وقد يؤدى امتصاص الهرمونين: إندول حامض الخليك وحامض الأبسيسك للأشعة فوق البنفسجية إلى حدوث تغيرات فى تركيز كلٍّ منهما؛ الأمر الذى يؤدى إلى عدم انتظام النمو. وقد يظهر ذلك فى صورة ضعف فى الإزهار، أو فقدان للسيادة القمية، أو سقوط للأوراق، أو تغيرات فى تركيز العناصر المغذية بالأنسجة النباتية.

وترتبط كفاءة النبات فى مقاومة أضرار الأشعة فوق البنفسجية بقدرته على إصلاح الضرر الذى تحدثه الأشعة للحامض النووى دى إن أى (الدنا)، كما ترتبط — أيضًا — بتمثيله لمركبات مثل الفلافانويدات flavanoids، والفلافونات flavones فى طبقة البشرة. كما يمكن للشمع السطحى بطبقة الأديم امتصاص قدر ضار من الأشعة فوق البنفسجية. ويؤدى تغيير اتجاه الورقة أو زيادة قدرتها على عكس الضوء إلى مزيد من الإفلات من التعرض لأضرار الأشعة فوق البنفسجية.

تأثير أشعة الشمس القوية على الثمار

إن تعرض ثمار الخضر لأشعة الشمس القوية المباشرة قبل الحصاد يمكن أن يتسبب فيما يلى:

١–ارتفاع حرارة لُب الثمار حتى ١٥°م أعلى من حرارة الهواء المحيط بها؛ بما يعنى احتمال وصول حرارته حتى ٥٠°م.

٢–قد يحدث تدرج حرارى كبير — يصل إلى ١٥°م — ما بين الجزء المتعرض لأشعة الشمس من الثمرة والجزء المظلل منها.

٣–ترتفع حرارة الأجزاء الأكثر تلونًا من الثمار بدرجة أكبر من الارتفاع فى حرارة الأجزاء الأقل تلونًا؛ فيمكن أن تكون ثمار الطماطم الحمراء أعلى حرارة بمقدار ٤–٨°م عن حرارة الثمار الخضراء فى نفس الظروف.

هذا.. ولا تحدث تلك التغيرات الحرارية إن لم تتعرض الثمار لأشعة الشمس بصورة مباشرة.

ولا تحدث تلك الزيادات فى درجة حرارة الأوراق التى تتعرض لنفس الظروف؛ وذلك لأنها تبرد بفعل النتح الذى لا يحدث فى الثمار بنفس مستوى النتح فى الأوراق. ولنفس السبب فإن الثمار الأكبر قطرًا ترتفع حرارتها بدرجة أكبر عن الارتفاع فى حرارة الثمار الأصغر.

إن تلك التأثيرات لأشعة الشمس القوية المباشرة على حرارة الثمار قد تؤدى إلى إصابتها بلسعة الشمس، وكلتاهما — الارتفاع فى درجة الحرارة والإصابة بلسعة الشمس — يترتب عليهما تغيرات فى خصائص الثمار، تتضمن ما يلى:

١- تباينات فى تلون الثمرة الواحدة.

٢- حدوث أضرار بجلد الثمرة.

٣- ظهور تباينات فى محتوى الأجزاء المختلفة من الثمرة فى كل من المادة الجافة، ومحتوى المواد الصلبة الذائبة، وحموضتها، ومحتواها من العناصر.

٤- حدوث تباينات فى مدى صلابة الثمرة.

٥- وجود تباينات فى معدل نضج الأجزاء المختلفة من الثمرة (Woolf & Ferguson ٢٠٠٠).

تأثير الإشعاع الشمسى على بعض محاصيل الخضر

الطماطم

يصاحب الإضاءة الضعيفة — غالبًا — ظهور انشقاق فى المخروط السدائى، مع تضخم وتضاعف fasciation فى قلم الزهرة، وتلك عوامل تؤدى إلى ضعف عقد الثمار.

