على نمو وإزهار وعقد ثمار نباتات الطماطم، ووجد أن سيقان النباتات كانت أقصر عندما كانت حرارة الليل أقل من حرارة النهار وبينما لم يتأثر عدد العناقيد الزهرية بالنظام الحرارى. فإن المحصول الكلى ومتوسط وزن الثمرة كانا أعلى تحت ظروف حرارة الليل الأعلى من حرارة النهار

قوة وفترة الإضاءة والطول الموجى والتظليل

تحتاج بادرات الطماطم فى المناطق الشمالية — ذات الليل الطويل والإضاءة الضعيفة وقت نمو النباتات خلال فصل الشتاء — إلى إضاءة تكميلية من مصدر مناسب (مثل لمبات الصوديوم ذوات الضغط العالى)، بهدف زيادة شدة الإضاءة، وإطالة القدرة الضوئية إلى المدة المناسبة؛ فمثلاً .. وجد Boivin (١٩٨٧) — فى كندا — أن تعريض بادرات الطماطم المزروعة فى أوائل ديسمبر — إلى حين موعد شتلها — لإضاءة إضافية من لمبات الصوديوم ذات الضغط العالى (١٠٠ ميكرومول/ثانية/م^{٢}) أدى إلى نقص عدد الأوراق قبل العنقود الزهرى الأول جوهريًا، وزيادة المحصول المبكر بنسبة ١٠٠٪

كما وجد McAvoy وآخرون (١٩٨٩) ارتباطًا قويًا موجبًا (r = ٠,٩٤٧) بين محصول الطماطم الكلى، وبين الإشعاع الشمسى الكلى المؤثر فى عملية البناء الضوئى Total Photosynthetic Photon Flux خلال الفترة من الإزهار إلى الحصاد.

وبينما لا تفتقر المنطقة العربية لا إلى شدة الإضاءة، ولا إلى الفترة الضوئية المناسبة لإنتاج الطماطم (أو غيرها من الخضروات) .. فإن استعمال وسائل التوفير فى الطاقة — مثل الستائر الحرارية شتاءً للتوفير فى طاقة التدفئة، أو شباك التبريد البلاستيكية صيفا للتوفير فى طاقة التبريد — قد يكون له مردود سلبى على النمو والمحصول إذا ازداد التظليل عما ينبغى

فمثلا تبين من دراسات Cokshull وآخرين (١٩٩٢) — التى أجريت فى المملكة المتحدة — أن التظليل بنسبة ٦,٤٪، أو ٢٣,٤٪ كان له مردود سلبى كبير

على نمو نباتات الطماطم وتطورها؛ حيث نقص المحصول – فى المعاملتين – بنسبة ٥٧٪، و ١٩٩٪، على التوالى، وكان هناك تناسب طردى مباشر بين المحصول وعدد الثمار فى العنقود، وبين شدة الإضاءة التى تلقتها النباتات؛ حيث كان معدل المحصول ٢ كجم من الثمار الطازجة لكل ١٠ ميجاجول (MJ) من الأشعة الشمسية الساقطة على النباتات. كما أدى التظليل إلى تقليل متوسط وزن الثمرة، وإلى خفض نسبة الثمار غير المنتظمة النضج

شدة الإضاءة

بدراسة تأثير درجة الحرارة (بين ٧،٤، و ٢٤،٢°م) وشدة الإضاءة (بين ١،٩، و ١٨ ميجاجول/م٢/يوم) على عدد الأوراق التى تتكون قبل ظهور أول عنقود زهرى، وجد أن عدد الأوراق انخفض بزيادة شدة الإضاءة، إلا أن تأثير الإضاءة فى هذا الشأن انخفض بانخفاض درجة الحرارة. وقد انخفض – كذلك – عدد الأوراق التى تسبق ظهور أول عنقود زهرى خطيًّا بانخفاض درجة الحرارة، وخاصة عند انخفاض شدة الإضاءة. ولكن لم يكن لدرجة الحرارة تأثير فى هذا الشأن فى شدة الإضاءة العالية (Uzun ٢٠٠٦).

وقد أدى تعريض نباتات طماطم الشيرى لإضاءة قوية (٨،١ ميكرومول/ثانية لكل متر مربع) ليلاً إلى خفض نسبة إصابة الثمار بالتشقق من ١٠٪ (فى الكنترول) إلى ٤٪ فقط، وكان مرد ذلك إلى خفض المعاملة الضوئية ليلاً لتدفق المواد المذابة فى الثمار؛ بسبب زيادتها لتدفق تلك المواد فى الأوراق (Ohta وآخرون ١٩٩٨).

