الحجم الصغير بالقرب من الحافة إلى خلايا أكبر نحو الداخل (عن Avigdori-Avidov ١٩٨٦).

وتتكون الثمرة الفقيرة achene من بذرة واحدة يلتصق بها الجدار الثمرى، وهو يتكون من نسيج المبيض الذى تتكون فيه البذرة. والثمرة الفقيرة بيضوية الشكل ovate يبلغ طولها حوالى ملليمتر واحد، ووزنها حوالى ٥١ مجم، ويوجد بسطحها بعض الثغور. وتتكون الثمرة الحقيقية الناضجة من طبقة بيريكارب صلب وسميك نسبيًّا، وقصرة رقيقة، وإندوسيرم يتكون من طبقة واحدة من الخلايا. وجنين صغير، ويكتمل تكوين الجنين فى خلال ١٠ أيام من تفتح الزهرة وإخصاب البويضة.

صفات الجودة

حجم الثمرة

نمو الثمرة فى الحجم

يكون منحنى نمو ثمار الفراولة زيجموىدى sigmoidal، ويتميز بالبطء فى البداية، يتبعه مرحلة من النمو السريع exponential، ثم مرحلة نمو متباطئ. وتحدث الزيادة الكبيرة فى نمو الثمرة بعد نضج أجنة البذور.

وتقسم مراحل نمو الثمرة – عادة – إلى: صغيرة خضراء، وكبيرة خضراء، وبيضاء، ووردية، وحمراء أو ناضجة. ولا تصل الثمرة إلى أقصى وزن، وطول، وقطر لها إلا فى مرحلة النضج الأحمر (عن Perkins-Veazie ١٩٩٥).

تزداد ثمار الفراولة فى الحجم تدريجيًّا أثناء تكوينها وتلوينها، وتتراوح الزيادة فى الحجم من مرحلة ربع التلوين إلى مرحلة التلوين الكامل بين ٢٣٪، و ٥٧٪ حسب الصنف وعوامل أخرى، بينما تبلغ الزيادة بين ¾ تلوين والتلوين الكامل ١٢–٢٣٪.

وتستمر ثمرة الفراولة فى النمو حتى تمام نضجها، ويستغرق ذلك حوالى ٣٠ يومًا. ولكن يختلف المدى من ٢٠ يومًا فى الظروف المثالية إلى ٦٠ يومًا عندما يكون النضج فى الجو البارد.

العوامل المؤثرة فى حجم الثمرة

يتوقف الحجم الذى تصل إليه ثمرة الفراولة على العوامل التالية:

١ – الصنف .. حيث تختلف أصناف الفراولة كثيرًا فى حجم ثمارها.

٢ – قوة نمو النبات.

٣ – مدى المنافسة التى تتعرض لها الثمرة من باقى الثمار فى العنقود .. ويرتبط ذلك العامل بجميع العوامل التالية.

٤ – وضع الزهرة فى النورة، حيث تعطى الأزهار الأولية أكبر الثمار، وتليها أزهار المستوى الثانى، فأزهار المستوى الثالث، فالرابع (يراجع الوصف النباتى بخصوص مستويات الأزهار بالنورة). وتؤدى إزالة الأزهار الأولى بالنورة إلى زيادة وزن الثمار التى تكونها الأزهار التالية لها، بينما لا تؤثر إزالة الأزهار المتأخرة فى النورة على وزن الثمار التى كونتها الأزهار التى سبقتها (Janic & Eggert ١٩٦٨، و Dona ١٩٨٠).

هذا .. ويصل وزن ثمار المستويين الثانى والثالث إلى حوالى ٥٠٪، و ٢٥٪ – على التوالى – من وزن ثمار المستوى الأول.

٥ – عدد الأمتعة بالزهرة، ويرتبط هذا العامل بشدة مع العامل السابق، حيث يقل عدد الأمتعة بالزهرة بتدنى مستواها، ويقل معها عدد ما تحمله الثمرة من بذور، ووزن النسيج الثمرى لكل بذرة. وتكون الظاهرة أكثر وضوحًا فى الأصناف ذات الثمار الكبيرة بطبيعتها عما فى الأصناف ذات الثمار الصغيرة (Avidov–Avidori ١٩٨٦).

ويعتبر عدد الثمار الحقيقية بكل سنتيمتر مربع من سطح الثمرة الناضجة مقياسًا لمدى اكتمال تكوينها؛ الأمر الذى يتوقف على العوامل البيئية والصنف. وقد وجد أن وزن ثمرة الفراولة يرتبط إيجابيًّا بكل من عدد الثمار الفقيرة بالثمرة، وعدد الثمار الفقيرة/سم^{٢} من سطح الثمرة (Strik & Proctor ١٩٨٨).

٦ – عدد الخلايا بالتخت الزهرى، حيث يتوقف هذا العامل على الظروف البيئية التى تسود أثناء تكشف البراعم الزهرية.

