تأثير الحرارة والفترة الضوئية على محاصيل الخضر

الطماطم

التأثير العام لدرجة الحرارة

تعد الطماطم من نباتات الجو الدافئ، فهى تحتاج إلى موسم نمو دافئ طويل خال من الصقيع. ويتراوح المجال الحرارى الملائم — بصورة عامة — بين ١٨ و٢٩°م، كما تتجمد النباتات فى حرارة أقل من الصفر المئوى، ولا يحدث نمو يذكر، فى حرارة تقل عن ١٠°م. ومع ارتفاع درجة الحرارة عن ذلك يزداد معدل النمو تدريجيًّا حتى تصل إلى ٣٠°م، حيث يؤدى تعريض النباتات لهذه الدرجة لفترة طويلة إلى جعل الأوراق صغيرة وباهتة اللون، وجعل السيقان رهيفة. وعلى العكس من ذلك.. نجد الأوراق عريضة، ولونها أخضر داكن، والسيقان سميكة فى درجات الحرارة المنخفضة نسبيًّا، والتى تقل عن ١٥°م. ولا يحدث نمو يذكر فى درجة حرارة ثابتة (ليلاً ونهارًا)، وتزيد عن ٣٥°م.

ومما تجدر ملاحظته أن تفاوت درجات الحرارة بين الليل والنهار يناسب الطماطم، فقد وجد أن النمو النباتى كان أفضل فى حرارة ٢٣°م نهارًا و ١٧°م ليلاً. وربما يرجع ذلك إلى إسهام الحرارة المنخفضة ليلاً فى تقليل كمية الغذاء المفقود بالتنفس أثناء الليل.

الاحتياجات الحرارية لمختلف مراحل النمو

لكل مرحلة من مراحل نمو نبات الطماطم درجة الحرارة المثلى لها، وقد تختلف هذه الدرجة ليلاً عنها نهارًا كما هو مبين فى جدول (١٦-٥) (عن Aung ١٩٧٩). ومع أن توفير درجات الحرارة المبينة فى الجدول فى مراحل النمو المختلفة يعد أمرًا مثاليًّا، إلا أنه نادرًا ما يتحقق إلا فى البيوت المحمية المزودة بوسائل التبريد والتدفئة. وعمومًا.. فإن الدرجات المبينة فى الجدول ليست قاطعة فيما يتعلق بالاحتياجات الحرارية للطماطم، وذلك لأن هذه الاحتياجات تتأثر كثيرًا بشدة الإضاءة؛ فتقل درجة

الحرارة المناسبة لأية مرحلة من النمو مع انخفاض شدة الإضاءة. كما أن الأصناف تختلف فى استجابتها لدرجة الحرارة.

جدول (١٦-٥): درجات الحرارة المثلى لمختلف مراحل نمو وتطور نبات الطماطم.

المرحلة	درجة الحرارة المثلى (°م)
إنبات البذور	٢٦ - ٣٢
نمو الأوراق الفلقية إلى أكبر حجم لها	١٦ - ٢٠
نمو البادرات	٢٥ - ٢٦
استطالة الساق	٣٠ نهارًا/ ١٧ ليلاً، ٢٧ نهارًا/١٩ - ٢٠ ليلاً
النمو الخضرى	٣٥ نهارًا/ ١٨ ليلاً، ٢٦ نهارًا/ ٢٢ ليلاً
نمو الجذور: البادرات	٢٦ - ٣٢
النبات الأكبر	٢٧ نهارًا/١٣ - ٢٢ ليلاً
تكوين مبادئ الأوراق	٢٥
تكوين الأزهار	١٣ - ١٤
تفتح الأزهار	١٣ - ١٤، ٢٦ نهارًا/ ٢٢ ليلاً
تكوين حبوب اللقاح	٢٠ - ٢٦
إنبات حبوب اللقاح	٢٢ - ٢٧
استطالة الأنابيب اللقاحية	٢٢ - ٢٧
بروز الميسم من المخروط السدائى (غير مرغوب)	٣٠ - ٣٥
عقد الثمار	١٨ - ٢٠
نضج الثمار	٢٤ - ٢٨

أهمية خفض حرارة التربة فى منطقة نمو الجذور

أحدث غرس شتلة الطماطم حتى عمق ١٥ سم زيادة جوهرية فى المحصول الصالح للتسويق، وذلك مقارنة بالمحصول فى حالة الغرس حتى عمق ٧,٥ سم؛ ورافق ذلك زيادة جوهرية فى الكتلة النباتية الجافة فى حالة الغرس العميق. كذلك وجد أن الرى بالتنقيط فى الصباح (٧,٣٠ صباحًا) لمدة ٢ ١/٢ ساعة أدى إلى زيادة المحصول المبكر والكلى ومتوسط وزن الثمرة، مقارنة بما حدث عند بدء الرى فى الساعة ٢,٣٠ بعد الظهر. كما كانت حرارة التربة الساعة ٤,٠٠ بعد الظهر أقل جوهريًا على عمق ١٥ سم

منها على عمق ٧,٥ سم. كذلك ساعد استخدام الغطاء البلاستيكى الأسود فى خفض حرارة التربة. ويُستدل مما تقدم أن كل العوامل التى تُساعد فى خفض حرارة التربة فى منطقة نمو الجذور (الشتل حتى عمق ١٥ سم، والرى صباحًا، واستعمال الغطاء البلاستيكى الأبيض للتربة) تؤدى إلى زيادة المحصول المبكر والكلى ومتوسط وزن الثمرة فى الطماطم (Hanna وآخرون ١٩٩٧).

البطاطس

تعتبر البطاطس من النباتات التى يناسبها الجو المعتدل؛ فهى لا تتحمل الصقيع، ولا تنمو جيدًا فى الجو الشديد البرودة أو الشديدة الحرارة.

تأثير درجة الحرارة

تناسب نبات البطاطس حرارة تميل إلى الارتفاع ونهار طويل نسبيًا فى بداية حياته، وحرارة تميل إلى الانخفاض، ونهار قصير نسبيًا فى النصف الثانى من حياته. وتعمل الظروف الأولى على تشجيع تكوين نمو خضرى قوى فى بداية حياة النبات قبل أن يبدأ فى وضع الدرنات، ثم تعمل الفترة الضوئية القصيرة على تحفيز وضع الدرنات، ويساعد انخفاض الحرارة قليلاً على زيادتها فى الحجم، وزيادة المحصول تبعًا لذلك.

وبالمقارنة.. فإن الحرارة المرتفعة فى النصف الثانى من حياة النبات تثبط تكوين الدرنات، ليس فقط فى البطاطس، ولكن كذلك فى عديدٍ من الأنواع الأخرى التى تكوّن درنات من الجنس *Solanum*. ويمكن القول — بصورة عامة — أن الحرارة التى تناسب النمو الخضرى تزيد على ٢٠°م، بينما تلك التى تناسب النمو الدرنى تقل عن ٢٠°م (Cao & Tibbitts ١٩٩٤).

ترجع أهمية الحرارة المنخفضة قليلاً فى النصف الثانى من حياة النبات إلى أنها تؤدى إلى خفض معدل التنفس فى جميع أجزاء النبات؛ فيزيد بالتالى فائض المواد الغذائية الذى يخزن فى الدرنات. ولدرجة الحرارة ليلاً أهمية أكبر من درجة الحرارة نهارًا فى هذا الشأن؛ لأن حرارة الليل المنخفضة لا تؤثر على معدل التنفس، بينما تؤثر

حرارة النهار المنخفضة — إلى جانب ذلك — على معدل البناء الضوئى الذى ينخفض أيضًا بانخفاض درجة الحرارة. وعلى الرغم من ذلك.. فإن انخفاض درجة الحرارة نهارًا يعد أفضل من ارتفاعها؛ لأن ارتفاعها كثيرًا يجعل معدل الهدم بالتنفس أكبر من معدل البناء بالتمثيل؛ فتكون المحصلة سلبية.

ويؤدى الارتفاع الكبير فى درجة حرارة التربة إلى تحليق ساق النبات عند مكان تلامسه مع التربة. وتبدأ الأعراض بظهور لونٍ رصاصيٍ ضاربٍ إلى البياض فى منطقة الإصابة، ثم يتحول تدريجيًّا إلى اللون البنى الفاتح. وقد تؤدى الإصابة الثانوية بالكائنات الدقيقة إلى تلون النسيج المصاب باللون البنى الداكن، وقد يتعفن نتيجة لذلك. تشتد الإصابة فى المراحل الأولى من حياة النبات عندما تكون النموات الخضرية صغيرة، ولا تكفى لتظليل التربة عند قاعدة النبات.

