ومن المعروف أن للرطوبه النسبية تأثيرًا كبيرًا على امتصاص الكالسيوم وتوزيعه فى النبات، ذلك لأن الكالسيوم يتحرك فى النبات مع تيار الماء الذى يفقد بالنتح، وبذا .. نجد أن نقص الرطوبة النسبية يؤدى إلى زيادة معدل النتح، وبالتالى زيادة امتصاص الكالسيوم كما يتجمع الكالسيوم فى الأوراق والسيقان (التى تكون الكأس فى الثمار)، لأنها تنتح. بينما لا يصل سوى القليل من العنصر إلى الثمار، لأنها لا تنتح إلا قليلاً، وبذا يمكن أن تظهر عيوب فسيولوجية – تنتج عن نقص الكالسيوم – مثل تعفن الطرف الزهرى فى الطماطم والفلفل، والثمار الإسفنجية Pillowy Fruit فى الخيار.

وبينما تؤدى زيادة الرطوبة النسبية إلى نقص امتصاص عنصر الكالسيوم – بسبب خفضها لمعدل النتح – فإن ذلك يساعد على انتقال الكالسيوم إلى الثمار، وخاصة أثناء الليل

التحكم فى الإضاءة

يمكن التحكم فى الإضاءة فى البيوت المحمية من خلال التحكم فى كل من شدة الاضاءة والفترة الضوئية، سواء بالزيادة أم النقصان

التحكم فى شدة الإضاءة

خفض شدة الإضاءة

يتطلب الأمر خفض شدة الإضاءة فى حالات خاصة، هى:

١- خلال فصل الصيف فى الجو الصحو بالمناطق الحارة، حيث تزداد شدة الإضاءة بدرجة كبيرة. ويتحول جانب كبير من الإشعاع الشمسى إلى طاقة حرارية، فترتفع بذلك درجة الحرارة كثيرا داخل البيوت

٢- عند إنتاج بعض نباتات الزينة (نباتات الظل).

ويتم التحكم فى شدة الإضاءة بصورة جيدة باستعمال شباك التظليل البلاستيكية المناسبة التى تُحدث تظليلا بدرجات تتراوح بين ١٠٪ و ٩٠٪ حسب الحاجة. كما يمكن

خفض شدة الإضاءة برش غطاء البيت من الخارج بالجير، إلا أن ذلك يترك رواسب يصعب التخلص منها عند حلول فصل الشتاء.

زيادة شدة الإضاءة

نجد فى المناطق الشمالية الباردة أن أشعة الشمس تسقط على سطح الأرض خلال فصل الشتاء بزاوية صغيرة كما تكون السماء ملبدة بالغيوم معظم ساعات النهار. ويتبع ذلك أن تكون الإضاءة ضعيفة فى هذه المناطق؛ مما يستلزم توفير بعض الإضاءة الصناعية فى البيوت المحمية. ومما يساعد على جعل هذه الإضاءة الإضافية أمرًا اقتصاديًا فى هذه المناطق أن البيوت المحمية تظل مغلقة خلال فصل الشتاء بسبب برودة الجو؛ مما يستدعى تغذية البيوت بغاز ثانى أكسيد الكربون. وقد أوضحت عديد من الدراسات أن استفادة النباتات من غاز ثانى أكسيد الكربون المضاف تزداد مع زيادة شدة الإضاءة.

مصادر الإضاءة الصناعية فى البيوت المحمية

من أهم مصادر الإضاءة الصناعية التى يمكن أن تستعمل فى الزراعات المحمية ما يلى:

١- المصابيح المتوهجة Incadescent Lamps. أو (لمبات) التنجستين:

وهى مصابيح (لمبات) يتوهج فيها فتيل من التنجستين Tungsten Filament. تبعث اللمبة بالضوء من الفتيل الذى يسخن بدرجة كبيرة، مرسلاً أشعة تبدأ من الطيف الأزرق (٣٥٠ ملى ميكرون)، وتستمر حتى طيف الأشعة الحمراء (٧٥٠ ملى ميكرون)، ويكون ضوء لمبات التنجستين غنيًا فى محتواه من الأشعة تحت الحمراء التى تفقد فى صورة حرارة. ولا يتحول إلى ضوء سوى ٧٪ فقط من إجمالى الإشعاع الصادر منها. ولهذا .. فلمبات التنجستين تعد قليلة الكفاءة فى زيادة الإضاءة اللازمة لعملية البناء الضوئى، إلا أنها تفيد فى زيادة تدفئة النباتات، وفى التحكم فى إزهار النباتات التى تتأثر بالفترة الضوئية فى إزهارها.