يحدث معظم الانقسام الخلوى قبل الإخصاب. وبينما لا يزيد إسهام الانقسام الخلوى بعد الإخصاب – والذى يكون قليلاً جدًّا – عن ١٥–٢٠٪ من النمو الكلى

للثمرة، فإن معظم الزيادة فى عرض طبقة القشرة قبل تفتح الزهرة يكون مرجعها إلى الانقسامات الخلوية. ويحدث الانتقال إلى زيادة الخلايا فى الحجم بصورة تدريجية، ولكن تلك الزيادة تكون هى المسئولة عن معظم الزيادة فى حجم الثمرة بعد الإخصاب؛ فمثلاً .. تكون ٩٠٪ من الزيادة فى نمو نسيج القشرة بعد الإخصاب بسبب الزيادة فى حجم الخلايا التى سبق أن تكونت بالفعل. وتكون الزيادة النسبية فى عرض القشرة بطيئة فى البداية، ثم تزداد تدريجيًا، إلى أن تصل إلى أكبر سرعة لها فى المرحلة الأخيرة من تكوين الثمرة (عن Avigdori-Avidov ١٩٨٦).

وقد بلغ متوسط عدد الخلايا فى ثمرة الفراولة الناضجة حوالى ٠,٧٢ × ١٠^٦ فى الصنف تيلليكم Tillikum، و ١,٩٦ × ١٠^٦ فى الصنف ترای ستار Tristar، و ٢,٩٤ × ١٠^٦ فى الصنف سلفا Selva، وجميعها أصناف محايدة للفترة الضوئية. وقد ظهرت الاختلافات النسبية بين الأصناف فى عدد خلايا التخت الزهرى عند وقت تفتح الزهرة. وفى جميع الأصناف كان انقسام الخلايا لوغارتميًا لمدة ١٠ أيام بعد تفتح الزهرة، ثم توقف الانقسام فى اليوم الخامس عشر. هذا بينما ازداد متوسط حجم الخلية ببطء خلال فترة الانقسام الخلوى، ولكنه ازداد بسرعة بصورة خطية لمدة ١٠ أيام بعد توقف الانقسام الخلوى. وقد ازداد متوسط حجم الخلية بمقدار يزيد عن ١٢ ضعف بعد تفتح الزهرة، وبلغ حوالى ٦ × ١٠^٦ ميكرومتر^٣ فى الثمار الناضجة. ولم تكن للاختلافات الكبيرة بين الأصناف فى حجم الثمار الناضجة أية علاقة بأى اختلافات بينها فى فترة الانقسام الخلوى بعد تفتح الأزهار؛ وفى متوسط حجم الخلية، وإنما كان مردها أساسًا إلى اختلافها فى عدد خلايا التخت الزهرى وقت تفتح الأزهار (Cheng & Breen ١٩٩٢).

٧ – الحجم النهائى الذى تصل إليه خلايا التخت الزهرى وحجم المسافات بينها:

ترجع معظم الزيادة فى حجم ثمرة الفراولة إلى كل من عدد الخلايا الموجودة ومدى الزيادة فى حجمها. ويتوقف انقسام الخلايا بعد ٧ أيام من سقوط البتلات أى بعد حوالى ١٥ يومًا من تفتح الزهرة. وتكون الزيادة فى حجم خلايا القشرة أكبر عما فى الأجزاء الأخرى من الثمرة.

تبدو خلايا الثمرة بعد ٢١ يومًا من سقوط بتلات الزهرة كبيرة وذات فجوات

عصارية وقد اختفت منها البلاستيدات الخضراء ومعظم النشا. وتتصل هذه الخلايا ببعضها البعض أثناء نضج الثمرة بواسطة خيوط بروتوبلازمية. وتستمر الخلايا البارانشيمية للقشرة فى الازدياد فى الحجم أثناء نضج الثمرة، وتنفصل عن بعضها البعض عند الصفيحة الوسطى عند النضج، ولكن تبقى الميتوكوندريات طبيعية فى الثمار الناضجة.

صلابة الثمار

تتأثر صلابة الثمار كثيرًا بكل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية؛ فنجد فى الفترات التى تسودها حرارة مرتفعة ورطوبة عالية أن الثمار تكون طرية جدًّا، وتتكون بها تجاويف داخلية فى بعض الأصناف. وفى الجو الحار المطر قد تمتص الثمار الماء من خلال الطبقة الخارجية وتصبح طرية كذلك.

كذلك تنخفض صلابة الثمار فى حالات النمو الخضرى الغزير بسبب تأثير التظليل الذى تحدثه الأوراق.

وتكون طبقة بشرة الثمار الخارجية أكثر تحملاً للأضرار الميكانيكية فى الحرارة المنخفضة (عن Avidori-Avidov ١٩٨٦).

وتتحدد صلابة ثمار الفراولة بكل من متانة الجلد skin، وصلابة اللب الذى يليه (عن Hietaranta & Linna ١٩٩٩).

هذا .. وتفقد ثمار الفراولة كثيرا من صلابتها بين مرحلتى التلوين الأخضر والأبيض، وتستمر فى فقد صلابتها مع تقدم التلوين بالأحمر. ويبدو أن معظم هذا الفقد يحدث بسبب تحلل الصفيحة الوسطى بين الخلايا البرانشيمية. ويزداد أثناء ذلك تركيز البكتين الذائب من مستوى منخفض جدا بعد ١٤ يوما من سقوط البتلات إلى حوالى ٩٠٪ من البكتين الكلى بعد ٤٢ يوما من سقوط البتلات، أى عند مرحلة النضج الأحمر التام. كذلك قد يسهم تحلل الهيمسيليلوز والسليلوز فى فقد الثمار لصلابتها (عن Perkins-Veazie ١٩٩٥).

