الاحتياجات البيئية

درجة الحرارة

الاحتياجات الحرارية بصورة عامة

يعتبر الفلفل من أكثر محاصيل الخضر حساسية لدرجة الحرارة؛ فهي التي تحدد غالبًا مدى نجاح الزراعة وبدايتها بشكل سليم. وتنبت بذور الفلفل خلال ثمانية أيام في درجة الحرارة المناسبة؛ وهي ٢٧°م-٢٩°م، بينما يستغرق الإنبات ٢٥ يومًا في حرارة ١٥°م. ولا تنبت البذور عندما تكون درجة حرارة التربة ١٠°م أو أقل. ويتعين بعد الإنبات خفض حرارة الصوبة إلى ٢٤°م. وبعد الشتل تجب المحافظة على حرارة الصوبة أعلى من ١٥°م وأقل من ٣٨°م، علمًا بأن أفضل نمو للفلفل يكون بين ٢١، و ٢٩°م.

وأنسب مجال حرارى لنمو وإزهار وإثمار نبات الفلفل هو ١٧-١٨°م ليلاً، و ٢٢ - ٢٤°م نهارًا، وبينما يتوقف النمو وعقد الثمار في حرارة ١٠°م، فإن درجات الحرارة العالية تضر بالنبات والمحصول. فالثمار العاقدة في حرارة ٢٧ -٢٨°م تكون صغيرة الحجم ومشوهة الشكل. بينما لا يحدث عقد في حرارة ٣٣-٣٥°م.

وإذا أمكن التحكم في درجة الحرارة داخل البيوت المحمية .. فإنه يفضل توفير حرارة التربة والهواء المناسبتين للفلفل في مختلف مراحل نموه. كما يلى (°م):

مرحلة النمو	حرارة التربة	حرارة الهواء ليلاً	حرارة الهواء نهارًا	فى الإضاءة الجيدة
		حرارة الهواء نهارًا		
إنبات البذور	٢١-٢٥	—	—	—
النمو الخضرى	—	٢٠-٢٢	٢٣-٢٤	٢٦-٢٨
تحفيز عقد الثمار	—	١٥-١٧	٢٠-٢١	٢٣-٢٥
نضج الثمار	—	١٧-١٨	٢١-٢٢	٢٤-٢٦

ولكن يستدل من دراسات Bakker (١٩٨٩) على أن الفرق بين درجتى حرارة الليل

والنهار (استعمل الباحث ١٢ معاملة اختلفت فيها حرارة الليل بين ١٢°م و ٢١°م. وحرارة النهار بين ١٦°م و ٢٨°م) لم يكن مؤثرا على نمو وتطور النباتات، وعقد ثمارها وصفاتها، وإنما كان المهم هو متوسط درجة الحرارة اليومى الذى أثر (فى حدود المجال المستعمل فى الدراسة) على عقد الثمار، وتطورها ونضجها

وقد قدر الباحث الـ Q_{10} لفترة الثمرة من الإزهار إلى الحصاد بين ١,٥ و ١٩.

ويبلغ أعلى معدل للبناء الضوئى فى الفلفل فى حرارة ٢٥°م (Jeong وآخرون ١٩٩٤)

ويعتبر الفلفل من النباتات الحساسة — فى مختلف مراحل نموها — لكل من الحرارة المرتفعة والحرارة المنخفضة.

فيتأثر عقد الثمار — كثيرًا — بارتفاع درجة الحرارة (وخاصة أثناء الليل)، حيث تسقط الأزهار والثمار الحديثة العقد فى بداية الموسم عندما تكون الحرارة عالية، ويزداد معدل التساقط إذا صاحب الحرارة العالية انخفاض فى شدة الإضاءة، وقد وجد Aloni وآخرون (١٩٩٥) أن معاملة نباتات الفلفل — تحت هذه الظروف — بثيوكبريتات الفضة silver thiosulphate — قللت كثيرا من معدل سقوط الأزهار والثمار الحديثة العقد، ولكن ذلك كان مصاحبا بزيادة فى نسبة الثمار المشوهة.

وقد اقترح الباحثون أن ثيوسلفات الفضة قللت تساقط الأزهار بوقف فعل الإثيلين، ولكنها منعت انتقال الأوكسين من البرعم الزهرى إلى المبيض النامى، مما أدى إلى تشوهه

كما أن نمو ثمار الفلفل ووزنها يتأثر — سلبيًا — بارتفاع درجة الحرارة من ٣٠°م إلى ٣٤°م (Malfa ١٩٩٣)

وتؤدى حرارة الليل المنخفضة (١٥°م) إلى عقد ثمار بكرية أو قليلة البذور، كما تكون هذه الثمار مشوهة، وصغيرة (يطلق عليها فى مصر اسم "الزراير"). تنتج هذه الثمار فى مصر خلال فترة انخفاض درجة الحرارة فى شهر فبراير