وعلى الرغم من أن نباتات البطاطس تجود فى الجو المائل إلى البرودة، إلا أنها تتضرر من البرودة الشديدة؛ فيؤدى تعرض النباتات لحرارة تزيد عن درجة التجمد وتقل عن ٤°م لعدة أيام قبل الحصاد إلى إصابة الدرنات بأضرار البرودة، والتى من أهمها ما يلى:

١-يزيد محتوى الدرنات من السكريات المختزلة، والتى تعد السبب الرئيسى لتلون الشبس والبطاطس المحمرة باللون الداكن عند القلى.

٢-يحدث تحلل شبكى داخلى Internal Net Necrosis نتيجة لتحلل خلايا اللحاء فقط دون باقى أنسجة الدرنة؛ نظرًا لكونها أكثر حساسيةً للحرارة المنخفضة من غيرها. وقد يكون نسيج اللحاء المتأثر متناثرًا فى جميع أنحاء الدرنة، أو متركزًا فى الجانب المعرض للحرارة المنخفضة، أو فى منطقة الحزم الوعائية. وتتشابه هذه الأعراض كثيرًا مع أعراض التحلل الشبكى الذى يُحدثها فيرس التفاف الأوراق.

٣-تصاب الدرنات بالتلون الماهوجنى الداخلى Internal Mahogany Browning وهو عيب فسيولوجى، من أهم أعراضه ظهور مناطق داخليةٍ بلونٍ أحمر ضاربٍ إلى البنى أو الأسود، خاصة فى مركز الدرنة. وتتشابه هذه الأعراض — إلى حدٍ كبيرٍ — مع أعراض

الإصابة بحالة القلب الأسود. ومع تقدم الإصابة يجف النسيج المتأثر وتظهر فجوات مكانه.

أما التعرض لحرارة التجمد، فإنه يعنى فقد المحصول؛ فيؤدى تجمد النموات الخضرية ثم تفككها إلى ذبول الأوراق وانهيارها، ثم تبدو مائية المظهر Water-Soaked، وتتلون باللون الأسود؛ فتظهر كأنها محترقة. تتتابع هذه الأعراض بسرعةٍ كبيرةٍ عند ارتفاع درجة الحرارة فى الصباح، وبمجرد تفكك الأنسجة التى تجمدت ليلاً. ولا تلبث الأوراق أن تجف بعد ذلك، وتتحول إلى اللون البنى. وتشتد حالات الإصابة بالتجمد فى المناطق المنخفضة التى يتجمع فيها الهواء البارد، وفى المرتفعات التى تكون باردةً بطبيعتها.

وإذا حدث وتجمدت الدرنات فى التربة — وهو أمر نادر فى المناطق المعتدلة — فإن الأنسجة المتجمدة تبدو مائية المظهر؛ وذات حدودٍ واضحةٍ تميزها عن الأنسجة غير المتجمدة. وعند تفكك النسيج المتأثر، فإنه يتحول سريعًا إلى اللون الوردى أو الأحمر، فالبنى أو الرمادى، ثم الأسود، ويصبح متعفنًا وطريًّا (Rastovski وآخرون ١٩٨١).

ويحدث التجمد لنباتات البطاطس إذا انخفضت الحرارة عن -٣°م، وهى تتشابه فى هذا الأمر مع عددٍ كبيرٍ من الأنواع الأخرى التابعة للجنس *Solanum*، بينما يمكن لبعض الأنواع البرية الأخرى أن تتحمل درجات حرارة أكثر انخفاضًا، تصل إلى -٤,٥°م فى النوع *S. commersonii*، وإلى -٥°م فى النوع *S. chomatophilum*، و-٦°م فى النوع *S. acaule*، ويمكن بالأقلمة التدريجية على الحرارة المنخفضة (٢°م) أن يتحمل النوع الأخير حرارةً تصل إلى -٩°م، بينما لا تتأثر البطاطس كثيرًا بعملية الأقلمة على الحرارة المنخفضة (Li & Fennell ١٩٨٥).

ويمكن أن تُضار البطاطس بشدةٍ من سقوط البَرَدْ، وخاصة إذا حدث ذلك فى مرحلة تفتح الأزهار أو قبل ذلك بقليل؛ وهى المرحلة التى تبدأ عندها زيادة حجم الدرنات المتكونة. ويحدث الضرر نتيجةً لنقص المساحة الورقية؛ بسبب ما يُحدثه البَرَدْ من أضرار بالأوراق. وقد قدّر Burger (١٩٩٣) أن تلف أوراق النبات فى مرحلة تفتح الأزهار — بسبب البَرَدْ — بنسبة ١٠٠٪ يؤدى إلى نقص المحصول بنسبة ٦٠٪، بينما

يؤدى تلف ٥٠٪ من الأوراق إلى نقص المحصول بنسبة ٢٠٪ – ٣٠٪. ومن الأضرار الأخرى للبَرَدْ تأخر الحصاد، وصغر حجم الدرنات المتكونة، وزيادة محتواها من السكريات المختزلة. وتتميز الأصناف المتأخرة بقدرةٍ على تجديد النموات الخضرية – بعد التعرض لأضرار البَرَدْ – أكبر من قدرة الأصناف المبكرة.

ولا تتحمل درنات البطاطس التعرض لأشعة الشمس القوية بعد الحصاد مباشرةً؛ فذلك يهيئها للإصابة بالعفن أثناء النقل والتخزين، دون أن تظهر عليها أية أعراض خارجيةٍ سابقةٍ لذلك، باستثناء خروج بعض الإفرازات المائية من العديسات. وتؤدى زيادة فترة التعرض للأشعة القوية – خاصة عند ارتفاع درجة الحرارة – إلى إصابة الدرنات بلسعة الشمس. وتبدو المناطق المتأثرة غائرة قليلاً، وتأخذ مظهرًا حلقيًّا.

إنبات الدرنات

تتراوح درجة الحرارة المثلى لإنبات الدرنات بين ١٨ و٢٢ °م، إلا أن المجال المناسب يتراوح بين ١٥ °م و٢٥ °م. يكون الإنبات بطيئًا فى درجات الحرارة الأقل من ذلك، بينما تتعرض التقاوى للإصابة بالعفن فى درجات الحرارة الأعلى من ذلك. ويبين جدول (١٦–٦) الفترة التى يستغرقها إنبات الدرنات وظهور النبت فوق سطح التربة عند اختلاف درجة حرارة التربة بين ٤,٤ و١٨,٣ °م؛ وهى الحرارة التى تسود غالبًا فى موعد زراعة العروة الصيفية للبطاطس فى مصر.

جدول (١٦–٦): عدد الأيام التى يلزم مرورها لظهور النبت الجديد فوق سطح التربة عند اختلاف حرارة التربة بين ٤,٤ و١٨,٣ °م واختلاف عمق الزراعة (عن Univ. Calif. ١٩٨٦).

حرارة التربة عند الزراعة (°م)	عدد الأيام حتى ظهور النبت الجديد عندما تكون الزراعة على عمق (سم)	
	١٠	١٥
٤,٤	٤٠ أو أكثر	٤٠ أو أكثر
٧,٢	٣٠	٤٠
١٠,٠	٢٥	٢٨
١٢,٨	٢٢	٢٦
١٥,٦	٢٠	٢٤
١٨,٣	١٨	٢٢

وفى دراسة أخرى وجد أن سرعة الإنبات تزيد كثيرًا بارتفاع الحرارة حتى ٢٤°م، كما هو مبينَ فى جدول (١٦-٧). ويتضح من الجدول أن أنسب درجة حرارة لإنبات درنات البطاطس تتراوح بين ٢١°م و ٢٤°م (Yamaguchi وآخرون ١٩٦٤).

جدول (١٦-٧): تأثير درجة الحرارة على سرعة إنبات درنات البطاطس.

المجال الحرارى	عدد الأيام اللازمة حتى	
	٥٠٪ إنبات	١٠٠٪ إنبات
١٠- ١٢,٧	٢٨	٣٦
١٥,٥- ١٨,٣	١٣	٢٠
٢١,١- ٢٣,٨	٨	١٣
٢٦,٦- ٢٩,٤	١٢	١٥

النمو الخضرى

أوضح Bodlaender (١٩٦٠ أ،ب) أنه لم تحدث أية زيادة فى طول ساق نبات البطاطس فى حرارة أقل من ٧-٨°م، ثم ازداد طول الساق تدريجيًّا بارتفاع درجة الحرارة، إلى أن وصل طول الساق إلى أقصى مدى له فى حرارة ١٨- ٢٠°م، وكانت الزيادة فى طول الساق فى الحرارة العالية أكبر منها فى الحارة المنخفضة. ولم يجد الباحث اختلافًا بين حرارة النهار وحرارة الليل فى التأثير على طول الساق. أما الأوراق والوريقات، فقد كانت - عادة - أكبر حجمًا، وكان لونها الأخضر أكثر دكنةً عندما كانت درجة الحرارة مرتفعة نهارًا ومنخفضةً ليلاً. وأدت حرارة الليل المرتفعة إلى موت الأوراق بسرعة أكبر مما لو كانت حرارة الليل منخفضةً، ولكن معدل تكوين الأوراق الجديدة ازداد فى المقابل؛ الأمر الذى أدى إلى زيادة العدد النهائى لأوراق النبات فى الحرارة العالية. وقد توصل Bodlaender من دراسته إلى أن أفضل المعدلات الحرارية كانت من ١٨- ٢٠°م لنمو السيقان، و١٢- ١٤°م لنمو الأوراق، وأن ارتفاع الحرارة ليلاً يؤدى إلى نقص نسبة الأوراق إلى السيقان.