ومع فقد الثمار لصلابتها تنفصل الجدر الخلوية عن بعضها البعض على امتداد

الصفيحة الوسطى، وتنطلق البكتينات. وعلى الرغم من ازدياد نشاط إنزيمى البكتين مثيل إستريز pectinmethylestrase، والسليلوليز cellulase أثناء نضج الثمرة، إلا أنه لا يعرف إنزيم معين يعد مسئولاً عن فقد الثمار لصلابتها، وربما يرجع هذا الفقد إلى نشاط عديد من الإنزيمات، وربما يصاحب ذلك نقصًا فى الكالسيوم. وتجدر الإشارة إلى أن الإنزيم إندو بولى جالاكتورونيز endo-polygalacturonase – المسئول الأول عن فقد ثمار الطماطم لصلابتها – لم يُستدل على وجوده فى الفراولة (عن Perkins-Veazie & Collins ١٩٩٥).

لون الثمار

يستمر تمثيل الكلوروفيل والصبغات الكاروتينية فى ثمار الفراولة لمدة ٢٨ يومًا بعد سقوط البتلات، ثم يتوقف تمثيلها. وعلى الرغم من اندثار البلاستيدات الخضراء – التى توجد فى الثمار الخضراء – أثناء نضج الثمرة – دون أن تتحول إلى بلاستيدات ملونة – فإنه يمكن أن يستمر تواجد آثار من الصبغات الكاروتينية فى الثمار الناضجة.

ويرجع اللون الأحمر الزاهى لثمار الفراولة الناضجة إلى محتواها من الصبغات الأنثوسيانية الذائبة فى الماء، والتى يبدأ تمثيلها فى الثمار البيضاء فى اليوم الثامن والعشرين من تفتح الزهرة بتخليق الإنزيم phenylalanine-ammonia lyase، ويستمر حتى اليوم الخامس والثلاثين.

وتعد صبغة pelargonidin-3-glucoside هى الصبغة الرئيسية المسئولة عن اللون، وتليها فى الأهمية صبغة cyanidin-3-glucoside (جدول ٨–١)، ولكن يعرف عديد من الأنثوسينينات الأخرى فى ثمار الأصناف المختلفة من الفراولة، مثل: pelargonidin rutionside (عن Avidori-Avidov ١٩٨٦).

كذلك أمكن عزل المركب الأنثوسيانينى pelargonidin-3-0(6-0-malonyl-β-D-glucoside من ثمار ثلاثة أصناف من الفراولة، حيث تراوحت نسبته فيها بين ١٢٪، و ٣٠٪ من الأنثوسيانينات الكلية، ولكن لم يمكن عزله من صنفين آخرين (Tamura وآخرون ١٩٩٥).

يزداد إنتاج الأنثوسيانين مع الزيادة فى نمو الثمرة وفى محتواها من السكريات.

وعندما تصبح الثمرة زائدة النضج أو تحدث لها أضرار يصبح اللون الأحمر قاتمًا ومائلاً إلى الزرقة، بسبب التغير الذى يحدث فى pH الثمرة، وما يترتب عليه من تغير فى أيض الأنثوسيانين.

ويفضل عند التسويق الطازج أن تكون ثمار الفراولة حمراء فاتحة اللون أو حتى برتقالية، لأن هذه الثمار لا تميل إلى التغير إلى اللون المائل إلى الزرقة مع مرور الوقت عليها بعد الحصاد. أما عند تسويق الفراولة لأجل التصنيع فإنه تفضل الثمار المكتملة التلوين بالأحمر خارجيًّا وداخليًّا (عن Perkins-Veazie ١٩٩٦).

تتلون الثمار التى تقطف فى طور ربع التلوين طبيعيًّا أثناء التخزين، ولكنها تكون أقل محتوى من السكريات وأعلى محتوى من الأحماض عن الثمار التى تترك لتتلون طبيعيًّا. وحتى الثمار التى تحصد وهى مازالت بيضاء ضاربة إلى الخضرة ولايزيد تلوينها الوردى عن ١٠٪ .. هذه الثمار تتلون بصورة كاملة فى خلال يومين من التخزين على حرارة ٣٢°م ورطوبة ٩٠٪، وفى خلال أربعة أيام على حرارة ١٩°م، ولكنها لا تتلون جيدًا على حرارة ١٣°م (عن Avidori-Avidov ١٩٨٦).

ويزداد لون ثمار الفراولة دكنة فى الإضاءة الجيدة إذا لم تكن الثمار ملونة أصلاً عند حصادها.

طعم الثمار

إن الطعم الجيد لثمرة الفراولة يرجع إلى كل من درجة الحلاوة، ومستوى الحموضة، والنكهة معًا. فنجد – مثلاً – أن ارتفاع نسبة المواد الصلبة الذائبة بالثمار مع انخفاض حموضتها المعايرة لا يكفى لجعل الثمار جيدة الطعم، بل يتطلب الأمر ارتفاع الحموضة المعايرة كذلك.