إن شدة الإضاءة التى تتعرض لها بادرات الطماطم تؤثر تأثيرًا مباشرًا على عدد الأيام حتى ظهور أول زهرة وعلى كمية المحصول، فالإضاءة الضعيفة تؤخر الإزهار، وتقلل عقد الثمار والمحصول الكلى.

وتعد لمبات الصوديوم ذات الضغط العالى ولمبات الهاليد المعدنى metal halide lamps وأمثالهما هى الأنواع الوحيدة التى تُعطى شدة إضاءة ونوعية إضاءة مناسبتين

للنمو النباتى. ورغم أنها قد استعملت بالفعل لزيادة شدة الإضاءة نهارًا أو لإطالة فترة الإضاءة. فإن اقتصاديات ذلك لم تتحدد هذا ويجب عدم استعمال لمبات الصوديوم ذات الضغط المنخفض. والتى تعطى ضوءا أصفر برتقالى — كتلك التى تستعمل فى إضاءة الشوارع نظرا للتأثير السئ للموجات الضوئية التى تنبعث منها على النمو النباتى

إن نوعية الإضاءة تؤثر على النمو النباتى؛ فمعظم لمبات الصوديوم ذات الضغط العالى — وهى المصممة لإنتاج مستويات عالية من الأشعة النشطة فى البناء الضوئى — تؤدى إلى استطالة سلاميات النباتات كثيرًا عما ينبغى وللتغلب على تلك المشكلة، يمكن الجمع بين تلك اللمبات مع أخرى من لمبات الهاليد المعدنى التى تنتج قدرًا أكبر من الضوء الأزرق كذلك فإن موضع اللمبات وتوقيت الإضاءة يؤثران فى النمو والتلقيح

إن شدة الإضاءة تتحدد بكل من قوة اللمبات والمسافة بينها وبين النباتات. وتعد قوة ٦٥٠ قدم — شمعة عند سطح الأوراق هى الحد الأدنى لشدة الإضاءة التى تلزم للنمو الطبيعى (يحصل على شدة الإضاءة بالقدم شمعة بضرب قوتها بالميكرومول فى ٧). ونظرًا لأن اللمبات المستعملة فى زيادة شدة الإضاءة أو إطالة فترة الإضاءة تنبعث منها حرارة، فإن ذلك يجب أن يؤخذ فى الاعتبار فى حسابات التدفئة.

وتجدر الإشارة إلى أن طلاء جميع الأسطح الداخلية باللون الأبيض واستعمال بلاستيك أبيض عاكس للضوء على أرض الصوبة بين خطوط النباتات يفيد فى زيادة شدة الإضاءة داخل الصوبة (Oregon State University ٢٠٠٢).

يتميز مناخ حوض البحر الأبيض المتوسط بالإشعاع الشمسى القوى. والحرارة العالية، مع زيادة الفرق فى ضغط بخار الماء VPD خلال شهور الصيف، الأمر الذى قد يحد بشدة من كل من إنتاجية المحاصيل المزروعة وجودتها. وفى الزراعات المحمية يمكن لهذا الشدّ البيئى أن يقود إلى توليد المركبات النشطة فى الأكسدة reactive oxygen species

(اختصارا ROS) فى ثمار الطماطم الكريزية (الشيرى)، وهى المركبات التى يمكن أن تُهاجم كل أنواع الجزيئات العضوية؛ محدثة حالة من الشدّ التأكسدى. ويُعد الشدّ التأكسدى أحد العمليات الفسيولوجية الرئيسية التى يمكنها تحوير أو خفض المحصول، والقيمة الغذائية، وصفات الجودة الأكلية، ونشاط مضادات الأكسدة وذلك فى مختلف الفحاصيل ومن المعروف أن التعرض للحرارة العالية يُثبط تمثيل الليكوبين ويحلل البيتا كاروتين بسبب تواجد الـ ROS ومع زيادة شدة الإضاءة صيفًا يحدث تسخين زائد للثمار. مما يوقف تراكم الليكوبين، ويؤدى إلى ظهور مناطق غير ملونة،وهى الظاهرة التى تُعرف باسم لسعة الشمس، والتى تسبب خسائر كبيرة للمزارعين. وقد وُجد – كذلك – أن ثمار الطماطم الشيرى فى البيوت المحمية التى تتعرض لإضاءة قوية يتراكم بها ضعف الكمية الطبيعية من الفينولات الذائبة (الروتين rutin، وحامض الكلوروجنك chlorogenic acid) التى تتراكم فى الثمار التى تتعرض لإضاءة منخفضة الشدة. كذلك وجد أن الفلافونات تتراكم فى ثمار الطماطم التى تتعرض لإضاءة قوية كاستجابة فسيولوجية أثناء التأقلم على هذا الوضع. ولوحظت أيضًا زيادة فى محتوى ثمار الطماطم من السكريات خلال فترات الصيف التى تزداد فيها شدة الإضاءة (عن Rosales وآخرين ٢٠١٠).

وفى ظروف الحرارة العالية، والإضاءة القوية، والـ PVD العالى . وُجد أن الأكسدة الفائقة للدهون تزداد. ومعها يزداد الشدّ التأكسدى (الذى يقدح استجابة مضادات للأكسدة. كان أساسها تمثيل قدر أكبر من حامض الأسكوربيك)، وتجريد لفوق أكسيد الأيدروجين من سميته. وتراكم أكثر للبرولين. وفى هذه الدراسة وصل الشد التأكسدى فى الصوبات المفردة (وهو الذى تمثل فى أعلى القيم من دلائل الشد ومن استجابة مضادات الأكسدة) إلى مستويات أعلى مما فى الصوبات المتعددة multispan (عن Rosales وآخرين ٢٠١٠). وكذلك كانت الطماطم الشيرى المنتجة فى الصوبات المفردة أفضل مذاقًا وأعلى محتوى من كل من السكريات والمركبات الفينولية، بينما انخفض محتواها من الأحماض العضوية مقارنة بالمحتوى فى تلك المنتجة فى الصوبات المتعددة (Rosales وآخرون ٢٠١٠).

الطول الموجى

أدى تعريض نباتات الطماطم للأشعة فوق البنفسجية UV-B لمدة ١٠أيام بمعدل ٣,١ كيلوجول kJ/م٢ يوميًا إلى إحداث خفض جوهرى فى كل من الوزن الجاف الكلى، والوزن الجاف للسيقان، والمساحة الورقية، وارتفاع النباتات، وذلك مقارنة بالوضع فى النباتات التى عُوملت بالأشعة فوق البنفسجية بمعدل ٧,٢ kJ/م٢ يوميًا لنفس المدة. وبعد ١٩ يومًا من المعاملة لم يكن لها تأثير سوى على المساحة الورقية وارتفاع النبات وقد أحدثت جرعة الأشعة العالية أضرارًا أشد بالنباتات عندما زيد تركيز ثانى أكسيد الكربون بالهواء إلى ٦٠٠ جزء بالمليون مقارنة بالتأثير فى التركيز العادى للغاز (Hao وآخرون ١٩٩٧)

ويستدل من دراسات Ying وآخرين (٢٠١١) أن الضوء الأزرق ضرورى لنمو نباتات الطماطم الشيرى.

الفترة الضوئية

أدت زيادة طول الفترة الضوئية بضوء شدته ٢,٨ ميكرومول/م٢ فى الثانية من لمبات تنجستون وُضعت على ارتفاع حوالى ٠,٥م من سطح التربة، وذلك من الساعة الرابعة صباحًا حتى شروق الشمس، ومن غروب الشمس حتى الساعة الثامنة مساءً .. أدت تلك المعاملة إلى زيادة محتوى أوراق نباتات الطماطم من الكلوروفيل وزيادة عدد الأزهار والثمار التى عقدت بالعنقود عندما كانت النباتات صغيرة، إلاّ أن تلك المعاملة أثرت على المحصول الكلى للنباتات هذا بينما وجد أن خفض دليل المساحة الورقية leaf area index من ٢ ٥ إلى ٢ ٦ لم يؤثر على المحصول. وعندما أزيل ثلث الأوراق فى شهر مارس (تلك التى تقع تحت كل عنقود مباشرة)، ثم كل ثالث ورقة، فى مرحلة مبكرة من النمو (صاحب ذلك خفض فى دليل المساحة الورقية من ١ ٤ إلى ٢ ٩) حدث فقد فى المحصول بدءًا من بعد ٣-٤ أسابيع من إزالة تلك الأوراق حتى نهاية التجربة، حيث بلغ النقص فى المحصول المتجمع حينئذٍ ٨٪، وكان مرده إلى نقص فى متوسط عدد الثمار العاقدة

بالعنقود، وفى متوسط وزن الثمرة. ويعتقد أن الضوء الذى كان من الممكن أن تتلقاه الأوراق الصغيرة النشطة فى عملية البناء الضوئى (التى كانت توجد فى قمة النبات والتى أزيلت فى عملية التقليم) تلقته بدلاً منها أوراقًا أكبر سنًا وأقل كفاءة فى عملية البناء الضوئى؛ مما أسفر عن نقص فى البناء الضوئى بشكل عام (Valdés وآخرون ٢٠١٠).

التظليل

قارن Francescangeli وآخرون (١٩٩٤) فى الأرجنتين .. تأثير ثلاث معاملات تظليل – أجريت بهدف خفض درجة حرارة الصوبة صيفًا – على نباتات الطماطم، وكانت المعاملات (التى أدت جميعها إلى خفض درجة حرارة الهواء، والأوراق، والتربة) وتأثيراتها كما يلى:

المعاملة	الضوء النافذ إلى داخل الصوبة (٪)	المحصول (كجم/نبات)
الكنترول (بدون معاملة تظليل)	٨١	٢,٧٠٧
رش البلاستيك بماء الجير (٥٠ جم/م^{٢})	٢٧	١,٩٥١
شباك بلاستيكية توفر تظليلاً بنسبة ٢٠٪	٤٧	٢,٢٢١
شباك بلاستيكية توفر تظليلاً بنسبة ٦٥٪	٣١	١,٦٨٧

ويتبين من هذه النتائج وجود علاقة طردية مباشرة بين شدة الإضاءة والمحصول، حتى عندما يكون التظليل بهدف خفض درجة الحرارة.

هذا إلاّ إنه يمكن أن يسمح التظليل الجزئى لنباتات الطماطم باستعمال الماء الملحى المتوسط الملوحة فى الرى بأقل تأثيرات سلبية على فسيولوجيا النبات(Deffine وآخرون ٢٠٠٠).

ودُرس تأثير التظليل الخفيف (٣٠٪)، والمتوسط الشدة (٥٥٪)، والشديد (٨٣٪) – مقارنة بعدم التظليل (صفر ٪) – على نمو ومحصول نباتات الطماطم وحيدة العنقود single-truss فى مزارع لتقنية الغشاء المغذى، خفضت فيها حرارة المحلول

المغذى إلى ٢٥ م من يونيو إلى سبتمبر وقد وجد إنه مع زيادة مستوى التظليل انخفض المحصول الكلى، ونقص حجم الثمار، وارتبط محصول الثمار خطيًا مع متوسط شدة الإشعاع الشمسى اليومى داخل البيت المحمى خلال مرحلة تكوين الثمار وأوضح تحليل الارتداد regression analysis أن الانخفاض فى محصول الثمار الكلى المقابل لكل انخفاض قدره ميجا جول واحد لكل متر مربع ($1\ MJ\ m^{-2}$) من متوسط الإشعاع الشمسى اليومى داخل البيت المحمى، يزداد من ٨٤ إلى ١٠٠ جم/نبات إذا ارداد متوسط الحرارة اليومى من ١٩°م إلى ٢٧°م ولقد أدى التظليل صيفا إلى انخفاض فى إصابة الثمار بالتشقق، وأدى إلى زيادة المحصول الصالح للتسويق عندما ارتفعت حرارة هواء الصوبة عن ٢٥°م، كما أدى التظليل إلى انخفاض محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية وزيادة درجة حموضتها المعايرة (Wada وآخرون ٢٠٠٦)

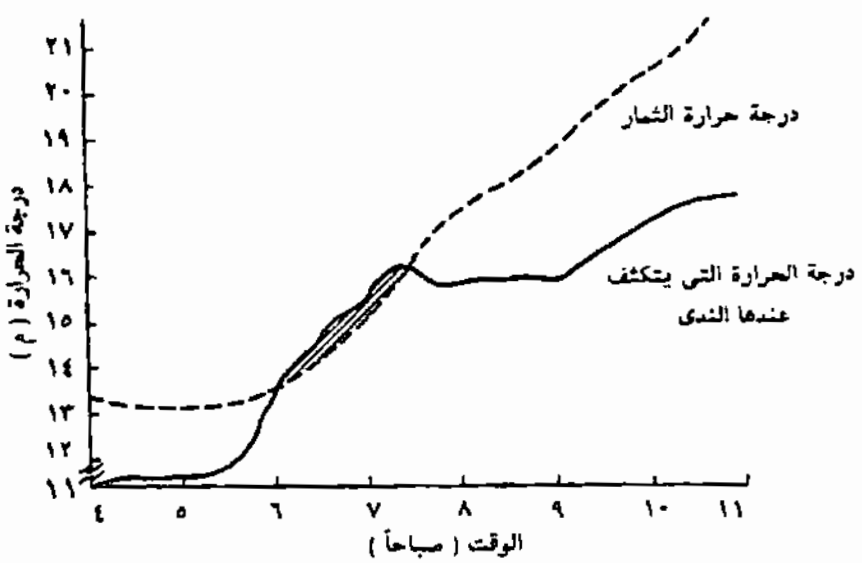
وقد أحدثت زيادة نسبة التظليل فى صوبات الطماطم صيفًا (من يونيو إلى أغسطس فى New Haven بولاية كونكتيكت الأمريكية) من صفر ٪ حتى ٥٠٪ خفضًا خطيًا فى المحصول الكلى. لكن لم يوجد فوق جوهرى بين معاملات التظليل (صفر ٪، و ١٥٪، و ٣٠٪، و ٥٠٪) فى المحصول الصالح للتسويق. وقد أحدث التظليل تأثيرًا واضحًا على تشقق جلد الثمرة. حيث بلغت نسبة الثمار التى ظهر بها ذلك التشقق (المعروف باسم russeting) فى الأصناف الحساسة ٣٥٪ عند غياب التظليل، بينما كانت تلك النسبة ٢٥٪ فى حالة التظليل بنسبة ٥٠٪ ويمكن القول بأن التظليل أحدث زيادة فى نسبة الثمار الصالحة للتسويق دون التأثير على حجمها (Gent ٢٠٠٧).

كما قُورنت مستويات مختلفة من التظليل من يونيو إلى أواخر أغسطس فى البيوت المحمية (صفر، و ١٥٪، و ٣٠٪، و ٥٠٪) على نباتات الطماطم النامية بها، ووجدت علاقة خطية سالبة بين درجة التظليل وامتصاص كلا من الماء والنيتروجين والبوتاسيوم، فكان امتصاص النباتات للماء فى تظليل ٥٠٪ أقل بمقدار ٢٠٪-٢٥٪ عما فى حالة الكنترول بدون تظليل، وحدث نفس الانخفاض تقريبًا بالنسبة لامتصاص النيتروجين.

وبينما لم يؤثر التظليل فى معدل إنتاج الثمار خلال الأسابيع الثلاثة التالية لبدء التظليل. فإن التظليل بنسبة ٥٠٪ أدى – بعد ٦ أسابيع – إلى انخفاض المحصول بحوالى ٣٠٪ مقارنة بالمحصول فى حالة عدم التظليل (Gent ٢٠٠٨).

الرطوبة النسبية

تساعد الرطوبة النسبية العالية فى الزراعات المحمية على انتشار الإصابة بالأمراض، خاصة بفطر بوتريتس *Botrytis*. ويوضح شكل (٩–٢) أن درجة حرارة الثمار تنخفض عن الدرجة التى يتكثف عندها الندى Dew Point Temperature ابتداءً من السادسة صباحًا، ولمدة حوالى ساعة ونصف؛ وهى الفترة التى يتكثف خلالها الندى على الثمار؛ مما يزيد من فرصة الإصابة بالأمراض. ويمكن تجنب ذلك برفع درجة الحرارة قليلاً قبل شروق الشمس؛ حتى لا يحدث ارتفاع مفاجئ فى درجة حرارة الهواء عند الشروق، بينما لا تزال الثمار باردة.



شكل (٩–٢). التغيرات فى درجة حرارة الثمار، ودرجة الحرارة التى يتكثف عندها الندى من الساعة الرابعة صباحًا إلى الساعة الحادية عشرة قبل الظهر. توضح المنطقة المظللة بداية ونهاية الفترة التى يتكثف خلالها الندى على الثمار (عن Van de Vooren وآخرين ١٩٨٦).