كذلك درس Borah & Milthorpe (١٩٦٢) تأثير الحرارة الثابتة: ١٥، و٢٠، و٢٥°م، والحرارة المتغيرة: ٢٠°م نهارًا مع حرارة ١٠، أو ١٥، أو ٢٠، أو ٢٥°م ليلاً، ووجدا أن نمو البطاطس فى الحرارة الثابتة العالية ٢٥°م أعطى أكبر نمو خضرى للسيقان والأوراق، وأكبر قدرٍ من التفريع. وقد أكد Scaramella Petri (١٩٦٣) تلك النتائج؛ حيث وجد أن سيقان نباتات البطاطس كانت أكثر طولاً فى حرارة ٢٥°م منها فى حرارة ١٥°م، أو ٢٠°م، وكان هذا النمو الخضرى القوى مصاحبًا بضعفٍ فى نمو الأجزاء تحت الأرضية للنبات؛ مما أدى إلى نقص المحصول.

وتأييدًا لما سبق بيانه من أن الحرارة العالية تؤدى إلى زيادة طول النبات، وجد Krug (١٩٦٣) أن نباتات البطاطس — عندما كانت الحرارة ١٢°م نهارًا، و٨°م ليلاً لمدة ٤٠ يومًا، ثم زيدت إلى ١٦°م نهارًا، و١٢°م ليلاً– كانت أكثر اندماجًا مما لو كانت الحرارة أعلى من ذلك.

أما درجة حرارة التربة المثلى للنمو الخضرى المتوازن مع النمو الدرنى فإنها تتراوح بين ١٥°م و١٨°م، وتؤدى الحرارة الأعلى من ذلك إلى زيادة طول الساق وزيادة وزن النمو الخضرى، وخاصة عندما تكون حرارة الهواء منخفضةً (١٧°م نهارًا، و ١١°م ليلاً) (عن Boadlander ١٩٦٠).

وتوجد علاقة طردية خطية بين معدل ظهور الأوراق الجديدة فى البطاطس ودرجة الحرارة بين ٩ و٢٥°م، ولكن هذه الزيادة لا تستمر فى معدل تكوين الأوراق الجديدة مع استمرار ارتفاع الحرارة عن ٢٥°م. وقد قدر المعامل الحرارى Temperature Coefficient لمعدل ظهور الأوراق الجديدة بنمو ٠,٠٣٢ ورقة/درجة حرارية يومية degree days، مع اعتبار أن درجة الأساس هى الصفر المئوى. كما نقصت فترة استكمال نمو الورقة الواحدة مع ارتفاع الحرارة حتى ٢٥°م، حيث كانت الدرجة

الحرارية اليومية الطبيعية ثابتةً عند ١٧٠ °م، باعتبار أن حرارة الأساس هى الصفر المئوى (Kirk & Marshall ١٩٩٢).

كما وجد Almekinders & Struik (١٩٩٤) أن ارتفاع الحرارة بين ١٥ °م و٢٧ °م أدى إلى زيادة عدد الفروع الجانبية.

وقد تبين من دراسات Gawronska وآخرين (١٩٩٢) أن الحرارة العالية (٣٥ °م نهارًا/ ٢٥ °م ليلاً) أدت إلى خفض الإنتاج الكلى للمادة الجافة، وغيرت من توزيعها فى النبات لصالح النمو الخضرى وعلى حساب النمو الدرنى؛ وذلك مقارنة بالحرارة المعتدلة (٢٥ °م نهارًا/ ١٢ °م ليلاً).

وقد وجد Hammes & Jager (١٩٩٠) أن صافى البناء الضوئى انخفض فى البطاطس بارتفاع درجة الحرارة عن ٢٠ °م. وفى حرارة ٤٠ °م.. كان معدل البناء الضوئى ٣٧٪ من معدله فى حرارة ٢٠ °م. وعندما حُوفظ على حرارة الهواء ثابتةً عند ٢٠ °م بينما زيدت حرارة التربة — فقط — إلى ٤٠ °م.. كان معدل البناء الضوئى ٧٢٪ من معدله عند حرارة تربة وهواء مقدارها ٢٠ °م.

كذلك أوضح Thornton وآخرون (١٩٩٦) أن الحرارة العالية (٣٥ °م نهارًا، و٢٥ °م ليلاً، مقارنةً بحرارة ٢٥ °م نهارًا، و١٢ °م ليلاً) أدت إلى نقص الوزن الجاف الكلى لجميع أصناف البطاطس التى شملتها الدراسة، وظهر أكبر تأثير للحرارة العالية فى الصنف رصّت بربانك الحساس للحرارة، كما بدا أن اختلاف الأصناف فى مدى تحملها للحرارة العالية كان مرتبطًا بمدى تأثر نسبة التنفس إلى البناء الضوئى فيها بالحرارة العالية.

تكوين ونمو السيقان الأرضية

تؤثر الحرارة على تكوين ونمو السيقان الأرضية؛ فعندما تكون درجة الحرارة فى

المجال الملائم لنبات البطاطس نجد أن السيقان الأرضية تبدأ فى النمو والاستطالة من وقت ظهور النبات فوق سطح التربة. وعند ارتفاع درجة الحرارة نجد أن نمو السيقان الأرضية يتأخر لحين تكوّن عدة أوراق؛ لأن تكوين السيقان الأرضية يرتبط بتراكم المواد الكربوهيدراتية فى ساق النبات أسفل سطح التربة، وهو الأمر الذى لا يحدث بسرعةٍ عند ارتفاع درجة الحرارة بسبب استهلاك نسبةٍ عاليةٍ من الغذاء المجهز فى التنفس. ومع ذلك.. فإن مستوى المواد الكربوهيدراتية اللازم لتكوين المدادات أقل بكثيرٍ من المستوى اللازم لتكوين الدرنات (Thompson & Kelly ١٩٥٧).

تكوين ونمو الدرنات، والمحصول

تؤثر درجة الحرارة على تكوين الدرنات؛ وبالتالى فإنها تؤثر على كمية المحصول. وقد كان Bushnell (١٩٢٥) أول من در هذا الموضوع، ووجد أن ارتفاع الحرارة من ٢٠ — ٢٩°م صاحبه نقص فى إنتاج الدرنات، ولم تتكون أية درنات عندما تعرضت النباتات لحرارة ثابتةٍ مقدارها ٢٩ °م. وقد علل ذلك بازدياد معدل تنفس الأجزاء الهوائية فى درجات الحرارة العالية؛ وبالتالى زيادة استهلاك الغذاء المجهز فى التنفس؛ الأمر الذى أدى إلى نقص المحصول الذى يتوقف على كمية المواد الكربوهيدراتية المنتجة التى تفيض عما يلزم للنمو والتنفس فى جميع أجزاء النبات الأخرى.

وقد تأيدت تلك النتائج بدراسات Werner (١٩٣٤) التى وجد فيها أن الحرارة العالية — التى تراوحت بين ٢٤°م و٣٣°م — أثّرت سلبيًّا على محصول الدرنات، بينما ازداد المحصول فى درجات الحرارة الأقل من ٢٤°م. وقد أمكن تجنب التأثير الضار للحرارة المرتفعة — جزئيًّا — بتقصير طول الفترة الضوئية؛ حيث أمكن الحصول على درنات فى حرارة ٣٢°م بتخفيض الفترة الضوئية إلى ٢/١ ١٠ ساعة.

وتتراوح الحرارة المثلى لتكوين الدرنات فى البطاطس بين ١٥، و٢٠ °م (عن

Bodlaender ١٩٦٠ أ). ويؤدى ارتفاع الحرارة أثناء الليل إلى تأخير تكوين الدرنات ونقص عددها، بينما يؤدى ارتفاع الحرارة نهارًا إلى نقص حجم الدرنات المتكونة (Adisarwanto ١٩٩٣).