وقد أدى خفض الإشعاع الشمسى الساقط على النباتات بنسبة ٥٠٪ بفعل التظليل إلى خفض محتوى ثمار صنفين من الطماطم من كل من السكريات (الجلوكوز والفراكتوز) حتى ١٣٪، والبيتاكاروتين حتى ١٦٪؛ وذلك بسبب خفض التظليل لمعدل البناء الضوئى؛ الأمر الذى ربما يفسر — كذلك — انخفاض تمثيل المركبات المتطايرة. هذا.. إلا

أن عديدًا من المركبات المتطايرة، مثل: (Z)-3-hexenal,3-methylbutanol، و 6-methyl-5-hepten-2-one ازدادت بفعل التظليل. وأدى التطعيم على الأصل Brigeor إلى خفض كل من المحصول وعدد الثمار. وقد انخفض معدل البناء الضوئى فى أوراق الطماطم المظللة، وكذلك تركيز سكر الثمار بنسبة وصلت إلى ١٢٪. كما أدى تطعيم الصنف Classy على الأصل Brigeor إلى خفض الكاروتينات بنسبة ٨٪؛ مما أدى إلى خفض تركيز ثلاثة مركبات متطايرة تُشتق من الكاروتينات، وهى: الـ geranylacetone، والـ β-cyclocitral، والـ β-ionone. هذا.. بينما ازدادت الحموضة المعايرة بنسبة ٩٪ بفعل التظليل وبنسبة ٦٪ بفعل التطعيم. كذلك ازدادت المركبات المتطايرة المشتقة من اللجنين مثل الـ methylsalicylate، والـ guaiacol. هذا.. إلاّ أن التطعيم لم يكن قادرًا على التغلب على النقص الذى حدث بفعل التظليل فى تركيز البيتاكاروتين والسكريات وخمس مركبات متطايرة فى الثمار (Krumbein & Schwarz ٢٠١٣).

كذلك وجد أن تعريض نباتات الطماطم لقدر إضافى من الأشعة فوق البنفسجية UV-B– يحاكى ما يحدث عند تآكل طبقة الأوزون بمقدار ٢٠٪ – أن ذلك يُسرع من نضج الثمار مقارنة بما يحدث فى ثمار الكنترول، مع حدوث نقص فى حجم الثمار الناضجة. ولم يلاحظ أى تأثيرات جوهرية للأشعة فوق البنفسجية على الكتلة البيولوجية، أو تطور نمو الورقة أو الإزهار أو الإنتاجية (Bacci وآخرون ١٩٩٩).

الخيار

تؤثر شدة الإضاءة التى تتعرض لها ثمار الخيار قبل حصادها تأثيرًا بالغًا على محتواها من الكلوروفيل؛ ومن ثم على سرعة فقدها للونها الأخضر، وقدرتها على التخزين بعد الحصاد (Lin & Jolliffe ١٩٩٦).

كذلك تؤثر الأشعة فوق البنفسجية بى UV-B Radiation على نباتات الخيار من عدة وجوه؛ حيث أدت زيادة شدتها من ٠,٢ إلى ١٥ كيلوجول kJ/م^{٢} يوميًّا إلى نقص

النمو الخضرى بنسبة ٤٨٪، والنمو الجذرى بنسبة ٦٣٪، والمساحة الورقية الكلية بنسبة ٣٨٪، والمساحة الورقية الخاصة Specific Leaf Area بنسبة ٢٢٪. وأدت معاملة المحاليل المغذية للمزارع المائية التى تنمو فيها النباتات بالبوترسين Putresine (كبولى أمين Polyamine) بتركيز ٥٠٠ ميكرومولاً إلى زيادة المساحة الورقية الكلية، والوزن الجاف للنمو الخضرى، ولكنها لم تؤثر على الوزن الجاف للجذور، أو المساحة الورقية الخاصة، كما لم تؤثر فى اصفرار الأوراق الذى تحدثه معاملة التعرض للأشعة فوق البنفسجية بى (Krizek وآخرون ١٩٩٧).

وتزداد حساسية نباتات الخيار للأشعة فوق البنفسجية بى بزيادة معدلات التسميد الآزوتى. ففى النباتات التى كان محتواها من النيتروجين أقل من ٣٪ أدت المعاملة بتلك الأشعة إلى إحداث زيادة جوهرية — بنسبة ٧٢٪ — فى المركبات المدمصة للأشعة فوق البنفسجية بى؛ مما يعنى أن تخفيض معدلات التسميد الآزوتى يمكن أن يفيد فى تجنب نباتات الخيار أضرار الأشعة فوق البنفسجية (Hunt & McNeil ١٩٩٨).

وقد أدى تعريض بادرات الخيار للضوء الأزرق بشدةٍ قدرها: 30 umol m^{-2} s^{-1} PPF لمدة خمس دقائق قبل التعرض للضوء العادى مباشرة — يوميًا — لمدة ١٣ يومًا.. أدى ذلك إلى زيادة توصيل الثغور، وزيادة معدلات النتح وزيادة البناء الضوئى بمقدار ٦٠٪، وزيادة الوزن الطازج والجاف للأوراق، والمساحة الورقية، وقطر الساق وطوله، مقارنة بنباتات المقارنة التى لم تعط معاملة التعريض للضوء الأزرق وكان التعريض للضوء الأزرق لمدة ٥ دقائق يوميًا أكثر تأثيرًا من التعريض لمدة ٣٠ أو ١٢٠ دقيقة.

الكنتالوب

يؤدى تعرض ثمار شهد العسل لضوء الشمس المباشر إلى تغير لون سطحها العلوى إلى اللون الأصفر، وتزداد شدة الاصفرار بزيادة شدة تعرضها للإشعاع، وهى الظاهرة التى تعرف باسم الاصفرار الشمسى Solar Yellowing. وعلى الرغم من أن زيادة شدة هذه الظاهرة يعد أمرًا غير مرغوب فيه، إلا أنه توجد علاقة عكسية بين شدة الاصفرار

الشمسى، وحساسية الثمار للحرارة المنخفضة ٢,٥°م (Lipton وآخرون ١٩٨٧).

ويتأثر محتوى ثمار الكنتالوب من السكر كثيرًا بالظروف البيئية السائدة خلال الأسبوعين السابقين للحصاد. وقد وجد أن إنتاج ثمار الكنتالوب من كل من الأسيتالدهيد والكحول الإيثيلى — الذى يكون بطيئًا عند نضج الثمار فى الظروف العادية — يزداد لدى تعرض النباتات للتظليل لمدة خمسة أيام خلال فترة الخمسة عشر يومًا التى تسبق النضج، كذلك أدى تظليل النباتات إلى نقص محتوى الثمار من السكر، واكتساب لُبهَا مظهرًا مبتلاً (Nishizawa وآخرون ١٩٩٨).

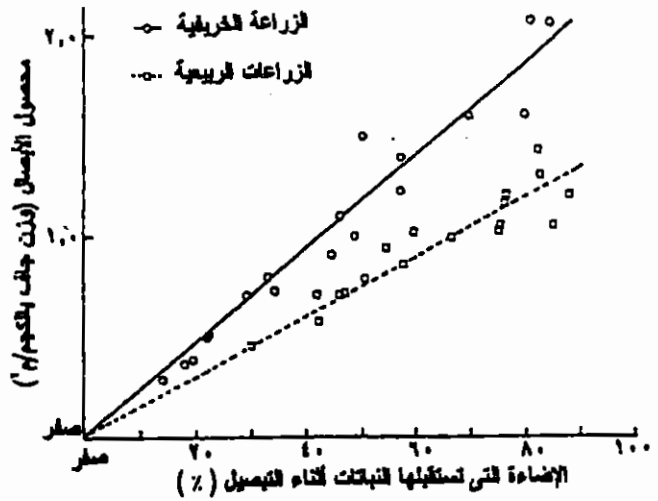
وتجدر الإشارة إلى أن ظاهرة تراكم الأسيتالدهيد والكحول الإيثيلى تزداد — كذلك — فى ثمار الكنتالوب المُطَعَّم على أصول من جنس *Cucubita*، وتكون مصاحبة بالنضج المبكر للثمار، وليونة لب الثمرة واتخاذه مظهرًا مائيًّا، ويعد ذلك من العيوب الفسيولوجية الشائعة فى اليابان (عن Nishizawa وآخرون ١٩٩٨).

البصل

وجد أن معدل النمو النسبى Relative Growth Rate والكفاءة التمثيلية Net Assimilation Rate يزدادان، بينما تنخفض نسبة المساحة الورقية Leaf Area Ratio، ونسبة وزن الورقة Leaf Weigh Ratio، والمساحة الورقية الخاصة Specific Leaf Area بزيادة شدة الإضاءة. ومع انخفاض شدة الإضاءة تزداد نسبة طول نصل الورقة إلى عرضها. ولذا .. فإن استمرار النمو تحت ظروف المنافسة يقلل معدل النمو مع نقص شدة الإضاءة.

ويتوقف المحصول المنتج — بشدة — على نسبة الإشعاع الشمسى الذى تستقبله النموات الخضرية عند تكوين الأبصال (شكل ٦–١). ويعبر عن العلاقة بين دليل المساحة الورقية Leat Area Index (اختصارًا: LAI)— وهى المساحة الورقية لكل وحدة مساحة من الحقل — ونسبة الإشعاع الشمسى الذى تستقبله النموات الخضرية (I %) بالمعادلة التالية:

$$I\% = 85.4 - 85.4\ [\exp\ (-0.377)]$$



شكل (٦-١): العلاقة بين نسبة الإشعاع الشمسى الذى تستقبله نباتات البصل- فى مرحلة تكوين الأبصال – والمحصول- معبرًا عنه بالوزن الجاف للأبصال – وذلك تحت ظروف توفر الرطوبة الأرضية والتسميد الجيد فى الزراعتين الخريفية والربيعية فى ولسيزبورن Wellesbourne بالمملكة المتحدة (عن Brewster ١٩٩٤).

وباستعمال هذه المعادلة يمكننا حساب دليل المساحة الورقية الذى يلزم لتحقيق معدل استقبال عالٍ للإشعاع الشمسى، فمثلاً.. يتطلب استقبال ٦٠٪ من الأشعة الساقطة دليلاً للمساحة الورقية قدره ٣,٢. وإذا افترضنا أن نمو النباتات يستمر لوغاريتميًّا تقريبًا إلى حين الوصول إلى دليل المساحة الورقية المطلوب، فإنه يمكننا حساب الوقت الحرارى thermal time- على صورة أيام حرارية متجمعة بين ٦ و ٢٠°م — الذى يلزم للوصول إلى دليل المساحة الورقية المرغوب فيه — عند كثافة نباتية معينة — بالمعادلة التالية:

$$DD = (\log_e (LAI \times 10^4/P) - \log_e 0.5) /0.0108$$

ويستدل من المعادلة الأخيرة أنه يلزم ٦٤٥ يومًا حراريًّا للوصول إلى مرحلة دليل مساحة ورقية مقدارها ٣,٢ فى كثافة نباتية مقدارها ٦٠ نباتًا/م٢.

الفاصوليا

أدى تعريض نباتات الفاصوليا للأشعة فوق البنفسجية بى UV-B — وهى التى تتراوح أطوال موجاتها بين ٢٨٠، و٣٢٠ نانوميتر — أدى إلى نقص النمو النباتى بنسبة الثلث تقريبًا، ونقص محصول القرون الخضراء بنسبة ٥٥٪، بينما لم تحدث تأثيرات مماثلة عندما تعرضت النباتات للأشعة فوق البنفسجية أى UV-A (Saile-Mark & Tevini ١٩٩٧، و Antonelli وآخرون ١٩٩٧).

الفترة الضوئية والعوامل المؤثرة فيها

يختلف طول الفترة الضوئية باختلاف خط العرض واليوم من السنة كالتالى (شكل ٦-٢، وجدول ٦-٢):

١-فى ٢١ من مارس، و٢١ من سبتمبر تكون الشمس متعامدة تمامًا على خط الاستواء، ويكون الشروق من الشرق تمامًا، والغروب من الغرب تمامًا، ويتساوى طول الليل مع طول النهار فى كافة أرجاء الكرة الأرضية.

٢-فى ٢١ من ديسمبر تكون الشمس أبعد ما تكون جنوبًا عن خط الاستواء، ويصاحب ذلك أقصر نهار فى نصف الكرة الشمالى، وأطول نهار فى نصف الكرة الجنوبى.

٣-يحدث العكس فى ٢١ من يونية؛ حيث تكون الشمس أبعد ما تكون شمالاً عن خط الاستواء، ويصاحب ذلك أطول نهار فى نصف الكرة الشمالى، وأقصر نهار فى نصف الكرة الجنوبى.

٤-يتساوى طول النهار مع طول الليل عند خط الاستواء فى جميع أيام السنة.