ويزداد تركيز السكريات فى ثمار الفراولة تدريجيًّا بداية من المرحلة التى تكون فيها بيضاء اللون وحتى اكتمال نضجها، بينما ينخفض تركيز الأحماض.

ويتحسن طعم ثمار الفراولة فى الظروف الجوية التى تسودها حرارة معتدلة وشمس ساطعة نهارًا، مع حرارة مائلة إلى البرودة ليلاً. ويتناسب محتوى الثمار من السكريات طرديًّا مع شدة الإضاءة نهارًا.

السكريات

تشكل السكريات: الجلوكوز، والفراكتوز، والسكروز حوالى ٨٠-٩٠٪ من المحتوى الكلى للثمرة من المواد الصلبة الذائبة، بينما تشكل الأحماض وبعض المركبات الأخرى من ١٠-٢٠٪ منها. ويزداد محتوى ثمرة الفراولة من المواد الصلبة الذائبة تدريجيا أثناء نموها ونضجها من ٥٪ فى الثمار الصغيرة الخضراء إلى نحو ٦-٩٪ فى الثمار الحمراء الناضجة، ويتوقف المدى الذى تصل إليه تلك النسبة على الصنف والظروف البيئية (جدول ٨-١).

جدول (٨-١): المكونات الكيميائية لثمرة الفراولة (عن Perkins-Veazie ١٩٩٥).

المكون		المدى
		٪
السكريات		
السكروز		٢,٥-٠,٢
الفراكتوز		٣,٥-١,٧
الجلوكوز		٣,١-١,٤
البروتين		٠,٢٣
		(مجم/١٠٠ جم)
الأحماض الأمينية		
الستريك	citric	١٢٤٠-٤٢٠
الماليك	malic	٦٨٠-٦٠
الأسكوربيك	ascorbic	١٢٠-٢٦
الصكنيك	succinic	١٠٠
الأوكساليك	oxalic	٢٤
الطرطريك	tartaric	١٧
البيروفيك	pyruvic	٥
الكونيك	quinic	٢
الشيكيميك	shikimic	آثار
الفينولات الكلية		٢١٠-٥٨
الأنثوسيانينات الكلية		١٤٥-٥٥
الصبغات الأنثوسيانينية		
Pelargonidin-3-glucoside		٨٨٪ من الكلى
Cyanidin-3-glucoside		١٢٪ من الكلى

ويتراوح تركيز السكريات الكلية بين ٤,١٪، و ١٠,٥٪ حسب الصنف والظروف البيئية. ويشكل الجلوكوز والفراكتوز حوالى ٨٠-٩٠٪ من السكريات الكلية، وهما يتوجدان بنسبة متساوية تقريبًا، بينما يوجد السكروز بتركيز منخفض يتراوح بين ٦٪، و ٢٧٪ من السكريات الكلية (عن Perkins-Veazie ١٩٩٥).

وقد ازداد المحتوى الكلى للسكريات فى ثمار الفراولة من ٠,١٥ نانو جرام (١ نانوجرام $١٠^{-٩}$ جرام)/خلية عند سقوط البتلات إلى ١٩٥ نانوجرام بعد ٣٥ يومًا، وهى فترة ازداد فيها حجم الخلايا بنحو ١٠٠٠ ضعف. وقد أمكن الكشف عن وجود النشا بالثمرة حتى اليوم الحادى والعشرين من سقوط البتلات.

يمثل الجلوكوز والفراكتوز ١,٤٪، و ٠,٨٪ - على التوالى - من الوزن الطازج لثمرة الفراولة، وذلك حتى اليوم الخامس من تفتح الزهرة، ولا يبدأ السكروز فى الظهور وبنسبة ٠,٢٪ فقط - إلا فى اليوم العاشر من تفتح الزهرة، وحينئذٍ ينخفض تركيز الجلوكوز إلى ٠,٧٪ بينما يبقى تركيز الفراكتوز ثابتًا. وعند بداية التلوين يصل تركيز السكروز إلى أعلى مستوى له، حيث يزداد إلى حوالى ٠,٦٪، بينما يبقى تركيز الجلوكوز والفراكتوز ثابتًا. وبعد ٢٥ يومًا من تفتح الزهرة (طور النضج الأحمر) يمثل الجلوكوز، والفراكتوز، والسكروز ١,٣٪، و ١,٥٪، و ٠,٦٪ من وزن الثمرة الطازج، على التوالى (عن Avidori-Avidov ١٩٨٦).

وقد وجد فى صنفى الفراولة سى سكيب Seascape، وكابرون Capron أن محتوى ثمارهما من السكروز يرتفع إلى ٥٣٪، و ٧٠٪ - على التوالى - من السكريات الكلية، وهما بذلك يختلفان عن معظم الأصناف الأخرى من الفراولة (Perkins-Veazie & Collins ١٩٩٧).