وكلما ازدادت شدة الإضاءة ازداد الحد الأقصى لدرجة الحرارة التى يمكن أن تنتج فيها الدرنات؛ لذا يلاحظ أن البطاطس تعطى محصولاً جيدًا فى المناطق ذات الجو القارى، برغم ارتفاع درجة الحرارة كثيرًا أثناء النهار. ويرجع ذلك إلى أن الارتفاع فى درجة الحرارة نهارًا تصاحبه زيادة فى شدة الإضاءة، كما أن درجة الحرارة تنخفض ليلاً؛ مما يقلل الفقد فى المواد الكربوهيدراتية بالتنفس، كما وجد Bodlaender (١٩٦٠أ) أن درجة الحرارة المناسبة لنمو سيقان النبات تزداد ارتفاعًا مع ازدياد شدة الإضاءة.

يزداد انخفاض محصول الدرنات عند ارتفاع درجة الحرارة ليلاً عنه عند ارتفاع الحرارة نهارًا، والسبب فى ذلك هو أن ارتفاع الحرارة ليلاً يساعد على زيادة الفاقد فى المواد الكربوهيدراتية بالتنفس، بينما يؤدى ارتفاع درجة الحرارة نهارًا إلى زيادة معدل كل من التنفس والبناء الضوئى. ومع استمرار الارتفاع فى درجة الحرارة يزيد هدم المواد الكربوهيدراتية بالتنفس عن بنائها بالتمثيل الضوئى.

وكما تعمل درجة حرارة الليل المنخفضة على تقليل الفاقد فى المواد الكربوهيدراتية بالتنفس، فإنها تعمل أيضًا على زيادة نمو الأوراق.

وقد وجد Gregory (١٩٥٤ عن Bodlaender ١٩٦٣ أ) أن محصول البطاطس فى حرارة ٣٠°م نهارًا، و١٧°م ليلاً كان أكبر مما كان عليه الحال فى حرارة ثابتة مقدارها ٢٣°م، وأُرجعت هذه الزيادة فى المحصول إلى حرارة الليل المنخفضة. كذلك وجد Courduroux (١٩٥٩) أن حرارة الليل المنخفضة فى حدود ١٤°م حفَّزت تكوين الدرنات. أما Bodlaender (١٩٦٠ أ) فقد وجد نقصًا فى عدد الدرنات المتكونة بارتفاع

درجة حرارة الليل، وكان أنسب مجالٍ حرارىٍ لنمو الدرنات فى تلك الدراسة هو ١٨ — ٢٤°م نهارًا مع ٦ — ١٢°م ليلاً.

وعلى الرغم من أن أنسب حرارة لتكوين الدرنات — كمتوسطٍ عامٍ — هى ١٥°م، إلا أن المحصول المرتفع يناسبه مجال حرارى من ١٨ — ٢١°م، وهو وسط بين الدرجة المثلى لتكوين الدرنات والدرجة المثلى لنمو السيقان، والتى تبلغ ٢٥°م (Borah & Milthorpe ١٩٦٢). ويؤدى انخفاض الحرارة عن ١٥°م إلى تأخير تكوين الدرنات، كما يؤدى ارتفاعها عن ٢٥°م إلى جعل الدرنات المتكونة غير منتظمة الشكل، وقريبة من سطح التربة.

نوعية الدرنات

تؤثر الحرارة على نوعية الدرنات المتكونة؛ فتكون الدرنات أكثر انتظامًا فى الشكل فى حرارة تتراوح بين ١٥°م و ٢١°م. ويؤدى انخفاض الحرارة إلى ١٠ — ١٣°م إلى أن تميل درنات الأصناف المستطيلة إلى الكروية، كما يؤدى ارتفاعها إلى ٢٧ — ٢٩°م إلى تغير شكل الدرنات، فتصبح مغزلية، كما فى الصنف هوايت روز White Rose، أو تظهر بها نموات جانبية؛ كما فى كثير من الأصناف.

ويتكون الجلد الشبكى بشكلٍ جيدٍ فى الأصناف الشبكية russeted فى حرارة ٢٤°م؛ بالمقارنة بدرجات الحرارة الأقل والأعلى من ذلك. ومع انخفاض درجة الحرارة يقل تكوين البيريدرم المسئول عن الشبك السطحى على درنات هذه الأصناف؛ إلى حد أن تصبح الدرنات ملساء فى حرارة ٧ — ١٠°م. ويعد ذلك عيبًا تجاريًا فى هذه الأصناف.

وتكون نسبة السكر والنشا والكثافة النوعية للدرنات أعلى ما يمكن فى حرارة ١٥ — ٢٤°م؛ بالمقارنة بما تكون عليه هذه الصفات فى درجات الحرارة الأعلى أو الأقل من ذلك.

تأثير الفترة الضوئية

أوضح McCelland منذ عام ١٩٢٨ أن النمو الخضرى فى البطاطس يناسبه النهار الطويل، بينما تكوين الدرنات يناسبه النهار القصير (عن Piringer ١٩٦٢). وقد تأيد ذلك فى عديدٍ من الدراسات الأخرى. ويؤدى النهار الطويل إلى زيادة النمو الخضرى، واستمراره لفترة أطول مما فى النهار القصير فى كلٍّ من الأصناف المبكرة والمتأخرة على حدٍ سواء. ويزيد النهار القصير من كفاءة تكوين الدرنات؛ فتكون نسبة وزن الدرنات إلى المجموع الخضرى أكبر فى النهار القصير. وفى نفس الوقت نجد أن النهار القصير يؤثر سلبيًّا على المحصول الكلى؛ لأنه يشجع على تكوين الدرنات مبكرًا؛ فيتوقف النمو الخضرى مبكرًا، ويقل المحصول تبعًا لذلك (Burton ١٩٤٨، و Ezekiel & Bhargava ١٩٩١). ولا يعنى ذلك أن البطاطس لا تكوّن درنات فى النهار الطويل، ولكنها تنمو أثناءه خضريًّا لفترة أطول قبل أن تبدأ فى وضع الدرنات. وتأييدًا لذلك.. وُجد أن أصناف البطاطس الأوروبية تقل فترة نموها بمقدار ٢٥٪-٥٤٪ إذا زرعت فى المناطق القريبة من خط الاستواء؛ حيث يؤدى النهار القصير فيها إلى إسراع تكوين الدرنات، وتوقف النمو الخضرى مبكرًا؛ ويقل المحصول تبعًا لذلك (Hardenburg ١٩٤٩).

وعلى الرغم من أن جميع أصناف البطاطس تستجيب للفترة الضوئية بنفس الطريقة التى سبق بيانها، إلا أن درجة الاستجابة تتوقف على درجة التبكير فى النضج؛ فقد وجد Caesar & Krug (١٩٦٥) أن زيادة طول النهار من ١٢ إلى ١٨ ساعة أدت إلى زيادة النمو الخضرى، وإطالة مدته، وزيادة عدد ومحصول الدرنات فى ١٢ صنفًا من البطاطس، إلا أن الأصناف المتأخرة كانت أكثر استجابة من الأصناف المبكرة. وفى دراسة سابقة لذلك أجريت على سلالتين من الصنف ترايمف Triumph إحداهما مبكرة، والأخرى متأخرة، وجد أن تكوين الدرنات فى كلتيهما فى نهار ١١ ساعة كان أسرع مما فى نهار ١٦ ساعة، كما كان تكوين الدرنات أسرع فى السلالة المبكرة مما فى السلالة المتأخرة فى معاملتى طول الفترة الضوئية، إلا أن الفرق بينهما فى الفترة

الضوئية القصيرة كان أقل مما فى الفترة الضوئية الطويلة. وقد كان المحصول فى كلتيهما أكبر فى النهار الطويل مما فى النهار القصير.

ويلاحظ أن الحد الأقصى لطول النهار المناسب لتكوين الدرنات فى الأصناف المبكرة يكون أكبر مما فى الأصناف المتأخرة، فنجد فى المناطق الشمالية أن الأصناف المبكرة تنمو فى ظروف النهار القصير فى الربيع وبداية الصيف، وتضع درناتها فى ظروف النهار الطويل فى منتصف الصيف، بينما نجد أن الأصناف المتأخرة تستمر فى النمو الخضرى خلال الصيف، ثم تضع درناتها عندما تقصر الفترة الضوئية فى أواخر فصل الصيف. ويعمل النهار الطويل على إطالة فترة النمو الخضرى فى الأصناف المبكرة قبل أن تبدأ فى وضع الدرنات، ويعمل ذلك على زيادة محصولها.

ويتبين من دراسات Markarov وآخرين (١٩٩٣) أن مدى تأثر النمو الخضرى — وكذلك الزهرى — للبطاطس بالفترة الضوئية يتوقف على كلٍّ من الصنف والنوع. وقد استخدم الباحثون فى دراستهم الأنواع *Solanum tuberosum*، و*S. andigenum*، و*S.stoloniferum*.