وبصورة عامه فإن لمبات التنجستين لا تستعمل فى الإضاءة فى البيوت المحمية، بسبب إنتاجها لقدر زائد من الطاقة الحرارية وعلى الرغم من أن نوعية الضوء الذى ينبعث منها يناسب بعض النباتات .. إلا أنها لا تصلح كمصدر للضوء الصناعى عند استعمالها بشدة إضاءة منخفضة بالقدر الذى يلزم لتجنب الحرارة الزائدة، والتى تكون ضارة فى أحيان كثيرة.

٢- المصابيح الفلورية (النيون) Fluoresent Lamps

تبعث لمبات الفلورسنت بضوء منخفض فى الأشعة الحمراء، لا يحتوى على أية أشعة تحت حمراء، ولذا نجد أن اللمبات تكون باردة. ويحتوى ضوء لمبات الفلورسنت على بقية ألوان الطيف بصورة قريبة من تلك الموجودة فى أشعة الشمس (جانيك ١٩٨٥).

وتعتبر لمبات الفلورسنت أكثر استعمالاً فى حجرات النمو منها فى البيوت المحمية.

ومن انواع اللمبات الفلورسنتية ذات الكفاءة العالية نوع يعرف باسم الأبيض البارد Cool white. ونوع آخر يعرف باسم الأبيض الدافئ Warm white، وكلاهما يحول نحو ٢٠٪ من الطاقة الكهربائية المستهلكة إلى طاقة ضوئية (مقارنة بنحو ٥٪-٧٪ فقط فى لمبات التنجستين)، وأكثرهما استعمالاً النوع الأبيض البارد. وفى كليهما يميل الطيف إلى السيادة فى منطقة الضوء الأزرق.

وتتوفر أنواع أخرى من اللمبات الفلورسنتية تحتوى على فوسفور يشع طيفًا ذا موجات ضوئية أكثر مناسبة لعملية البناء الضوئى؛ مثل لمبات مجموعة Plant Gowth A التى يزيد إشعاعها فى مدى الضوء الأحمر. ولمبات مجموعة Plant Growth B التى يكثر إشعاعها فى مدى الموجات التى يزيد طولها على ٧٠٠ ملى ميكرون.

ومن أهم العوامل التى تحد من استعمال اللمبات الفلورسنتية انخفاض شدة الإضاءة المنبعثة منها، الأمر الذى يستدعى زيادة عدد اللمبات التى يتعين استخدامها لتأمين الإضاءة المناسبة. وهو ما يعنى زيادة التكاليف، مع زيادة التظليل الناشئ عن الـ fixtures المستخدمة فى تثبيت اللمبات فى مكانها.

ويعمل الجمع بين لمبات التنجستين ولمبات الفلورسنت على تحقيق نوع من التكامل والتوازن بينهما. حيث تكون الأشعة الناتجة منهما أقرب من طيف أشعة الشمس أكثر من أي منهما منفردة. ويقل انطلاق الطاقة الحرارية، وتزداد كفاءة استهلاك الطاقة الكهربائية مقارنة باستعمال لمبات التنجستين منفردة.

٣- مصابيح التفريغ ذات الشدة العالية High Intensity Discharge Lamps:

أنواعها كثيرة جدًا، ويستعمل بعضها فى الزراعات المحمية. ومن أمثلتها لمبات التفريغ الزئبقية ذات الضغط العالى High-Pressure Mercury Discharge Lamps. يتشابه الطيف المنبعث منها – جزئيًا – مع طيف اللمبات الفلورسنتية. وتحتوى بعض أنواعها (مثل الطراز: MBFR/U) على مسحوق فلورسنتى يغطى السطح الداخلى لزجاج المصباح؛ يحول معظم الأشعة فوق البنفسجية إلى موجات من الضوء المرئى، وخاصة من الطيف الأحمر. الأمر الذى يجعل الضوء الصادر من المصباح أكثر صلاحية للنمو النباتى. ويزيد كفاءتها – فى تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية مرئية – إلى ١٣

تتوفر كذلك – منها – مصابيح الهاليدات المعدنية ذات الضغط العالى High-Pressure Metal Halide، وهى تحول ٢٠٪ من الطاقة الكهربائية المستهلكة إلى طاقة ضوئية فى المدى المفيد للنبات (من ٤٠٠ إلى ٧٠٠ مللى ميكرون). ويعيبها أنها أكثر تكلفة من مصابيح الزئبق ذات الضغط العالى High-Pressure Mercury Lamps، وتدوم لفترة أقل منها، كما تفقد كفاءتها بسرعة.

وتعتبر مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالى High-Pressure Sodium Lamps أكثر انتشارًا وأقل تكلفة – ويسود فى الطيف الناتج منها الموجات الطويلة، وخاصة موجات الضوء الأصفر (٥٨٩ مللى ميكرون)، كما ينتشر طيفها ليشمل الضوء المرئى (من ٤٠٠ إلى ٧٠٠ مللى ميكرون). ويستمر حتى ٨٥٠ مللى ميكرون. ويعد الإشعاع فى هذا المجال (من ٧٠٠-٨٥٠ مللى ميكرون) ضروريًا لزيادة طول الساق والوزن الطازج، وتبكير الأزهار فى معظم الأنواع النباتية. وتتميز هذه المصابيح بأنها عالية الكفاءة، حيث تحول ٢٥٪

من الطاقة الكهربائية المستهلكة إلى ضوء مرئى (من ٤٠٠–٨٠٠ مللى ميكرون)، وبأنها يمكن أن تستعمل – بكفاءة – لمدة ٢٤ ألف ساعة.

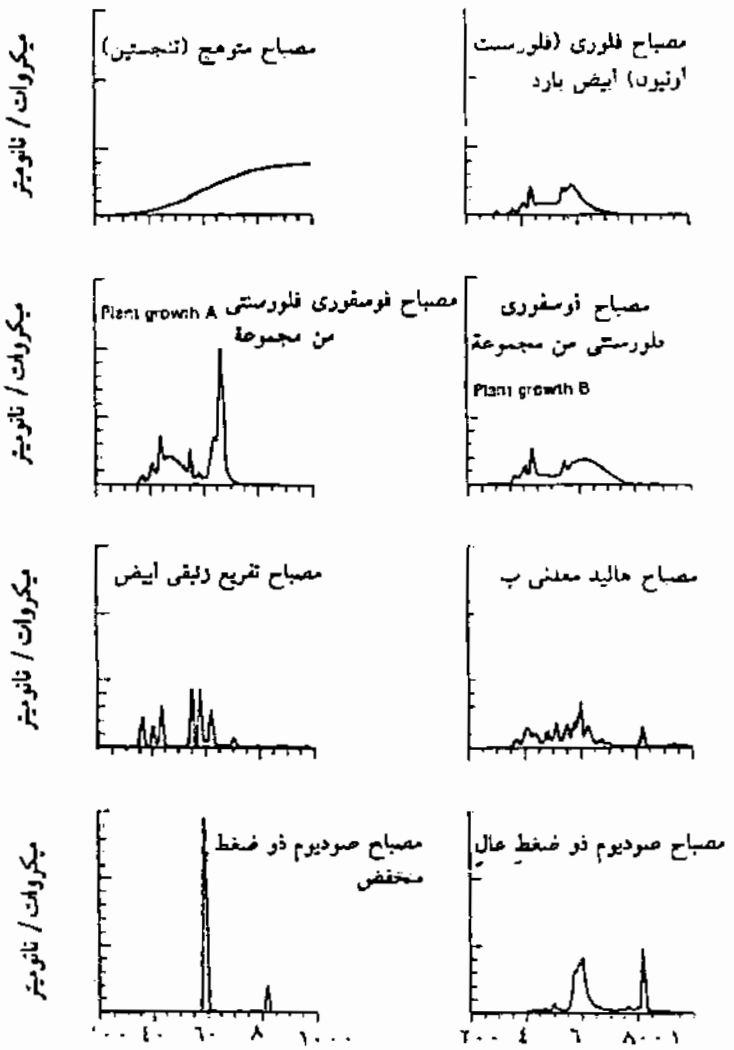
كذلك تتوفر مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض Low-Pressure Sodium Lamps. وهى أكثر المصابيح كفاءة على الإطلاق؛ حيث إنها تحول ٢٧٪ من الطاقة الكهربائية المستعملة إلى طاقة ضوئية مرئية، وتخدم لمدة ١٨ ألف ساعة. ومن مميزاتها – كذلك – إمكان وضعها أقرب إلى النباتات – مقارنة بلمبات الضغط العالى – دون الخشيه من ارتفاع حرارة النباتات؛ الأمر الذى يفيد فى زيادة كفاءة استهلاك الكهرباء، وزيادة تجانس الإضاءة

ولكن يعيب مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض أن معظم طيفها يكون قريبًا من ٥٨٩ مللى ميكرون، مع نسبة قليلة جدًا فى المجال الموجى ٧٠٠–٨٥٠ مللى ميكرون؛ الأمر الذى يؤدى – حال استعمالها منفردة – إلى جعل بعض النباتات – مثل الخس – أبهت لونا، وأصغر حجمًا ويمكن تجنب هذه المشكلة بجعل نحو ١٠٪ من الإضاءة المتوفرة للنباتات من مصابيح متوهجة (لمبات تنجستين)، أو من الإضاءة الطبيعية.

ويوضح شكل (٣–٢٢) أطوال الموجات الضوئية التى تبثها مختلف أنواع المصابيح التى ورد بيانها (عن Nelson ١٩٨٥)

وإلى جانب الإضاءة الصناعية، فإن الاختيار الأمثل لشكل البيت واتجاهه ومادة الغطاء كل ذلك يساعد على زيادة نفاذية الضوء إلى داخل البيت

كذلك فإن تنظيف أغطية البيوت من الأتربة التى تتراكم عليها خلال فصل الصيف يفيد كثيرًا فى زيادة نفاذيتها لأشعة الشمس عند الحاجة إلى ذلك خلال فصل الشتاء. ويعتبر ذلك الإجراء ضروريًا فى بداية فصل الشتاء فى المناطق الباردة والمعتدلة على حد سواء وأفضل طريقة للتنظيف هى رش الغطاء أولاً بمحلول ٥٪ من حامض الأوكساليك؛ ثم غسله بالماء ويجب تجنب استعمال ماء به نسبة مرتفعة من الجير، حتى لا يترك رواسب على الغطاء



شكل (٣-٢٢). الطيف الصادر عن مختلف أنواع المصابيح الكهربائية المستعملة فى الزراعات المحمية

الاستعمال التجارى للإضاءة الصناعية

لا تستعمل الإضاءة الصناعية على النطاق التجارى إلا فى المناطق التى تنخفض فيها شدة الإضاءة الطبيعية إلى درجة يضعف معها النمو النباتى؛ حيث تؤدى الإضاءة الصناعية

إلى زيادة النمو النباتى و لمحصول ويطبق ذلك على نطاق تجارى فى أوروبا شمال خط عرض ٥٠°. وفى أمريكا الشمالية شمال خط عرض ٤٠°

وقد تستعمل الإضاءة الصناعية فى هذه المناطق طول موسم النمو، ولكن الأكثر شيوعًا هو استعمالها فى المراحل المبكرة من النمو النباتى. وخاصة فى المشاتل، حيث تكون النباتات متزاحمة فى مساحة محدودة

فمثلا تبدأ الإضاءة لبادرات الطماطم من مرحلة الإنبات، وتستمر لفترة أسبوع واحد إلى ثلاثة أسابيع، بشدة ٥٠٠٠ لكس Lux (٤٦٥ قدم شمعة)، لمدة ١٢ ساعة يوميًا، على ألا تزيد فترة الإضاءة الكلية (الطبيعية والصناعية معًا) على ١٦ ساعة. تجعل هذه المعاملة الشتلات أسرع نموًا، بحيث تصل إلى الحجم المناسب للشتل فى وقت قصير نسبيًا.

ووجد أن تعريض نباتات الطماطم الصغيرة لإضاءة شدتها ٥٠، و ١٠٠، و ١٥٠ ميكرومول/ثانية/م^2 ($\mu mol\ s^{-1}\ m^{-2}$) — بطول موجى يتراوح بين ٤٠٠ مللى ميكرون و ٧٠٠ مللى ميكرون - أدى إلى زيادة المحصول المبكر خلال الأسابيع الثلاثة الأولى من الحصاد بنسبة ١٩٪، و ٣١٪، و ٤٢٪ على التوالى

كما تستعمل مع بادرات الخيار إضاءة صناعية شدتها ٣٠٠٠-٥٠٠٠ لكس Lux (٢٨٠-٤٦٥ قدم شمعة). ومع الخس إضاءة شدتها ٧٥٠٠ لكس، إلى جانب الإضاءة الطبيعية وقد وجد أن نمو الخس لمدة ١٠ أيام تحت إضاءة صناعية مستمرة شدتها ٥٠٠٠ لكس (٤٦٥ قدم شمعة) يعادل النمو الذى يحدث خلال ستة أسابيع — تحت ظروف الإضاءة الطبيعية — فى هذه المناطق.

وقد وجد Blain وآخرون (١٩٨٧) — فى كندا — أن زيادة شدة الإضاءة بمقدار ٣٠٠ ميكرومول/ثانية/م^2 ($300\ \mu m.s^{-1}/m^2$) لمدة ١٨ ساعة يوميًا — بالإضافة إلى الإضاءة الطبيعية - أحدثت زيادة كبيرة فى نمو نباتات الخيار ومحصولها

وقد وجد أن زراعات الخس الرومين المحمية تستجيب لزيادة فترة الإضاءة — من ١٦ ساعة إلى ٢٤ ساعة — عند استعمال مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالى، وذلك بزيادة

محصول الخس بنسبة ٥٠٪، مقارنة باستعمال المصابيح الفلورية (النيون) عند مستوى شدة الإضاءة نفسه، على الرغم من أن استهلاك الكهرباء كان أقل فى النوع الأول بمقدار ٣٦٪، مقارنة بالاستهلاك فى النوع الثانى. وكان مرد ذلك إلى زيادة نسبة الأشعة التى تنبعث من مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالى من الموجات التى يتراوح طولها بين ٧٠٠ مللى ميكرون و ٨٥٠ مللى ميكرون (Koontz وآخرون ١٩٨٧).

وعلى الرغم من تأكيد جميع الدراسات التى أجريت على الخس فى الزراعات المحمية استجابته الكبيرة لزيادة شدة الإضاءة، سواء بزيادة المحصول، أم بقصر فترة الإنتاج .. إلا أن ذلك يكون مصاحبًا — غالبًا — بزيادة فى شدة الإصابة باحتراق حواف الأوراق، وهو عيب فسيولوجى ذو علاقة بكل من نقص الكالسيوم ومعدلات النمو العالية التى تحدث فى الظروف المثلى للنمو (Gaudreau وآخرون ١٩٩٤).

كما أدت زيادة شدة الإضاءة لمدة ساعتين قبل شروق الشمس وساعتين أخريين بعد الغروب — فى إيطاليا — من لمبات فلورية بقوة ٦٥ وات — إلى تبكير أول زهرة مؤنثة بمقدار ١٥ يومًا فى الفاصوليا. و ٩ أيام فى كل من الكوسة والخيار، وإلى زيادة المحصول الكلى بنسبة ٦٧٪، و ٢٤٪، و ١٤٪ فى المحاصيل الثلاثة على التوالى (Foti وآخرون ١٩٩١)

ويستدل من دراسات Warren-Wilson وآخرين (١٩٩٢) على أن نباتات الخيار والطماطم التى يبلغ طولها نحو مترين تستقبل نحو ٧٦٪ — من أشعة الشمس الساقطة عليها — على الأسطح العلوية للأوراق، بينما يفقد نحو ١٨٪ من الإشعاع فى الفراغات التى توجد بين النباتات. ويؤدى وجود بوليثيلين أبيض على سطح التربة إلى عكس الضوء الذى يصل إليه — إلى أعلى — الأمر الذى يجعل الأسطح السفلية للأوراق تستقبل نحو ١٣٪ من الإضاءة التى تستقبلها الأسطح العلوية.

وفى المناطق الشمالية التى تقل فيها فترة وشدة الإضاءة شتاءً — مثل النرويج وفنلندا — والتى يتعين فيها توفير الإضاءة الصناعية لمدة قد تصل إلى ٢٠ ساعة يوميًا .. وجد أن

وضع ٣٥٪ من لمبات الإضاءه بين النموات الخضرية، و ٦٥٪ منها أعلى النموات أدى إلى زيادة محصول ثمار الخيار بنسبة حوالى ٨٪-١١٪ عما فى حالة وضع كل اللمبات أعلى النموات الخضرية (Pettersen Hovi-Pekkanen & Tahvonen وآخرون ٢٠١٠)

وقد وجد أن توفير إضاءة صناعية من لمبات الصوديوم ذات الضغط العالى بين الحادية عشرة مساء والسابعة صباحًا لمدة ٢٤ يومًا — بالإضافة إلى الإضاءة الطبيعية نهارًا — أدى إلى زيادة النمو النباتى وتركيز الكلوروفيل ومعدل البناء الضوئى فى كل من الخس والطماطم. مع زيادة التأثير بزيادة شدة الإضاءة وقد ظهرت تلك التأثيرات بدءًا من اليوم الثامن للمعاملة الضوئية هذا إلا أن الزيادة فى تركيز الكلوروفيل اختفت وعاد مستواه لمستوى الكلوروفيل فى معاملة الكنترول بعد ٨ أيام من وقف الإضاءة الصناعية وقد تميزت النباتات التى أعطيت المعاملة الضوئية ليلاً بزيادة معدل البناء الضوئى فيها نهارًا كذلك (Fukuda وآخرون ٢٠٠٠).

وقد قورن نمو شتلات الخيار فى ثلاثة ظروف مختلفة للإضاءة كانت كما يلى:

١- تحت لمبات فلورسنتية تشع نسبة عالية من الأشعة الحمراء R إلى الأشعة تحت الحمراء FR (FL_H)، بنسبة R:FR = ٧,٠

٢- تحت لمبات هاليد معدنى metal halide (أو ML) تعطى طيفًا شبيهًا بطيف ضوء الشمس. بنسبة R FR = ١,٢

٣ - تحت لمبات فلورسنتية تشع نسبة منخفضة من الأشعة الحمراء إلى الأشعة تحت الحمراء (FL_L). بنسبة R FR = ١١

وفى المعاملات الثلاث كانت كثافة شدة الإضاءة النشطة فى البناء الضوئى photosynthetic photon flux density (اختصارًا: PPFD) مقدارها ٣٥٠ ميكرومول/سم^2 فى الثانية

ولقد وجد أن استجابة البناء الضوئى للشتلات تحت الـ FL_H تماثلت مع تلك التى كانت تحت ضوء الشمس، بينما كانت الاستجابة لكل من معاملتى الـ ML والـ FL_L مماثلة لاستجابة أوراق الظل. وقد تميزت شتلات الـ FL_H بزيادة سمك أوراقها وزيادة

محتواها من الكلوروفيل فى وحدة المساحة الورقية عن شتلات الـ ML والـ FL_L. كذلك ازداد البناء الضوئى فى بادرات الـ FL_H عما فى شتلات المعاملتين الأخرتين عندما عرضت لمستويات عالية من الـ PPFD (حتى ١٠٠٠ ميكرومول/سم^2 فى الثانية)، وربما كان مرد ذلك إلى ما أحدثته تلك المعاملة من تحسن فى معدل انتقال الإليكترونات فى البناء الضوئى، نتيجة لتغيرات فسيولوجية ومورفولوجية حدثت استجابة للضوء العالى فى نسبة R : FR (Shibuya وآخرون ٢٠١٠).

وأدى تعريض شتلات الخس للضوء الأزرق (١٠٠ ميكرومول/م^2 فى الثانية من لمبات diode مشعة للضوء الأزرق) لمدة أسبوع إلى تحسين نمو نباتات الخس بعد الشتل،وكان مرد ذلك إلى ما أحدثته المعاملة من زيادة فى الكتلة البيولوجية لكل من الجذور والنموات الهوائية. ومن زيادة فى المحتوى الكلوروفيلى الكلى، وفى نشاط مضادات الأكسدة (البولى فينولات والكاروتينات) فى شتلات الخس، إضافة إلى أن نمو الشتلات المعاملة كان أكثر اندماجا. وكان ذلك مفيدًا فى عملية الشتل (Johkan وآخرون ٢٠١٠).

التحكم فى الفترة الضوئية

يعتبر التحكم فى الفترة الضوئية بالزيادة أو بالنقصان إحدى المعاملات الزراعية الروتينية فى الإنتاج التجارى لبعض نباتات الزهور؛ بغية التحكم فى موعد إزهارها. أما فى محاصيل الخضر، فليس لذلك الأمر أهمية تذكر إلا فى الحالات التالية:

١- فى البيوت المحمية المخصصة لأغراض البحوث كالدراسات الخاصة بالتأقّت الضوئى.

٢- فى المناطق الشمالية شتاءً عندما تكون الفترة الضوئية أقصر مما يلزم للنمو النباتى الجيد.

هذا ويتم تقصير الفترة الضوئية بسواتر من القماش الأسود تثبت على حوامل خاصة أعلى النباتات؛ لتمنع وصول الضوء إليها بعد عدد معين من ساعات النهار. وتحرك هذه السواتر يدويًا أو آليًا فى الوقت المحدد يوميًا.