ويرتبط محتوى السكريات الكلى فى ثمار الفراولة إيجابيًّا مع كل من طول النبات، والمساحة الورقية، ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية بالثمار، كما يرتبط محتوى الجلوكوز والفراكتوز سلبيًّا مع عدد الأيام من الإزهار إلى الحصاد (Ogiwara وآخرون ١٩٩٨).

وعندما خزنت الثمار فى مرحلة ¾ تلوين إلى حين تلوينها الكامل فإن محتواها من السكريات كان ٧٨٪ فقط من محتوى الثمار التى تركت لتتلون بصورة طبيعية على

النبات، بينما ازداد محتواها من الحموضة بمقدار ٣٣٪ عن الثمار المكتملة التلوين طبيعيًا.

الحموضة المعايرة والـ pH

تتراوح الحموضة المعايرة فى ثمار الفراولة بين ٠,٤٥٪، و ١,٨١٪ حسب مدى نضج الثمرة، والصنف، والعوامل البيئية. وتنخفض الحموضة المعايرة أثناء النضج من ١,٢٪ فى الثمار الصغيرة الخضراء إلى ٠,٩٥٪ فى الثمار الزائدة النضج.

ويشكل حامض الستريك حوالى ٨٠٪ من الحموضة المعايرة الكلية بثمار الفراولة (جدول ٨-١). وتنخفض الحموضة المعايرة أثناء نضج الثمار.

كما تحتوى ثمار الفراولة على كميات كبيرة من حامض الأسكوربيك تقدر بنحو ٦٠ مجم/١٠٠ جم وزن طازج، ولكن يختلف هذا التركيز باختلاف الأصناف. ويزداد تركيز حامض الأسكوربيك فى الجزء الخارجى للثمرة عنه فى الجزء الداخلى، كما يزداد تركيزه مع النضج.

وتؤثر الأحماض فى pH الثمرة، وتثبط نشاط الإنزيمات، وتسهم فى ثبات اللون، وتثبط نمو الكائنات المرضة. ولثمار الفراولة pH حامضى يقدر بنحو ٣,٥، ولا يوجد فرق يذكر فى الـ pH بين الثمار الخضراء والحمراء.

وينخفض pH ثمار الفراولة أثناء نموها ونضجها، ولكنه يرتفع مرة أخرى فى الثمار الزائدة النضج. يتراوح pH الثمار الخضراء بين ٣,٥، و ٤,٦، ثم ينخفض إلى ٣,١-٣,٣ فى الثمار البيضاء، ويلى ذلك ارتفاع الـ pH مرة أخرى إلى ٣,٥-٣,٧ (عن Perkins-Veazie ١٩٩٥).

نكهة الثمار

نوعيات المركبات المسئولة عن النكهة المميزة للثمار

ترجع النكهة المميزة لثمار الفراولة إلى ما تحتويه تلك الثمار من مركبات متطايرة volatile substances. لا تشكل هذه المركبات سوى ٠,٠٠١٪ إلى ٠,٠١٪ من الوزن الطازج للثمرة، وقد عزل حوالى ٣٦٠ مركبًا منها، تضمنت الإسترات، والألدهيدات،

والكيتونات، والكحولات، والتربينات، والفيورانونات furanones، والمركبات الكبريتية (عن Forney وآخرين ٢٠٠٠). هذا إلا أن معظم المركبات التى تشترك أكثر من غيرها فى إكساب الفراولة نكهتها المميزة تنشأ من إسترات المثيل methyl esters، والتى تقوم الإنزيمات بتحويلها إلى عديد من المركبات المتطايرة. ويختلف التركيز النسبى لهذه المركبات كثيرًا باختلاف الأصناف، كما يحدث بها تغيرات كبيرة جدًّا أثناء النضج.

ويعطى جدول (٤-٢) قائمة بالنكهات المميزة لمجموعات مختلفة من المركبات المتطايرة التى أمكن التعرف عليها فى ثمار الفراولة، مع أسماء بعض المركبات المثلة لتلك المجموعات وتركيزها بالثمار معبرًا عنه بقيمة النكهة aroma value، وهى عبارة عن تركيز المركب مقسومًا على التركيز الحرج الذى يبدأ عنده ظهور النكهة المميزة للمركب (عن Scheerens & Stetson ١٩٩٦).

ومن بين أهم المركبات المتطايرة التى أمكن التعرف عليها، ما يلى (عن Avigdori-Avidov ١٩٨٦).

linealool
geraniol
β -ionine
β-phenylethanol
granil acetate
2,5-dimethyl-4 hydroxy-3(2H)-furanone

تعد الإسترات esters هى الفئة الغالبة كمًّا ونوعًا من بين جميع المركبات المتطايرة، وهى تعطى الطعم الثمرى fruity، والزهرى flowery. وقد عزل منها ١٣١ مركبًا تشكل بين ٢٥٪، و ٩٠٪ من جميع المركبات المتطايرة. ومن بين الفئات الأخرى التى قد تشكل حتى ٥٠٪ من المركبات المتطايرة: الألدهيدات aldehydes، والفيورانونات furanones. وتشكل الكحولات حتى ٣٥٪ من المركبات المتطايرة، ولكنها لا تسهم كثيرًا فى إكساب الفراولة نكهتها المميزة. وتشكل التربينات terpenes - عادة - أقل من ١٠٪ من المركبات المتطايرة، بينما تكوّن المركبات الكبريتية أقل من ٢٪، ويمكن لكليهما أن يسهم فى إعطاء ثمار الفراولة نكهتها المميزة.