أهمية الحرارة فى إنبات البذور

يتأثر إنبات بذور الفلفل سلبيًا بارتفاع درجة الحرارة إلى ٣٥°م، بينما تنخفض نسبة الإنبات إلى أقل من ٥٪ فى حرارة ثابتة مقدارها ٤٠°م، إلا أن تباين الحرارة بين ٤٠°م نهارًا، و ٢٥، أو ٣٠، أو ٣٥°م ليلاً يقلل من الأثر الضار للحرارة الرتفعة نهارًا، ويزداد التأثير الإيجابى للحرارة المنخفضة ليلاً بزيادة الفترة بين درجتى حرارة الليل والنهار. ومن بين سبعة أصناف تم اختبارها كان أكثرها قدرة على الإنبات فى حرارة ثابتة مقدارها ٣٥°م الصنفين ميركورى Mercury، ويولو واندر بى Yolo Wonder B. ويعد هذا التأثير السلبى للحرارة العالية على إنبات البذور نوعًا من السكون الحرارى. حيث أن معظم البذور التى لم تنبت فى حرارة ٤٠°م لم تكن فاقدة الحيوية. كما كانت نسبة البذور الفاقدة الحيوية من تلك التى لم تنبت فى حرارة ٢٥°م أعلى من نظيرتها التى لم تنبت فى حرارة ٤٠°م (Coons وآخرون ١٩٨٩).

وقد أمكن التغلب على هذا السكون الحرارى فى ٤٠°م فى بذور صنف الفلفل جالابينو إم Jalapeno M بمعاملة البذور بكل من حامض الجبريلليك GA3، والإثيفون معًا، حيث كانت نتائج المعاملات المختلفة، كما يلى (Carter & Stevens ١٩٩٨).

المعاملة	الإنبات (٪)
الاستنبات فى حرارة ٢٥°م	٩٩
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م	صفر
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع سبق النقع فى الماء لمدة ٧ أيام	٤٠
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع المعاملة بالإثيفون (٣,٥ ملى مولار)	٥٠
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع المعاملة بالـ GA3 (٣,٠ ملى مولار)	٧٩
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع المعاملة بكل من الإثيفون والـ GA3	٩١

أهمية الحرارة فى نمو الشتلات

يزداد النمو الخضرى والنمو الجذرى لشتلات الفلفل بارتفاع درجة الحرارة، وتعد حرارة بيئة نمو الجذور هى الأكثر تأثيرًا فى هذا الشأن. وقد حُصل على أعلى معدل للنمو فى الشتلات التى كانت بعمر ٦٠ يومًا عندما تراوحت حرارة الهواء. بين ١٨، و ٢٣°م، ودرجة حرارة التربة بين ١٨، و ٢٨°م. كما انخفضت الحرارة المثلى التى صاحبها أفضل نمو بزيادة العمر المتوقع للشتلات قبل شتلها. حيث كان المدى الحرارى المناسب ١٣-٢٣°م للهواء، و ١٣-٢٧°م للتربة بالنسبة للشتلات التى كانت بعمر ٧٥ يوما، و ١٣-١٨°م للهواء، و ١٨°م للتربة بالنسبة للشتلات التى كانت بعمر ٩٠ يومًا وقد أدى ارتفاع درجة حرارة الهواء، أو التربة إلى زيادة سرعة تميز الأزهار (Choe وآخرون ١٩٩٤)

وقد أوصى Park وآخرون (١٩٩٦) بالمحافظة على درجة حرارة لا تزيد عن ٢٤°م نهارًا عند إنتاج الشتلات لكى تكون الشتلات الناتجة مندمجة النمو، ولكن مع رفع درجة الحرارة ليلاً عن ٢٠°م لكى يرتفع متوسط درجة الحرارة اليومى، الأمر الذى يسمح بتهيئة النباتات للإزهار مبكرًا.

أهمية الحرارة فى النمو النباتى والإزهار والعقد

وجد أن نمو وازهار نباتات الفلفل يرتبطان إيجابيًا بدرجة الحرارة. كذلك فإن عدد الأوراق التى تتكون بعد الأوراق الفلقية حتى إزهار النبات يقل بارتفاع كل من درجتى حرارة الهواء والتربة (Khan & Passam ١٩٩٢، وعن Si & Heins ١٩٩٦). وعلى خلاف الطماطم التى يؤدى تعريض بادرتها لحرارة ١٠°م إلى تبكير الإزهار ليصبح عند عقدة أقرب إلى قاعدة النبات، فإن هذه المعاملة تؤدى فى الفلفل — إذا أجريت قبل تكوين مبادئ الأزهار — إلى زيادة عدد الأوراق المتكونة — قبل ظهور أول زهرة — بورقة واحدة أو ورقتين.