ومما يدل على أن البطاطس من نباتات النهار القصير — بالنسبة لتكوين الدرنات — أن قطع الليل الطويل بفترة إضاءة طولها ٢٠ دقيقة فقط تؤدى إلى توقف تكوين الدرنات بدرجة كبيرة. وعلى العكس من ذلك.. فإن قطع النهار الطويل بفترة ظلام مدتها ٢٠ دقيقة لم يؤثر على تكوين الدرنات، كما لم تؤد فترتان من الظلام (طول كل منهما ٧ ساعات، وتفصل بينهما دقيقتان من الضوء) إلى تكوين الدرنات فى النوع *S. demissum*، أو إلى إسراع تكوين الدرنات فى النوع *S. tuberosum* (عن Smith ١٩٦٨). ولا يعنى ذلك أن كل أصناف البطاطس لا تكوِّن درنات فى النهار الطويل؛ فذلك لا يحدث إلا فى بعض الأصناف التى أُنتجت أصلاً فى أمريكا الجنوبية بالقرب من خط الاستواء؛ حيث النهار قصير، فهذه الأصناف لا تكوِّن درنات إذا زرعت صيفًا فى المناطق الشمالية حيث النهار الطويل، وعلى العكس من ذلك.. فإن الأصناف المنتجة فى المناطق الشمالية تضع

درناتها بسرعة أكبر إذا تعرضت لنهار قصير. وإذا زرعت هذه الأصناف فى أقصى الشمال؛ حيث يصل طول النهار صيفًا إلى ٢٢ – ٢٤ ساعة، فإنها تنمو وتعطى محصولاً من الدرنات خلال شهر سبتمبر، ثم تموت النباتات فجأة بفعل الصقيع، إلا أن الدرنات المتكونة تكون مائية المظهر، وتنخفض فيها نسبة النشا كثيرًا؛ حيث تتراوح بين ٧٪ و١٣٪. ومما تجدر ملاحظته أن النهار الطويل فى هذا المناطق يعوض جزئيًا قِصَر موسم النمو (عن Smith ١٩٦٨).

وإلى جانب ما تقدم بيانه عن تأثير الفترة الضوئية على تكوين الدرنات، نجد أن الفترة الضوئية الطويلة تؤدى إلى زيادة عدد وطول ودرجة تفريع السيقان الأرضية.

ويستفاد من دراسات Matheny وآخرين (١٩٩٢) أن استعمال غطاءٍ بلاستيكىٍ للتربة بلونٍ أبيض، أو أزرق شاحبٍ أدى إلى زيادة المحصول بأكثر من ١٥٪ عن معاملة الكنترول التى لم يستعمل فيها غطاء بلاستيكى للتربة، أو معاملة استعمال الغطاء البلاستيكى الأحمر. وكان مرد هذا التأثير إلى نسبة الأشعة تحت الحمراء التى انعكست من مختلف المعاملات.

وإلى جانب التأثير المنفرد لكلٍّ من درجة الحرارة والفترة الضوئية على النمو الخضرى والدرنى فى البطاطس نجد أنهما يتفاعلان معًا عند إحداثهما لتأثيراتهما؛ بمعنى أن تأثير الاختلاف فى درجة الحرارة يتوقف على الفترة الضوئية، كما أن تأثير الاختلاف فى الفترة الضوئية يتوقف على درجة الحرارة. وقد كان Werner (١٩٣٤) هو أول من درس هذا الموضوع؛ حيث توصل الباحث إلى أن النمو الخضرى يناسبه النهار الطويل، ودرجة الحرارة المرتفعة، بينما النمو الدرنى يناسبه النهار القصير، ودرجة الحرارة المنخفضة. وقد أدى تعريض النباتات إلى ظروف النهار القصير – مع حرارةٍ مرتفعةٍ – إلى جعلها صغيرة الحجم، وذات نسبةٍ مرتفعةٍ جدًا من وزن الدرنات إلى النمو الخضرى. وكان أعلى محصول عندما تعرضت النباتات لظروف النهار المتوسط الطول مع حرارة منخفضة. ومع ارتفاع درجة الحرارة وزيادة طول النهار ازداد النمو

الخضرى، وانخفض إنتاج الدرنات. وفى ظروف النهار الطويل مع درجة حرارة شديدة الارتفاع لم تنتج النباتات أية درنات. وقد أوضح Werner أن الفترة الضوئية القصيرة يمكن أن تعوض تأثير الارتفاع الكبير فى درجة الحرارة؛ حيث حصل على درنات فى حرارة ٣٢°م بخفض فترة الإضاءة إلى ٢/١ ١٠ ساعة يوميًّا. ومن جهة أخرى.. فالحرارة المنخفضة يمكن أن تعوض الزيادة الكبيرة فى طول الفترة الضوئية. ومما يدل على ذلك أن البطاطس تكوِّن درناتٍ فى المناطق التى تقع فى خط عرض ٦٨° شمالاً؛ حيث لا تغرب الشمس فى منتصف الصيف فى هذه المناطق، إلا أن درجة الحرارة تكون منخفضة.

كما وجد Werner أن مستوى الآزوت فى التربة يمكن أن يؤثر فى استجابة نباتات البطاطس لدرجة الحرارة والفترة الضوئية؛ فبخفض مستوى التسميد الآزوتى أمكن تقليل النمو الخضرى، وتكونت درنات فى درجة حرارة أكثر ارتفاعًا مما لو كان مستوى التسميد الآزوتى مرتفعًا. وقد أدت كثرة توفر الآزوت فى الظروف المناسبة للنمو الخضرى إلى غزارة النمو الخضرى، ونقص المحصول. ومن جهةٍ أخرى.. لم تكن للتسميد الآزوتى الوفير تأثيرات ضارة فى ظروف النهار القصير والحرارة المنخفضة.

وتجدر الإشارة إلى أن تعريض البطاطس للإضاءة المستمرة طوال الـ ٢٤ ساعة يوميًّا يؤدى إلى ظهور اصفرارٍ بين العروق وبقع بنيةٍ متحللةٍ على السطح العلوى للأوراق التى تكون فى مرحلة النمو، يتبعه تقزم فى النمو النباتى؛ وهى أعراض تظهر — كذلك — على نباتات الطماطم التى تتعرض لنفس الظروف. ويسبق ظهور هذه الأعراض نقص فى البناء الضوئى، وفى محتوى النشا بالأنسجة المتأثرة، وفى سلامة أغشيتها الخلوية. وتعرف هذه الظاهرة باسم أضرار الإضاءة المستمرة Constant Light Injury.

وقد تبين أن أية انحرافات كبيرة عن الدورات الضوئية الطبيعية القريبة من ١٢ ساعة ضوءًا و١٢ ساعة ظلامًا (مثل: ٤/٢٠، و ٦/٦ متكررة مرتان يوميًّا) تحدث نفس الظاهرة.

كما وجد أن إحداث تباينات بين حرارتى الليل والنهار بمقدار ٨°م أو أكثر من ذلك منعت ظهور أضرار الإضاءة المستمرة.

كما أدى استعمال درنات كبيرة الحجم (حوالى ١٠٠ جم) كتقاوٍ إلى منع حدوث هذه الظاهرة – كذلك – مقارنة باستعمال درنات صغيرة؛ مما يدل على أن لقوة النمو النباتى وانتقال المركبات الكربوهيدراتية فى النبات دورًا مهمًّا فى التحكم فى ظهور هذه الأضرار.

هذا.. وتختلف أصناف البطاطس كثيرًا فى حساسيتها لتلك الأضرار؛ فمثلاً.. يعد الصنف كنيبك Kennebec شديد الحساسية، بينما يعتبر الصنف رصّت بربانك Russet Burbank كثير التحمل (Cushman & Tibbitts ١٩٩٦).

تأثير شدة الضوء

تؤدى الإضاءة القوية إلى التبكير فى تكوين الدرنات، والتبكير فى وصول السيقان الهوائية إلى أقصى نموٍّ لها، وكذلك إلى التبكير فى موتها، كما تؤدى إلى زيادة نسبة المادة الجافة فى الدرنات، إلا أن ذلك يكون مصحوبًا بنقصٍ فى المحصول بسبب موت النباتات مبكرًا. ومن جهة أخرى.. فإن الإضاءة الضعيفة تؤدى إلى زيادة طول السيقان وصغر حجم الأوراق.

