الفصل الثامن

الفسيولوجى

التأثير الفسيولوجى لدرجة الحرارة

الاحتياجات الحرارية للنمو النباتى

يتراوح المجال الحرارى المناسب للنمو الخضرى للفراولة بين ٢٠، و ٢٧°م، بينما يتراوح المجال الحرارى المناسب للنمو الزهرى والثمرى بين ١٤، و ١٨°م. وعمومًا .. لا تتكون مبادئ براعم زهرية عند ارتفاع الحرارة نهارًا عن ٢٦°م وليلاً عن ٢٢°م.

وفى النوع *F. vesca* يبلغ النمو النباتى الكلى (الوزن الجاف) أقصى مدى له عندما تتراوح حرارة النهار بين ٢٠، و ٣٠°م وحرارة الليل بين ١٠، و ٢٠°م، وينخفض معدل النمو بشدة عندما تنخفض الحرارة عن ٢٠°م نهارًا، و ١٠°م ليلاً، وكذلك عندما ترتفع الحرارة عن ٤٠°م نهارًا، و ٣٠°م ليلاً، إلا أن المجال الحرارى المناسب للإزهار هو ٢٠°م نهارًا مع ١٠°م ليلاً.

وقد درس Wang & Camp (٢٠٠٠) تأثير تعريض نباتات الفراولة من الصنفين إيرلى جلو Earliglow، وكنت Kent لدرجات حرارة (نهار/ليل) ١٢/١٨°م، و ١٢/٢٥°، و ٢٢/٢٥°م، و ٢٢/٣٠°م على النمو النباتى وجودة الثمار، ووجدا ما يلى:

١ - كانت أنسب حرارة للنمو، هى: ١٢/٢٥°م لأعناق الأوراق وللنبات الكامل، و ١٢/١٨°م للجذور.

٢ - ازدادت دكنة لون الثمار الخارجى والداخلى وازداد تركيز الصبغات فيها بزيادة حرارة كل من النهار والليل.

٣ - كانت الأوراق أكثر لمعانًا واخضرارًا، وازداد فيها تركيز الصبغات بانخفاض حرارة النهار إلى ١٢/١٨°م.

٤ - أدى ارتفاع درجة الحرارة إلى انخفاض صفات الثمار المتمثلة فى محتواها من كل من المواد الصلبة الذائبة، والحموضة المعايرة، ونسبة المواد الصلبة الذائبة إلى الحموضة المعايرة، وحامض الأسكوربيك.

٥ - كانت النباتات النامية فى ١٢/١٨°م الأكثر محتوى من كل من الفراكتوز، والجلوكوز، والمواد الكربوهيدراتية الكلية، ونقصت تلك المركبات بارتفاع درجة الحرارة.

٦ - كان أعلى محتوى للثمار من السكروز فى حرارة ١٢/٢٥°م، وأقل محتوى فى ٢٢/٣٠°م.

٧ - ازداد محتوى الثمار من كل من: حامض الأسكوربيك/ وحامض الإلاجك فى حرارة ١٢/١٨°م، ولكن انخفض محتواها من حامض الماليك، وحدث العكس مع ارتفاع درجة الحرارة.

٨ - حدث تثبيط للنموين الخضرى والثمرى، وانخفضت جودة الثمار فى حرارة ٢٢/٣٠°م.

٩ - فى درجات الحرارة العالية (٢٢/٢٥°م، و ٢٢/٣٠°م) ازداد محتوى الأوراق، وأعناق الأوراق، والتيجان من كل من الفراكتوز، والميوإنوزيتول myo-inositol، بينما وجدت تركيزات عالية من السكروز فى الحرارة المنخفضة (١٢/١٨°م، و ١٢/٢٥°م).

١٠ - وصل تركيز النشا والمواد الكربوهيدراتية فى النباتات إلى أعلى مستوى لهما فى حرارة ١٢/٢٥°م.

١١ - أدى انخفاض الحرارة إلى ١٢/١٨°م إلى تحويل اتجاه النمو النباتى من النمو الورقى إلى النمو الجذرى.

أهمية حرارة التربة

يؤدى المجموع الجذرى السطحى للفراولة إلى تعريض النباتات لتقلبات واسعة فى حرارة التربة يمكن أن تؤثر تأثيرًا معنويًا على نمو وتطور النباتات. وبينما يكون النمو الخضرى جيدًا عندما تكون حرارة التربة ٢٥°م، فإنه يقل بارتفاع درجة الحرارة أو

انخفاضها عن ذلك. هذا إلا أن درجة حرارة التربة المثلى لنمو الجذور والثمار تقل عن ذلك كثيرًا، حيث تقدر بنحو ٧°م.