هذا . وتزداد ساق نبات الفلفل طولاً مع كل ارتفاع فى درجة حرارة النهار

وانخفاض فى درجة حرارة الليل. أى مع الزيادة فى الفرق الموجب بين درجتى حرارة النهار والليل. وقد أوضحت دراسات Si & Heins (١٩٩٦) أن ارتفاع درجة حرارة النهار والليل أثر إيجابيًا وبصورة معنوية على جميع دلائل النمو المقيسة (مثل: طول الساق فى البادرة، وطول السلاميات، وقطر الساق، ومساحة الورقة، وعدد السلاميات والأوراق، وحجم النبات، والوزن الجاف للنمو الخضرى)، كما أثرت إيجابيًا كذلك على نسبة الجذور إلى النمو الخضرى، وأدت إلى زيادة دكنة اللون الأخضر فى أوراق النبات. أما العقدة التى ظهرت عندها أول زهرة فإنها ارتبطت بحرارة الليل، حيث كان عدد العقد التى تكونت حتى ظهور أول زهرة فى حرارة ليل ٢٦°م أقل بمقدار ١,٢ عقدة مما فى حرارة ليل ١٤°م.

وقد قارن Mercado وآخرون (١٩٩٧) تأثير تعريض نباتات الفلفل لحرارة مرتفعة (٢٩°م نهارًا مع ٢٠°م ليلاً)، أو منخفضة (٢٥°م نهارًا مع ١٤°م ليلاً) لمدة ٦٠ يومًا، ووجدوا أن معاملة الحرارة المنخفضة أحدثت — مقارنة بمعاملة الحرارة المرتفعة — التأثيرات التالية.

١- نقص فى طول النمو الخضرى، وعدد الأوراق، والوزن الجاف للنمو الخضرى بنسب تراوحت بين ٥٠٪، و ٧٠٪.

٢- زيادة فى عدد النموات الجانبية.

٣- زيادة فى محتوى الأوراق من الكلوروفيل والبروتين الذائب، والنيتروجين الكلى.

٤- نقص فى محتوى الأوراق من السكروز، مع زيادة فى محتواها من النشا.

٥- زيادة فى تحمل النباتات لأضرار البرودة لدى تعريضها لحرارة ٦°م لأربع ليال.

وأوضحت دراسات Liu وآخرين (١٩٩٦) أن تمثيل البروتين كان ضروريًا لأجل تقسية الفلفل للتأقلم على الحرارة العالية.

يؤدى ارتفاع الحرارة عن ٣٣°م إلى التأثير سلبًا على عقد أزهار الفلفل، وإن لم يؤثر ذلك على عدد الأزهار المنتجة. كما أنه ليس لهذا الانخفاض فى العقد علاقة بأى من

الفرق فى ضغط بخار الماء، أو معدل البناء الضوئى فى الحرارة العالية (Erickson & Markhart ٢٠٠١).

أهمية التبريد

أدى التبريد الصحراوى (بالمروحة والوسادة) لصوبات الفلفل إلى زيادة محصول الثمار الكلى وحالات تشقق الثمار، ولكن مع خفض فى حالات الإصابة بتعفن الطرف الزهرى وقد انخفضت كفاءة التبريد الصحراوى فى خفض درجة الحرارة، وفى تقليل الفرق فى ضغط بخار الماء VPD مع ازدياد بعد المسافة عن الوسادة المبتلة، وكان ذلك مصاحبا – كذلك – بانخفاض فى حالات الإصابة بتشققات الثمار، وزيادة فى حالات الإصابة بتعفن الطرف الزهرى (Bar-Tal وآخرون ٢٠٠٦)

الفترة الضوئية وشدة الإضاءة

دور الفترة الضوئية

وجد أن مبادئ الأزهار لا يتأثر تكوينها فى الفلفل بطول الفترة الضوئية، حيث تكونت فى وقت واحد فى فترات ضوئية تراحت بين ٧، و ١٥ ساعة، إلا أن زيادة الفترة الضوئية إلى ٢٤ ساعة (أى جعل الإضاءة مستمرة) أخر تكوينها لمدة ٥–٩ أيام ولذا يمكن القول بأن إزهار الفلفل يتأثر كميًا بالفترة الضوئية القصيرة؛ أى إنه Quantiative Short Day Plant

وتؤدى الحرارة العالية والفترة الضوئية الطويلة إلى تحفيز التفرع الثنائى، والإزهار المزدوج، بينما تؤدى حرارة الليل المنخفضة والفترة الضوئية القصيرة إلى تحفيز التفرع الثلاثى، والإزهار المفرد

وعلى خلاف الباذنجان الذى تصاب أوراقه بالاصفرار إذا تعرضت لإضاءة مستمرة، فإن الفلفل لا يتأثر سلبيًا بهذه المعاملة، بل إن أوراقه يزداد محتواها من الكلوروفيل (Murage & Masuda ١٩٩٧). وفى دراسة تالية (Masuda & Murage ١٩٩٨) وجد أن

تعريض شتلات الفلفل لإضاءة ضعيفة مستمرة أدت إلى زيادة وزنها الجاف، وعدد الأوراق فيها، وزيادة الوزن النوعى لأوراقها، وزيادة عقد ثمارها، مقارنة بالنباتات التى عُرِّضت لإضاءة عادية لمدة ١٢ ساعة فقط.