ومن الإسترات التى تنتجها ثمار الفراولة تسود البيوتانويتس butanoates، والهكسانويتس hexanoates حيث وجد أنهما تشكلان ٣٢٪ إلى ٨٨٪، و ٨٪ إلى ٤٠٪ – على التوالى – فى خمسة أصناف من الفراولة.

جدول (٤–٢): النكهات المميزة لمجموعات مختلفة من المركبات المتطايرة التى أمكن التعرف عليها فى ثمار الفراولة، والمركبات الهامة الممثلة لتلك المجموعات وتركيزها النسبى فى الثمار.

النكهة المميزة	مجموعات المركبات التى تعطى النكهة	المركبات الممثلة للمجموعة	التركيز النسبى للمركب[1] (قيمة النكهة)
ثمرى fruity	إسترات منخفضة الوزن الجزيئى	ethyl butanoate	< ١٠٠٠٠٠
		ethyl hexanoate	١٠٠٠٠٠–١٠٠٠٠
		hexyl acetate	صفر – ١
		isoamyl acetate	لم يقدر
	ketones	2-heptanone	١٠٠–١٠
	lactones	gamma -decanolactone	١٠٠–١٠
زهرى floral/موالح citrus	terpenols	linalool	١٠٠٠–١٠٠
		α-terpineol	لم يقدر
كالسكر المحروق	furanoses	furaneol	١٠٠٠٠–١٠٠٠
	ketones	3-hydroxybutanone	لم يقدر
كالبهارات spicey	متنوعة	ethyl cinnamate	لم يقدر
كالزبدة buttery	diones منخفضة الوزن الجزيئى	diacetyl	لم يقدر
جوزى nutty	مشتقات البنزين	benzaldehyde	لم يقدر
عشبى herbaceous	ألدهيدات غير مشبعة	t-2-hexanal	١٠٠–١٠
	كحولات غير مشبعة	t-2-hexen-1-ol	صفر – ١
	إسترات غير مشبعة	t-2-hexenyl acetate	لم يقدر
كالمخبوزات والمطهيات	furaldehydes	furfural	لم يقدر
دهنى/شمعى/جوز الهند	lactones	gamma-caprolactone	لم يقدر
	كحولات	lauryl alcohol	لم يقدر
زَنِخ rancid	ألدهيدات مشبعة	hexanal	١٠٠–١٠
Goaty	أحماض دهنية متطايرة	2-methylbutanoic acid	١٠٠٠–١٠٠
كبريتى sulfurous	thiolesters	methylthiol acetate	لم يقدر
كيميائى chemical	متنوعة	naphthalene	لم يقدر

أ – قدرت قيمة التركيز النسبى للمركب بقسمة تركيز المركب على تركيزه الذى يبدأ عنده ظهور نكهته المميزة، وتعرف هذه القيمة باسم aroma value.

وسائل التعرف على الأهمية النسبية للمركبات فى إكساب الثمار نكهتها المميزة

من بين مئات المركبات المتطايرة التى تنتجها الفراولة الطازجة لا تشترك سوى نسبة قليلة منها فى إكساب الفراولة نكهتها. وتعد النكهة المميزة خليطًا من عدد من المركبات، فلا يوجد مركب واحد يمكن اعتباره مسئولاً عن النكهة. ويعتمد إسهام أى مركب فى النكهة على مدى نفاذية رائحته وتركيزه، ومن هاتين القيمتين تحسب قيمة نكهة aroma value للمركب (عبارة عن تركيز المركب مقسومًا على التركيز الحرج الذى يبدأ عنده ظهور النكهة المميزة للمركب)، وكل ما تزيد قيمة نكهته عن الواحد الصحيح يعد مؤثرًا فى إضفاء النكهة المميزة للفراولة. وكلما زادت القيمة كلما زاد إسهام المركب. وعلى سبيل المثال .. عندما حسبت قيم النكهة للمركبات المتطايرة التى عزلت من ثمار الصنف سانجا سانجانا كانت أكثر المركبات إسهامًا فى إعطاء النكهة، هى: methyl butanoate، و linalool، و 2-heptanone، و 2-methyl butanoic acid (Forney وآخرون ٢٠٠٠).

يمكن كذلك تقدير مدى إسهام أى من المركبات المتطايرة فى النكهة المميزة بشم كل منها على حده عند عزلها بالكروماتوجرافى الغازى. وباتباع هذه الطريقة وجد أن ethyl hexanoate كان أكثر المركبات فى قوة الرائحة فى خمسة أصناف من الفراولة، كما أمكن التعرف بالشم على رائحة قوية لكل من ethyl 3-methylbutanoate فى الأصناف كنت Kent، وكافندش Cavendish، ومكماك Micmac، و 3-methylbutyl acetate فى الصنفين كنت، ومكماك، و ethyl butanoate، و ethyl 2-methylbutanoate، و ethyl hexanoate فى الصنف شاندلر (عن Forney وآخرون ٢٠٠٠).

الاختلافات الصنفية

تختلف أصناف الفراولة كميًا ونوعيًا فى محتواها من المركبات المتطايرة. وفى إحدى الدراسات قدر الفرق بين أقل الأصناف وأكثرها إنتاجًا من المركبات المتطايرة بنحو ٣٥ ضعفًا.

ويعد المركب Furaneol أحد المركبات المتطايرة الهامة المؤثرة فى النكهة فى عديد من الأصناف، منها: سنجا سنجانا، وباركر، وبنتون، ويوجد الـ linalool فى كل من سنجا سنجانا وأنّيللى Anneli (عن Forney ٢٠٠٠).

ومن أكثر المركبات المتطايرة تواجدًا فى ثمار الصنف شاندلر، كلا من ethyl butanoate، و ethyl hexanoate، و ethyl-2-methylbutanoate (Pérez وآخرون ١٩٩٣).

لا تظهر النكهة المميزة لثمار الفراولة إلا عند اكتمال نضجها. وعلى سبيل المثال يشكل المركبين المتطايرين 3-hexenyl acetae، و hexyl acetate حوالى ٢٥٪ من المركبات المتطايرة فى ثمار شاندلر الخضراء، ولكن نسبتهما تنخفض فى الثمار الناضجة. ويعد هذان المركبان مسئولين عن النكهة المميزة لثمار الفراولة الخضراء. وتمثل إسترات المثيل methyl esters المركبات المتطايرة الرئيسية فى مختلف مراحل النضج، حيث تمثل حوالى ٦٠٪ من المركبات المتطايرة الكلية. ولا يتواجد المركبان isopropyl butanoate، و propyl propanoate سوى فى الثمار المكتملة النضج (عن Perkins-Veazie ١٩٩٥).

كذلك أمكن التعرف على المركب المتطاير 1,2-propanediol فى ثمار صنف الفراولة إلسانتا، وذلك بتركيز ٠,٥ ميكروجرام/جم وزن طازج (Zabetakis & Gramshaw ١٩٩٨).

وفى دراسة أجريت على أربعة أصناف من الفراولة أمكن التعرف على تسعة مركبات متطايرة، اختلف تركيزها جميعًا باختلاف مرحلة نضج الثمار، واختلفت الأربعة الأخيرة منها باختلاف الصنف، وهى (Rizzolo وآخرون ١٩٩٦).

butanol

pentanol

isobutyl propanoate

pentyl butanoate

delta-dodecalactone

(E)-2-hexenol

methyl salicylate

gamma-nonalactone

gamma-dodecalactone

أهمية الضوء فى تمثيل المركبات المسئولة عن النكهة المميزة للثمار

يتطلب تكوين المركبات المسئولة عن النكهة المميزة لثمار الفراولة ساعتين فقط يوميًا من الإضاءة القوية فى حرارة منخفضة نسبيًا.

التغيرات المصاحبة للنضج فى المركبات المسئولة عن النكهة

يزداد تركيز المركبات المتطايرة المسئولة عن النكهة - بسرعة كبيرة - فى ثمار الفراولة أثناء نضجها. وبينما قد لا يستغرق الأمر من بداية تحول الثمرة من اللون الأبيض إلى اللون الأحمر الكامل أكثر من ٣٦ ساعة، فإن تركيز المركبات المتطايرة يزداد بمقدار خمسة أضعاف فى الثمار المكتملة التلوين بالأحمر عنه فى الثمار التى تكون فى مرحلة ٧٥٪ تلوين عند الحصاد. كذلك وجد أن المركبات المتطايرة يزداد تركيزها بمقدار ١٤ ضعفًا فيما بين مرحلتى التلوين بالأبيض وبالأحمر التام.

كذلك تحدث تغيرات أخرى كمية فى مختلف المركبات المتطايرة أثناء نضج الثمار. فمثلاً .. يزداد تركيز إسترات الميثيل بمقدار ٧ أضعاف، بينما لا يتغير تركيز إسترات الإثيل كثيرًا أثناء النضج. وبينما تشكل الكحولات السداسية الكربون ٢٥٪ من المركبات المتطايرة فى ثمار شاندلر بعد الإزهار بنحو ٣٦ يومًا، فإنها تنخفض إلى حوالى ٥٪ فقط بعد ١٠ أيام أخرى (عن Forney وآخرين ٢٠٠٠).

ويذكر Perkins-Veazie (١٩٩٥) سبعة مركبات متطايرة ذات صلة وثيقة بالنكهة المميزة لثمار الفراولة الحمراء الناضجة، ويبين جدول (٤-٣) التغيرات فى تركيز هذه المركبات خلال مختلف مراحل نضج الثمرة.

التغيرات المصاحبة للتخزين فى المركبات المسئولة عن النكهة

يزداد تركيز المركبات المتطايرة فى ثمار الفراولة أثناء التخزين؛ فمثلاً .. ازداد تركيزها - فى ثمار كنت التى حصدت وهى كاملة الإحمرار - بمقدار ٧ أضعاف فى خلال ٤ أيام من التخزين على ١٥°م. وبالمقارنة ازداد تركيز المركبات المتطايرة فى الثمار التى حصدت وهى وردية اللون بمقدار ٢٠٠ ضعف بعد ٤ أيام من التخزين على ١٥°م (عن Forney وآخرين ٢٠٠٠).

جدول (٤-٣): التغيرات فى تركيز المركبات المتطايرة وثيقة الصلة بالنكهة المميزة للفراولة خلال مختلف مراحل نضج الثمار (نانوجرام/جم وزن طازج/ ٨٠ لتر).

المركب المتطاير	مرحلة اللون الثمرى			
	الأخضر	الأبيض	الوردى	الأحمر
ethyl hexanoate	١٨,٧	٨٢,٠	١١٠,٢	٣٩٢,٣
ethyl butanoate	١٨,١	٨١,٩	٨٨,٤	٣١٧,٢
methyl butanoate	٢,٩	٦١,٢	٥٤,٤	٢٥١,٤
methyl hexanoate	صفر	٣٠,٥	٣٢,٦	١١٦,٨
hexyl acetate	٧,٥	١٠٧,٤	٢٦,٨	٦١,٥
ethyl propionate	صفر	٩,٩	٧,٧	٣٠,٢
3-hexenyl acetate	صفر	١٣,٥	٩,٠	٤,٦

محتوى الثمار من بعض المركبات الأخرى

الأحماض الأمينية

ينخفض كثيرًا محتوى ثمار الفراولة من الأحماض الأمينية الكلية مقارنة بالثمار الأخرى مثل الخوخ أو البرتقال. ويعتبر الأسباراجين asparagine هو الحامض الأمينى السائد فيها، حيث يمثل حوالى ٥٠٪ من إجمالى محتوى الثمرة من الأحماض الأمينية خلال جميع مراحل نضجها كما يتبين من جدول (٤-٤).

جدول (٤-٤): التغيرات فى محتوى ثمار الفراولة من الأحماض الأمينية أثناء نضجها (مجم/١٠٠ جم/وزن طازج) (عن Perkins-Veazie ١٩٩٥).

الحامض الأمينى		مرحلة اللون الثمرى			
		الأخضر	الأبيض	الوردى	الأحمر
الأسباراجين	Asparagine	٥٢,٤	٤٧,٨	٤٧,٤	٣٠,٦
الجلوتامين	Glutamine	١٣,٠	٧,٤	٢٣,٦	١٠,٤
الجلوتامك	Glutamate	١١.٤	٧,٣	٢,٣	٣,٦
الآلانين	Alanine	٩,٧	١٨,٢	١٠,٧	١,٦
البرولين	Proline	٤,٣	٤,٠	٣,٧	٣,٠
السيرين	Serine	٣,٠	٢,٤	٥,٦	٢,٠
الفالين	Valine	٢,٠	١,٣	١,٥	١,٠

المركبات الفينولية

تتضمن المركبات الفينولية التى توجد بثمار الفراولة: الأنثوسينينات anthocyanins، والفلافونولات flavonols، ومشتقات حامض السنّامك cinnamic acid derivatives والفينولات البسيطة، والكاتيكين catechin.

كذلك تحتوى ثمار الفراولة على بولى فينولات (تانينات tannins)، وحامض الكلوروجنك chlorogenic acid، والـ D-catechin، والـ p-coumaric.

ويتوفر المركب الفينولى حامض الإلاجك ellagic acid بتركيزات عالية نسبيًا فى كل من لب ثمرة الفراولة وكذلك فى الثمار الحقيقية (achens).

وينخفض تركيز الفينولات الكلية من ٠,٦٪ فى الثمار الخضراء إلى ٠,٣٪ فى الثمار الحمراء (عن Perkins-Veazie ١٩٩٥).

العيوب الفسيولوجية والنموات غير الطبيعية

الثمار المشوهة ووجه القط

تعرف حالة الثمار المشوهة misshapen fruit – كذلك – باسم وجه القط catface، وترجع جميع حالات الثمار المشوهة إلى عدم اكتمال التلقيح والإخصاب والنمو الطبيعى للبذور الحقيقية، وإن تنوعت أسباب ذلك.

يؤدى إخصاب البويضات إلى تنشيط تكوين الأوكسين الطبيعى، والذى يؤدى بدوره إلى تنشيط خلايا التخت الزهرى لتنمو وتكوّن الثمرة المتجمعة الكاذبة بما تحمله من ثمار حقيقة فقيرة. هذا .. إلا أن الأوكسين الذى يتكون بعد إخصاب البويضة لا يؤثر إلا على نمو نسيج التخت الزهرى القريب من البذرة المتكونة. لذا .. فإن الإخصاب الجزئى لبعض البويضات فقط يؤدى إلى تكوين ثمار غير منتظمة الشكل. وتلاحظ هذه الظاهرة فى الأصناف القليلة الأسدية عندما تزرع بدون ملقحات، وخاصة فى الزراعات المحمية التى يقل فيها نشاط الحشرات، وحركة الهواء، مع زيادة فى الرطوبة النسبية، وضعف فى الإضاءة.

وتزداد نسبة الثمار المشوهة فى محصول أول الثمار تكونًا (primary fruits) عما فى