وعندما قورن تأثير حرارة جذور تراوحت بين ٦، و ٢٠°م على الفراولة النامية فى أكياس البيت موس، وجد أن الحرارة العالية بكرت الحصاد بحوالى أسبوع، إلا أن مساحة الورقة، ووزنها الطازج، وطول عنق الورقة، وحجم الثمرة، والمحصول الكلى انخفضت جميعها بارتفاع درجة حرارة الجذور (Lieten ١٩٩٧ أ).

وأدت حرارة الجذور العالية (٣٥°م) فى المزارع المائية للفراولة إلى نقص معدل الزيادة فى الوزن الطازج للنباتات مع الوقت، وضعف إنتاج المدادات، ونقص المساحة الورقية فى نباتات الأمهات ونباتات المدادات، ونقص الوزن الجاف للمجموع الجذرى، وذلك مقارنة بحرارة جذور مقدارها ٢٣ أو ٢٩°م. كما أعطت النباتات فى حرارة جذور مقدارها ٢٩°م عددًا أقل من المدادات عما فى حرارة جذور مقدارها ٢٣°م. حدث ذلك فى سلالات من كل من: *Fragaria chiloensis*، و *F. virginiana*، و *F. virids*. وقد كان *F. virids* أكثر حساسية لحرارة وسط الجذور العالية عن *F. chiloensis* (Geater وآخرون ١٩٩٧).

احتياجات البرودة

يؤدى تعرض النباتات للحرارة المنخفضة فى الحقل خلال فصل الخريف، أو أثناء تخزين الشتلات الفريجو فى المخازن المبردة .. يؤدى ذلك إلى إحداث تغيرات كبيرة فى الاتجاه الذى يسلكه النمو النباتى بعد ذلك. فيؤدى تعريض تيجان الفراولة لحرارة تتراوح بين صفر، و ٧°م لفترة طويلة إلى زيادة اتجاه النباتات بعد ذلك نحو النمو الخضرى ويكون ذلك مصاحبًا بنقص مقابل فى النمو الزهرى. ومع زيادة فترة التعرض للبرودة من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ ساعة تزداد معنويًّا المساحة الورقية، وعدد الأوراق، وطول أعناق الأوراق، وتكوين المدادات، بينما يتأخر إنتاج النورات الزهرية. وفى إحدى الدراسات انخفض إنتاج الثمار بمقدار ٤٣٪ فى النباتات التى عرضت للبرودة مقارنة بتلك التى لم تعرض، إلا أن ثمارها كانت أسرع نضجًا. وفى المقابل فإن النباتات التى لا تتعرض للبرودة تفتقد إلى قوة النمو، ولا تستمر فى الإنتاج لفترة طويلة إلا إذا كانت

بنباتاتها مساحة ورقية كافية عند شتلها وبعد نجاحها فى الشتل. وعمومًا .. يبدو أن التعريض للبرودة يعد ضروريًا للمحافظة على التوازن المطلوب بين النموّين الخضرى والثمرى، ولكن يختلف مقدار البرودة التى تلزم لذلك باختلاف الأصناف (عن Darnell & Hancock ١٩٩٦).

ويعمل التخزين البارد للشتلات على زيادة النمو الورقى، وتكوين المدادات، والمحصول المبكر، والمحصول الكلى (Radwan وآخرون ١٩٨٠ أ). وقد وجد أن تيجان النباتات المخزنة يحدث بها نقص معنوى فى نسبة كل من: السكريات غير المختزلة، والنشا، والفينولات الكلية، والإندولات الكلية، وزيادة معنوية فى نسبة كل من: السكريات المختزلة، والنيتروجين الكلى. ولدى دراسة العلاقة بين هذه التغيرات الكيميائية التى تحدث أثناء التخزين البارد، وجد ارتباط موجب بين المحصول ومحتوى التيجان من الفينولات، وآخر سالب بين المحصول ونسبة الإندولات إلى الفينولات فى النبات (Radwan وآخرون ١٩٨٠ ب).

وعلى الرغم من أن حالة البرودة تثبط فى البداية عملية التهيئة لتكوين مبادئ الأزهار، فإنها تسمح - بعد ذلك - بتكوين عدد كبير من النورات الزهرية والأزهار. فعندما تكون فترة التعرض للبرودة طويلة جدًا (كما فى الزراعات الفريجو)، فإن فترة النمو الخضرى الممتدة (من بعد الزراعة حتى الإزهار) تسمح للنباتات بالحصول على عديد من دورات النهار القصير؛ مما يؤدى إلى إنتاج عددًا أكبر من النورات الزهرية، وهى التى تتكون نتيجة لكسر السيادة القمية بفعل تأثير البرودة، وما يترتب على ذلك من نمو لجميع البراعم الإبطية والعرضية المتواجدة حينئذٍ.

تأثير درجة الحرارة على خصوبة الأزهار، وعقد الثمار

لاتتفتح متوك أزهار الفراولة ولاتنطلق منها حبوب اللقاح عندما تكون الحرارة منخفضة والهواء رطبًا. وفى بعض الأصناف يقل كثيرًا جدًا انطلاق حبوب اللقاح من متوك الأزهار - التى تبدو طبيعية - فى حرارة تقل عن ١٤°م.

وتؤثر الحرارة المنخفضة سلبيًا - كذلك - على حيوية حبوب اللقاح، وخاصة حينما ترافقها فترة ضوئية قصيرة (عن Avigdori-Avidov ١٩٨٦).

ويتدهور إنبات حبوب لقاح الفراولة فى حـرارة تقـل عـن ١٥°م أو تزيـد عـن ٢٥°م، ويتراوح أنسب مجال لإنباتها بين ١٨، و ٢٠°م (عن Zebrowska ١٩٩٧).

وتـؤدى الحـرارة العاليـة والريـاح الجافـة إلى جفـاف مياسـم الأزهـار وإعاقـة عمليـة الإخصاب.

حرارة التجمد

فسيولوجيا التجمد

تزرع الفراولة كمحصول معمر فى المناطق الشمالية التـى تكـون فيـها درجـة الحـرارة شديدة الانخفـاض شتاءً. وفى تلك المنـاطق تتـأقلم نباتـات الفراولـة – تدريجيًّـا – أثنـاء فصل الخريف على النقص التدريجى فى كل من الفترة الضوئية ودرجـة الحـرارة. وبعـد التأقلم .. تصبح نباتات الفراولة أكثر قدرة علـى تحمـل تكويـن البللـورات الثلجيـة فـى أنسجة التاج. ونجـد عنـد انخفـاض درجـة الحـرارة إلى مـا دون نقطـة تجمـد العصـير الخلوى أن المـاء ينتقـل مـن داخـل الخلايـا ليتجمـد مـع البللـورات الثلجيـة الموجـودة خارجها. ويؤدى استمرار انتقال الماء من داخل الخلايـا إلى خارجـها بـهذه الطريقـة إلى إحداث شد جفافى مميت فى التيجان. ويعد تـلون الأكسدة البنى فـى النسـيج الوعـائى من أبرز أعراض تلك الأضرار المميتة للحرارة الشديدة الانخفاض.

وبينما يشكل الجليد snow الذى يغطى النباتات عـازلاً جيـدًا يحمـى النباتـات مـن التعرض لموجات الـبرد القـارص، فـإن الغطـاء الثلجـى ice cover يعتـبر موصـلاً جيـدًا للحرارة، ولا يوفر أى حماية لتيجان النباتات من الانخفاض الشديد فى درجة الحرارة.

ومن أهم أعراض الأضرار التى تنشأ عن تجمد أنسجة تيجان النباتات: تـأخر ظـهور الأوراق فى الربيع، ونقص عدد الأوراق والأزهار، وتشـوه الأوراق المتكونـة، وتقـزم النمـو الجذرى، وقصر أعناق الأوراق، والتكويـن المبكـر للمـدادات. وعنـد عمـل قطاعـات فـى النباتات التى تكون قـد حدثـت بـها أضـرار تجمـد بسـيطة تشـاهد فيـها ظـاهرة تلـون الأكسدة البنى مع انفصال الأنسجة بالقرب من عنـق الورقـة والنسـيج الوعـائى، بسـبب تكون الكتل الثلجية خارج الخـلايا. وبعـد التعـرض للحـرارة المناسـبة للنمـو فـى فصـل الربيع تختفى المناطق الفارغـة التى كانت متواجـدة بين الخـلايا – والتى كانت تشغلها

البللورات الثلجية - نتيجة لانقسام الخلايا وزيادتها فى الحجم (عن Warmurd ١٩٩٦).