تأثير العوامل البيئية على الإزهار

يتأثر النمو الخضرى ومحصول البطاطس سلبيًّا عند إزهارها أو إثمارها. ففى دراسة أجراها Bartholdi (١٩٤٢) على ثلاثة أصنافٍ من البطاطس تختلف فى عدد الأزهار التى ينتجها كل منها قام الباحث بمقارنة تأثير ثلاث معاملات؛ هى: إزالة البراعم الزهرية بمجرد ظهورها، وإزالة الأزهار بعد تفتحها مباشرة، وترك النباتات لتزهر وتثمر بصورة طبيعية. وقد وجد أن الإزهار (أى المعاملة الثانية) أدى إلى تقليل النمو الخضرى بمقدار ٩٪، والنمو الدرنى بمقدار ١٠٪، بينما أدى الإثمار (أى المعاملة الثالثة) إلى تقليل النمو الخضرى بمقدار ١٨٪، والنمو الدرنى بمقدار ٢٣٪، كما أثر كل من الإزهار والإثمار سلبيًّا على عدد الدرنات التى تهيأت للتكوين، وعلى العدد الذى وصل إلى الحجم الصالح للتسويق.

وعلى الجانب الآخر.. فإن إزهار البطاطس ذو أهميةٍ كبيرةٍ عند الزراعة بالبذور الحقيقية، وبالنسبة لمربى النباتات الذى يلجأ إلى إجراء التهجينات، والإكثار بالبذور الحقيقية عند إنتاج الأصناف الجديدة فى برامج التربة.

وتؤثر العوامل البيئية على إزهار البطاطس على النحو التالى:

تأثير درجة الحرارة

يكون الإزهار غزيرًا عندما تكون حرارة الليل ١٨°م، بينما تنتج النباتات براعم زهرية فقط عندما تكون حرارة الليل ١٢°م. ولا يتأثر الإزهار بدرجة حرارة النهار.

وقد وجد أن عدد مبادئ الأزهار المتكونة واستمرار بقائها فى نورات البطاطس قبل سقوطها ازداد بزيادة طول الفترة الضوئية، وبارتفاع الحرارة حتى ٢٣°م، ولكن توقف تكوين الأزهار فى حرارة ٢٧°م (Almekinders & Struik ١٩٩٤).

تأثير الفترة الضوئية

يحتاج إزهار البطاطس إلى فترة ضوئية طويلةٍ؛ حيث تزهر معظم الأصناف بوفرةٍ عندما يكون النهار أطول من ١٦ ساعة. وتتكون براعم زهرية فقط إذا كان النهار قصيرًا، وتسقط هذه البراعم دون أن تتفتح إذا ظل النهار قصيرًا. وليس للفترة الضوئية تأثير على حيوية اللقاح (Piringer ١٩٦٢).

تأثير شدة الإضاءة

قد تساعد الإضاءة القوية على دفع النباتات إلى الإزهار.

وإلى جانب العوامل البيئية نجد أن إزهار نباتات البطاطس يتأثر كثيرًا بعاملين آخرين هما:

١- الصنف: حيث تختلف الأصناف كثيرًا فى قابليتها للإزهار تحت نفس الظروف البيئية.

٢- مستوى المواد الكربوهيدراتية فى النبات: يؤدى تراكم الغذاء المجهز فى

السيقان والأوراق إلى تحفيز الإزهار. ويؤدى تقليم السيقان الأرضية أو إزالتها إلى دفع النباتات نحو الإزهار؛ نظرًا لعدم تكون درنات وتراكم المواد الكربوهيدراتية فى النموات الهوائية. ويقوم مربو البطاطس بدفع النباتات نحو الإزهار عن طريق تحليق السيقان؛ حيث يتوقف انتقال الغذاء المجهز من النموات الخضرية إلى الدرنات.

تأثير بعض الظواهر الجوية الأخرى

تأثير الرياح

تظهر أضرار الرياح على السطح العلوى للأوراق نتيجة احتكاك الأوراق بعضها ببعض. يجف النسيج المتأثر بالاحتكاكات التى تُحدثها الرياح، ويكتسب لونًا بنيًّا ومظهرًا زيتيًّا، ويختلف فى مساحته، وقد يتعمق أحيانًا حتى السطح السفلى للورقة. وفى حالات الرياح الشديدة يبدو النبات متخشبًا. كذلك تؤدى الرياح الباردة إلى اكتساب السطح السفلى للأوراق لونًا بنيًّا. وتكثر الأعراض — عادةً — فى حواف الحقل.

وإذا ساد الجو رياحٌ قوية وقت الحصاد، فإن الدرنات يمكن أن تتأثر حتى لو كانت الدرنات معبأة فى أجولة فى الحقل. وتظهر الأعراض — فيما بعد — أثناء التخزين على صورة بقع غائرة فى المواقع المتسلخة من الدرنات. وقد تصاب هذه البقع ببكتيريا العفن. وتكون الأضرار فى الدرنات غير المكتملة التكوين أكبر منها فى الدرنات مكتملة التكوين.

تأثير البَرَد

يؤدى البَرَد إلى تمزيق الأوراق وتثقيبها. وعلى الرغم من أن لنبات البطاطس قدرةً كبيرةً على التغلب على أضرار البَرَد ومعاودة النمو، إلا أن الأضرار قد تكون كبيرةً جدًّا أحيانًا إلى درجةٍ تؤثر سلبيًّا على المحصول. وتظهر أعراض أضرار البَرَد على السيقان فى مواقع الاصطدام؛ حيث تصبح البشرة رمادية اللون ذات لمعة قرمزية.

ويتوقف النقص فى المحصول على مقدار الضرر الذى يُحدثه البَرَد، وموعد حدوثه، والصنف المزروع. ويحدث أكبر نقصٍ فى المحصول إذا تأثر النمو الخضرى

بالبَرَد بعد حوالى أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع من التزهير. كما يؤدى البَرَد إلى نقص المحصول الصالح للتسويق؛ لأن أضرار البَرَد للنموات الخضرية تتبعها زيادة نسبية فى الدرنات الصغيرة وغير المنتظمة الشكل. وقد تنخفض الكثافة النوعية للدرنات إذا أتلف البَرَد الأوراق المكتملة النمو.

تأثير البرق

بعد تعرض النباتات للبرق بفترة تتراوح بين دقائق قليلة وساعات قليلة تنهار السيقان، وتذبل النموات الخضرية بصورة دائمة. وفى معظم الأحيان تمتد أعراض إصابات السيقان لمسافة ٥-١٠ سم فوق مستوى سطح التربة، ولكنها نادرًا ما تتعمق أسفل سطح التربة على الساق. تكون الأجزاء المتأثرة من الساق طرية، ومائية المظهر، وسوداء إلى بنية اللون. وسرعان ما تجف الأنسجة المتأثرة وتكتسب لونًا بنيًّا أو رماديًّا، بينما يكون سطحها رصاصيًّا فاتحًا إلى أبيض. ويؤدى انهيار نخاع الساق إلى تفلطحها وظهور انخفاضات طولية على امتدادها. كذلك غالبًا ما تنهار أعناق الأوراق الملامسة لسطح التربة.

أما أجزاء الساق التى توجد تحت سطح التربة والجذور، فإنها تفلت غالبًا من الإصابة، وتبقى الأنسجة الوعائية سليمةً وقائمةً بوظائفها؛ إلى درجة أن الأوراق تبقى خضراء وغير ذابلة.

هذا.. إلا أن الدرنات قد تُضَار من البرق؛ حيث قد يصبح جلد الدرنة بنيًّا أو أسود، كما قد تظهر شقوق بالدرنة. وكثيرًا ما تمتد الإصابة من أحد جوانب الدرنة إلى جانبها الآخر؛ حيث يتحلل نسيج الدرنة تدريجيًّا، إلى أن يتطور إلى تكوين ثقب بين جانبى الدرنة، بينما تبقى الأجزاء غير المتأثرة من الدرنة صلبة.

الخيار

يتأثر نمو نباتات الخيار بدرجة الحرارة والضوء على النحو التالى:

١- يأخذ نمو الورقة الواحدة شكل منحنى النمو الزيجمويد S-curve، ولكنه يتأثر بشدة الإضاءة.

٢-يكون معدل استطالة الساق أكبر فى فترة إضاءة طولها ٨ ساعات يوميًّا عما فى إضاءة مدتها ١٦ ساعة. وتنتج النباتات عددًا أكبر من العقد والأوراق فى فترة الإضاءة القصيرة عما فى الإضاءة الطويلة، ولكن النمو الجذرى والمساحة الورقية الكلية يكونان أقل فى فترة الإضاءة القصيرة مما فى الفترة الطويلة.

٣-عند ارتفاع مستوى النيتروجين فإن الطول الكلى لساق النبات قد يزيد فى النهار الطويل عما فى النهار القصير.