دور شدة الإضاءة

تؤدى الطريقة التى ينتج بها الفلفل فى الزراعات المحمية إلى تكوين نموات خضرية كثيفة ومتشابكة على المصاطب، يصل ارتفاعها — فى نهاية الموسم — إلى ٢–٢,٥ م، مع وجود ممرات خالية من النمو الخضرى. وقد قام Hand وآخرون (١٩٩٣) بتقدير شدة الإضاءة ومدى استفادة النباتات منها — فى ظل هذا النظام لتربية النباتات — وتوصلوا إلى النتائج التالية:

١– ازداد استقبال النباتات للضوء الساقط عليها — تدريجيًّا — أثناء نموها، إلى أن وصلت نسبة الاستفادة منه إلى ٩٢٪ عند بداية نضج الثمار، واستمرت على هذه الحال بعد ذلك.

٢– بلغت نسبة الإضاءة التى نفذت خلال النمو الخضرى حوالى ٢٠٪ عند الظهيرة (منتصف النهار)، وانخفضت إلى نحو ٢٪ قبل الظهيرة أو بعدها بساعات قليلة.

ولا توجد فى الدول العربية مشكلة فى نقص شدة الإضاءة، ولكن المشكلة الحقيقية تكمن فى تعرض الثمار (فى بداية مرحلة الإثمار قبل حلول فصل الشتاء)، والثمار التى تتكون بعد منتصف شهر أبريل للإصابة بلفحة الشمس.

يعتبر الفلفل من أبطأ محاصيل الخضر، ليس فى إنبات البذور وبزوغ البادرات فقط — وإنما كذلك فى نمو البادرات والنباتات؛ فهو — على سبيل المثال — أبطأ من الطماطم والخيار فى معدل النمو النسبى Relative Growth Rate بمقدار ٢٥٪، ويرجع ذلك إلى بطء الفلفل فى تكوين مساحات ورقية جديدة، بينما يزداد فيه سمك الأوراق (الوزن النوعى للورقة Specific Leaf Weight) مقارنة بالنوعين الآخرين.

ويمكن تقليل سمك أوراق الفلفل وزيادة نسبة مساحة الأوراق إلى الوزن الكلى للنبات (نسبة المساحة الورقية Leaf Area Ratio)، وذلك بخفض شدة الإضاءة

كذلك يزداد معدل ظهور الأوراق الجديدة فى الفلفل بزيادة شدة الإضاءة

وتؤدى الإضاءة القوية (٢٨ ميجا جول/م^{2} MJm^{-2}) إلى نقص محصول الفلفل الكلى بمقدار ١٩٪ والمحصول الصالح للتسويق بمقدار ٥٠٪ مقارنة بمحصول النباتات المظللة قليلاً بداية من الشتل وقد كانت معاملة التظليل مصاحبة بنقص فى نسبة لثمار المصابة بلسعة الشمس، وبزيادة فى حجم الثمار، وأيضًا بزيادة فى المساحة الورقية. هذا .. إلا أن محصول الفلفل يزداد بزيادة شدة الإضاءة طالما بقيت درجة الحرارة فى المدى المناسب، وما توفرت الرطوبة الأرضية التى تحتاجها النباتات فى هذه الظروف (عن Wien ١٩٩٧).

الرطوبة النسبية

وجد أن زيادة الرطوبة النسبية ليلاً تؤدى إلى زيادة متوسط وزن الثمرة مقارنة بالإنتاج فى ظروف الرطوبة النسبية الأقل خلال الليل. هذا .. إلا أن التغيرات فى الرطوبة النسبية ليلاً، أو نهارًا لم يكن لها أية تأثيرات معنوية على النمو الخضرى أو المحصول المبكر، أو الكلى (Bakker ١٩٨٩).

ويناسب الفلفل رطوبة نسبية تقدر بنحو ٧٥٪.

النمو والتطور

ارتباطات النمو

يرتبط النمو الخضرى لنبات الفلفل سلبيًا مع نمو الثمار، الأمر الذى يؤثر سلبيًا — بدوره — على محصول الثمار

وكمثال عملى على ذلك نجد أن الفلفل يربى فى الزراعات المحمية — عادة — على ساقين، مع إزالة جميع الفروع القاعدية والعلوية الأخرى أثناء تكوينها. كذلك