ويؤدى تعرض تيجان الفراولة لدورات من التجمد والتفكك إلى إضعافها، وربما إلى موتها، وتلك التى لا تموت تكون أكثر عرضة للإصابات المرضية.

هذا .. ولاتوجد أى علاقة بين قدرة تيجان وجذور النباتات على تحمل البرودة الشديدة شتاء، وبين قدرة الأزهار والبراعم الزهرية للنباتات ذاتها على تحمل البرودة فى الربيع.

وقد ازداد تركيز الجليسين بيتين glycine betaine فى أوراق الفراولة إلى حوالى الضعف بعد ٤ أسابيع من أقلمتها على البرودة، وازدادت خلال هذه الفترة قدرة الأوراق على تحمل البرودة من -٥,٨°م إلى -١٧°م. وأدت المعاملة بحامض الأبسيسك بتركيز ١٠٠ ميكرومول إلى زيادة تراكم الجليسين بيتين فى النباتات مقارنة بعدم المعاملة، كما أدت هذه المعاملة إلى زيادة قدرة النباتات على تحمل البرودة سواء أكانت قد أقلمت على البرودة مسبقًا أم لم تؤقلم. كذلك كانت المعاملة بالجليسين بيتين فعّالة فى زيادة قدرة النباتات على تحمل البرودة سواء أكانت قد أقلمت أم لم تؤقلم. وأدت معاملة النباتات غير المؤقلمة بالجليسين بيتين بتركيز ٢ مللى مولار إلى زيادة قدرتها على تحمل البرودة بمقدار حوالى الضعف فى خلال ٧٢ ساعة من المعاملة، كما أدت إلى زيادة نسبة نجاة النباتات من التجمد، وزيادة قدرتها على استعادة النمو (Rajashekar وآخرون ١٩٩٩).

الاختلافات الصنفية فى تحمل تجمد التيجان

تختلف أصناف الفراولة فى مدى تحملها لانخفاض درجة الحرارة؛ فبعضها - مثل دنلاب Dunlap، وفورت لارامين Fort Laramine - يتحمل انخفاض الحرارة حتى ٤٠°م تحت الصفر، بينما تموت تيجان الصنف إيرلى جلو Earliglow فى حرارة تزيد عن -٤°م. ومن العوامل الأخرى المؤثرة فى تحمل النباتات لحرارة التجمد: سرعة انخفاض درجة الحرارة، ومدة بقاء الحرارة منخفضة، والتقلبات فى درجة الحرارة

ارتفاعًا وانخفاضًا، ونسبة الرطوبة فى النسيج النباتى، والحالة الغذائيـة للنباتـات (عـن Warmurd ١٩٩٦).

وعندما عرضـت نباتـات فراولـة مـن الأصنـاف بونتـى Bounty، وكورونـا Korona، وسنجا سنجانا Senga Sengana للتجمد لمـدة سـاعتين علـى حـرارة -٨°م، و -١٢°م، و -١٦°م، و -٢٠°م (مع معدل تجمـد وتفكـك بمقـدار درجتـين مئويتـين كـل سـاعة)، أضيرت جميع النباتات بشدة عند حرارة -٨°م ونقص محصولها بنسـبة ٦٠٪، و ٦٦٪، و ٤١٪ للأصناف الثلاثة - على التوالى - وذلك مقارنة بنباتات الكنـترول التـى عرضـت لدرجة الصفر المئوى. وقد صاحب النقص فى المحصول نقصًا فـى النمـو النبـاتى وزيـادة فى التلون البنى للأنسجة. أما عند حرارة -٢٠°م فقـد مـاتت جميع النباتات (Nestby & Bjorgum ١٩٩٩).

أضرار التجمد فى الأزهار

تتعرض أزهار الفراولة للإصابة بأضرار التجمـد إذا مـا انخفضـت درجـة الحـرارة إلى مادون التجمد أثناء الإزهار؛ الأمر الذى يحدث خلال فصل الربيع فى الزراعات المعمـرة بالمناطق الشـمالية، وخـلال فصـل الشـتاء فـى الزراعـات الفريجـو والفـرش فـى المنـاطق المعتدلة.

وبعـد بـزوغ بتـلات الزهـرة الأوليـة مـن البرعم، تـزداد حساسـية الأزهـار للحـرارة المنخفضة مع ازدياد تطـور الأعضـاء الزهريـة بـها. وتعـد الأزهـار الأوليـة أكـثر الأزهـار حساسية للحرارة المنخفضة، يليها أزهار المستوى الثـانى بـالعنقود، بينمـا تكـون أزهـار المستوى الثالث أقلها حساسية. ويقل كثيرًا عدد الثمـار ومتوسـط وزنـها إذا مـا أضـيرت الأزهار والأولية، نظرًا لأن وزن ثمار المستويين الثانى والثـالث لايعـوض الفقـد فـى ثمـار المستوى الأول.

وعندما يحدث ضرر لبعض أمتعة الزهرة بعد الإخصاب فإن الأجنة تفشل فـى إكمـال نموها الطبيعى؛ مما يؤدى إلى تكوين ثمار مشوهة. وبصورة عامـة .. فـإن أقـلام ومياسـم الأزهار تكون أكثر حساسية للحرارة المنخفضة عـن المتـوك، علـى الرغـم مـن أن متـوك أزهار بعض الأصناف يظهر عليها تلون الأكسدة البنى قبل أقلامها.

وتتأثر أزهار الفراولة كثيرًا بانخفاض درجة الحرارة عن -١°م؛ فقد يؤدى الصقيع إلى موت كل أمتعة الزهرة؛ مما يؤدى إلى فشلها فى العقد، أو يؤدى إلى موت بعض أمتعة الزهرة فقط؛ مما يؤدى إلى تكوين ثمار مشوهة. وإذا أضيرت ثمرة غير مكتملة التكوين بالصقيع فإنها قد تتفلق من القمة. وبينما تتأثر الأزهار المتفتحة بالصقيع، فإن البراعم الزهرية غالبًا ما تفلت من الإصابة بالأضرار.

ويؤدى ارتفاع الحرارة لفترة - ولو لأيام معدودة - قبل انخفاضها إلى درجة التجمد إلى زيادة حساسية الأزهار للحرارة المنخفضة بحيث يمكن أن تضار عند درجة الصفر المئوى، وعلى العكس من ذلك فإن انخفاض الحرارة إلى قرب درجة التجمد - ولو لأيام معدودة - يجعل أزهار الفراولة أكثر قدرة على تحمل الانخفاض فى درجة الحرارة عن -١°م.

وكما أسلفنا .. فإن أضرار التجمد التى تتعرض لها الأزهار قد تؤدى إلى فشل العقد كلية، أو إلى تكوين أزهار مشوهة بسبب عدم إخصاب بعض البويضات. وعادة يكون الجزء المتضرر من الثمرة فى قمتها، ويبدو أسود اللون وتتزاحم فيه أمتعة الزهرة (الخالية من البذور) بسبب عدم نمو نسيج التخت المجاور لها؛ ولذا .. يعرف هذا الجزء بأنه "بذرى" seedy.

علاقة البكتريا المكونة لنويات البللورات الثلجية بتجمد الأزهار

لايعرف على وجه التحديد ميكانيكية حدوث أضرار التجمد بعد بروز بتلات الزهرة. وقد أجريت عديد من الدراسات لمحاولة الربط بين هذه الأضرار وبين تواجد بعض الأنواع البكتيرية، مثل: *Pseudomonas fluorescens*، و *Psedomonas syringae*، و *Erwinia herbicola*. تعرف هذه البكتيريا (وكذلك بعض الأنواع الأخرى) بأنها بكتيريا نشطة فى تكوين نويات البللورات الثلجية ice nucleation-active bacteria، وهى تستعمر أسطح عديد من الأنواع النباتية، ويمكنها أن تسهم فى حدوث أضرار التجمد بالعمل كنويات لتكوين البللورات الثلجية؛ فهى تحد من ظاهرة التبريد الفائق supercooling للماء؛ وبالتالى تسرع من التجمد وتكوين البللورات الثلجية فى حرارة أعلى من تلك التى تتجمد عندها النباتات عادة.

وقد عزلت هذه البكتيريا من أوراق وأزهار عديد من أصناف الفراولة، وثبت تجريبيًّا أن عدوى النباتات بها يؤدى إلى رفع درجة الحرارة التى يبدأ عندها تجمد الأنسجة النباتية مقارنة بعدم العدوى، ولكن تركيزات البكتيريا التى استعملت فى تلك الدراسات كانت أعلى بكثير عما يتواجد منها على الأسطح النباتية فى الظروف الطبيعية (عن Warmurd ١٩٩٦).

الاختلافات الصنفية فى تحمل تجمد الأزهار

أوضحت دراسات Hummel & Moore (١٩٩٧) أن أزهار جميع أصناف الفراولة التى قاموا بدراستها كانت حساسة لحرارة التجمد، وكان متوسط الضرر الذى حدث بها ٩٧٪ فى حرارة -٣°م فى وجود النويات الثلجية، بينما لم يتعد الضرر ١٥٪ على حرارة -٤°م فى غياب النويات.

هذا .. إلا أن أصناف الفراولة تتباين كثيرًا فى مدى حساسية أزهارها للتجمد، فقد تبين لدى مقارنة ٢١ صنفًا اختلافها فى شدة البرودة التى يحدث معها ١٠٪ ضرر بالأزهار بمقدار ٣ درجات مئوية، حيث تراوحت بين -٢,٥°م، و -٥,٥°م. وعندما تم عدوى الأزهار المقطوفة ببكتيريا تكوين نويات البللورات الثلجية لمنع التبريد الفائق، تراوحت درجة الحرارة التى حدث معها ضرر مقداره ٥٠٪ فى خمسة أصناف من الفراولة بين -١,٧°م، و -٢,٣°م فى يونيو، وبين -١,٦°م، و -٣,٤°م عندما أجريت الدراسة فى أكتوبر (عن Hummel & Moore ١٩٩٧).

وسائل الحماية من التجمد

تتنوع وسائل حماية نباتات الفراولة من التجمد، وبينما تطبق بعض هذه الوسائل عمليًّا، فإن بعضها الآخر لايزال على النطاق البحثى، ومن أهمها ما يلى:

١ - أغطية النباتات:

سبق أن أوضحنا فى الفصل السابع كيف يستعمل قش الأرز ومختلف أنواع الأغطية (البوليثيلين، والبولى فوم، والأغطية الطافية من البوليسترين والبولى بروبلين) فى تقليل أو منع موت تيجان النباتات من جراء حرارة التجمد شتاءً.

٢ – الرش بالماء:

كما أسلفنا فى الفصل السابع .. فإن الرى بالرش يستخدم فى حماية أزهار الفراولة من الإصابة بأضرار التجمد؛ ذلك لأن تجمد ماء الرش على الأزهار يؤدى إلى انطلاق حرارة تكفى لحماية الأزهار من انخفاض الحرارة إلى –٧°م. هذا .. إلا أن هذه الطريقة فى الحماية من التجمد لا تفيد عند هبوب الرياح، ولا تناسب الأراضى الرديئة الصرف.

٣ – المعاملة ببعض التحضيرات التجارية المثبطة للتجمد:

ذكر أن المركب التجارى فروست جارد Frostgard يثبط عملية بداية تكوين نويات البللورات الثلجية البكتيرية بعد امتصاص النباتات له.

ووجد أن أزهار الفراولة المقطوفة والتى تحمل بكتيريا تكوين نويات البللورات الثلجية تتجمد على حرارة تزيد بمقدار ثلاث درجات مئوية عن الأزهار غير الملقحة بالبكتيريا.

هذا .. إلا أن الفروست جارد لم يحفز بكفاءة عملية التبريد الفائق فى نباتات الفراولة المزهرة لا فى وجود بكتيريا نويات البللورات الثلجية ولا فى غيابها، وذلك عندما عوملت به النباتات رشًّا على النموات الخضرية، على الرغم من أن الفروست جارد حفز التبريد الفائق ومنع تكاثر البللورات الثلجية فى المحاليل المائية. وعندما عرضت أوراق الفراولة المفصولة والمشبعة بالفروست جارد لدرجات حرارة تقل عن الصفر، وجدت علاقة خطية سالبة بين حرارة التجمد وتركيز الفروست جارد بين صفر ٪، و ٢٠٪ بالحجم. وأظهرت الأوراق المشبعة بالفروست جارد بمقدار ٢٠٪ بالحجم تبريدًا فائقًا يزيد بمقدار ١,٧°م (تحت الصفر) عن الأوراق التى شبعت بالماء المقطر.

وقد تجمدت أوراق الفراولة كل على انفراد، وبدا أحيانًا وجود حاجز ضد تكاثر البلورات الثلجية فى تاج النبات (Anderson & Whitworth ١٩٩٣).

التأثير الفسيولوجى لشدة الإضاءة

تؤثر شدة الإضاءة كثيرًا على نمو وتطور نبات الفراولة، فتؤدى الإضاءة القوية إلى