٤-عند انخفاض مستوى النيتروجين فإن محتوى النباتات من المواد الكربوهيدراتية فى مرحلة تفتح الأزهار يكون أعلى فى الفترة الضوئية الطويلة عما فى الفترة القصيرة، بينما يحدث العكس عند نضج الثمار.

٥-توجد علاقة طردية خطية بين درجة الحرارة فى المدى المناسب للنمو (بين ٢٠ و٣٠°م) وبين كل من معدل استطالة الساق ومعدل نمو المساحة الورقية، ولكن تأخذ العلاقة بين درجة الحرارة والوزن الجاف للنبات شكل المنحنى الزيجموية فى مدى حرارى يتراوح بين ١٧ و٢٤°م.

٦-عند ارتفاع درجة الحرارة عن المستوى المثالى ينخفض معدل نمو الأوراق فى النباتات الصغيرة، بتوجه الغذاء المصنع تحت هذه الظروف إلى السيقان.

٧-عند انخفاض درجة الحرارة عن المستوى المثالى لا يرتبط معدل النمو النسبى للورقة بدرجة الحرارة، ويعتمد — حينئذ — على شدة الإضاءة.

٨-يزداد معدل استطالة السيقان عن المستوى العادى حينما ترتفع حرارة الليل عن حرارة النهار.

٩-يقل معدل تكوين البراعم القمية فى الحرارة المنخفضة (عن Robinson & Decker-Walters ١٩٩٧).

١٠- يفضل للنمو الجيد لنبات الخيار أن تكون حرارة النهار أعلى بمقدار ٤-٦°م عن حرارة الليل.

١١- يؤدى انخفاض حرارة وسط نمو الجذور إلى ١٦°م أو أقل من ذلك إلى موت الجذور وضعف النمو الخضرى، ويكون ذلك مصاحبًا بانخفاض فى معدل تنفس الجذور.

١٢- تتوفر اختلافات وراثية كبيرة بين أصناف وسلالات الخيار فى قدرة النباتات على النمو والعقد الجيد للثمار فى الحرارة المنخفضة، وقد أُنتجت أصناف من خيار الصوبات قادرة على النمو والعقد الجيدين فى حرارة ٢٠°م نهارًا، و١٥°م ليلاً.

١٣- يؤدى ارتفاع درجة الحرارة عن المدى المناسب (وهو ١٨- ٢٤°م) إلى زيادة سرعة استطالة السيقان، والتبكير فى الحصاد، ولكن مع نقص فترة الحصاد ونقص المحصول الكلى (عن Wien ١٩٩٧).

١٤- وقد وجد Lee وآخرون (١٩٩٧) أن رفع درجة حرارة التربة (بإمرار ماء ساخن على حرارة ٤٥°م فى أنابيب تحت سطح التربة بنحو ٣٥ سم) كانت له تأثيرات إيجابية على النمو النباتى ومحصول الثمار، وحصل الباحثون على أفضل النتائج عندما رفعت حرارة التربة من ١٥,٧°م فى الكنترول إلى ٢٢,٥°م فى مرحلة الإنبات وبزوغ البادرات، ثم خُفِّضت إلى ٢٠°م ابتداء من اليوم العاشر فى نهاية الشهر الأول بعد الزراعة، ثم إلى ١٨°م خلال الشهر الثانى من الزراعة.

الكوسة

يتأثر تكوين الأوراق الجديدة فى الكوسة بدرجة الحرارة، حيث يزداد عدد الأوراق التى يكونها النبات بارتفاع درجة الحرارة. وعندما أخذت ٨°م كدرجة حرارة أساس، و ٣٢°م كدرجة حرارة قصوى للنمو (ceiling temperature)، وجد NeSmith (١٩٩٧) علاقة طردية بين عدد الدرجات الحرارية اليومية degree-days وعدد الأوراق المتكونة. وكان تكوين الأوراق بطيئًا فى البداية والعلاقة بينها وبين عدد الدرجات الحرارية اليومية على شكل منحنى curvilinear خلال الدرجات الحرارية الثلاثمائة الأولى، ثم أصبحت العلاقة بينهما خطية linear بعد ذلك.

الفلفل

نمو الشتلات

يزداد النمو الخضرى والنمو الجذرى لشتلات الفلفل بارتفاع درجة الحرارة، وتعد حرارة بيئة نمو الجذور هى الأكثر تأثيرًا فى هذا الشأن. وقد حُصِلَ على أعلى معدل للنمو فى الشتلات التى كانت بعمر ٦٠ يومًا عندما تراوحت حرارة الهواء بين ١٨، و٢٣ °م، ودرجة حرارة التربة بين ١٨، و٢٨ °م، ولكن انخفضت الحرارة المثلى التى صاحبها أفضل نمو بزيادة العمر المتوقع للشتلات قبل شتلها، حيث كان المدى الحرارى المناسب ١٣– ٢٣ °م للهواء، و١٣– ٢٧ °م للتربة بالنسبة للشتلات التى كانت بعمر ٧٥ يومًا، و١٣– ١٨ °م للهواء، و١٨ °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 حرارة لا تزيد عن ٢٤ °م نهارًا عند إنتاج الشتلات، لكى تكون الشتلات الناتجة مندمجة النمو، ولكن مع رفع الحرارة ليلاً عن ٢٠ °م لكى يرتفع متوسط درجة الحرارة اليومى؛ الأمر الذى يسمح بتهيئة النباتات للإزهار مبكرًا.

النمو النباتى والإزهار

وجد أن نمو وإزهار نباتات الفلفل يرتبطان إيجابيًّا 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 بادراتها لحرارة ١٠ °م إلى تبكير الإزهار ليصبح عند عُقَد 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 حرارة الليل، أى مع الزيادة فى الفرق الموجب بين درجتى حرارة النهار والليل. وقد أوضحت دراسات Si & Heins (١٩٩٦) أن ارتفاع درجة حرارة النهار وزيادة الفرق الإيجابى بين درجتى 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 أثّر إيجابيًا كذلك على نسبة الجذر إلى النمو الخضرى، وأدى 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 – نقصًا فى طول النمو الخضرى، وعدد الأوراق، والوزن الجاف للنمو الخضرى بنسب تراوحت بين ٥٠٪، و٧٠٪.

البصل

يزداد معدل النمو النسبى Relative Growth Rate لبادرات البصل لوغاريتميًا – تقريبًا – فى مدى حرارى يتراوح بين ١٠ و١٩°م، ويصل إلى أعلى مستوى له فى حرارة ٢٣– ٢٧°م، ثم ينخفض ثانية عند ٣١°م. كذلك تزداد الكفاءة التمثيلية Net Assimilation Rate ونسبه المساحة الورقية Leaf Area Ratio بين ١٠ و١٩°م ويسهم ذلك فى ازدياد معدل النمو النسبى. وفى درجات الحرارة الأعلى من ذلك يستمر دليل المساحة الورقية Leaf Area Index فى الازدياد حتى ٢٧°م، بينما تنخفض الكفاءة التمثيلية.

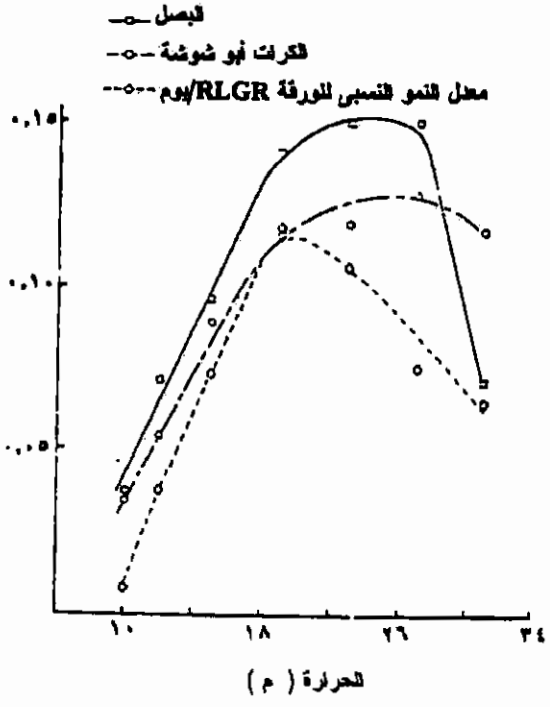
هذا ويكون معدل النمو النسبى والكفاءة التمثيلية أعلى فى البصل عنها فى الكرات أبو شوشة والبصل الأخضر اليابانى.

