. وبينما وجدت بعض المركبات بتركيزات أعلى فى الطفرتين عما فى رتجرز، مثل المركب guaiacol، فإن مركبات أخرى قليلة ذات رائحة قوية (يعتقد بأنها المسئولة عن النكهة المميزة للطماطم) وجدت فى كلٍ من رتجرز، وإحدى الطفرتين، أو كلتيهما، وهى:

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

كما أمكن عزل ٥٤ مركبًا متطايرًا من ثمار أربعة من أصناف وسلالات الطماطم، ودرست علاقة تلك المركبات – كلٍ على حدة – بالنكهة والطعم المميزين للطماطم، ووجد ما يلى:

١- كانت أكثر المركبات المتطايرة ارتباطًا بنكهة الثمار بعد التخفيف لأكثر من (١/١٠٠٠) كلاً من الـ (Z)-3-hexenal، والـ hexanal، والـ 1-octen-3-one.

٢- وجدت ارتباطات موجبة جوهرية بين أفضلية الطعم وخصائص الطعم الـ "sweet" والـ "fruity".

٣- ارتبط الطعم الـ sweet بالمركب المتطاير (Z)-3-hexenal.

٤- ارتبط الطعم الـ sweet والـ fruity – كذلك- إيجابيًّا بكل من: الـ 1-penten-3-one، والـ 1-octen-3-one، والـ (E,E)-2,4-hexadienal.

٥- كان الطعم مرًّا فى السلالة LYC1045/90، وأُرجع ذلك إلى محتواها من الـ β-phellandrene (Krumbein & Auerswald ١٩٩٨).

ويُبين جدول (٣-٣) مزيدًا من التفاصيل حول المركبات المتطايرة التى توجد فى الطماطم الطازجة، وتركيزاتها، وأهميتها.

جدول (٣-٣): المركبات المتطايرة التى توجد فى الطماطم الطازجة بتركيز لا يقل عن ١ نانوليتر/لتر، وحدِّ التخفيف فى الماء الذى تستمر معه القدرة على شمها (حدِّ الرائحة odor threshold)، ولوغاريتم وحدات الرائحة log oder units (لوغاريتم نسبة تركيز المركب فى الطماطم إلى حدِّ رائحته) (Baldwin وآخرون ٢٠٠٠)

Log odor Units	Odor threshold حد الرائحة (n L.L^{1})	التركيز (n L. L^{-1})	المركب المتطاير
3.7	0.25	12,000	Cis-3-Hexenal
2.8	0.007	4	β-ionone
2.8	4.5	3,100	Hexanal
2.7	0.002	1	β-Damascenone
2.7	1	520	1-Penten-3-one

يتبع

تابع : جدول (٣–٣)

Log odor units	Odor threshold حد الرائحة ($n\ L.L^{-1}$)	التركيز ($n\ L.\ L^{-1}$)	المركب المتطاير
2.1	0.2	27	2+3-Methylbutatanal
1.2	17	270	Trans-2-Hexenal
1.0	3.5	36	2-Isobutylthiazole
0.9	2	17	1-nitro-2-Phenylethane
0.7	13	60	trans-2-Heptenal
0.6	4	15	Phenylacetaldehyde
0.4	50	130	6-Methyl-5-hepten-2-
0.3	70	150	cis-3-Hexenol
0.3	1,000	1,900	2-Phenylethanol
0.2	250	380	3-Methylbutanol
0.08	40	48	Methyl salicylate
- 0.02	60	57	Geranylacetone
- 0.2	5	3	β-Cyclocitral
- 0.4	150	59	1-Nitro-3-methyl-
- 0.4	32	12	Geranial
-0.5	6	2	Linalool
-0.6	400	110	1-Penten-3-ol
-1.0	1,500	140	Trans-2-Pentenal
-1.2	30	2	Neral
-1.5	4,000	120	Pentanol
-1.9	800	10	Pseudoionone
-1.9	1,000	13	Isobutyl cyanide
-1.9	500	7	Hexanol
-2.0	100	1	Epoxy-β-ionone

طعم الثمار

إن طعم الثمار يتحدد بعوامل كثيرة من أهمها: محتوى الثمار من السكريات الذائبة ونوعياتها، والمادة الجافة، وهى — إلى جانب كونها صفات وراثية — فإنها تتأثر بدرجة عالية بكل من العوامل البيئية وعمليات الخدمة الزراعية. ويتحدد الطعم — كذلك — بالحموضة المعايرة لعصير الثمرة، وبنسبة السكريات إلى الأحماض، وكذلك بالرقم الأيدروجينى (الـ pH) للعصير.

يرتبط "طعم الطماطم" إيجابيًّا بمحتوى ثمار الطماطم من الجلوكوز والسكريات المختزلة، وسلبيًّا بمحتواها من حامض الجلوتامك (Bucheli وآخرون ١٩٩٩).

المواد الصلبة الذائبة الكلية

إمدادات الغذاء للثمار وفواقده

يتم إمداد كل عنقود ثمرى بالغذاء المجهز من الأوراق المجاورة له، ويتوقف مدى نشاط هذه الأوراق فى تصنيع الغذاء على التغيرات النسبية التى تحدث فى مدى قوة العنقود الثمرى على اجتذاب الغذاء المجهز إليه. وبينما يجذب العنقود الثمرى إليه معظم الغذاء الذى يجهز فى الورقة التى تقع أسفله مباشرة، فإن العنقود يتلقى نسبة أقل من الغذاء الذى يُصَنَّع فى الورقة التى تقع أعلى منه مباشرة، وربما يكون مرد ذلك إلى إسهام الورقة العليا فى إمداد القمة النامية للنبات — كذلك — بالغذاء المجهز، كما أن اتصالها الوعائى بالعنقود الذى يقع أسفل منها يكون ضعيفًا نسبيًّا (Kanahama ١٩٩٤).

كذلك فإن ثمار الطماطم الخضراء تحتوى على كلوروفيل وتقوم بعملية البناء الضوئى، ولكن معدل تثبيت الكربون فيها — حتى تحت ظروف التشبع الضوئى — يبقى فى حدود ٠,٠٦٤ ملليجرامًا من ثانى أكسيد الكربون لكل جرام من الوزن الطازج للثمرة فى الساعة فى الثمار الصغيرة جدًّا، بينما لا يحدث أى تثبيت يمكن ملاحظته

فى الثمار الأكبر. ولا يتعدى مجمل ما تثبته الثمار من الكربون أكثر من ١٠٪–١٥٪ مما يتراكم فيها من العنصر.

أما معدل تنفس الثمار فإنه ينخفض من ٠,٤–٠,٦ ملليجرامًا من ثانى أكسيد الكربون لكل جرام من الوزن الطازج للثمرة فى الساعة فى الثمار التى يبلغ عمرها أسبوعين، إلى نحو ٠,٠٥–٠,٠٧ ملليجرامًا فى الثمار الخضراء المكتملة النمو، ثم يتضاعف هذا الحد الأدنى لمعدل التنفس أثناء الكلايمكترك خلال مرحلة التلون البرتقالى.

وعمومًا.. نجد أن الثمرة تفقد بالتنفس حوالى ٧ مجم من الكربون يوميًّا عندما تبلغ نحو ٢٠٪ من حجمها النهائى، ويشكل ذلك نحو ٥٪ من كمية الكربون التى تنتقل إليها حينئذٍ، وتزداد الكمية المفقودة بالتنفس إلى ٢٠ مجم من الكربون يوميًّا عندما تبلغ الثمرة نحو ٩٠٪ من حجمها النهائى، حيث يشكل الفقد حينئذٍ نحو ٢٥٪ من الكربون الذى ينتقل إليها (عن Ho & Hewitt ١٩٨٦).

تطور نسبة المادة الجافة فى الثمرة ومكوناتها

تشكل المادة الجافة حوالى ١٧٪ من وزن مبيض الزهرة قبل الإخصاب. ومع بداية نمو الثمرة.. تنخفض نسبة المادة الجافة سريعًا إلى أن تصل إلى أقل من ١٠٪ فى اليوم العاشر بعد الإخصاب، ثم إلى ٥٪–٧٪ فى اليوم العشرين، ثم تبقى نسبة المادة الجافة ثابتة بعد ذلك عند هذا المستوى إلى حين النضج. هذا إلا أن نسبة الكربون من المادة الجافة يبقى ثابتًا عند حوالى ٣٩٪ خلال مختلف مراحل نمو الثمرة.

وبالنسبة لمحتوى الثمرة من العناصر المعدنية فإن البوتاسيوم، والنيتروجين، والفوسفور يشكلون — معًا — أكثر من ٩٠٪ من محتوى الثمرة الكلى منها. وأثناء نمو الثمرة تنخفض نسبة النيتروجين من ٣٪ إلى ٢٪ من المادة الجافة، وتنخفض نسبة الفوسفور من ٠,٦٪ إلى ٠,٤٪، بينما تبقى نسبة البوتاسيوم ثابتة عند حوالى ٣٪–٤٪.

وتشكل السكريات – وخاصة الجلوكوز والفراكتوز – حوالى نصف محتوى الثمرة من المادة الجافة، أو نحو ٦٥٪ من محتوى الثمرة الناضجة من المواد الصلبة الذائبة الكلية. ويتراوح محتوى السكريات بين ١,٧٪ و٩٪ من الوزن الطازج للثمرة، بينما تتراوح نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية بين ٤٪ و٩٪ من الوزن الطازج حسب الصنف.

وبمجرد بدء الثمرة فى النمو يزداد محتواها من السكريات المختزلة من ٠,١٪ من الوزن الطازج للمبيض إلى ٢٪ من الوزن الطازج للثمرة فى خلال أسبوعين، ثم إلى ٣,٥٪ بعد ذلك وإلى حين النضج. وتكون نسبة السكريات أعلى فى الجدر الثمرية عنها فى مساكن الثمرة.

يُشكِّل السكروز ١٪ فقط من المادة الجافة، ويتراوح مداه من ٠,١٪ إلى ٠,٢٪ من الوزن الطازج للثمرة، ولكن أيض السكروز أيض هام أيضًا لنمو الثمرة. ونجد أن محتوى الثمرة من السكريات المختزلة والنشا ينخفض سريعًا بعد التلقيح مباشرة، وينخفض محتوى السكروز – خاصة – من ١٪ من الوزن الطازج للمبيض إلى ٠,٢٪ من الوزن الطازج للثمرة فى خلال ٨ أيام. ويبقى محتوى الثمرة من السكروز منخفضًا خلال مختلف مراحل نموها، على الرغم من كونه الصورة التى ينتقل عليها معظم الغذاء المجهز إلى الثمرة. ونظرًا لأن معدل انتقال الغذاء المجهز إلى الثمرة يتناسب عكسيًّا مع تركيز السكروز؛ لذا.. فإن تحول السكروز إلى سكريات أخرى – أولاً بأول – يعد عاملاً هامًا لتنظيم انتقال الغذاء المجهز إلى الثمرة.

ولمعدل تراكم النشاء أثناء فترة النمو النشط للثمرة أهمية كبيرة فى تحديد المحتوى النهائى للثمرة من المواد الصلبة الذائبة الكلية. ويصل معدل تراكم النشا إلى أقصى مداه بعد نحو ٢٠ يومًا من تفتح الزهرة، حيث يشكل النشا – حينئذٍ– حوالى ٣٠٪ من المادة الجافة المتراكمة يوميًّا، ثم تنخفض النسبة إلى ٢٠٪ يوميًّا ما بين اليوم الخامس والعشرين واليوم الثلاثين من تفتح الزهرة. ويكون تراكم النشا بمعدل أكبر فى المساكن الثمرية عنه

فى الجدر الثمرية. ويبدأ النشا فى التحول إلى سكريات مختزلة حينما تصل الثمرة إلى أقصى نمو لها، ويكون ذلك فى مرحلة اكتمال النمو وهى خضراء mature green stage، ويكون محتواها من النشا – حينئذٍ – ١٪ من المادة الجافة، أو نحو ٠,٠٣٪ من وزنها الطازج. ويتبين مما تقدم السبب فى العلاقة القوية التى تشاهد بين نسبة النشا فى الثمار الخضراء مكتملة النمو، ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى الثمار الناضجة.

وتزداد الأحماض العضوية – كنسبة مئوية من الوزن الطازج للثمرة – أثناء نمو الثمار، حيث تشكل حوالى ١٣٪ من المادة الجافة. وفى البداية يكون حامض الماليك هو الحامض السائد، بينما لا يشكل حامض الستريك سوى ٢٥٪ من الحموضة الكلية، ولكن تنعكس الصورة فى الثمار الناضجة حيث يبلغ تركيز حامض الستريك أكثر من ضعف تركيز حامض الماليك (عن Ho & Hewitt ١٩٨٦).

وبينما يبلغ تركيز الأحماض العضوية فى المساكن حوالى ضعف تركيزها فى الجدر الثمرية، فإن تركيز السكريات (الجلوكوز والفراكتوز أساسًا) يبقى ثابتًا بين المساكن والجدر الثمرية (Ootake وآخرون ١٩٩٤).

وتجدر الإشارة إلى أن محتوى الثمار من النشا – الذى ينتقل إليها من الأوراق – يزداد فى المراحل المبكرة من تكوين الثمار ولكنه ينخفض تدريجيًّا أثناء نضج الثمرة، إلى أن يصل إلى الصفر عند اكتمال النضج، بسبب تحوله إلى سكريات (عن Young وآخرين ١٩٩٣).

وترجع أهمية محتوى ثمار الطماطم من المواد الصلبة الكلية والمواد الصلبة الذائبة إلى كونها العامل رقم واحد فى الأهمية بالنسبة لطماطم التصنيع، حيث تؤدى أى زيادة فيهما – مهما قلَّت – إلى زيادة محصول المنتج المُصنَّع، مع خفض تكاليف عملية التركيز التى تجرى بهدف التخلص من الرطوبة الزائدة عند إنتاج منتجات الطماطم المُصنَّعة مثل العصائر، والكاتشب، والصلصة (المعجون).

نوعيات المواد الصلبة الذائبة

تتراوح نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى أصناف الطماطم التجارية بين ٣٪ و٧٪. بينما تبلغ نسبة المواد الصلبة غير الذائبة نحو ١٪، وهى تتكون من البذور وجلد الثمرة.

وتتراوح نسبة السكريات الكلية فى ثمرة الطماطم من ٢,١٩٪ إلى ٣,٥٥٪ على أساس الوزن الطازج. وتشكل السكريات المختزلة نحو ٥٠٪ إلى ٦٠٪ من المواد الصلبة الذائبة الكلية، وهى تتكون من الجلوكوز والفراكتوز. ويوجد الفراكتوز دائمًا بكميات أكبر من الجلوكوز. ويوجد السكروز أيضًا فى ثمار الطماطم، إلاّ أن نسبته نادرًا ما تزيد عن ٠,١٪ من الوزن الطازج فى الأصناف التجارية. وتحتوى الثمار الخضراء على نسبة منخفضة من النشا، ويزداد انخفاضها تدريجيًّا إلى أن تصل إلى الصفر فى الثمار الناضجة (عن Gould ١٩٧٤). وقد وجدت علاقة موجبة بين نسبة النشا فى الثمار الخضراء، ونسبة المواد الصلبة الذائبة فى الثمار الناضجة (Dinar & Stevens ١٩٨١).

أما باقى مكونات الثمرة، فإنها تُقَّدر على أساس الوزن الطازج كما يلى:

الأحماض: ٠,٣٪ – ٠,٥٪.

البروتينات الذائبة والأحماض الأمينية: ٠,٨٪ – ١,٢٪

العناصر المعدنية: ٠,٣٪ – ٠,٦٪.

كلوريد الصوديوم: ٠,٠٥٪ – ٠,١٪

ويبين جدول (٣–٤) تفاصيل مكونات ثمرة الطماطم من مختلف المواد الصلبة الذائبة.

العوامل المؤثرة فى نسبة المواد الصلبة الذائبة

تتأثر نسبة المواد الصلبة الذائبة بعدد من العوامل، كما يلى:

١– يتناسب محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية عكسيًّا مع المحصول فى الصنف الواحد وفى الأصناف المختلفة، ويبلغ معامل الارتباط بينهما –٠,٩٤٧؛ ويعنى ذلك أن العوامل المؤدية إلى زيادة المحصول – مثل توفر الرطوبة الأرضية – هى نفسها المؤدية فى الوقت ذاته إلى نقص نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية.

جدول (٣-٤): تفاصيل مكونات ثمرة الطماطم على أساس الوزن الجاف (عن Grierson & Kader ١٩٨٦).

المركب أو المادة	النسبة المئوية
السكريات	
الجلوكوز	٢٢
الفراكتوز	٢٥
السكروز	١
المواد غير القابلة للذوبان فى الكحول	
البروتين	٨
المواد البكتينية	٧
الهيميسيليلوز	٤
السيليلوز	٦
الأحماض العضوية	
حامض الستريك	٩
حامض الماليك	٤
العناصر	
(تتكون أساسًا من البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والفوسفور)	٨
مركبات أخرى	
الدهون	٢
الأحماض الأمينية ثنائية الكربوكسيل Dicarboxylic amino acids	٢
الصبغات	٠,٤
حامض الأسكوربيك	٠,٥
المركبات القابلة للتطاير Volatiles	٠,١
أحماض أمينية أخرى وفيتامينات وبولى فينولات	١,٠

٢- ترتبط نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية سلبيًّا مع معامل الحصاد Harvest Index، وإيجابيًّا مع المساحة الكلية لأوراق النبات (Hewitt & Stevens ١٩٨١)، وسرعة انتقال المواد الغذائية المصنعة من الأوراق إلى الثمار، ومدى جذب الثمار لها، ومدى قدرة الثمار على تمثيل الكربون (عن Young وآخرين ١٩٩٣).

٣- نسبة الثمار إلى النمو الخضرى:

وجد أن محتوى ثمار الطماطم لم يتغير بين الثمار القاعدية والقمية على الساق، ولكنه اعتمد – جوهريًّا – على نسبة الثمار إلى الأوراق؛ فعندما كان التنافس مع الثمار النامية ضعيفًا كانت الثمار أعلى فى محتواها من السكر والأحماض والمواد الكاروتينية، وإن لم تكن – جوهريًّا – أكبر حجمًا (Bertin وآخرون ٢٠٠١).

٤- الحرارة والضوء:

تُناسب الحرارة المعتدلة، والإضاءة القوية، والفترة الضوئية الطويلة زيادة معدل البناء الضوئى؛ مما يؤدى إلى زيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة. ويؤدى ارتفاع درجة الحرارة مع بقاء الإضاءة على ما هى عليه إلى زيادة استهلاك الغذاء المجهز فى التنفس؛ الأمر الذى ينعكس سلبيًّا على نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى الثمار.

وتتأثر نسبة السكر بشدة وترتبط بالإشعاع الشمسى؛ فتزيد بزيادته خلال شهور الصيف، وتقل بنقصه خلال شهور الشتاء.

ولقد وُجد فى فلوريدا أن ثمار الطماطم التى تُحصد فى شهر ديسمبر يزداد فيها الإحساس بالأحماض والحموضة ويقل فيها الإحساس بالسكريات والحلاوة، وبالتالى تكون أقل جودة من حيث الطعم مقارنة بتلك التى تُحصد فى يونيو، بينما تكون الثمار التى تحصد فى مارس وسطًا بينهما (Baldwin وآخرون ٢٠١٥).

٥- الرطوبة الأرضية:

تؤدى زيادة الرطوبة الأرضية إلى زيادة المحصول؛ الأمر الذى ينعكس سلبيًّا على نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى الثمار، إلا أن الأصناف تختلف فى مدى تأثرها بالرطوبة الأرضية. ويجب توقيت موعد الريّات الأخيرة دائمًا، بحيث لا تؤثر سلبيًّا على نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية.

ولقد أدى تجفيف التربة جزئيًّا، والرى غير الكافى إلى خفض كمية المحصول الصالح للتسويق بنسبة ٥٢٪، و٥٦٪، على التوالى، وكان مرد هذا الانخفاض فى المحصول إلى حدوث نقص فى متوسط وزن الثمرة، وليس لانخفاض فى عدد الثمار بالنبات. هذا فى الوقت الذى حسَّن فيه خفض الرطوبة الأرضية كلاًّ من محتوى المواد الصلبة الذائبة الكلية، والحموضة المعايرة، والرقم الأيدروجينى للعصير، ولكن دون التأثير على أى من تركيز الليكوبين أو لون الثمار (Casa & Rouphael ٢٠١٤).

٦- ملوحة التربة ومياه الرى:

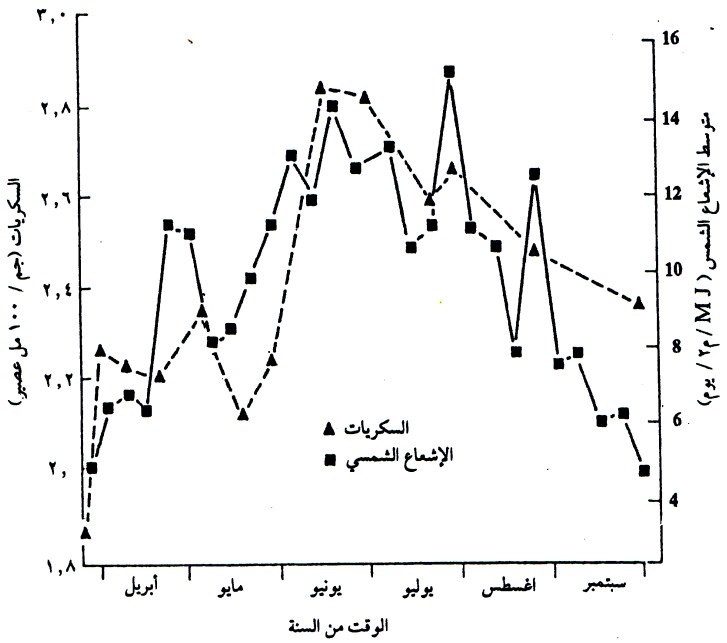
تؤدى زيادة ملوحة التربة أو مياه الرى إلى نقص محصول الثمار ونقص فى حجمها، مع تحسُّن فى طعمها، وزيادة فى كل من محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية، والسكريات المختزلة (الجلوكوز والفراكتوز)، وزيادة فى حموضتها المعايرَة، ونقص فى رقمها الأيدروجينى (الـ pH)، وزيادة فى محتوى الجدار الثمرى الخارجى من مختلف الصبغات (أى يتحسن لونها)، مع زيادة فى سرعة نضج الثمار وزيادة إنتاجها للإثيلين، وزيادة فى نشاط الإنزيمات المحللة للمركبات البكتينية (التى تؤدى إلى سرعة فقد الثمار لصلابتها). وفى الوقت ذاته يزداد محتوى الثمار من الصوديوم والكلور وينخفض محتواها من كل من البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم (Mizrahi ١٩٨٢).

وباستثناء ضعف قدرة الثمار على التخزين فى التركيز المرتفع لملح الطعام (٦٠٠٠ جزء فى المليون) فإن جميع التغيرات الأخرى فى الصفات الثمرية – والتى أسلفنا بيانها – هى تغيرات مرغوب فيها. هذا إلا أن هذه التغيرات تكون مصحوبة بنقص فى المحصول إذا تعرضت النباتات للملوحة العالية قبل أن تقترب الثمار من مرحلة اكتمال نموها. ويمكن التغلب على مشكلة نقص المحصول تلك، وكذلك صغر حجم الثمار إذا ما أُعطيت النباتات معاملة الملوحة فى مرحلة متأخرة من نموها، بعد أن يتكون بها عدد

كبير من الثمار، وحتى بعد أن تصل بعض الثمار إلى مرحلة اكتمال نموها؛ فلقد أحدث رى نباتات الطماطم بمياه ذات تركيز معتدل من الأملاح (EC = ٣,٠ مللى موز/سم) بداية من المراحل المتأخرة للنمو (عند وصول أول ثمرة إلى طور بداية التلوين) تحسُّنًا جوهريًّا فى صفات الثمار دون التأثير جوهريًّا على المحصول (Mizrahi وآخرون ١٩٨٨).

٧- مرحلة النضج:

تُزداد نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية بازدياد نضج الثمار، وخاصة بداية من ظهور اللون الأصفر فى الجدر الثمرية، ومع زيادة شدة الإشعاع الشمسى (شكل ٣-١).



شكل (٣-١): العلاقة بين شدة الأشعة الشمسية، ونسبة السكر فى الثمار والتغيرات فيهما خلال الفترة من مارس إلى سبتمبر فى المملكة المتحدة (عن Grierson & Kader ١٩٨٦).

٨- التحليق الجزئى للساق:

أدى لف سلك حول قاعدة ساق نبات الطماطم بين الورقة الفلقية والورقة الحقيقية الأولى إلى زيادة قُطر ساق النبات أعلى السلك فى خلال ١١ يومًا من المعاملة، وأصبحت الساق أقل استطالة، وانخفض وزن النموين الخضرى والجذرى بنسبة ٥٨٪، و٣٢٪، على التوالى، وانخفض المحصول الصالح للتسويق الذى جُمع من العناقيد الثلاثة الأولى بنسبة ٤٩٪ إلى ٨٩٪. وفى المقابل .. ازداد تركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية فى الثمار بنسبة ١١٦٪ - ١٢٠٪، والسكروز بنسبة ٢٦٣٪ - ٤٨٣٪، والفراكتوز والجلوكوز بنسبة ١٣٥٪- ١٥٥٪ (Takahata & Miura ٢٠١٤).

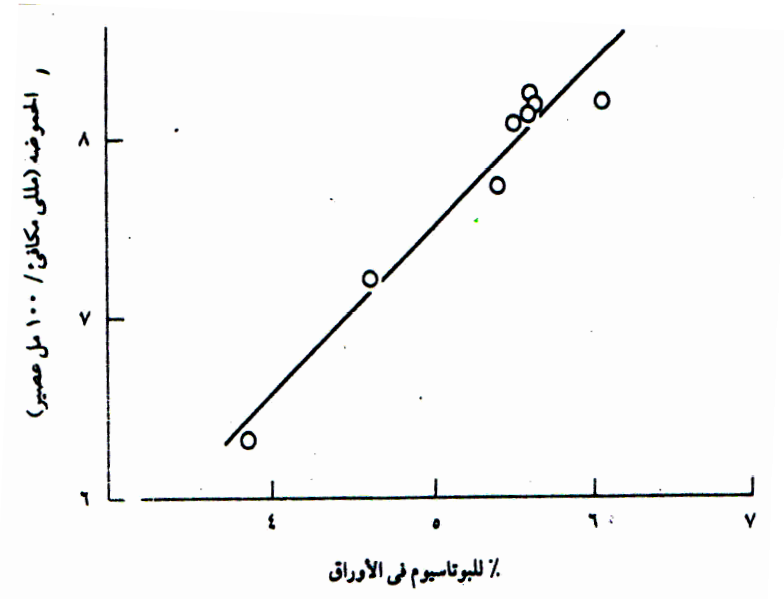
الحموضة المعايرة

تتأثر الحموضة المعايرة بمحتوى الثمار من الأحماض العضوية التى من أهمها حامض الستريك، ويليه فى الأهمية حامض الماليك، بينما توجد الأحماض العضوية الأخرى بتركيزات منخفضة جدًّا لا يكون لها تأثير فى تقدير الحموضة المعايرَة. وعلى الرغم من غنى الطماطم بحامض الأسكوربيك (فيتامين ج) فإن تأثيره على الحموضة المعايرة ضعيف.

وتعتبر شدة الإضاءة من العوامل الهامة المؤثرة على تركيز حامض الستريك الذى يزداد عند ضعف شدة الإضاءة، فى الوقت الذى ينخفض فيه تركيز السكريات المختزلة عند تظليل النباتات (Yanagi وآخرون ١٩٩٥).

وتتأثر الحموضة المعايرة بدرجة نضج الثمار، فتزداد تدريجيًّا مع النضج إلى أن تصل إلى أعلى مستوى لها عند بدء التلوين، ثم تقل تدريجيًّا بعد ذلك حتى تصل إلى أقل مستوى لها فى الثمار زائدة النضج (Stevens ١٩٧٢).

وتتأثر حموضة ثمار الطماطم بالتسميد البوتاسى (شكل ٣-٢)؛ حيث وجدت علاقة طردية مباشرة بين تركيز البوتاسيوم فى الأوراق، والحموضة المعايرة فى الثمار (عن Adams ١٩٨٦).



شكل (٣–٢): العلاقة بين تركيز البوتاسيوم فى الأوراق، والحموضة المعايرة فى الثمار.

ومع أن الطماطم تعد من الخضر الغنية بحامض الأسكوربيك ascorbic acid (فيتامين ج)، حيث يوجد بتركيز يتراوح من ١٠–٣٥ ملليجرام٪، إلا أن تأثيره على الحموضة المعايرة ضعيف (Stevens & Long ١٩٧١).

ويُبين جدول (٣–٥): تركيز الأحماض العضوية المختلفة فى عصير الطماطم الطازج.

جدول (٣–٥): تركيز الأحماض العضوية المختلفة فى عصير الطماطم الطازج (عن Gould ١٩٧٤)

الحامض	التركيز (ملى مكافئ/لتر)
ستريك citric	٦٠,٩٢
ماليك malic	٣,٧٢
لاكتيك lactic	١,٣٧
الفاكيتوجلوتورك alpha-ketoglutoric	١,١٠
أسيتيك acetic	١,٠٦
بيروليدون – كاربو كسيلك pyrolidone-carboxylic	٠,٨١
صكّنك succinic	٠,٦٠
أحماض عضوية غير معروفة	٠,١٧

هذا.. ويزداد محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك فى طرف الثمرة المتصل بالساق عنه فى وسط الثمرة، أو فى طرفها الزهرى، وذلك بسبب أن الطرف المتصل بالساق يكون أكثر تعرضًا للضوء – عادة – علمًا بأن تركيز الحامض يزداد فى الإضاءة القوية عنه فى الإضاءة الضعيفة.

وتأكيدًا لأهمية الضوء على محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك.. وجد Yanagi وآخرون (١٩٩٥) أن تظليل نباتات الطماطم بنسب تراوحت بين ٢٥٪، و٨٠٪ أدى إلى نقص تدريجى فى محتوى ثمارها من حامض الأسكوربيك.

ولهذا السبب نجد أن تركيز الفيتامين يزداد فى العروات التى يسودها نهارٌ طويل، وإضاءة قوية أثناء نضج الثمار، كما يقل تركيزه عند زيادة التسميد الآزوتى المسبب لزيادة النمو الخضرى، وتغطيته للثمار. ويكون تركيز الحامض أعلى فى الثمار مكتملة النمو الخضراء والناضجة الحمراء.

وقد وجد أن الحموضة المعتدلة لوسط الزراعة قد تُسهم فى تراكم حامض الأسكوربيك فى الطماطم (Hou وآخرون ٢٠١٥).

الرقم الأيدروجينى (الـ pH)

يُعد الـ pH دليلاً أفضل للحموضة المعايرة. ويجب أن يكون pH العصير أقل من ٤,٤، وذلك لتجنب المشاكل التى تُحدثها الكائنات المحبة للحرارة thermophylic organismis، لأن ارتفاع رقم الـ pH عن ذلك يتطلب زيادة درجة حرارة التعقيم، وزيادة مدته للتخلص من هذه الكائنات، ويترتب على ذلك خفض نوعية المنتج المُصنَّع، وزيادة تكاليفه (عن Stevens ١٩٧٢). وقد ثبت أن البكتيريا *Clostridium botulinum* المسببة للتسمم البوتشيلينى يمكنها النمو، وإنتاج السموم فى الأغذية التى يكون حموضتها ٤,٨، أو أعلى، بما فى ذلك منتجات الطماطم.

ويتأثر رقم الحموضة فى عصير الطماطم بالعوامل التالية:

١- يبلغ رقم الحموضة أقل مستوى له عند بدء تلوين الثمار، ويزداد تدريجيًّا مع النضج إلى أن يصل إلى أقصى مستوى له فى الثمار زائدة النضج.

٢- ينخفض الـ pH فى حالة موت النموات الخضرية قبل الحصاد.

٣- ينخفض الـ pH فى حالة إصابة الثمار بفطر الالترناريا Alternaria، أو بالأنثراكنوز Anthracnose.

ولا يبدو أن الـ pH يتأثر كثيرًا بالعوامل البيئية والزراعية، أو بالتسميد كما تتأثر الحموضة المعايرة، كما لم يلاحظ أى ارتباط يذكر بين الـ pH، والحموضة المعايرة (Sapers وآخرون ١٩٧٨).

ووجدت علاقة خطية بين الحرارة – بداية من تفتح الزهرة حتى الحصاد فى الطماطم – و pH الثمار، بينما لم تكن للمعاملة بالإثيفون أى تأثير فى هذا الشأن (Renquist وآخرون ٢٠٠١).

ولقد قام Sapers وآخرون (١٩٧٧) بدراسة موسعة على ثمار ٣٥٦ صنفًا، و٢١٢ سلالة تربية جمعت من ٥٧ منطقة فى ٢٣ ولاية أمريكية. وقد وجد أن مدى الـ pH تراوح من ٤,١٦ فى الصنف والتر Walter إلى ٤,٥٤ فى الصنف أيس ٥٥ فى إف ACE 55 VF ، بالإضافة إلى حالات قليلة كان فيها الـ pH ٤,٧ أو أعلى قليلاً، وكان ذلك فى أصناف خاصة جمعت من مناطق معينة كانت فيها العينات زائدة النضج، وقد تَبيّن من هذه الدراسة ما يلى:

١- لم يحدث تغير ثابت فى pH عصير ثمار أصناف الطماطم المنتجة خلال الـ ٢٥ عامًا السابقة للدراسة، (أجريت الدراسة عام ١٩٧٦)، فكان pH الأصناف الجديدة أكبر أو أقل من الأصناف القديمة.

٢- لوحظ أن ثمار الأصناف ذات الـ pH المرتفع نسبيًّا كانت تميل للشكل الكروى، أو الكروى المضغوط، مثل: أيس ٥٥ فى إف ACE 55 VF، وجاردن ستيت Garden State، وبج جيرل Gig Girl. وقد ازداد الـ pH فيها عن ٤,٦، إلا أنه لم يصل إلى ٤,٨.

٣- لوحظ ارتفاع نسبى فى pH ثمار أصناف التصنيع ذات الثمار المكعبة الدائرية squard round، والكمثرية، والمطاولة.

٤- لم يكن الـ pH مرتفعًا فى الأصناف ذات الثمار الصفراء، أو البرتقالية.

نسبة السكريات إلى الأحماض وأهمية عدد مساكن الثمرة

تتأثر نكهة الطماطم بالمركبات القابلة للتطاير كما سبق بيانه، أما المذاق، فيتأثر أساسًا بنسبة السكريات إلى الأحماض، علمًا بأن النكهة يتم الإحساس بها عن طريق الأنف، أما المذاق، فيكون الإحساس به عن طريق الفم. وقد وجد أن أفضل طعم للطماطم يكون فى الثمار التى لا تقل فيها نسبة السكريات إلى الأحماض عن ١٠ : ١، بشرط ألا تقل نسبة السكريات عن ٣٪، ويعنى ذلك ألا تقل نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية عن ٥٪. ويقصد بنسبة الأحماض الحموضة المعايرة كنسبة مئوية من حامض الستريك. ويختلف الدور النسبى للسكريات والأحماض المختلفة فى التأثير على مذاق ثمرة الطماطم، فلكل من الفراكتوز وحامض الستريك دور أكبر فى هذا الشأن بالمقارنة بالجلوكوز وحامض الماليك.

ويتحسن مذاق ثمرة الطماطم كلما ازدادت نسبة أنسجة المساكن locular tissue إلى الجدر الثمرية اللحمية pericarp، بشرط ارتفاع نسبة كل من السكريات والأحماض. ويرجع ذلك إلى التأثير الكبير لنسبة المساكن إلى الجدر الثمرية على المتوسط العام لنسبة السكريات إلى الأحماض فى الثمرة، حيث تكون السكريات المختزلة أعلى بنسبة ٢٠٪ والجلوكوز أعلى بنسبة ٣٨٪ فى الجدر الثمرية عما فى المساكن، فى الوقت الذى

يتساوى فيه تركيز كلٍ من الفراكتوز والمواد الصلبة الذائبة الكلية فى كلٍ من الجدر الثمرية والمساكن، بينما تزيد الحموضة المعايرة بنسبة ٤٨٪ وحامض الستريك بنسبة ٥٧٪ فى المساكن عنه فى الجدر الثمرية، ويتساوى الـ pH وتركيز حامض الماليك فى كل من الجدر الثمرية والمساكن (Stevens وآخرون ١٩٧٧).

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 وبيتو ٨٦.

وعمومًا.. فإن طعم الطماطم يكون جيدًا عند ارتفاع نسبة السكريات مع ارتفاع الأحماض نسبًّا، بينما يكون طعم الثمار حامضيًّا أو لاذعًا عند انخفاض نسبة السكريات مع ارتفاع الأحماض، ويكون الطعم ضعيفًا عند ارتفاع نسبة السكريات مع انخفاض الأحماض (عن Grierson & Kader ١٩٨٦).

وقد وُجد أن المعاملة بحامض الأبسيسك أحدثت زيادة فى محتوى الثمار من السكريات الذائبة، بينما خفضت من تركيز الأحماض العضوية (Barickman وآخرون ٢٠١٦).

عوامل أخرى تؤثر فى الطعم

١- التطعيم:

وجد أن تطعيم صنف الطماطم Brandywine (وهو من الأصناف القديمة المتوارثة heirloom المرغوب فيها) على أى من الأصلين: هجين الطماطم Survivor، أو هجين الطماطم النوعى Multifort لا يؤثر على أى من صفات: محتوى الثمار من فيتامين C أو المواد الصلبة الذائبة أو الـ pH أو الحموضة المعايرة، إلاّ أن التطعيم قلل جوهريًّا من درجة القبول فى اختبارات التذوق (Barrett وآخرون ٢٠١٢).

٢- التعرض للأوزون:

يؤثر تعريض النباتات للأوزون بتركيز ٥٠٠ ميكروجرام/م^{٣} لمدة أربع ساعات على جودة الثمار. وبينما قللت معاملة الأوزون من عدد الثمار المكتملة التكوين ومن أحجامها، فإنها لم تؤثر جوهريًّا فى معدل الإزهار ومعدل عقد الثمار، وكانت الأزهار والثمار الصغيرة هى الأكثر تأثرًا وقت المعاملة. وقد ازداد محتوى ثمار النباتات التى عُوملت بالأوزون فى كلٍ من السكريات الذائبة الكلية، والأحماض العضوية الكلية، وحامض الأسكوربيك، ولكن انخفضت فيها نسبة السكر إلى الحامض؛ الأمر الذى كان مرده – أساسًا – إلى زيادة محتوى حامض الماليك والأسكوربيك والجلوكوز مع الانخفاض فى محتوى السكروز (Thwe وآخرون ٢٠١٥).

لزوجة العصير

ترتبط لزوجة viscosity عصير الطماطم ايجابيًّا بكل من صلابة الثمار، ومحتوى العصير من المركبات غير القابلة للذوبان فى الكحول. ويعد هذا الارتباط عاليًا بالقدر الذى يكفى للانتخاب لصفة اللزوجة العالية بانتخاب الثمار الصلبة (Stevens ١٩٧٩). وتشكل المركبات عديدة التسكر غير الذائبة نحو ٠,٧٪ من عصير الطماطم، ويتكون نصفها تقريبًا من البكتينات pectins والأرابينوجالاكتانات arabinogalactans، ويتكون نحو ربعها من الزيلانات xylans، والأرابينوزيلانات arabinoxylans، وحوالى ربعها من السيليلوز.

وقد قسَّم Stevens & Paulson (١٩٧٦) المركبات غير القابلة للذوبان فى الكحول من حيث مدى ارتباطها مع لزوجة العصير كما يلى:

١- مركبات ترتبط بشدة بلزوجة العصير، وهى البولى جالاكتيورونيدات Polygalacturonides.

٢- مركبات أقل ارتباطًا بلزوجة العصير، ولكنها تؤثر عليه، خاصة فى التركيزات

العالية، وهى:

Water insoluble polysaccharides

Pectinol-solubilized polysaccharides

٣- مركبات ليس لها تأثير يذكر على لزوجة العصير، وهى:

Complex polysaccharides

Water-soluble polysaccharides