ويعتمد معدل نمو أوراق البصل كثيرًا على درجة الحرارة، ويوضح شكل (١٦-١) تلك العلاقة فى البصل، والكرات أبو شوشة، والبصل الأخضر اليابانى. يتبين من الشكل ازدياد معدل النمو النسبى للورقة Relative Leaf Growth Rate (اختصارًا: RLGR) خطيًّا فى مدى حرارى يتراوح بين ٦ و ٢٠°م، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية:

$$RLGR = 0.018\ (T-6)$$

حيث إن RLGR هى معدل النمو النسبى للورقة على أساس يومى، و T هى الحرارة بالدرجة المئوية، و٦ تمثل درجة حرارة الأساس التى يتوقف عندها أو دونها نمو الورقة.

وإذا لم يتعد متوسط الحرارة المدى المناسب، وهو ٢٧°م — كما يظهر فى الشكل — فإن المعادلة السابقة تعنى ببساطة أن نمو الورقة يرتبط بعدد الأيام الحرارية المتجمعة بين ٦ و٢٠°م.



شكل (١٦-١): العلاقة بين معدل النمو النسبى للورقة (RLGR) ودرجة الحرارة فى كل من البصل، والكرات أبو شوشة، والبصل اليابانى فى مرحلة نمو البادرات تحت ظروف إضاءة شدتها ٦٠٠ ميكرومول umol/سم^2/ثانية، ولمدة ١٢ ساعة يوميًّا.

فإذا علمنا أن فلقة البصل الممتدة (المستقيمة) تبلغ مساحتها (كما تقدر لأحد جانبيها المسطحين) ٠,٥ سم٢، فإن المساحة الورقية لنبات من البصل نما لفترة بعد إنباته يمكن التنبؤ بها من المعادلة التالية:

لوغاريتم المساحة الورقية للأساس e = لوغاريتم ٠,٠٥ للأساس e +٠,٠١٠٨× DD

حيث إن المساحة الورقية تمثل أحد الجوانب المسطحة للورقة بالسنتيمتر المربع، والـ DD هى مجموع عدد الأيام الحرارية — بين ٦ و٢٢°م — المتجمعة منذ الإنبات.

البسلة

تناسب الحرارة العالية النمو الخضرى للبسلة مقارنة بالنمو الجذرى؛ مما يؤدى إلى نقص نسبة النمو الجذرى إلى النمو الخضرى؛ الأمر الذى ينعكس سلبيًّا بعد فترة على المحصول البيولوجى. وبالمقارنة فإن الحرارة المنخفضة فى بداية النمو النباتى تحفز النمو الجذرى الجيد، الذى يمكن — بدوره — أن يدعم نموًّا خضريًّا جيدًّا. كذلك تسهم الحرارة العالية فى تقليل النمو الخضرى من خلال تقصيرها لفترة النمو الخضرى ذاتها. هذا مع العلم بأن تأثير الحرارة على طول الفترة من الإنبات حتى الإزهار لا علاقة له بتأثير الحرارة على معدل النمو.

وقد تباينت كثيرًا نتائج الدراسات الخاصة بتأثير درجة الحرارة على نمو البسلة، وعقد قرونها، ومحصولها، ومن بين النتائج التى حُصل عليها فى دراسات مختلفة، ما يلى (عن Pumphrey & Raming ١٩٩٠).

- كان المحصول عاليًّا عندما كان الجو دافئًا فى بداية حياة النبات، ومائلاً إلى البرودة بعد ذلك، وكان المحصول منخفضًا عندما كان الجو مائلاً إلى البرودة فى بداية حياة النبات ودافئًا بعد ذلك.

- أمكن إرجاع ٧٥٪ من الاختلافات السنوية فى محصول البسلة فى ولاية وسكنسن الأمريكية إلى الاختلافات فى درجات الحرارة الصغرى خلال مرحلتى نمو البادرة والإزهار وعقد القرون.

- أمكن إرجاع ٦٨٪ من الاختلافات فى محصول البذور فى استراليا إلى الصقيع عند بداية الإزهار، والحرارة العالية أثناء الإزهار، مع توقع زيادة قدرها ٦٠٠ كجم فى محصول البذور/ هكتار مع كل انخفاض قدره درجة واحدة مئوية فى متوسط درجة الحرارة اليومى خلال مرحلة الإزهار.
- توصل Boswell عام ١٩٢٩ إلى أن ٢٠°م كمتوسط يومى لدرجة الحرارة يعد قريبًا من الحرارة الحرجة التى يؤدى ارتفاعها عن ذلك إلى الإضرار بنمو البسلة.
- وذكر أن محصول البسلة ينخفض بارتفاع درجة الحرارة خلال النهار عن ١٦°م، وارتفاعها أثناء الليل عن ١٠°م.
- واعتبر متوسط موسمى لدرجة الحرارة قدره ٢٠– ٢١°م مثاليًا للبسلة.
- وحُدِّدَت حرارة ٢٥–٢٦°م حدًا أقصى للدرجة المناسبة للبسلة خلال الإزهار، وأن النمو يقف عند حرارة ٣٦°م.
- واقترح آخرون ٢٧°م كحدٍ أقصى لدرجة الحرارة نهارًا.
- وأوضح الكثيرون أن أشد الأوقات حرجًا بالنسبة للتأثير السلبى للحرارة العالية هو من الإزهار حتى امتلاء القرون، وأن أكثر مكونات المحصول تأثرًا بالحرارة العالية هو عدد القرون بالنبات.

ووجد Pumphrey & Raming (١٩٩٠) أن ارتفاع متوسط الحرارة العظمى اليومى لم يكن بذى تأثير على محصول البسلة حتى ٢٥,٦°م، ولكن الحرارة الأعلى من ذلك أدت إلى نقص المحصول، وكان النقص فى المحصول لوغاريتميًا مع الارتفاع الخطى فى حرارة النهار. وتراوح النقص فى المحصول الطازج بين ١٦ كجم/ هكتار مع كل زيادة قدرها وحدة حرارية يومية فوق ٢٧°، و٧٦ كجم/ هكتار مع كل زيادة مماثلة فوق ٣٥°م.

هذا.. ولم يجد Oliver & Annandale (١٩٩٨) فروقًا معنوية بين أصناف البسلة فى درجات الحرارة الصغرى (التى لا يحدث فى حرارة أقل منها أى نمو)، والمثلى، والعظمى (التى لا يحدث فى حرارة أعلى منها أى نمو) فى مختلف مراحل النمو

والتطور، والتى وجدت كما يلى:

المرحلة	الحرارة الصغرى (م)	الحرارة المثلى (م)	الحرارة العظمى (م)
إنبات البذور	صفر	٢٩	٤٠
نمو البادرة، والنمو الخضرى، والزهرى	٣	٢٨	٣٨

وتحت ظروف الحقل احتاج المحصول من الدرجات الحرارية اليومية: C̊ days إلى حوالى ١٠٠ للإنبات، و٢٦٠ للوصول إلى مرحلة نمو الورقة الرابعة، و٣٨٠ للوصول إلى مرحلة نمو الورقة السابعة، و٧٣٠ للوصول إلى مرحلة نمو الورقة الرابعة عشر، وبين ٧٧٠ و٨٩٠ للوصول إلى مرحلة الإزهار، وبين ١٣٨٠ و١٤٥٠ من زراعة البذرة إلى حين نضج المحصول الأخضر مقدرة بقراءة جهاز تندرومتر tendrometer reading قدرها ١٣٠.

تأثير التعريض للحقل الكهربائى على محاصيل الخضر

أدى تعريض بذور بعض الخضر لحقل كهربائى a.c. فى حدود ١٨- ١٠٥ كيلوفولت/م إلى إسراع إنبات بذور الكرنب الصينى والفجل والخس. كذلك تحسَّن النمو المبكر لبادرات الفجل لدى تعريضها لحقل كهربائى a.c. > ٥٠ كيلو فولت/م (Zhang & Hashinaga ١٩٩٧).

تأثير التعريض لحقل مغناطيسى على محاصيل الخضر

وجد أن معاملة بذور الطماطم قبل زراعتها بوضعها فى حقل مغناطيسى لمدة دقيقة واحدة أسرعت إنباتها وحفزت النمو المبكر للبادرات الناتجة منها (De Souza وآخرون ٢٠١٠).

وقد دُرس تأثير إمرار محلول مغذٍ قياسى خلال حقل مغناطيسى بقوة حوالى ٠,١٥ تسلا Tesla قبل وصوله إلى النباتات، ووجد أن المحصولين المبكر والكلى للطماطم ازدادا نتيجة لتلك المعاملة بنحو ١٠٪، وإن لم تكن تلك الزيادة جوهرية، كما حُصِلَ على نتائج مماثلة فى الخيار (Bartkowski & Nowosielski ١٩٩٦).

كما دُرس تأثير تعريض نباتات الفراولة — هوائيًّا — لحقل مغناطيسى ازداد من صفر (كنترول) إلى ٠,٠٩٦، و٠,١٩٢، و٠,٣٨٤ تسلا Tesla، ووجد ما يلى: