الفصل السابع

العوامل الجوية وتأثيرها على نباتات الخضر

يتأثر نمو وتطور محاصيل الخضر بمختلف العوامل الجوية من درجة حرارة ، وشدة إضاءة ، وفترة ضوئية ، ورطوبة نسبية ، ورياح ، بالإضافة إلى مكونات الهواء ـ وخاصة غاز ثانى أكسيد الكربون ـ وأطوال الموجات الضوئية .

ومن مجموع العوامل البيئية السائدة فى منطقةٍ ما يتشكل ما يعرف بالمناخ الخاص بتلك المنطقة .

المناخ والعوامل المؤثرة فيه

تقسم الكرة الأرضية إلى أربع مناطق مناخية كالتالى :

١ ـ المنطقة الاستوائية Tropical Zone : وتقع بين خط الاستواء، وخط عرض ٢٠ْ شمالا أو جنوبًا .

٢ ـ المنطقة شبه الاستوائية Subtropical Zone : وتقع بين خطى عرض ٢٠ْ ، ٣٠ْ شمالا أو جنوبًا .

٣ ـ المنطقة المعتدلة Warm Zone : وتقع بين خطى عرض ٣٠ْ ، ٤٠ْ شمالا أو جنوبًا .

٤ ـ المنطقة الباردة Cool Zone : وتقع بين خطى عرض ٤٠ْ ، ٦٠ْ شمالا أو جنوبًا .

ويؤثر خط العرض على كل من درجة الحرارة السائدة ، وطول موسم النمو الخالى من الصقيع، وطول فترة الإضاءة، وشدة الإضاءة.

openkanal.com

ويتأثر المناخ فى منطقةٍ ما بالعوامل الآتية :

١ ـ معدل تساقط الأمطار وتوزيعها على مدار العام .

٢ ـ منسوب الأرض؛ أى درجة ارتفاعها أو انخفاضها عن مستوى سطح البحر ، فتنخفض درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة مع كل ١٥٠ مترًا ارتفاعًا فى منسوب الأرض . ويؤثر ذلك فى كل من درجة الحرارة السائدة ، وطول موسم النمو .

٣ ـ اتجاه المنحدرات الجبلية . . فتكون درجة الحرارة أقل ، وشدة الإضاءة أقل ، والأمطار أكثر فى المنحدرات المواجهة للرياح منها فى المنحدرات التى لا تواجه الرياح .

٤ ـ تأثير التيارات البحرية . . فتعمل بعض التيارات البحرية على تدفئة الهواء شتاءً ، وتجعله أبرد قليلا صيفًا ؛ مما يسمح بزراعة محاصيل معينة فى مناطق مختلفة من العالم .

٥ ـ تأثير المحيطات والبحيرات . . فالماء له القدرة على اكتساب الحرارة من الهواء . فعندما يكون الهواء دافئًا ، فإنه يعمل على تبريده ، كما أن له القدرة على فقد الحرارة إلى الهواء . فعندما يكون الهواء باردًا ، فإنه يعمل على تدفئته ؛ مما يجعل المناطق المجاورة للتجمعات المائية الكبيرة ذات حرارة معتدلة ؛ وبذلك تكون مناسبة لزراعة محاصيل معينة .

٦ ـ التيارات الهوائية .

تأثير درجة الحرارة على محاصيل الخضر

تكون درجة حرارة النباتات ـ بصورة عامة ـ مماثلة لدرجة حرارة الوسط المحيط بها ، أو قريبة منه ؛ ولذا . . فإن النباتات توصف بأنها "Poikilotherms" .

المجال الحرارى للنمو وأهميته

تعتبر درجة الحرارة من أهم العوامل الجوية المؤثرة على نمو وتطور محاصيل

الخضر ، بداية من زراعة الذرة ، حتى نضج الأعضاء النباتية . وتختلف درجة الحرارة المناسبة باختلاف المحصول ، وباختلاف مرحلة النمو ، فلكل مرحلة :

١ ـ درجة حرارية صغرى Minimum Temperature : وهى أقل درجة حرارة يمكن أن يحدث عندها النمو . وإذا انخفضت درجة الحرارة عن ذلك ؛ فإن النمو يتوقف ، لكن النبات لا يموت إلا إذا وصلت درجة الحرارة إلى الدرجة الدنيا المميتة Minimum Lethal Temperature .

٢ ـ درجة حرارة مثلى Optimum Temperature : وهى درجة الحرارة التى يحدث عندها أقصى نمو .

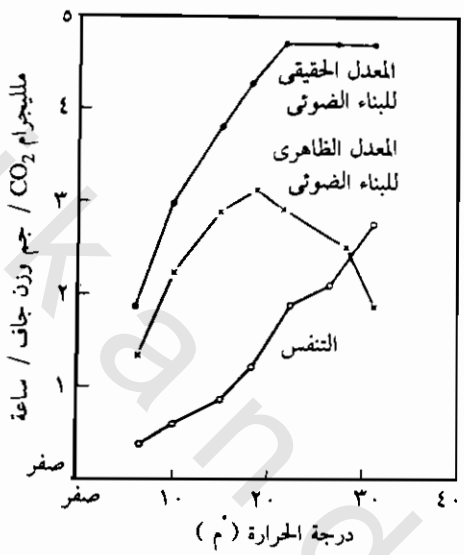
٣ ـ درجة حرارة عظمى Maximum Temperature : وهى أعلى درجة حرارة يمكن أن يحدث عندها النمو . فإذا ارتفعت درجة الحرارة عن ذلك ، فإن النمو يتوقف ، لكن النبات لا يموت إلا إذا وصلت درجة الحرارة إلى الدرجة العظمى المميتة Maximum Lethal Temperature .

ويحدث النمو النباتى فيما بين الدرجتين الصغرى والعظمى لكل مرحلة من مراحل النمو .

وبرغم أن النمو النباتى يحدث فى غالبية النباتات فى درجات الحرارة المرتفعة نسبيا ، إلا أن الإنتاج الاقتصادى الأمثل لمحاصيل الخضر يستلزم توفُّر درجات حرارة خاصة لكل محصول فى كل مرحلة من مراحل النمو . فبينما يعطى الجزر والسبانخ محصولا اقتصاديا فى الجو البارد المعتدل ، فإن البطيخ والخيار لا يمكنهما النمو والإثمار إلا فى الجو الدافئ .

هذا . . وتجدر الإشارة إلى أن معدل البناء الضوئى يكون أعلى ما يمكن ، بينما يكون معدل التنفس عاديا فى درجة الحرارة المثلى ، وبذلك تتوفر أعلى نسبة من الغذاء المجهز للنمو . وبانخفاض درجة الحرارة عن الدرجة المثلى يقل معدل البناء الضوئى بدرجة أكبر من انخفاض معدل التنفس ، وبذلك يقل الفائض فى كمية الغذاء المجهز اللازم للنمو إلى أن يتوقف النمو عند درجة الحرارة الصغرى . وبارتفاع درجة الحرارة

عن الدرجة المثلى يزيد معدل التنفس بدرجة أكبر من الزيادة فى معدل البناء الضوئى ؛ وبذلك يقل أيضًا الفائض فى كمية الغذاء المجهز اللازم للنمو (شكل ٧ ـ ١) ، إلى أن يتوقف النمو عند درجة الحرارة العظمى . ونجد أن سرعة النمو تتضاعف مع كل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره ١٠ درجات مئوية فيما بين الدرجة الصغرى والدرجة المثلى .



شكل (٧ ـ ١) : تأثير درجة الحرارة على التنفس والبناء الضوئى (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨) .

ويفيد انخفاض درجة الحرارة ليلا فى تقليل فقد الغذاء المجهز بالتنفس ، إلا أن انخفاضها عن الدرجة الصغرى يقلل من معدل تمثيل البروتين فى الخلايا الجديدة ؛ ومن ثم يقلل من معدل النمو . ويطلق على ظاهرة انخفاض درجة الحرارة ليلا وارتفاعها نهارًا اسم Thermoperiodicity .

وباستمرار انخفاض درجة الحرارة إلى درجة التجمد ، فإن الماء يتجمد فى خلايا النبات ؛ وبذلك يفقد خصائصه الهامة كوسط لكل التفاعلات الحيوية فى النبات .

ومع ارتفاع درجة الحرارة عن الدرجة العظمى واقترابها من الدرجة العظمى المميتة ، تحدث تغيرات لا عودة فيها فى التركيب الجزيئى للإنزيمات والبروتينات الأخرى ؛ فيفقد النبات بذلك إنزيماته التى هى أساس جميع التفاعلات الحيوية . ومن أبرز أضرار الحرارة المرتفعة حالة لسعة أو سمطة الشمس sunscald ، والتى تشاهد فى عديدٍ من الخضر عند تعرض الأنسجة النباتية الغضة لأشعة الشمس القوية ، وارتفاع درجة حرارتها بسبب امتصاصها للطاقة الساقطة عليها (Edmond وآخرون ١٩٧٥) .

وقد أوضحت الدراسات الحديثة أن تطور النمو النباتى يرتبط بشدة بالفرق بين حرارة النهار وحرارة الليل أكثر من ارتباطه بنسبة حرارة النهار إلى حرارة الليل ، وذلك عندما تتراوح الحرارة بين ١٠م ، و٢٦م . ويستفاد من هذه الخاصية فى التحكم فى مدى استطالة النباتات فى البيوت المحمية بكل من الولايات المتحدة وأوروبا ، وكذلك فى التحكم فى استطالة النباتات فى مزارع الأنسجة باليابان وفى معامل دراسات الفضاء بالولايات المتحدة (عن Erwin & Heins ١٩٩٥) .

معدلات درجات الحرارة فى مصر

يبين جدول (٧ ـ ١) المتوسط الشهرى لدرجات الحرارة الصغرى والعظمى والمتوسط العام فى المناطق المختلفة بمصر .

تأثير درجات الحرارة على إنبات بذور الخضر

لكل محصول من الخضر احتياجاته الحرارية الخاصة لإنبات البذور . ويوضح جدول (٧ ـ ٢) درجات الحرارة الصغرى والعظمى والمناسبة لإنبات بذور محاصيل الخضر المختلفة . كما يبين جدول (٧ ـ ٣) تأثير درجة الحرارة على سرعة إنبات البذور . وتفيد دراسة ذلك فى المجالات التالية :

١ ـ تحديد المواعيد المناسبة لزراعة البذور .

جدول (٧ ـ ١) : المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة فى مصر (°م) .

المنطقة	الشهر											
	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونية	يولية	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
متوسط النهايات الصغرى لدرجة الحرارة												
الساحلية	١٠	١٠	١٠	١٤	١٧	٢٠	٢٢	٢٣	٢٢	٢٠	١٦	١١
الدلتا	٥	٦	٨	١١	١٤	١٧	١٩	١٩	١٧	١٥	١٢	٧
مصر الوسطى	٦	٧	١٠	١٣	١٦	١٩	٢٠	٢١	١٩	١٧	١٣	٨
مصر العليا	٧	٨	١١	١٦	١٩	٢٢	٢٠	٢٣	٢٢	١٩	١٣	٨
المتوسط العام الشهرى لدرجة الحرارة												
الساحلية	١٣	١٤	١٥	١٨	٢١	٢٣	٢٥	٢٦	٢٥	٢٣	١٩	١٥
الدلتا	١١	١٢	١٥	١٨	٢٢	٢٥	٢٦	٢٦	٢٤	٢١	١٧	١٣
مصر الوسطى	١١	١٣	١٦	٢٠	٢٣	٢٦	٢٧	٢٧	٢٥	٢٢	١٨	١٣
مصر العليا	١٣	١٥	١٩	٢٤	٢٨	٣١	٣١	٣١	٢٩	٢٥	٢٠	١٥
متوسط النهايات العظمى لدرجة الحرارة												
الساحلية	١٨	١٩	٢١	٢٣	٢٦	٢٨	٣٠	٣٠	٢٦	٢٨	٢٤	٢٠
الدلتا	١٩	٢٠	٢٤	٢٧	٣٢	٣٥	٣٥	٣٥	٣٢	٢٩	٢٥	٢٦
مصر الوسطى	١٩	٢١	٢٤	٢٩	٣٢	٣٥	٣٦	٣٥	٣٢	٣٠	٢٥	٣٠
مصر العليا	٢٢	٢٥	٢٩	٣٤	٣٨	٤٠	٤٠	٣٩	٣٧	٣٤	٢٩	٢٤

٢ ـ التخطيط لتحديد مواعيد الزراعات المتتابعة ؛ لكى لا تؤدى زراعة كل المساحة فى وقت واحد إلى إجراء الحصاد فى وقت واحد ، وما ينتج من ذلك من مشاكل فى العمالة والتسويق .

٣ ـ التخطيط لاستعمال مبيدات الحشائش السابقة للإنبات Pre-emergence herbicides بكفاءة (Lorenz & Maynard ١٩٨٠) .

وتجدر الإشارة إلى أن لظاهرة انخفاض درجة الحرارة ليلا وارتفاعها نهارًا أهمية كبيرة فى إنبات بذو عديد من الأنواع النباتية . وحتى تكون هذه الظاهرة مؤثرة ، يجب ألا يقل الفرق بين درجتى حرارة الليل والنهار عن ١٠ درجات مئوية (Hartmann & Kester ١٩٧٥) .

جدول (٧ ـ ٢) : درجات الحرارة الصغرى والعظمى والمناسبة لإنبات بذور الخضر (°م) .

محصول الخضر	الدرجة الصغرى	المجال المناسب	الدرجة المثلى	الدرجة العظمى
الهليون	١٠	١٥ - ٢٩	٢٤	٣٥
الفاصوليا	١٥	١٥ - ٢٩	٢٧	٣٥
فاصوليا الليما	١٥	١٨ - ٢٩	٢٩	٢٩
البنجر	٤	١٠ - ٢٩	٢٩	٣٥
الكرنب	٤	٧ - ٣٥	٢٩	٣٨
الجزر	٤	٧ - ٢٩	٢٧	٣٥
القنبيط	٤	٧ - ٢٩	٢٧	٣٨
الكرفس	٤	١٥ - ٢١	٢١	٢٩
السلق	٤	١٠ - ٢٩	٢٩	٣٥
الذرة السكرية	١٠	١٥ - ٣٥	٣٥	٤٠
الخيار	١٥	١٥ - ٣٥	٣٥	٤٠
الباذنجان	١٥	٢٤ - ٣٢	٢٩	٣٥
الخس	٢	٤ - ٢٧	٢٤	٢٩
القاوون	١٥	٢٤ - ٣٥	٣٢	٣٨
البامية	١٥	٢١ - ٣٥	٣٥	٤٠
البصل	٢	١٠ - ٣٥	٢٤	٣٥
البقدونس	٤	١٠ - ٢٩	٢٤	٣٢
الجزر الأبيض	٢	١٠ - ٢١	١٨	٢٩
البسلة	٤	٤ - ٢٤	٢٤	٢٩
الفلفل	١٥	١٨ - ٣٥	٢٩	٣٥
القرع العسلى	١٥	٢١ - ٣٢	٣٥	٣٨
الفجل	٤	٧ - ٣٢	٢٩	٣٥
السبانخ	٢	٧ - ٢٤	٢١	٢٩
الكوسة	١٥	٢١ - ٣٥	٣٥	٣٨
الطماطم	١٠	١٥ - ٢٩	٢٩	٣٥
اللفت	٤	١٥ - ٤٠	٢٩	٤٠
البطيخ	١٥	٢١ - ٣٥	٣٥	٤٠

(أ) من الضرورى انخفاض درجة الحرارة ليلا إلى ١٥ °م أو أقل .

obeikandl.com

جدول (٧ ـ ٣) : تأثير درجة الحرارة على عدد الأيام من الزراعة إلى الإنبات [أ].

محصول الخضر	درجة حرارة التربة (°م)							
	صفر	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٣٠	٣٥	٤٠
الهليون	× (ب)	×	٥٣	٢٤	١٥	١٠	١٢	٢٠	٢٨
فاصوليا الليما	– (ج)	–	×	٣١	١٨	٧	٧	×	–
الفاصوليا	×	×	×	١٦	١١	٨	٦	٦	×
البنجر	–	٤٢	١٧	١٠	٦	٥	٥	٥	–
الكرنب	–	–	١٥	٩	٦	٥	٤	–	–
الجزر	×	٥١	١٧	١٠	٧	٦	٦	٩	×
القنبيط	–	–	٢٠	١٠	٦	٥	٥	–	–
الكرفس	×	٤١	١٦	١٢	٧	×	×	×	–
الذرة السكرية	×	×	٢٢	١٢	٧	٤	٤	٣	×
الخيار	×	×	×	١٣	٦	٤	٣	٣	–
الباذنجان	–	–	–	–	١٣	٨	٥	–	–
الخس	٤٩	١٥	٧	٤	٣	٢	٣	×	×
القاوون	–	–	–	–	٨	٤	٣	–	–
البامية	×	×	×	٢٧	١٧	١٣	٧	٦	٧
البصل	١٣٦	٣١	١٣	٧	٥	٤	٤	١٣	×
البقدونس	–	–	٢٩	١٧	١٤	١٣	١٢	–	–
الجزر الأبيض	١٧٢	٥٧	٢٧	١٩	١٤	١٥	٣٢	×	×
البسلة	–	٣٦	١٤	٩	٨	٦	٦	–	–
الفلفل	×	×	×	٢٥	١٣	٨	٨	٩	×
الفجل	×	٢٩	١١	٦	٤	٤	٣	–	–
السبانخ	٦٣	٢٣	١٢	٧	٦	٥	٦	×	×
الطماطم	×	×	٤٣	١٤	٨	٦	٦	٩	×
اللفت	×	×	٥	٣	٢	١	١	١	٣
البطيخ	–	×	–	–	١٢	٥	٤	٣	–

أ – الزراعة على عمق ٢,٥ سم .

ب – لم يحدث إنبات .

جـ – لم تختبر .

obeikandl.com

درجات الحرارة المناسبة لنمو نباتات الخضر

سبقت دراسة درجات الحرارة المناسبة لنمو نباتات الخضر تحت موضوع التقسيم الحرارى للخضر فى الفصل الرابع . وقد أوردنا درجات الحرارة الصغرى والعظمى والمجال الحرارى الملائم لكل محصول فى جدول (٤ ـ ٢) .

وقد أوضح Markov (عن بوراس ١٩٨٥) ـ بطريقة مبسطة ـ كيفية تحديد درجتى الحرارة الصغرى والعظمى ، مع الأخذ فى الحسبان أن درجة الحرارة المثلى تختلف فى الجو الصحو عنها فى الجو الملبد بالغيوم ، كما تختلف نهارًا عنها ليلاً ؛ وذلك على النحو التالى :

إذا كانت درجة الحرارة المثلى نهارًا فى الجو الملبد بالغيوم = سْ م .

فإن : درجة الحرارة المثلى نهارا فى الجو الصحو = س + ٧ْم .

درجة الحرارة المثلى ليلاً = س ـ ٧ْم .

درجة الحرارة الدنيا = س ـ ١٤ْم .

درجة الحرارة العظمى = س + ١٤ْم .

وتجدر الإشارة إلى أن قيمة « س » تختلف من محصول لآخر ، ولا تكون محددة تماما وإنما فى مجال معين (حوالى ٤ درجات مئوية) ، كما أنها تختلف باختلاف مرحلة النمو .

وبذا . . إذا قدرت درجة الحرارة المثلى نهارا فى الجو الملبد بالغيوم لمحصول الخيار بنحو ٢٥ْم . . فإن درجة الحرارة المثلى نهارا فى الجو الصحو تكون ٣٢ْم ، ودرجة الحرارة المثلى ليلا ١٨ْم ، ودرجة الحرارة الدنيا ١١ْم ، ودرجة الحرارة العظمى ٣٩ْم .

وبناء على ما تقدم . . فقد حُدِّدت الحرارة المثلى لمختلف محاصيل الخضر على النحو المبين فى جدول (٧ ـ ٤) .

جدول (٧ ـ ٤) : درجات الحرارة المثلى ليلا ونهاراً فى كل من الجو الصحو والجو الملبد بالغيوم ، وكذلك درجات الحرارة الصغرى والعظمى لمختلف محاصيل الخضر (°م) .

المحصول	الحرارة المثلى		الحرارة الصغرى	الحرارة العظمى
	ليلا	نهارا فى الجو الغائم	نهارا فى الجو الصحو		
الفجل ـ الخس ـ البقدونس	٣ - ٦	١٠ - ١٣	١٧ - ٢٠	-٤ إلى -١	٢٤ - ٢٧
الشيكوريا ـ السبانخ	٦ - ٩	١٣ - ١٦	٢٠ - ٢٣	-١ إلى ٢	٢٧ - ٣٠
البصل ـ الكرفس	٩ - ١٢	١٦ - ١٩	٢٣ - ٢٦	٢ - ٥	٣٠ - ٣٣
الطماطم ـ الكوسة ـ الفاصوليا	١٢ - ١٥	١٩ - ٢٢	٢٦ - ٢٩	٥ - ٨	٣٣ - ٣٦
الفلفل ـ الباذنجان ـ الخيار ـ القاوون	١٥ - ١٨	٢٢ - ٢٥	٢٩ - ٣٢	٨ - ١١	٣٦ - ٣٩

أهمية درجة الحرارة فى تحديد الموعد المناسب للزراعة

لدرجة الحرارة السائدة أهمية بالغة فى تحديد الموعد المناسب للزراعة ، لأن اختيار الموعد المناسب يتأثر بالعوامل التالية :

١ - طبيعة النبات نفسه ، ومدى تحمله للحرارة المنخفضة أو المرتفعة .

٢ - الظروف الجوية السائدة فى المنطقة .

٣ - الفترة المطلوبة لظهور المحصول فى الأسواق .

٤ - أهمية المحصول المبكر اقتصاديا .

ومن الضرورى تحديد الموعد المناسب للزراعة بدقة فى الحالات الآتية :

١ - عند الرغبة فى معرفة أقرب موعد للزراعة للحصول على محصول مبكر .

٢ - عندما يكون موسم النمو قصيراً ، ويلزم معرفة موعد الزراعة الذى يتلاءم مع المحصول المراد زراعته .

٣ - عندما يتأثر إزهار المحصول بدرجة الحرارة .

أضرار الحرارة المنخفضة الأعلى من درجة التجمد

تعرف الأضرار التى تحدثها الحرارة المنخفضة الأعلى من درجة التجمد ـ والتى تتراوح عادة بين درجة واحدة وسبع أو عشر درجات مئوية (حسب المحصول) ـ باسم أضرار البرودة Chilling Injury . ولا تحدث هذه الأضرار ـ عادة ـ إلاّ فى محاصيل المواسم الدافئة والحارة ؛ مثل الطماطم ، والفلفل ، والباذنجان ، والقرعيات بمختلف أنواعها ، والبامية ، والفاصوليا ، واللوبيا ، والذرة السكرية .

وقد عُرِّفت أضرار البرودة بأنها : «التغيرات الفسيولوجية والكيميائية الحيوية التى تحدث بفعل التعرض لحرارة تزيد عن نقطة التجمد ، وتقل عن ١٢م» .

تتعرض النباتات الحساسة للبرودة لأضرار الحرارة المنخفضة فى أية مرحلة من نموها وتطورها ؛ بدءاً من مرحلة إنبات البذور ، وانتهاء بالمرحلة التى تخزن فيها الثمار بعد الحصاد . ومن أهم أعراضها التحلل necrosis ، وانهيار الأنسجة وتلونها باللون البنى ، وضعف النمو ، أو عدم الإنبات فى حالة البذور .

تأثير الحرارة المنخفضة على إنبات البذور ونمو البادرات الصغيرة

تعد أضرار البرودة التى تتعرض لها البذور عند محاولة زراعتها فى الجو البارد من أهم أسباب ضَعف إنبات البذور . كما أن البذور التى تنبت فى مثل هذه الظروف تكون بادرتها ضعيفة النمو ، وتتعرض للذبول (بسبب ضعف نفاذية الجذور للماء ، مع استمرار النتح من الثغور التى تبقى مفتوحة خلال فترة التعرض للبرودة) ، وتتكون فيها بقع متحللة (necrosis) ، ويتأخر وصولها إلى مرحلة النضج ، وينخفض محصولها .

كذلك تتعرض جذور البادرات النباتية لأضرار البرودة ؛ فيقل امتصاصها للماء ؛ بسبب ضعف توصيلها له داخليا ، وتتسرب الأيونات منها بسبب الأضرار التى تحدثها البرودة بالأغشية الخلوية ، كما يضعف نموها بسبب فقدان التوزان بين انقسام الخلايا وتميزها .

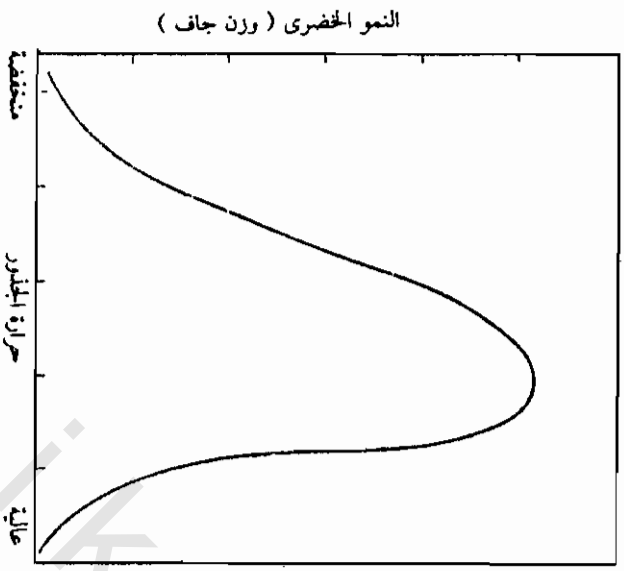
وتحدث الأضرار للأغشية الخلوية بسبب زيادة أكسدة peroxidation ليبيدات الأغشية عند تزايد تراكم الـ free radicals فيها فى ظروف الشد stress الناشئة عن انخفاض درجة الحرارة . ولمزيد من التفاصيل عن تأثير الحرارة المنخفضة على الأغشية البلازمية . . يراجع Lyons وآخرون (١٩٧٩) .

وفى الطماطم . . أدّى تعريض البادرات الحديثة لحرارة ٥°م ـ لمدة ثلاثة أيام ـ إلى حدوث أضرار شديدة على المستوى الخلوى ، ظهر ـ بالنسبة لأنسجة السويقة الجنينية السفلى ـ على صورة أضرار شديدة بالأغشية الخلوية أدت إلى موت نحو ١٠٪ من الخلايا . وكان تقدم الضرر بصورة تدريجية ؛ فلم يحدث سوى تغيرات قليلة فى الساعتين الأوليين . وبعد أربع ساعات حدثت أضرار بالـ thylakoids ، وأصبحت أغشية الميتوكوندريات غير متصلة . وبعد ثمانى ساعات ظهر اختلال تركيبى فى السيتوبلازم وتغيرت الريبوسومات . وبعد اثنتى عشرة ساعة أصبحت التغيرات فى الأغشية البلازمية شديدة ، وبدت الجدر الخلوية معتمة وأكثر سمكًا . وبعد ست عشرة ساعة ازداد وضوح كل الأعراض السابقة وترسب البروتين فى الفجوات العصارية (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

ويتبين من دراسات Hariyadi & Parkin (١٩٩٣) ـ التى عرَّضا فيها بادرات الخيار وهى فى عمر أسبوع لحرارة ٤°م لمدة يوم إلى ستة أيام ـ أن فقد البادرات لحيويتها بدأ بعد يومٍ واحدٍ من التعرض للحرارة المنخفضة ، واكتمل خلال أربعة أيامٍ ، واتضح أن لأضرار البرودة علاقة بشدّ أكسدة oxidative stress ينشأ لدى التعرض للحرارة المنخفضة . ويؤيد ذلك دراسات Walker & McKersie (١٩٩٣) التى قارنا فيها الطماطم بنباتات النوع البرى Lycopersicon hirsutum المقاوم لأضرار البرودة ، والتى توصلا منها إلى أن تمثيل مضادات الأكسدة ربما كان جزءا من النظام المعقد لتحمل البرودة فى هذا النوع .

تأثير الحرارة المنخفضة على وظائف الجذور

إن تأثير التباين فى درجة حرارة الجذور على النمو القمى يتبع النمط العام الموضح فى شكل (٧ ـ ٢) .



شكل (٧ ـ ٢) : تأثير التباين فى درجة حرارة الجذور على النمط العام للنمو الخضرى للنبات .

وتحدث عدة تغيرات فى فسيولوجيا الجذور يمكن أن تُفسّر بها التغيرات التى تلاحظ على النموات الخضرية ، ويمكن إيجازها فيما يلى :

١ - يؤدى انخفاض درجة الحرارة إلى نقص معدل امتصاص الجذور للماء لعدة أسباب ؛ منها ما يلى :

أ ـ زيادة لزوجة الماء ؛ بسبب زيادة الروابط الهيدروجينية به فى الحرارة المنخفضة .

ب ـ ضعف نفاذية الأغشية الخلوية للماء فى ظروف الحرارة المنخفضة .

جـ ـ يزيد معدل ذوبان الغازات فى الماء فى الحرارة المنخفضة ؛ فيزيد ذوبان غازى ثانى أكسيد الكربون والأكسجين ؛ الأمر الذى يؤدى إلى انخفاض الـ pH ؛ فيقل امتصاص الماء تبعا لذلك .

د ـ يقل نشاط المركبات الذائبة فى الخلايا الجذرية ؛ فيزيد الجهد الآسموزى osmotic potential بالجذور تبعا لذلك .

وقد تؤدى جميع هذه العوامل إلى حدوث شد رطوبى بالنبات .

٢ - يتأثر كذلك امتصاص العناصر بدرجة حرارة الجذور ؛ ففى الحرارة المنخفضة . . يقل تيسر العناصر من صخور التربة إلى المحلول الأرضى ؛ فيقل المتوفر منها تبعا لذلك . كذلك يقل الانتقال النشط للعناصر بين خلايا الجذر عند انخفاض درجة الحرارة ، كما تقل أيضا عمليات الانتقال والتمثيل . كذلك يقل نشاط الكائنات الدقيقة فى التربة ؛ فيقل تيسر العناصر تبعا لذلك .

٣ - يؤدى انخفاض درجة الحرارة إلى نقص انتقال الغذاء المجهز فى النبات ، ويتغير نظام انتقاله ؛ ذلك لأن ضعف النمو الجذرى يعنى عدم احتياجها إلى قدرٍ كبيرٍ من الغذاء المجهز ، الذى يبقى ـ حينئذ ـ فى الأوراق ، التى تصبح أسمك ، ويزيد وزنها الجاف .

٤ - كذلك يؤدى انخفاض حرارة الجذور إلى انخفاض تمثيل وانتقال الهرمونات والمركبات التى تنتج فى الجذور ؛ مثل : السيتوكينينات ، والأحماض الأمينية ، وبعض الفيتامينات .

هذا . . بينما يؤدى ارتفاع درجة حرارة الجذور إلى زيادة محتوى النبات من النيتروجين النتراتى ؛ وذلك بسبب ضعف نشاط إنزيم نيتريت ريدكتيز nitrate reductase ، مع زيادة امتصاص النيتروجين فى هذه الظروف (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

ولمزيد من التفاصيل عن حرارة الجذور وعلاقتها بالنمو النباتى . . يراجع Cooper (١٩٧٣) .

وقد ظهرت على الجذور الأولية لنباتات الذرة السكرية ـ التى عُرضت لحرارة ٤°م ـ تغيرات فى كل من السيتوبلازم والنواة ، وكانت أنوية وميتوكوندريات خلايا جذور

فول الصويا التى عُرضت لحرارة ٤ْم غير منتظمة الشكل . وظهرت على جذور عدد من النباتات الحساسة للبرودة تغيرات أخرى كثيرة لدى تعريضها للبرودة ؛ منها : تضخم الميتوكوندريات ، وزيادة الشبكة الإندوبلازمية الخشنة ، وعدم استمرارية الغشاء البلازمى الداخلى ، واختفاء الصفيحة الوسطى .

ويستدل من دراسات Reyes & Jennings (١٩٩٤) على كل من الخيار والكوسة أن تعريض الجذور ـ بعد ثلاثة إلى أربعة أيام من استنبات البذور ـ لحرارة تراوحت من ٢ - ١٥ْم لفترات امتدت من ٢٤ ـ ١٩٢ ساعة أحدث التأثيرات التالية :

١ - كانت البادرات أكثر حساسية لأضرار البرودة عند ٢ْ ، و٦ْم ، وتمثلت الأضرار فى ضعف قدرة البادرات على استعادة نموها فى حرارة ٢٦ْم .

٢ - ضَعُفَ النمو الجذرى عند التعرض لأضرار البرودة لمدة ٤٨ ساعة فأكثر .

٣ - كانت البادرات التى عرضت لحرارة ١٠ْ أو ١٥ْم قادرة على النمو الجذرى فى هذه الظروف ، واستعادت نموها الطبيعى فى حرارة ٢٦ْم . ولكن ظهر تلون بنى فى أطراف الجذور فى كل من الخيار والكوسة لدى تعرضهما لحرارة ١٠ْم ؛ مما يدل على حدوث تغيرات أيضية غير طبيعية عند هذه الدرجة .

٤ - ظهر التأثير السلبى على الوزن الجاف للجذور بعد ٢٤ ساعة من جميع معاملات البرودة .

٥ - لم يمكن للبادرات التى عُرضّت لحرارة ٢ْ أو ٦ْم لمدة ٩٦ ساعة استعادة نموها عندما نقلت إلى حرارة ٢٦ْم .

٦ - ازداد تسرب الأيونات من جذور الخيار والكوسة بعد تعرضهما لحرارة ٢ْم لمدة ٤٨ ساعة .. وكان الفقد فى أيونى الصوديوم والفوسفات أكثر مما فى أيونات المغنيسيوم ، والكلورين ، والكبريتات . ولم تظهر هذه الاختلافات فى التسرب الأيونى على حرارة ١٠ْم أو ١٥ْم ، كما لم يتسرب أيون الكالسيوم عند أى من درجات الحرارة المنخفضة .

تأثير الحرارة المنخفضة على نمو وأيض النباتات

أوضحت دراسات King & Reid (١٩٨٧) على الطماطم اختلاف النباتات فى حساسيتها لأضرار البرودة باختلاف الوقت من اليوم من دورة الضوء والظلام اليومية ؛ فكانت الحساسية للبرودة أعلى ما يمكن عندما بدأ التعرّض للحرارة المنخفضة فى نهاية فترة الظلام . وأظهرت الدراسة عدم وجود علاقة بين تلك التغيرات اليومية فى الحساسية للبرودة وبين أية تغيرات فى وظائف الجذور أثناء التعرض للحرارة المنخفضة أو بعده ، أو أية تغيرات يومية فى انفتاح وانغلاق الثغور .

ويستدل من دراسات Brüggemann وآخرين (١٩٩٢ أ) على عدم تأثر القدرة التطورية لنباتات الطماطم بالحرارة المنخفضة ما دامت درجة الحرارة لا تقل عن ٨ْم . ولكن . . بالرغم من استمرار تكوُّن الأوراق الجديدة بصورة طبيعية عند نقل النباتات إلى حرارة ٢٢ْ / ١٨ْم (نهار / ليل) ، فإن تراكم نواتج البناء الضوئى قد توقف لمدة حوالى أسبوع ، وكان هذا التأخير مصاحبًا بفقد تام للقدرة على البناء الضوئى فى الأوراق المكتملة النمو التى تعرضت لمعاملة البرودة . وقد درس الباحثون (Brüggemann وآخرون ١٩٩٢ ب) الأساس الفسيولوجى لهذه الظاهرة .

وسائل الحد من اضرار الحرارة المنخفضة

لجأ كثير من الباحثين إلى محاولة الحد من أضرار الحرارة المنخفضة ـ الأعلى من درجة التجمد ـ بمعاملة النباتات بمختلف المركبات الكيميائية ، كما يلى :

١ - كان كل من الـ SADH ، والـ CCC أكثر المركبات الكيميائية استخداما لهذا الغرض ، ولكن ذلك كان خلال الستينيات ، ولم تستمر محاولات استخدام هذه المركبات كثيراً بعد ذلك . ومن بين المحاصيل التى أمكن زيادة قدرتها على تحمل البرودة بالمعاملة بهذين المركبين كل من : الكرنب ، والطماطم ، وأشجار الكمثرى الصغيرة ، والفراولة ، والأزاليا ، والراسبرى ، والقمح . وقد استخدمت لذلك تركيزات عالية (تراوحت بين ١٠٠٠و ١٠٠٠٠ جزء فى المليون) إما بطريق الرش ،

وإما مع مياه الرى . وتعد معاملة بذور القمح بالـ CCC فى روسيا الاتحادية ـ لزيادة قدرته على تحمل البرودة ـ أمرًا روتينيا .

٢ - استخدم كذلك الماليك هيدرازيد Maleic Hydrazide لزيادة تحمل الصقيع فى أشجار الموالح ؛ لأنه يقلل من سقوط الأوراق والبراعم ، كما استخدم أيضًا لتحقيق نفس الهدف فى كل من الراسبرى ، والعنب ، والتوت . ولكن يعيب الماليك هيدرازيد إحداثه لتشوهات فى النباتات التى تُعامل به .

٣ - أمكن أيضا زيادة قدرة البسلة والفجل على تحمل البرودة بالمعاملة بالبنزيل أدنين benzyladenine ؛ وهو سيتوكينين cytokinin مُخلّق . وربما يُحدث البنزيل أدنين تأثيره من خلال تحريكه لمنشطات الأقلمة ؛ مثل المثبطات الشبيهة بالـ ABA، أو السكريات المركبة . وبصورة عامة .. فإن السيتوكينين يزيد القدرة على تحمل الانحرافات الحادة فى درجة الحرارة ، سواء أكانت بالارتفاع ، أم بالانخفاض .

٤ - كما ذكر أن المركبات المتعددة الأمينات Polyamines (مثل الـ long-chain alkylene diamines) تحدّ من أضرار الصقيع فى عديد من النباتات ؛ مثل : القمح ، والأرز ، والشعير ، والذرة ، والدُخن ، وفول الصويا ، وفاصوليا الليما ، والفاصوليا العادية ، والفول السودانى ، والسبانخ ، والخس ، والطماطم ، والتوت ، والتبغ ، وأشجار الفاكهة .

٥ - ومن المركبات الأخرى التى ذُكر أنها أفادت فى زيادة القدرة على تحمل البرودة ما يلى (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

المركب	النباتات التى استجابت له
2-amino-6-methy benzoic acid	القمح - التبغ - العنب
napthalene acetic acid	البرتقال
5-chloro-4-quinolic carboxylic acid	الكوسة
mepiquat chloride	الموالح

٦ - ذكر أن مركب مفليودايد Mefluidide يخفض أضرار البرودة فى كل من الذرة والأرز .

٧ - أدى استعمال الترايازولات Triazoles إلى زيادة القدرة على تحمل أضرار البرودة فى النباتات .

٨ - عرف تجريبيا أن القدرة على تحمل أضرار البرودة تزداد بالمعاملة بحامض الأبسيسك Abscisic acid ، قبل التعرض للبرودة بنحو ٦ ساعات .

٩ - كذلك أعطت النظائر التربينودية terpenoid analogues لحامض الأبسيسك نتائج مماثلة مع كل من الطماطم والخيار .

١٠ - أدت معاملة نباتات الفاصوليا - وقت تعرضها لحرارة ٤م - بمركب GLK-8903 (وهو مركب تجريبى يتكون من هدرجة أحد الكحولات المستخلصة من النباتات) إلى حماية النباتات من أضرار البرودة . وتمثلت الحماية فى خفض التسرب الأيونى electrolyte leakage ، بتقليله للأضرار التى تحدث للأغشية الخلوية عند تعرضها للبرودة (Flores-Nimedez وآخرون ١٩٩٣) . وتحدث الحماية من البرودة بمجرد المعاملة بالمركب ، بخلاف الحالة عند المعاملة بحامض الأبسيسك التى تتطلب مرور ٦ ساعات - على الأقل - بعد المعاملة ؛ لكى تكون فعالة فى حماية النباتات من البرودة .

ويستدل من دراسة لاحقة (Zhang وآخرون ١٩٩٤) على أن للحماية التى توفرها المعاملة بمركب GLK-8903 (بتركيز ٠,٥ ٪) للفاصوليا علاقة بقدرة المركب على الحد من الزيادة - التى تحدثها الحرارة المنخفضة - فى أكسدة الفوسفو ليبيدات Phospholipids التى توجد بالأغشية الخلوية .

أضرار الحرارة المنخفضة الاقل من درجة التجمد

فسيولوجيا الضرر وكيفية حدوثه

يؤدى انخفاض درجة الحرارة إلى أقل من الصفر المئوى إلى تكوين بلورات ثلجية فى المسافات الموجودة بين الخلايا (المسافات البينية) ، وكذلك داخل الخلايا نفسها . فالماء يوجد فى المسافات البينية على شكل غشاء مائى رقيق يغطى الأسطح

الخارجية لجدر الخلايا ، وكذلك فى صورة بخار ماء . وهذا الماء يكون نقيا بدرجة عالية وذا درجة تجمد قريبة من الصفر المئوى . كذلك يوجد الماء فى الفجوات العصارية داخل الخلايا فى صورة محلول مذاب فيه عديد من المركبات والأملاح ، وهذا الماء يكون ذا درجة تجمد أقل من الصفر المئوى بدرجات قليلة .

وفى حالة انخفاض درجة الحرارة إلى أقل من الصفر المئوى بقليل يبدأ الماء الموجود فى المسافات البينية فى التجمد (لقلة محتواه من المواد المذابة ، مع زيادة محتواه من نويات البلورات الثلجية) ، ويؤدى ذلك إلى نقص ضغط بخار الماء فى المسافات البينية عنه داخل الخلايا ، فينتشر الماء تبعًا لذلك من داخل الخلية إلى المسافات البينية ؛ وتزيد بذلك الكتلة البلورية فى الحجم . ويؤدى استمرار هذه العملية إلى انكماش الخلايا فى الحجم ، وزيادة تركيز عصيرها الخلوى ؛ فتزيد نقطة تجمد محتوياتها ، بينما يساعد الغشاء البلازمى على منع انتقال عملية بَلْوَرة الماء إلى داخل الخلايا ذاتها .

ومع ارتفاع درجة الحرارة إلى أعلى من الصفر المئوى تذوب بلورات الثلج المتكونة فى المسافات البينية تدريجيا ، ويعود الماء إلى داخل الخلية بصورة تدريجية ، دون أن يُحدث أضرارًا بالخلية . وتحدث هذه العملية ـ وتتكرر بصورة طبيعية ـ فى عديد من النباتات العشبية والخشبية ، والحولية والمعمرة التى تتميز بقدرتها على تحمل الصقيع ، وهى الخاصية التى تعرف باسم "Freezing Tolerance" ، التى تمكن النباتات من تحمل جفاف الخلايا الذى يحدث عند تجمد الماء فى المسافات البينية ، وهى صفة وراثية .

لكن الأضرار قد تحدث عند تجمد الماء بين الخلايا فى الحالات التالية :

١ - عند زيادة فقد البروتوبلازم للماء الذى ينتشر فى المسافات البينية ، ويتوقف ذلك على نفاذية الغشاء البلازمى .

٢ - عند حدوث تجمع لبعض مكونات الخلية بدرجة لا يعود معها البروتوبلازم إلى حالته الطبيعية .

٣ - فى حالة الارتفاع الفجائى لدجة الحرارة ؛ حيث يذوب الثلج وينتشر الماء داخل الخلايا بسرعة ؛ مما قد يؤدى إلى تمزق الغشاء البلازمى .

٤ - فى حالة النباتات الرهيفة tender ، والتى يكون غشاؤها الخلوى أقل نفاذية للماء ؛ الأمر الذى يؤدى إلى تجمع الماء فى المسافات البينية عند ذوبان البلورات الثلجية .

هذا . . ولا تتكون البلورات الثلجية داخل الخلايا إلا إذا انخفضت درجة الحرارة إلى القدر الذى يسمح بتجميد العصير الخلوى ، ويحدث ذلك فى الحالات الآتية :

١ - عندما يكون معدل الانخفاض فى درجة الحرارة أكبر من معدل الانخفاض فى نقطة تجمد العصير الخلوى (وهو الأمر الذى يحدث عند انتشار الماء من الخلايا إلى المسافات البينية) ، ويحدث ذلك فى الحالات التالية :

(أ) عندما يكون الانخفاض فى درجة الحرارة سريعًا وكبيرًا .

(ب) فى حالة النباتات الرهيفة ، وهى التى تكون أغشيتها الخلوية أقل نفاذية للماء ؛ الأمر الذى لا يسمح بسرعة انتشار الماء إلى المسافات البينية .

٢ - عندما لا تكون النباتات مؤقلمة جيدًا ؛ حيث تكون نقطة تجمد العصير الخلوى مرتفعة نسبيا ؛ لأن النباتات المؤقلمة جيدًا يزيد بها تركيز المواد الذائبة بالعصير الخلوى ، كما يزيد محتواها من المركبات المحبة للرطوبة hydrophllic compounds ؛ وهى مركبات تقوم بادمصاص الماء حولها ، وترتبط به بشدة ؛ الأمر الذى يؤدى إلى خفض نقطة تجمده ، وتزيد هذه المركبات فى الظروف التى لا تسمح بالنمو الخضرى السريع ، وكذلك فى النباتات الأكبر سنا .

ويؤدى تجمد الماء داخل الخلايا إلى الأضرار التالية :

١ - فقدان الخلية للماء الحر .

٢ - تمزق الغشاء البلازمى .

٣ - حدوث أضرار ميكانيكية تؤثر على تركيب الكلوربلاستيدات والتركيب الغروى للسيتوبلازم (Walker ١٩٦٩ ، Devlin ١٩٧٥) .

وتتميز بعض الأجزاء والأنسجة النباتية بالقدرة على البقاء فى درجة حرارة التجمد ؛ وذلك بتجنب تكوين البللورات الثلجية فيها ، وهى الخاصية التى تعرف باسم Freezing Avoidance ، وتتميز بها البذور ـ التى تبقى ساكنة فى التربة خلال فصل الشتاء ـ والبراعم ، وخلايا برانشيمية الخشب الشعاعية .

الأقلمة

تكتسب عديد من النباتات العشبية القدرة على تحمل التجمد إذا عرضت للبرودة لفترة قصيرة (أيام أو أسابيع قليلة) قبل تعرضها للصقيع ، فيما يعرف بعملية « الأقلمة Acclimation » ؛ (وهى العملية التى تعرف فى المجال البستانى التطبيقى باسم « التقسية Hardening ») . ويؤدى تعرّض النباتات للحرارة العالية بعد تعرضها للحرارة المنخفضة إلى زوال أثر الأقلمة ، فيما يعرف بعملية الـ Deacclimation . وتؤثر عمليتا الـ Acclimation ، والـ Deacclimation على كل من ظاهرتى القدرة على تحمل التجمد Freezing Tolerance ، و القدرة على تجنب التجمد Freezing Avoidance .

وقد وجد Yang & Shen (١٩٩٢) أن تعريض بادرات الخيار وهى فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الثانية لحرارة ٢٠م نهارا ، و٦م ليلا لمدة ستة أيام أدى إلى زيادة تحملها لحرارة تقل عن درجة واحدة مئوية لمدة تزيد على ٤٠ ساعة بعد ذلك ، مقارنة بالنباتات التى لم تعط هذه المعاملة . كان التسرب الأيونى فى هذه النباتات أقل مما فى نظائرها من النباتات غير المعاملة ، بينما كانت أضرار البرودة فيها أقل ، وتأخر ذبول أوراقها ، وأظهرت معدلات أعلى من البناء الضوئى .

هذا . . وتُحدث عملية الأقلمة تغيرات أساسية فى تركيب الأغشية البلازمية ، هى التى تكسب النباتات القدرة على تحمل البرودة (عن Palta ١٩٩٢) .

فسيولوجيا تكوين نويات البللورات الثلجية والتجمد ودور البكتيريا

التبريد الفائق

يمكن أن تُثار أو تنشط عملية التجمد ذاتها بالمواد التى تعمل كنويات للبلورات الثلجية Ice Nucleoters ، وهى التى تسبب عملية بلورة الماء الذى يكون سائلا فى

حالة فائقة التبريد Supercooled قبل تعرضه لتلك النويات . وعندما تبدأ عملية البلورة هذه . . فإنها تستمر سريعًا إلى أن تتجمد المحاليل الفائقة التبريد .

وتحدث تلك البلورة للماء فيما بين حرارتى الصفر المئوى وعشر درجات تحت الصفر ، ولكن الماء الذى يوجد على صورة نقاط صغيرة ـ لا يتعدى قطرها ١٠ ميكروميترات ـ يمكنه أن يبقى مبردا تبريدا فائقًا حتى درجة ٣٨,١ْم تحت الصفر ، وهى الدرجة التى تعرف باسم Homogenous Nucleation Temperature ، ويرمز إليها بالرمز : ΔT_h

وإذا كانت الـ Melting Point Depression Temperature هى ΔT_m . . فإن :

$$\Delta T_m = (- 2 \Delta T_m + 38.1)$$

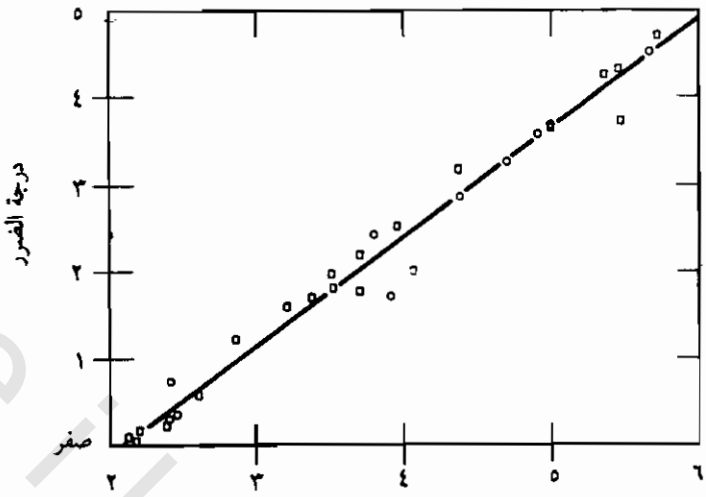
وتقع ΔT_m بالنسبة لمعظم النباتات بين ـ ٤١ْم ، و ـ ٤٧ْم . ولا يحدث التبريد الفائق إلى هذه الدرجة من البرودة إلاّ بالنسبة لبعض الأعضاء والأنسجة النباتية لبعض النباتات ، أما النباتات الكاملة فإنها لا تتعرض للتبريد الفائق إلا بقدر محدود .

دور البكتيريا فى تكوين نويات البلورات الثلجية

اكتشف Lindow وآخرون (١٩٧٨ أ ، ١٩٧٨ب) وجود عدة سلالات من نوعين من البكتيريا التى تعيش على الأسطح النباتية epiphytic bacteria وبين خلايا النبات ؛ هما : Pseudomonas syringae و Erwinia herbicola . وقد كانت بعض سلالات هذين النوعين على درجة عالية من الكفاءة فى تكوين نويات البلورات الثلجية ice nuclei فى درجات حرارة تراوحت بين ٢ْم تحت الصفر و٥ْم تحت الصفر . وقد وجدت هذه الأنواع البكتيرية بأعداد كبيرة بأوراق معظم النباتات التى جمعت من مناطق جغرافية مختلفة وفى مواسم مختلفة .

وقد وجدوا كذلك أن أضرار الصقيع فى الذرة على درجة حرارة -٥ْم تناسبت طرديا مع لوغاريتم أعداد هذه البكتيريا (شكل ٧ ـ ٣) ، لكن البكتيريا لم تكن نشطة فى تكوين نويات البلورات الثلجية فى درجة حرارة أقل من -١٠ْم .

كما حصل Feng (١٩٩٠) على نتائج مماثلة فى الخيار ؛ حيث وجد أن هناك علاقة خطية موجبة بين كل من لوغاريتم أضرار الصقيع ولوغاريتم أعداد



شكل (٧ ـ ٣) : العلاقة بين لوغاريتم أعداد الخلايا البكتيرية النشطة فى تكوين نويات البللورات الثلجية وشدة الإصابة بأضرار الصقيع فى الذرة على حرارة تراوحت بين -٥° و ٥ , ٤°م .

البكتيريا النشطة فى تكوين نويات البللورات الثلجية ـ من أى من النوعين P. syringae، و E. herbicola ـ على الأسطح النباتية .

وأوضحت دراسات Lindow وآخرين (١٩٧٨ب) على الذرة أن أضرار التجمد على درجة -٤°م تزداد كثيرًا بزيادة الفترة ـ التى تمر بين رش النباتات بالبكتيريا E. herbicola وتعريضها للحرارة المنخفضة ـ من ١٢ ساعة إلى ٣٦ ساعة ؛ حيث تبدأ البكتيريا انقسامها النشيط بعد ٦ ساعات من رش الأوراق بها ، وتتناسب شدة الضرر خطيا مع أعداد البكتيريا المتواجدة على سطح الأوراق وقت تعرضها للحرارة المنخفضة .

وقد أثبتت عديد من الدراسات أن هذه البكتيريا هى المسئولة عن أضرار الصقيع فى النباتات الرهيفة ؛ مثل : الذرة ، والموالح ، والأفوكادو ، والكمثرى ، والطماطم ، والقرع العسلى ، والفاصوليا ، وفول الصويا ، وغيرها ، كما أضيف إليها كذلك

بعض سلالات من النوعين P. fluorescens ، و P. viridiflava (عن Ashworth & Davis ١٩٨٤ ، و Hirano وآخرين ١٩٨٥) .

وتتواجد هذه البكتيريا بأعداد ضخمة على أسطح الأوراق النباتية ، بما فى ذلك النباتات الخالية تمامًا من أية أعراض مرضية . وبعض هذه الأنواع تعيش معيشة رمية ، وتتفاعل مع البكتيريا المرضية ، وتقلل من حدة الأمراض التى تحدثها ؛ فمثلاً :

١ - تعمل E. herbicola على تثبيط الإصابة بـ Xanthomonas oryzae فى الأرز .

٢ - وتعمل بعض أنواع البكتيريا على تقليل شدة الإصابة بـ E. amylovora فى الكمثرى .

٣ - وتفيد عديد من البكتيريا التابعة للجنس Pseudomonas فى تقليل شدة الإصابة بـ P. syringae pv. morsprunorum فى الكريز (Lindow وآخرون ١٩٧٨ ، و Kelman ١٩٧٩) . .

وقد عُرِفَ ٢٠ نوعًا على الأقل من هذه البكتيريا ذات المقدرة على تكوين نويات البلورات الثلجية التى تعيش على أسطح الأوراق النباتية (Ashworth ١٩٨٦ ، و Lindow وآخرون ١٩٧٨أ ، و Kelman ١٩٧٩) .

ومن أكثر الأنواع البكتيرية انتشاراً وأهمية - فى تكوين نويات البللورات الثلجية - ما يلى :

Pseudomonas syringae pv. syringae

P. fluorescens

P. viridiflava

Erwinia herbicola

Xanthomonas campestris pv. tranlucens

وقد تباينت سلالات البكتيريا P. sysringae pv. syringae - التى عزلت من التفاح -

فى مدى ضرواتها على ثمار الطماطم الخضراء ، وقرون الفاصوليا الخضراء ، وبادرات الخوخ (عن Olive & McCarter ١٩٨٨) .

وتتميز البكتيريا P. syringae بقدرتها على إصابة عدد كبير من الأنواع النباتية . وقد وجدت على كثير من النباتات التى لم تَبْدُ عليها أية أعراض للإصابة ، ولكن أعدادها كانت كافية لتكوين نويات البللورات الثلجية عند انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون درجة التجمد (عن Anderson وآخرين ١٩٨٢) .

وكما أنه توجد اختلافات بين الأنواع والسلالات البكتيرية فى قدرتها على تكوين نويات البللورات الثلجية ، فإن الخلايا المفردة من السلالة الواحدة تختلف كذلك فى تلك القدرة . وتعرف النسبة بين الخلايا القادرة على تكوين النويات الثلجية إلى مجموع الخلايا البكتيرية باسم Bacterial Ice Nucleation Frequency . وقد تراوحت هذه النسبة ـ للسلالة ٣١ من P. syringae (على بادرات الذرة) تحت ظروف حجرات النمو على حرارة ٤م تحت الصفر ـ بين ١ فى المليون و ١ فى البليون (عن Hirano وآخرين ١٩٨٥) .

تأثير بكتيريا تكوين نويات البللورات الثلجية فى عملية التبريد الفائق

فى الحالات التى تكون فيها الأسطح النباتية خالية ـ نسبيا ـ من البكتيريا المكونة لنويات البللورات الثلجية نجد أن النباتات الحساسة للصقيع يمكنها تحمل فترات الصقيع المعتدل القصيرة بحدوث تبريد فائق Super Cooling للماء الموجود بأنسجتها . وبينما نجد ـ تحت الظروف الحقلية ـ أن الأسطح النباتية نادراً ما تخلو من تلك البكتيريا ، فإن أعدادها قد تكون منخفضة إلى القدر الذى يسمح بحدوث تبريد فائق .

وقد تميزت نباتات الفاصوليا ذات الأسطح الورقية الجافة بقدرة على التبريد الفائق أكبر من تلك التى كان على أسطحها نقط من الماء المقطر ، سواء أكانت معاملة بالبكتيريا Pseudomonas syringae ، أم غير معاملة بها ؛ ولذا . . فإن رش الأوراق بمواد مبللة wetting agents ربما يعوق عملية التبريد الفائق (Cary & Lindow ١٩٨٦) .

هذا . . وعند وجود هذه البكتيريا ـ وهى متواجدة دائمًا ـ فإنها لا تسمح بحدوث تبريد فائق لأقل من درجتين تحت الصفر ، بينما يمكن أن يصل التبريد الفائق إلى أقل من ذلك بكثير (حتى - ٧م) فى غيابها .

وقد وجد Anderson وآخرون (١٩٨٢) أن هذه البكتيريا زادت من حساسية الطماطم وفول الصويا للصقيع عند رشها على النباتات قبل تعريضها لدرجة الحرارة المنخفضة ؛ حيث تجمدت نباتات الطماطم فى حرارة - ٤م وفول الصويا فى حرارة - ٥م فى الوقت الذى ظلت فيه النباتات غير المعاملة بالبكتيريا دون أن تتجمد حتى حرارة - ٨م . وقد كان من الضرورى أن يصل تركيز البكتيريا إلى ٤ × ١٠^{٥} / مل لكى تكون فعّالة فى إحداث التجمد . كما أدى تعريض البكتيريا لدرجة حرارة ٢م قبل معاملة النباتات بها إلى زيادة فاعليتها فى تكوين نويات البللورات الثلجية .

وقد توصل Yelenosky (١٩٨٣) إلى نتائج مماثلة فى البرتقال ؛ حيث وجد أن رش أشجار البرتقال الصغيرة بمعلق مائى من أى من نوعى البكتيريا أدى إلى تجمدها فى درجة حرارة أعلى مما فى الأشجار غير المعاملة . كذلك حصل على النتائج ذاتها عند رش النباتات بمعلق مائى من أنواع بكتيرية أخرى أو بمعلقات بعض المركبات الكيميائية ؛ مثل : يوديد الفضة ، والفينازين phenazine ، والفوروفلوجوبيت flurophlogopite . . . فجميعها عملت كنويات للبلورات الثلجية .

وأظهر دراسات Cary & Lindow (١٩٨٦) أن نباتات الفاصوليا التى عُرّضت لحرارة تراوحت بين - ٥م و - ٢م لمدة نصف ساعة إلى اثنتى عشرة ساعة كانت مقاومة ـ بدرجة عالية ـ لتكوين نويات البللورات الثلجية بها ، حينما لم يسبق رشها بمعلق من البكتيريا Pseudomonas syringae ، أو حينما كانت تعانى نقصًا فى الرطوبة الأرضية اقترب من نقطة الذبول .

وسائل التغلب على مشاكل التجمد التى تحدثها بكتيريا نويات البللورات الثلجية

أدى اكتشاف بكتيريا تكوين نويات البللورات الثلجية ودورها فى منع التبريد الفائق فى النباتات إلى بزوغ الأمل فى التغلب على مشكلة تجمد الأنسجة النباتية فى النباتات الحساسة للصقيع . وقد عالج الباحثون هذه المشكلة من عدة حوانب ، كما يلى :

١ - رش النباتات بمبيدات بكتيرية يمكنها تقليل أعداد تلك البكتيريا إلى مستويات تقل فيها خطورتها كنويات للبلورات الثلجية ، وخاصة بعد اكتشاف وجود علاقة خطية بين لوغاريتم أعداد هذه البكتيريا ، وشدة أضرار الصقيع .

وقد أفاد الرش بالاسترتبومايسين أو بالمبيدات النحاسية فى مقاومة بكتيريا نويات البللورات الثلجية ، علما بأن مقاومة البكتيريا للاسترتبومايسين تزداد بازدياد استخدام هذا المضاد الحيوى فى مقاومة الأمراض ؛ كما هى الحال فى التفاح والكمثرى ؛ حيث يستخدم الاسترتبومايسين فى مكافحة اللفحة النارية (عن Olive & McCarter ١٩٨٨) .

كما وجد أن رش الكمثرى بمخلوط من الاسترتبومايسين والأوكسى تتراسيكلين oxytetracyline بتركيزات عالية (كل ٥ - ٧ أيام خلال فترة الإزهار) أحدث نقصًا قدره ٧٠٪ فى التلون الداخلى بثميرات الصنف بارتلت بعد التعرض لحرارة - ٣°م ، مقارنة بثميرات الأشجار غير المعاملة . هذا . . إلا أن دراسات Proebsting & Gross (١٩٨٨) على خمسة أنواع من الأشجار المتساقطة الأوراق لم تؤيد ذلك ؛ حيث بدا أن المعاملة لم تكن مؤثرة على بكتيريا نويات البللورات الثلجية التى تعيش فى الأنسجة الخشبية بتلك الأشجار .

٢ - استعمال مثبطات لتكوين النويات الثلجية يؤدى - على الأقل - إلى تثبيط النويات الثلجية البكتيرية دون أن يؤثر جوهريا على أعداد الخلايا البكتيرية .

٣ - استعمال سلالات منافسة من البكتيريا تكون غير قادرة على تكوين البللورات الثلجية فى الوقت الذى تنافس فيه البكتيريا النشطة فى تكوين النويات الثلجية على الغذاء ، أو قد تكون قادرة على إنتاج مواد مثبطة لها (عن Proebsting & Gross ١٩٨٨) .

وقد اكتشفت سلالة من بكتيريا E. herblcoia كانت غير نشطة فى تكوين نويات البللورات الثلجية ، وأدت إلى تقليل كفاءة السلالات النشطة من كل من E. herbi-cola و P. syringae بمنعهما من تكوين نويات البللورات الثلجية تحت ظروف غرف النمو .

وفى محاولة لإجراء مكافحة بيولوجية لأضرار الصقيع ، قام Lindow وآخرون (١٩٨٣) بدراسة تأثير هذه السلالة (ورمزها M 232 A) وسلالة أخرى مشتقة منها ومقاومة أيضاً للاستربتومايسين (ورمزها M 232 A SK 11) تحت ظروف الحقل ؛ ووجدوا أن المعاملة بأى من السلالتين أدت إلى إحداث خفض جوهرى فى أعداد البكتيريا النشطة كنويات للبلورات الثلجية خلال موسم النمو ، وإلى تقليل أضرار الصقيع فى الذرة تحت ظروف الحقل .

٤ - شاع الاعتقاد بأن مضادات النتح antitranspirants تزيد من قدرة النباتات على تحمل أضرار الصقيع بتكوينها لغشاء يفصل بين الماء الذى يتجمد على سطح الأوراق والماء الداخلى بالأوراق ، ويمنعه من أن يصبح نواة لتكوين الثلج داخليا ، ولكن هذه الادعاءات للشركات المنتجة لمضادات النتح لم تكن موثقة ؛ فلم يحدث أن وفرت مضادات النتح أية حماية من أضرار البرودة فى عديد من الدراسات على الخوخ ، والموالح ، والنباتات العشبية الاستوائية ، وغيرها (عن Perry وآخرين ١٩٩٢) .

وتوضح دراسات Perry وآخرين (١٩٩٢) أن مضادى النتح FrostFree (وهو يتكون من Propylene block copolymer of polyoxyethylene بنسبة ٥٠٪ ، و propylene glycol بنسبة ٥٠٪) ، و Vapor Gard (وهو يتكون من ٩٦٪ pino-lene وهو terpenic polymer ، و٤٪ مادة خاملة ، ويُسَوَّقُ كذلك على أساس أن له خاصية الحماية من أضرار الصقيع) . . هذان المضادان للنتح لم يوفرا أى قدر من الحماية من الصقيع لكل من الطماطم والفلفل حينما انخفضت الحرارة إلى -٣,٥م ، وإلى - ١,٠م - تحت ظروف الحقل - فى زراعتين مختلفتين ، كما لم تؤثر المعاملة على المحصول فى أى من نوعى الخضر .

منع تجمد النباتات بتقنيات الهندسة الوراثية

اتجهت الدراسات إلى محاولة الاستفادة من البروتينات التى توجد فى أجسام أحد أنواع الأسماك التى تتحمل المياه الشديدة البرودة (سمك الـ winter flounder ، الذى يُعرف بالاسم العلمى Pseudopleuronects americana) ؛ فقد حاولت الدراسات الاستفادة من هذه البروتينات فى إكساب الأنسجة النباتية خاصية مقاومة الصقيع . وقد وجد أن تشبع الأنسجة النباتية بهذا البروتين (الذى يعرف باسم بروتين مضاد التجمد antifreeze protein) أدى إلى خفض درجة حرارة تجمدها ، ونقص كمية الماء القابلة للتجمد فيها ، ونقص معدل سرعة تكوين البللورات الثلجية بها (Cutler وآخرون ١٩٨٩) . ويحاول العلماء عزل الجين المسئول عن تمثيل هذا البروتين ونقله ـ بطرق الهندسة الوراثية ـ إلى الطماطم وغيرها من النباتات الحساسة للصقيع ؛ لجعلها مقاومة له ، فضلا على إمكانية حفظ ثمارها فى المجمدات دون أن تتجمد freezers ؛ وبذا . . يمكن حفظها بحالة طازجة لأية مدة .

مصادر إضافية خاصة بالحرارة المنخفضة والتجمد

لمزيد من التفاصيل عن فسيولوجيا التأثير الضار للحرارة المنخفضة (البرودة والتجمد) على النباتات . . يراجع ما يلى :

المرجع	الموضوع
Cooper (١٩٧٣)	تأثير درجة الحرارة على النمو الجذرى وعلاقة ذلك بالنمو الخضرى
Li & Saki (١٩٧٨)	شامل
Lindow وآخرون (١٩٧٨أ)	دور البكتيريا النشطة فى تكوين نويات البللورات الثلجية
Christiansen (١٩٧٩)	عام
Lyons وآخرون (١٩٧٩)	دور الأغشية البلازمية
Levitt (١٩٨٠)	شامل
Herner (١٩٨٦)	إنبات البذور فى الحرارة المنخفضة
Ashworth (١٩٨٦)	أضرار التجمد
Markhart (١٩٨٦)	أضرار البرودة

أضرار الحرارة المرتفعة

قسم ليفت Levitt النباتات الراقية حسب تحملها للحرارة المرتفعة إلى مجموعتين :

١ - مجموعة تسمى وسطية mesophlies ، وفيها الحد الأعلى المحتمل لدرجة الحرارة من ٣٥ - ٤٥°م .

٢ - مجموعة تتحمل الحرارة المرتفعة moderate thermophiles ، وفيها الحد الأعلى المحتمل لدرجة الحرارة من ٤٥° - ٦٠°م .

وبينما تموت معظم النباتات العشبية فى حرارة ٥٠°م أو أقل ، فإن بعض النباتات الخشبية تتحمل درجة حرارة تصل حتى ٦٠°م لفترات قصيرة ، لكن درجة الحرارة المميتة تتوقف على فترة التعرض لها ؛ لأن حساسية الأنسجة النباتية للحرارة المرتفعة تزداد زيادة كبيرة مع ارتفاع درجة الحرارة .

كما تختلف الأوراق عن الثمار والأنسجة اللحمية فى مدى تحملها للحرارة المرتفعة ، لأن الأوراق قد تكون حرارتها أقل من درجة حرارة الجو المحيط بها بسبب عملية النتح ، بينما لا يحدث ذلك فى الأنسجة اللحمية ذات النشاط الحيوى العالى ، والتى لا تنتقل منها الحرارة الناتجة من التنفس بسرعة كافية إلى الجو المحيط بها ؛ الأمر الذى يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارتها عن درجة حرارة الهواء المحيط بها . كما ترتفع درجة حرارة الأنسجة النباتية المعرضة لأشعة الشمس المباشرة ، بما فى ذلك الأوراق .

طبيعة الأضرار التى تسببها الحرارة العالية

قسّم ليفت Levitt الأضرار التى تنشأ عن تعرض النباتات للحرارة العالية إلى ثلاث فئات ، كما يلى :

١ - أضرار بسيطة نسبيا :

وهى الأضرار التى تترتب على رفع الحرارة العالية لمعدلات كل من النتح والتنفس ؛ حيث تؤدى زيادة النتح عن قدرة الجذور على امتصاص الماء من التربة إلى

ظهور أضرار الجفاف Drought Injury، بينما تؤدى زيادة معدل التنفس عن معدل البناء الضوئى إلى ظهور أضرار نقص الغذاء Starvation Injury .

وترجع الزيادة الحادة التى تحدث فى معدل النتح ـ عند ارتفاع درجة الحرارة ـ إلى عاملين ؛ هما :

أ - التأثير المباشر للحرارة على انتشار الماء Diffusion Constant of Water ، الذى يزيد بارتفاع الحرارة .

ب - زيادة الفارق فى ضغط بخار الماء بين المسافات البينية لأنسجة الورقة والهواء المحيط بها ، فنجد ـ مثلا ـ أن ارتفاع حرارة الورقة بمقدار ٥° م عن حرارة الهواء المحيط بها يعادل حدوث انخفاض فى الرطوبة النسبية للهواء المحيط بها بمقدار ٣٠٪ .

ونجد تحت ظروف الحقل أن أضرار الجفاف تكون مصاحبة للحرارة العالية إلى درجة يصعب معها فصل تأثير العاملين فى المحصول ، حتى مع توفر الرطوبة الأرضية أحيانًا .

ومن الطبيعى أن يتوقف النمو النباتى عند ارتفاع الحرارة إلى مستوى يقل عن الحرارة التى تقتله فى الحال . وكلما ازدادت فترة تعرض النباتات لدرجة الحرارة التى يتوقف عندها نموه احتاج إلى فترة أطول ليستعيد نموه الطبيعى بعد عودة الحرارة إلى الاعتدال . ويمكن إظهار الضرر التدريجى الذى يحدث إبّان تعرض النباتات للحرارة العالية بقياس معدل التنفس . فبعد فترة من التعرض للحرارة العالية ينخفض معدل التنفس تدريجيا إلى أن يتوقف تماماً مع انتهاء مخزون الغذاء فى النبات ، لأن الحرارة المثلى للتنفس تزيد على تلك التى تناسب البناء الضوئى .

٢ - أضرار متوسطة الشدة :

ترجع الأضرار المتوسطة الشدة للحرارة العالية إلى تأثيراتها المباشرة على المراحل الأيضية الحساسة للحرارة ، والتى يترتب عليها نقص فى أحد المركبات الهامة للنبات ، أو تراكم مركبات معينة إلى درجة السمية ؛ مثل تراكم الأمونيا فى الحرارة العالية .

كما يدخل ضمن الأضرار المتوسطة الشدة للحرارة العالية كل من : دنترة البروتينات ، وسيولة الدهون (وما يترتب عليها من حدوث أضرار بالأغشية الخلوية) ، وفقدان الأحماض النووية ، وخاصة حامض الـ RNA .

٣ - أضرار شديدة :

تحدث الأضرار الشديدة نتيجة لحدوث تفاعلات كيميائية معينة فى درجات الحرارة الشديدة الارتفاع ، يترتب عليها موت الأعضاء النباتية حتى المنخفضة الرطوبة منها ؛ مثل البذور . ومن أمثلة هذه التفاعلات زيادة معدل فقد البروتينات عن معدل تمثيلها ؛ الأمر الذى يترتب عليه حدوث فقد فى الإنزيمات ، وأضرار بالأغشية الخلوية . وقد يحدث الضرر نتيجة زيادة معدل هدم المركبات الهامة ، أو نقص معدل تمثيلها ، أو لكلا السببين .

وتتميز الأضرار المباشرة للحرارة العالية عن الأضرار غير المباشرة فى أن ظهورها يمكن أن يحدث بعد فترة قصيرة من التعرض للحرارة العالية . ونجد - على سبيل المثال - أن الـ Q_{10} لدنترة البروتين عالٍ جداً ، حيث يتراوح من ٧١ - ١٢٠ لعديد من الأنواع المحصولية (عن Stevens ١٩٨١) .

ومن المشاكل البستانية الهامة التى تترتب على ارتفاع درجة الحرارة - والتى يتعين الإلمام بها لتجنب حدوثها - ما يلى :

١ - كثيرا ما تحدث أضرار شديدة للبادرات الحديثة الإنبات عند ارتفاع درجة الحرارة ، ويرجع ذلك إلى أن التربة تمتص قدرًا كبيرًا من الأشعة تحت الحمراء التى تصل إليها من الشمس ؛ الأمر الذى يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارتها إلى حدٍّ لا تتحمله أنسجة البادرات الرهيفة . وكثيرًا ما تختلط تلك الأعراض بأعراض مرض تساقط البادرات damping off .

٢ - كذلك قد تحدث أضرار مماثلة بالثمار اللحمية أو بالأجزاء الخضرية التى قد تتراكم بها الحرارة ؛ لأن انقشاع وتبدد الحرارة منها ربما لا يحدث بالكفاءة اللازمة لعدم حدوث الضرر .

٣ - وعندما تتعرض الأوراق لإضاءة قوية مع شدٍّ رطوبى فإن التبريد الناشئ عن

النتح ربما لا يتم بالكفاءة المطلوبة ؛ الأمر الذى قد يؤدى إلى ارتفاع حرارة الأوراق عن حرارة الهواء المحيط بها بفارق عدة درجات ، مع زيادة احتمالات موت خلاياها ، وظهور بقع فسيولوجية ـ غير متحللة ـ بها .

٤ - ومن أهم مظاهر أضرار الحرارة العالية ظهور بقع متحللة ، وخاصة على السويقة الجنينية السفلى والساق ، كما يظهر تبرقش مصفر على الأوراق والثمار . ويعزى ذلك إلى أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدى إلى زيادة معدل التنفس مع انخفاض معدل البناء الضوئى ؛ فيقل الغذاء المخزن ، وقد ينعدم . كما قد تحدث تغيرات فى كل من البروتينات ، والإنزيمات ، والأغشية الخلوية . وتختل كفاءة الإنزيمات التى لا تقوم بوظائفها إلا فى مجال حرارى معين . كما قد تحدث دنترة denaturation للبروتينات . ومع تمزق الأغشية الخلوية يختلّ كل شئ بالخلايا ، وتصبح الإنزيمات مختلطة بمركبات لا يحدث اتصال بها فى الظروف العادية ؛ الأمر الذى يؤدى إلى حدوث تفاعلات إنزيمية غير مرغوب فيها .

٥ - ومن مظاهر الحرارة العالية عن الحدود المناسبة لعقد الثمار سقوط الأزهار دون عقد ، أو سقوط الثمار الحديثة العقد . كما يتفاعل الضوء مع الحرارة العالية فى التأثير على سقوط الأزهار . ففى الفلفل . . وجد أن التظليل يزيد من سقوط الأزهار فى الحرارة العالية ، ويَسْبِقُ سقوطَها ـ فى هذه الظروف ـ انخفاضٌ فى تركيز السكر فى البراعم الزهرية ، مع زيادة فى إنتاج الإيثيلين فيها . هذا . . إلا أن أصناف الفلفل تختلف فى حساسية أزهارها للحرارة العالية ، ويتفق ذلك مع اختلاف إنتاجها للإيثيلين فى ظروف الحرارة العالية ، واختلاف حساسيتها للإيثيلين المنتج فى هذه الظروف (Aloni وآخرون ١٩٩٤) .

وسائل حماية النباتات لنفسها من أضرار الحرارة العالية

تقوم النباتات بحماية نفسها من أضرار الحرارة العالية بإحدى وسيلتين ؛ هما :

١ - تفادى أضرار الحرارة Heat Avoidace :

لا يعنى تفادى النبات أضرار الحرارة العالية أن تكون درجة حرارته أقل من درجة

حرارة الهواء المحيط به ، وإنما أن يكون النبات قادرًا على البقاء فى درجات حرارة لا تتحملها نباتات أخرى ، وهو ما يحدث بالوسائل التالية :

أ ـ العزل الحرارى Insulation :

وهو ما يحدث فى جذوع الأشجار الكبيرة بفعل طبقة القلف السميكة التى توجد فيها .

ب ـ انخفاض معدل التنفس :

ربما لا يكون هذا العامل مهما فى الأوراق (حيث يكون تأثيره قليلاً جداً مقارنة بالحرارة التى تكتسبها الأوراق من جَرَّاء تعرضها للأشعة الشمسية) ، ولكنه يكتسب أهمية كبيرة فى أعضاء التخزين الشحمية .

جـ ـ عدم اكتساب الأوراق الطاقة الضوئية الساقطة عليها :

يتحقق ذلك من خلال ظاهرة الانعكاس Reflectance ، والنفاذية Transmis-sivity ، علما بأن وجود الشعيرات وغيرها من الزوائد الورقية يزيد من ظاهرة انعكاس الضوء . وتتأثر النفاذية بلون الأوراق وسمكها ؛ حيث تزيد فى الأوراق ذات اللون الأخضر الفاتح والقليلة السمك .

د ـ التبريد بالنتح Transpirational cooling :

يعتقد أن النتح يزيل نحو ٢٣٪ من الحرارة التى يكتسبها النبات خلال فترة منتصف النهار ، وتتوقف مدى فاعليته على سرعة الرياح ، ودرجة الحرارة ، والرطوبة النسبية .

٢ - تحمل الحرارة Heat Tolerance :

يتحمل النبات الحرارة العالية لأسباب قد يكون منها : زيادة معدل البناء الضوئى ، ونقص معدل التنفس ، وعدم تراكم السموم أو إبطال مفعولها ، ووجود بعض المركبات الهامة بتركيزات عالية ؛ فلا يترتب على نقصها قليلاً ـ بفعل الحرارة العالية ـ تأثيرات ضارة على النبات . كما قد يحدث التحمل للحرارة العالية نتيجة زيادة ثبات

البروتينات تحت هذه الظروف ، أو سرعة عودتها إلى حالتها الطبيعية إذا حدثت لها دنترة جزئية ، أو إلى تكوين بروتينات جديدة .

فمثلا . . يذكر Hernandez & Vierling (١٩٩٣) أن تعريض النباتات لصدمة الحرارة العالية يؤدى إلى تكوين بروتينات ذات وزن جزيئى منخفض فى السيتوبلازم . حدث ذلك فى جميع النباتات التى درست ؛ وهى : البسلة ، وفول الصويا ، واللوبيا ، وفاصوليا تبارى Phaselous acutifolius ، والبرسيم الحجازى ؛ عندما عرضت بذورها أو أوراقها لدرجة حرارة ٤٠°م لمدة ٤ ساعات ، بينما لم يمكن عزل هذه المركبات البروتينية فى الأوراق التى لم تعرض لمعاملة الحرارة العالية .

وتجدر الإشارة إلى أن البروتينات التى تتكون نتيجة التعرض لصدمة الحرارة العالية ـ والتى تعرف باسم Heat Shock Proteins ـ اكتشفت أولا فى حشرة الدروسوفيلا ميلانوجستر ، ثم فى النباتات . ويعرف منها ثلاث مجموعات مختلفة ؛ كما يلى :

الأولى (Group I) : تتراوح بين ٦٨ و ١٠٤ kDa وتوجد فى البكتيريا ، والحيوانات ، والنباتات .

الثانية (Group II) : تتراوح بين ٢٠ و ٣٣ kDa .

الثالثة (Group III) : تتراوح بين ١٥ و ١٨ kDa ، ولا توجد إلا فى النباتات الراقية .

تنتج هذه البروتينات لدى تعريض النباتات لحرارة تقترب من ٤٠°م . وفى الذرة يبدأ إنتاج هذه البروتينات بعد ٢٠ دقيقة فقط من معاملة الحرارة ، مع إنتاج مجموعة أخرى منها (تتراوح بين ٥٢ و٦٢ kDa) بعد ٤ ساعات من التعرض للحرارة . ويتوقف إنتاج تلك البروتينات ـ بشدة ـ بعد ذلك حتى مع استمرار تعرض النباتات للحرارة العالية (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

تتجمع البروتينات ـ كذلك ـ عند تعرض النباتات لبعض حالات الشد Stress الأخرى ؛ مثل التعرض للمعادن الثقيلة ، والأشعة فوق البنفسجية ، والجفاف .

وربما تفيد البروتينات ـ التى تتكون عند التعرض للمعادن الثقيلة ـ كمركبات مخلبية لتلك العناصر ؛ الأمر الذى يفقدها تأثيرها السام . وقد تفيد البروتينات التى تتكون عند التعرض للأشعة فوق البنفسجية فى تمثيل الصبغات الفلافونية التى تمتص تلك الأشعة الضارة . وقد تشارك البروتينات التى تتكون عند التعرض لظروف الجفاف فى تمثيل بعض المركبات النيتروجينية ـ مثل البرولين ، والبولى أمينات polyamines ، والبيتين betaines ـ التى تتكون فى النباتات التى تتعرض لظروف الجفاف .

وبصورة عامة . . فإن مجموعة من المركبات النيتروجينية تتراكم فى النباتات التى تتعرض لظروف بيئية قاسية ـ جوية كانت ، أم أرضية ـ ومن أكثر هذه المركبات شيوعا ما يلى :

١ - الأميدات amides : الجلوتامين glutamine ، والأسبرجين aspargine .

٢ - الأحماض الأمينية أرجنين ، وبرولين ، وسترولين ، وأورنثين .

٣ - الأمين amine بوترسين putrescine .

ويتوقف نوع المركب النيتروجينى المتراكم على كل من النوع النباتى ، وطبيعة حالة الشِّدة البيئية .

وقد اقترح Rabe (١٩٩٠) نظرية افتراضية مؤداها أن أية حالة تعرضٍ لظروف بيئية قاسية ـ يحدث بسببها استنفاد الجلوكوز من النبات ، أو نقص فى معدل نموه ، أو كلاهما ـ يؤدى إلى تراكم النيتروجين النشادرى NH_3^- والأمونيومى NH_4^+ ـ فى النبات ـ مبكراً ـ خلال فترة تعرض النبات للشدة البيئية . ويؤدى تخلُّص النبات من الأمونيا الحرة الزائدة فى الخلايا إلى تراكم مركبات تحتوى على النتيروجين فيها ؛ مثل المركبات التى تقدم بيانها .

الأساس الفسيولوجى لتحمل الحرارة العالية

تُظهر بعض الأنواع النباتية تحملا كبيرًا للحرارة العالية من خلال ظواهر فسيولوجية محددة ، لعل أبرزها أيض حامض الكراسيولاسيان Crassulacean Acid Metabolism (تكتب اختصارا : CAM) . ففى هذه الحالة (حالة الـ CAM) تغلق الثغور

فى أشد ساعات النهار حرارة . كما أن النباتات ذات مسار البناء الضوئى C_4 أكثر تحملا للحرارة العالية من النباتات ذات المسار C_3 ؛ لأن الأولى أكثر كفاءة فى الاستفادة من التركيزات المنخفضة لغاز ثانى أكسيد الكربون فى المسافات البينية للخلايا . كذلك تتوفر بين النباتات الـ C_4 ـ التى تتباين فى تحملها للحرارة العالية ـ اختلافات فى مدى ثبات إنزيم RuBP carboxylase فى ظروف الحرارة العالية ، وفى كفاءة تمثيل الغذاء المجهز بها ، وانتقاله إلى الأعضاء الأكثر تأثرًا بالحرارة العالية .

١ - أيض حامض الكراسيولاسيان CAM :

يتميز الـ CAM بحدوث تغيرات يومية فى محتوى الأحماض العضوية ، يقابلها تغيرات عكسية فى المواد الكربوهيدراتية ؛ فنجد أن حامض الماليك يتراكم تدريجيا أثناء الظلام ، بينما تختفى المواد الكربوهيدراتية . ويعقب ذلك ـ خلال فترة الضوء التالية ـ اختفاء حامض الماليك وظهور المواد الكربوهيدراتية نتيجة لتمثيل غاز ثانى أكسيد الكربون ـ الناتج من حامض الماليك ـ بواسطة النباتات ذات المسار الأيضى C_3 . وعليه . . فإن الـ CAM يعرف بأنه « تدفق الكربون Carbon Flow » من خلال حامض الماليك المتكون فى الظلام ؛ حيث يصبح حامض الماليك هو مصدر الكربون لتمثيل غاز ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى .

كذلك يتميز الـ CAM بأن الثغور تفتح ليلا وتغلق نهارًا ؛ وبذا . . فإن غاز ثانى أكسيد الكربون الخارجى يخزن فى حامض الماليك ليلاً ثم يستعمل فى البناء الضوئى فى النباتات ذات المسار C_3 خلال النهار التالى .

وأخيرًا . . فإن النباتات التى يحدث فيها الـ CAM تتميز أيضًا بكونها عصيرية ، وباحتواء أوراقها وسيقانها على عدة طبقات من الهيبودرمز hypoderms التى تحيط بخلايا برانشيمية كبيرة تحتوى على بلاستيدات خضراء ، ويوجد فيها فجوات كبيرة لخزن الماء ، وكمية صغيرة من السيتوبلازم المحيط بتلك الفجوات . ويعتقد أن الـ CAM يحدث فى هذه الخلايا ، وأن الفجوات الكبيرة التى توجد بها هى لتخزين حامض الماليك .

ونظراً لانغلاق الثغور أثناء النهار فى النباتات التى يحدث فيها الـ CAM . . فإن حصة النتح Transpiration Ration (وهى نسبة وزن الماء المفقود بالنتح إلى وزن الكربون المكتسب بالبناء الضوئى) تكون منخفضة فيها ؛ حيث تتراوح بين ٤٠ و ٧٢ ، مقارنة بنحو ١٠٠ - ٣٠٠ فى النباتات ذات المسار C_4 ، وأكثر من ٥٠٠ فى النباتات ذات المسار C_3 التى لا يحدث فيها الـ CAM .

٢ - البناء الضوئى ذو المسار C_4 :

للمسار البنائى C_4 مميزات خاصة فى ظروف الحرارة العالية والجفاف ـ مقارنة بالمسار C_3 ـ فهو يفيد فى تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى خلايا الحزم ؛ الأمر الذى يسمح باستمرار دورة كالفن Calvin Cycle فى ظروف أفضل بالنسبة لتركيز غاز ثانى أكسيد الكربون المُحدّد لمعدل البناء الضوئى أثناء ارتفاع درجات الحرارة .

وبرغم أن هذه الخاصية التى توجد فى النباتات الـ C_4 تزداد أهميتها للنبات مع ارتفاع درجة الحرارة ـ وخاصة عندما يكون هذا الارتفاع مصاحبًا بزيادة فى شدة الإضاءة ـ إلا أن أهميتها تقل فى الحرارة المنخفضة ، وتنعدم تمامًا فى الإضاءة الضعيفة . ومع ذلك فلا تعرف أية مساوئ للمسار الأيضى C_4 .

ويعرف المسار الأيضى C_4 فى عديد من العائلات النباتية ، كما يوجد كلا المسارين ـ الـ C_3 والـ C_4 ـ فى عدد من الأجناس ؛ مثل الجنس Atriplex . وبالتهجين بين نوعين تابعين له ؛ هما : A. rosa ذو المسار C_4 ، و A. triangularis ذو المسار C_3 ، كان الجيل الأول وسطًا بينهما فيما يتعلق بخصائص ونشاط الإنزيمات المسئولة عن البناء الضوئى .

٣ - التباين فى ثبات إنزيم RuBPcase فى الحرارة العالية :

إن الإنزيم الرئيسى فى عملية البناء الضوئى فى النباتات ذات المسار C_3 هو ribu-lose bisphosphate carboxylase (اختصاراً : RuBPcase) ، وهو إنزيم حساس للحرارة العالية . وتوضح الدراسات التى أُجريت فى هذا الشأن وجود اختلافات

وراثية فى مدى ثبات هذا الإنزيم بين الأصناف التى تختلف فى مدى تحملها للحرارة العالية .

فمثلاً . . تعقد ثمار صنف الطماطم سالادت Saladette فى الحرارة العالية نسبيا ، بينما لا يحدث ذلك فى الصنف الحساس روما Roma ، وقد أُرجع ذلك ـ جزئيا ـ إلى اختلاف الصنفين فى مدى تأثر البناء الضوئى فيهما بالحرارة العالية ؛ حيث كان الصنف سالادت أقل تأثرا . وبمقارنة نشاط إنزيم RuBPcase فيهما . . وجد أن تعريض الإنزيم خارج النبات in vitro لحرارة ٥٠°م لمدة ساعة خفض نشاطه بمقدار ٧٥٪ فى الصنف روما ، بينما لم يكن للمعاملة أية تأثيرات على نشاطه فى الصنف سالادت .

٤ - التباين فى كفاءة انتقال الغذاء المجهز إلى الأعضاء النباتية الأكثر تأثرًا بالحرارة العالية :

تلعب القدرة على نقل الغذاء المجهز ـ بكفاءة عالية ـ تحت ظروف الحرارة العالية دورًا هاما فى النباتات التى تزرع لأجل ثمارها أو بذورها . فمن المعروف أن سقوط الأزهار والثمار الحديثة العقد يعد أمرًا شائع الحدوث فى درجات الحرارة العالية ، وتلزم زيادة كفاءة انتقال الغذاء من أماكن تصنيعه بالأوراق إلى تلك الأعضاء النباتية لتجنب سقوطها ؛ نظراً لزيادة معدل التنفس ؛ ومن ثم زيادة استهلاك المواد الكربوهيدراتية أثناء ارتفاع درجة الحرارة .

ولقد وجد أن صنف الطماطم سالاديت ـ الأكثر قدرة على العقد فى الحرارة العالية عن الصنف الحساس روما ـ أكثر كفاءة فى نقل الغذاء المجهز من الأوراق إلى الأزهار والثمار الحديثة العقد أثناء ارتفاع درجة الحرارة . وتتوفر أدلة على أن هذا التحسن فى كفاءة انتقال الغذاء المجهز فى الصنف سالاديت مرده إلى زيادة سرعة تحلل السكروز المتوفر بأوراقه إلى فركتوز وجلوكوز ؛ حيث ارتبط معدل انتقال المواد الكربوهيدراتية ـ بقوة ـ بنسبة السكروز : الفركتوز والجلوكوز . كذلك نقص محتوى الأوراق من النشا ـ فى هذا الصنف ـ بسرعة كبيرة فى الحرارة العالية مقارنة بالصنف روما ؛ مما يدل على أن الغذاء المجهز ينتقل ـ فى الصنف سالاديت ـ بمعدلات عالية من أماكن تصنيعه إلى حيث تحتاج إليه الأزهار ـ والثمار الحديثة العقد خلال فترات ارتفاع درجات الحرارة .

ويرتبط بهذا الأمر ـ كذلك ـ ما وجد من بطء تكوُّن الكالوس فى الأنابيب الغربالية للصنف سالاديت ـ خلال فترات ارتفاع الحرارة ـ مقارنة بما يحدث فى الصنف روما الحساس للحرارة .

٥ – التباين فى استجابة إنزيم Nitrate Reductase للحرارة العالية :

أوضحت دراسة أُجريت على ثلاث سلالات من الذرة مرباة تربية داخلية وحساسة للحرارة العالية ، وثلاث أخرى أكثر تحملا للحرارة وجود اختلافات بينها فى نشاط كل من إنزيمى Nitrate Reductase ، و Nitrite Reductase ؛ حيث لم يثبط نشاط إنزيم الـ Nitrate Reductase فى السلالات المتحملة للحرارة ، وفى إحدى السلالات الحساسة ـ لدى تعريضها لحرارة ٤٠ – ٤٥°م ـ مقارنة بالسلالتين الحساستين الأخريين (عن Stevens ١٩٨١) .

ولمزيد من التفاصيل عن تأثير درجة الحرارة المرتفعة على النباتات .. يراجع Levitt (١٩٨٠) ، و Turner & Kramer (١٩٨٠) ، و Manassah & Briskey (١٩٨١) .

تأثير الضوء والفترة الضوئية على نباتات الخضر

لا يمكن للنباتات أن تنمو فى غياب الضوء ، فهو العامل الأساسى فى عملية البناء الضوئى التى تعتمد عليها النباتات كلية فى تحضير السكريات الأولية . وتتأثر النباتات بكل من شدة الإضاءة ونوعية الإضاءة ، وطول الفترة الضوئية .

شدة الإضاءة والعوامل المؤثرة فيها

تؤثر شدة الإضاءة Light Intensity تأثيراً كبيراً فى معدل عملية البناء الضوئى ؛ فيزداد البناء الضوئى مع زيادة شدة الإضاءة فى حدود معينة . ونظرًا لأن النباتات تعتمد فى نموها على عملية البناء الضوئى ، فإننا نجد أن المحصول يزداد مع ازدياد شدة الإضاءة .

هذا .. وتختلف شدة الإضاءة من منطقة لأخرى ، ومن ساعة لأخرى فى نفس المنطقة ، فتزداد شدة الإضاءة :

١ - قرب خط الاستواء عنها قرب القطبين .

٢ - فى الأجواء الجافة الصحوة عنها فى الأجواء الملبدة بالغيوم .

٣ - فى الأماكن المرتفعة عنها بالقرب من سطح البحر .

٤ - صيفاً عنها شتاءً .

٥ - وقت الظهيرة عنها فى الصباح أو المساء .

وفى المتوسط نجد أن الإضاءة القوية تبلغ نحو ٥٠٠٠ شمعة / قدم . وأقل إضاءة لازمة للنمو النباتى هى ٨٠٠ ـ ١٠٠٠ شمعة / قدم .

إن كثافة الإشعاع الشمسى التى تصل إلى النباتات تخف كثيراً ، وتضعف خلال مرورها فى طبقات الغلاف الجوى .

فبداية . . نجد أن الإشعاع الشمسى الكامل ـ غير المرشح ـ تكون كثافته عند دخوله طبقة الأيونوسفير Ionosphere ١,٣٩ كيلو واط kW / م٢ (وهو ثابت الشمس) ، ويتراوح طول موجاته بين ٢٢٥ و ٣٢٠٠ نانوميتر nm (مللى ميكرون) . ويكون ٤١٪ من هذا الإشعاع بين موجتى ٤٠٠ ، و٧٠٠ نانوميتر ، وهى الموجات الضوئية التى تكون نشطة فسيولوجيا فى النباتات .

وفى الاستراتوسفير Stratosphere تمتص طبقة الأوزون ozone الأشعة فوق البنفسجية ، بينما يمتص بخار الماء ، وثانى أكسيد الكربون ، والأكسجين ـ فى التروبوسفير Troposphere ـ الموجات الضوئية من ١١٠٠ إلى ٣٢٠٠ نانوميتر .

وعند مستوى سطح البحر يكون مدى الموجات الضوئية المتاح للنباتات من ٣١٠ إلى ١١٠٠ نانوميتر ، ويكون ٤٦٪ من هذا الإشعاع بين موجتى ٤٠٠ ، و٧٠٠ نانوميتر (الضوء المرئى) .

يتبين مما تقدم أنه لا يصل إلى سطح الأرض سوى ٤٧٪ من الإشعاع الكلى الصادر عن الشمس باتجاه الأرض ، بينما يُفقد أكثر من نصف الإشعاع الكلى بالانكسار

obeikandl.com

refraction ، والانحراف diffraction فى طبقات الجو العليا . كما أن السُّحُب والجسيمات العالقة فى الهواء تعكس الإشعاع الشمسى ، أو تشتته ، أو تمتصه .

وفى منتصف النهار ، يمكن أن تبلغ كمية الإشعاع الكلى ـ التى تتلقاها النباتات التى تنمو عند مستوى سطح البحر وخط عرض متوسط ـ حوالى ٩٠٠ واط W / م٢ . وتتباين كمية الإشعاع الفعلية حسب كثافة السحب ، وخط العرض ، ومدى الارتفاع عن سطح البحر .

ولا تخف وتضعف حدة الإشعاع الشمسى بالظروف الجوية ، وعند مرور الإشعاع فى طبقات الغلاف الجوى فقط ، ولكنها تتأثر ـ كذلك ـ بالبيئة النباتية ذاتها . ففى مجتمع النباتات . . تُشكِّل الأوراق العليا ـ التى تقوم بعملية البناء الضوئى ـ حاجزًا أمام وصول الضوء إلى الأوراق السفلى . وتزداد الكمية الممتصة من الإشعاع الساقط ـ تدريجيا ـ أثناء مروره بين طبقات الأوراق إلى أن يستنفذ معظمه ، ولا يكاد يصل منه شئ إلى الأوراق السفلى . ويتوقف مدى نفاذية الأوراق للضوء على تركيبها وسمكها ؛ حيث يزداد مقدار الضوء النافذ من الأوراق كلما نقص سمكها .

وترتبط كمية ونوعية الضوء ـ التى تتاح لأوراق النباتات ـ بالكثافة النباتية ، وارتفاع النباتات ، وشكل الأوراق ؛ حيث تزداد كثافة الضوء التى تُتاح للأوراق النباتية عند انخفاض كثافة الزراعة ، وقصر النباتات ، وضيق أوراقها (عن : Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

تقسيم النباتات حسب شدة الإضاءة المناسبة لها

تقسم النباتات حسب شدة الإضاءة المناسبة لها إلى مجموعتين ؛ هما :

١ - نباتات الضوء Heliophytes : وهى التى تنمو أحسن ما يمكن فى ضوء الشمس الكامل ، وتشتمل على معظم نباتات الخضر .

٢ - نباتات الظل Sciophytes : وهى التى تنمو أحسن ما يمكن فى شدة إضاءة تبلغ حوالى ١٠٪ من ضوء الشمس ، وتشتمل على عيش الغراب ، وعدد كبير من نباتات الزينة .

تكمن أحد الفروق الرئيسية بين نباتات الشمس ونباتات الظل فى البلاستيدات الخضراء ؛ حيث تتميز نباتات الظل باحتواء بلاستيداتها على جرانات grana كبيرة غير منتظمة التوجُّه ، ومحملة بنحو ١٠٠ ثيلكويدة thylakoids فى كل منها . كما تُوجَد بنباتات الظل نسبة أعلى من الجرانات المكونة للـ lamellae ، ونسبة أعلى من أغشية الثيلكويدات إلى الاستروما stroma ؛ بما يعنى زيادة المحتوى الكلورفيلى فى وحدة المساحة الورقية ، ووجود نسبة أقل من البلاستيدات الخضراء بوحدة المساحة من الورقة فى نباتات الظل مقارنة بنباتات الشمس .

وبالمقارنة .. تكون الجرانا فى البلاستيدات الخضراء لنباتات الشمس مصطفة بمحاذاة أحد محاورها ، وبها نسبة أقل من الجرانات المكونة للـ lamellae ، ونسبة أقل من أغشية الثيلكويدات إلى الاستروما . ولكن تزداد أعداد الثيلكويدات وتزداد نسبتها إلى الاستروما فى نباتات الشمس لدى نموها فى إضاءة منخفضة .

كذلك يختلف تركيز الكلورفيل ونسبة كلوروفيل « أ » إلى كلوروفيل « ب » فى كلوروبلاستيدات نباتات الظل عنها فى نباتات الشمس . وتتوقف كفاءة النباتات فى امتصاص الضوء على كمية الكلوروفيل بوحدة المساحة من الورقة ، وهى التى تبقى ثابتة فى مدى واسع من شدة الإضاءة بالنسبة للنوع النباتى الواحد . ويؤدى التظليل الشديد إلى خفض تركيز الكلوروفيل فى أوراق نباتات الشمس ، وخاصة فى الأوراق الحديثة النامية ، بينما قد تحتوى نباتات الظل الإجبارية على كمية من الكلوروفيل ـ تحت ظروف الظل الشديد ـ تعادل تلْك التى توجد فى نباتات الشمس فى الإضاءة القوية .

ويزداد تركيز كلوروفيل ب ـ فى ظروف الإضاءة الضعيفة ـ فى معظم النباتات سواء أكانت من نباتات الظل ، أم من نباتات الشمس . ويساعد ذلك التغيير على زيادة الاستفادة من الموجات الضوئية « المُرشّحة » التى تكون أغنى فى الأشعة تحت الحمراء . كما أن نباتات الظل تحتوى ـ عادة ـ على نسبة من كلوروفيل « أ » إلى كلوروفيل « ب » أقل مما فى نباتات الشمس ؛ الأمر الذى يجعلها أكثر قدرة على الاستفادة من الأشعة تحت الحمراء التى تنفذ من خلال النمو النباتى .

وبالمقارنة بنباتات الشمس . . تحتوى نباتات الظل على نسبة أقل من البروتين لكل وحدة كلوروفيل ، ولكل وحدة من المساحة الورقية . ويرجع النقص البروتينى أساسا إلى نقص كمية إنزيم ribulose biphosphate carboxylase والإنزيمات الأخرى الداخلة فى أيض الكربون فى عملية البناء الضوئى .

إن قدرة نباتات الظل على التأقلم مع الإضاءة القوية محدودة ؛ وهى تتعرض ـ عادة ـ لأضرار شديدة أو تموت فى الإضاءة القوية . أما نباتات الشمس فإن كفاءتها فى عملية البناء الضوئى تزداد فى ظروف الإضاءة العالية ؛ نتيجة لقدرتها على التأقلم مع هذه الظروف ؛ وذلك بحدوث تغيرات فيها تتمثل فى : زيادة مستوى إنزيمات أيض الكربون ، وزيادة تركيز سلسلة المركبات الناقلة للإليكترونات فى عملية البناء الضوئى ، وزيادة القدرة على نقل غاز ثانى أكسيد الكربون .

كذلك يحدث التأقلم مع الإضاءة القوية فى نباتات الشمس بزيادة السيوبرين ، والشمع ، والأديم ، ومكونات الجدر الخلوية بالأوراق . . وجميعها عوامل تفيد فى زيادة انعكاس الضوء .

وتعمل النباتات على تقليل التحطيم الضوئى للكلوروفيل photodestruction بزيادة محتوى أوراقها من البيتاكاروتين ، والزانثوفيل ، والفوسفوليبيدات .

أما تأقلم النباتات مع الإضاءة الضعيفة فإنه يتم بوسيلتين ؛ كما يلى :

١ - زيادة المساحة الورقية بطريقة تحدُّ من استعمال الغذاء المجهز ؛ لأنها ـ أى زيادة المساحة الورقية ـ تكون على حساب انتقال الغذاء المُصنّع إلى أعضاء التخزين .

٢ - نقص كمية الضوء المعكوس reflected والنافذ transmitted ؛ ذلك لأن الأوراق تكون أقل سمكا ولكن أكبر مساحة مما فى ظروف الإضاءة القوية . ويزيد امتصاص الأوراق للضوء بزيادة أعداد البلاستيدات الخضراء فى وحدة المساحة الورقية منها ، وبزيادة تركيز الكلوروفيل فيها ، مع انخفاض تركيز الصبغات الأخرى التى تتعارض مع عملية امتصاص الضوء . كذلك يقل تحلل الكوروفيل ؛ مما يزيد تركيزه فى النبات .

ونجد فى المستويات المنخفضة من الإضاءة أن معدل البناء الضوئى يتناسب خطيا مع شدة الإضاءة ؛ حيث تكون الاستفادة من الضوء الساقط على النباتات عند حدها الأقصى . أما فى المستويات الأعلى من شدة الإضاءة فإن الزيادة فى البناء الضوئى تتناقص مع زيادة شدة الإضاءة إلى أن تتوقف الزيادة كليا . وتتوقف استجابة النباتات للمستويات المختلفة من شدة الإضاءة على ما إن كانت من نباتات الظل ، أم من نباتات الضوء .

تحتاج نباتات الضوء إلى مستويات أعلى من شدة الإضاءة للحفاظ على مستوى عال من البناء الضوئى ؛ وبذا . . فهى تُظهر معدلات منخفضة من البناء الضوئى فى المستويات المنخفضة من الإضاءة . وبالمقارنة . . فإن نباتات الظل تكون قادرة على البناء الضوئى بمعدلات عالية فى مستويات الإضاءة المنخفضة .

ويعرف مستوى الإضاءة الذى يتساوى عنده معدل البناء الضوئى مع مستوى التنفس باسم "Compensation Point" . ويكون هذا المستوى من الإضاءة فى نباتات الضوء أعلى منه فى نباتات الظل ، وخاصة أن نباتات الضوء يزيد فيها معدل التنفس عنه فى نباتات الظل .

ويحدث التشبع الضوئى فى نباتات الظل بنحو ٥٪ من قوة الإضاءة خلال النهار (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

الأهمية التطبيقية لتأثير شدة الإضاءة على النباتات

يمكن إجمال التأثيرات العملية لشدة الإضاءة على نباتات الخضر فيما يلى :

١ - التأثير على معدل البناء الضوئى والمحصول . . فلا يكون البناء الضوئى محسوسًا فى إضاءة ٠,٥ شمعة / قدم ، ويتساوى البناء مع الفاقد فى التنفس (Compensation point) فى إضاءة ١٠٠ - ٣٠٠ شمعة / قدم .

٢ - تؤثر على معدل النتح ؛ فيزيد النتح مع زيادة شدة الإضاءة ؛ لذلك يفضل إجراء عملية الشتل فى الجو الملبد بالغيوم ، أو فى المساء ؛ لأن النباتات المشتولة حديثًا لا يمكنها امتصاص كمية كبيرة من الماء من التربة ؛ لأنها تفقد جزءًا من مجموعها الجذرى عند تقليعها من المشتل .

٣ - تؤثر شدة الإضاءة على التركيب التشريحى للأوراق . ففى الإضاءة الساطعة تحتوى الأوراق على ٢ ـ ٣ طبقات من الخلايا المحتوية على البلاستيدات الخضراء ، وتكون الخلايا مندمجة ومكتنزة بالغذاء المجهز ، أما تحت ظروف الإضاءة الضعيفة ، فإن المسافات البينية بين خلايا الميزوفيل تكون واسعة ، وتكون الأوراق عصيرية . وتلك هى الصفات المفضلة فى نباتات السلاطة ؛ مثل : الخس ، والجرجير .

٤ - تؤدى زيادة شدة الإضاءة أكثر من اللازم إلى الإصابة بلفحة الشمس Sunburn ، ويحدث ذلك فى النموات الخضرية والثمرية على حد سواء .

ويحدث الضرر بالنموات الخضرية ، خاصة عندما تكون رهيفة وعصيرية وتتعرض لأشعة شمس قوية بعد فترة من الجو الملبد بالغيوم . فَتَحْتَ هذه الظروف تتلون الأنسجة المعرضة لأشعة الشمس باللون الأخضر المصفر فى مساحات غير منتظمة الشكل ، وسرعان ما تصبح الأنسجة المصابة طرية ، ثم تجف ، تاركة بقعًا هشة بنية اللون .

كذلك تتعرض أبصال البصل ودرنات البطاطس لأضرار مماثلة عند إجراء الحصاد فى جو حار صحو .

وأيضًا تصاب ثمار الخضر المختلفة بلفحة الشمس ، فتصاب ثمار الطماطم والبطيخ والشمام والفلفل والباذنجان وغيرها عند التعرض لأشعة الشمس القوية فى الجو الحار . وتظهر الأعراض على ثمار الطماطم ، سواء أكانت خضراء ، أم قاربت على النضج ، حيث يبدو النسيج المصاب لامعًا فى البداية ، ثم يصبح مشبعًا بالماء ، ثم يجف بسرعة ، وينخفض سطح النسيج المصاب عن مستوى سطح باقى الثمرة ، ويتحول لونه إلى اللون الأبيض أو الرمادى فى الثمار الخضراء ، وإلى اللون الأصفر فى الثمار الحمراء . وعادة ما تزداد شدة الضرر فى الأصناف ذات النمو الخضرى الضعيف .

وفى الفاصوليا تظهر أعراض لفحة الشمس على الثمار فى صورة بقع صغيرة مشبعة بالماء ، وسرعان ما تتلون باللون الأحمر أو البنى . وتزداد حدة هذه الأعراض فى الجو الحار .

وقد توصل Rabinowitch وآخرون (١٩٨٣) من دراساتهم على لفحة الشمس فى ثمار الفلفل والخيار إلى الاعتقاد بأن الكلوروفيل ضرورى لكى تظهر أعراض الإصابة بلفحة الشمس . فقد عرّضوا ثمار فلفل وخيار مقطوفة وأخرى على النبات ـ وهى فى مراحل مختلفة من نموها ونضجها ـ لأشعة الشمس ؛ ووجدوا أن ظهور حالة لفحة الشمس يتأثر بلون الثمرة ، وما إذا كانت مقطوفة ، أو ما زالت بالنبات . فالثمار المقطوفة ارتفعت حرارتها بدرجة أكبر من تلك التى ظلت على النبات ، وكانت أكثر حساسية للفحة الشمس . كما ارتفعت درجة حرارة ثمار الفلفل ذات اللون الأخضر الفاتح بدرجة أقل ، وظهرت بها نسبة أقل من إصابات لفحة الشمس عن مثيلاتها من الثمار ذات اللون الأخضر الداكن . أما ثمار الفلفل الحمراء الناضجة ، وثمار الخيار الصفراء الناضجة ، فقد كانتا مقاومتين للإصابة بلفحة الشمس . وبالعكس . . كانت ثمار الفلفل الخضراء أو التى فى بداية التلوين ، وثمار الخيار الخضراء غير الناضجة والخضراء المصفرة أكثر الثمار عرضة للإصابة بلفحة الشمس .

طول الموجات الضوئية . وأهميتها . والعوامل المؤثرة فيها

من أهم العمليات الحيوية التى تتأثر بطول الموجة الضوئية Wave length ما يلى :

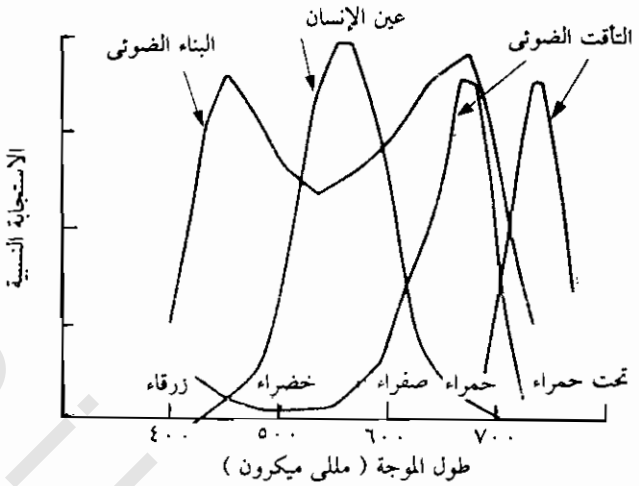
١ - عملية البناء الضوئى .

٢ - الاستجابة للفترة الضوئية photoperiodic response .

٣ - النشاط الفسيولوجى ؛ مثل فتح وإغلاق الثغور ، والنتح ، وانتقال الماء والأملاح الغذائية داخل النبات .

فكل عملية منها يبلغ معدلها أعلى ما يمكن عندما يكون الضوء من طول موجة معين ؛ أى من لون معين (شكل ٧ ـ ٤) . ونظراً لأن الضوء الأبيض العادى يحتوى على جميع ألوان الطيف ، فإن أهمية هذا الموضوع تظهر فى الدراسات البحتة التى يدرس فيها الباحث تأثير ألوان الطيف المختلفة على العمليات الحيوية فى النبات .

فنجد أن عملية البناء الضوئى تكون فى أعلى معدلاتها فى وجود الأشعة الحمراء والبرتقالية (٦٠٠ - ٧٦٥ مللى ميكرون ؛ المللى ميكرون = نانوميتر واحد) ،



شكل (٧ ـ ٤) : تأثير طول الموجة الضوئية (ألوان الطيف) على معدل عمليتى البناء الضوئى والتأقت الضوئى (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨) .

والأشعة الزرقاء والبنفسجية (٣٩٠ – ٥٠٠ مللى ميكرون) ، بينما يتأثر التأقت الضوئى بكل من الأشعة الحمراء وتحت الحمراء .

وبالإضافة إلى تأثير الأشعة الزرقاء والبنفسجية على البناء الضوئى ، فإنها تؤثر كذلك على حركة البلاستيدات الخضراء ، وعلى وضع الأوراق وحجمها .

هذا . . ويبين جدول (٧ ـ ٥) خصائص مختلف الموجات الضوئية النشطة فسيولوجيا ، بينما يوضح جدول (٧ ـ ٦) تلك الأنشطة الفسيولوجية لكل من الموجات الضوئية .

يمكن للنباتات أن تعكس الضوء الساقط عليها ، أو تمتصه ، أو تسمح بمروره خلالها ، ويتوقف ذلك على طول الموجة الضوئية الساقطة ، وتركيب الورقة ، وزاوية ميلها . وتتوقف قدرة النبات على عكس الضوء الساقط عليه على سطح الورقة ؛ حيث تزيد الشعيرات ـ مثلا ـ من انعكاس الضوء .

جدول (٧ ـ ٥) : خصائص الموجات الضوئية النشطة فسيولوجيا فى النباتات .

الأشعة	مدى الموجات الضوئية (nm)	الموجة الضوئية المُمثّلة (nm)	التردد (دورة/ثانية) (Hz x10^{14})	الطاقة (eV/photon)	الكيلوكالورى لكل مول من الفوتونات
فوق البنفسجية	< ٤٠٠	٢٥٤	١١,٨٠	٤,٨٨	١١٢,٥
البنفسجية	٤٠٠ – ٤٢٥	٤١٠	٧,٣١	٣,٠٢	٦٩,٧
الزرقاء	٤٢٥ – ٤٩٠	٤٦٠	٦,٥٢	٢,٧٠	٦٢,٢
الخضراء	٤٩٠ – ٥٦٠	٥٢٠	٥,٧٧	٢,٣٩	٥٥,٠
الصفراء	٥٦٠ – ٥٨٥	٥٨٠	٥,١٧	٢,١٤	٤٩,٣
البرتقالية	٥٨٥ – ٦٤٠	٦٢٠	٤,٨٤	٢,٠٠	٤٦,٢
الحمراء	٦٤٠ – ٧٤٠	٦٨٠	٤,٤١	١,٨٢	٤٢,١
تحت الحمراء	> ٧٤٠	١٤٠٠	٢,١٤	٠,٨٨	٢٠,٤

جدول (٧ ـ ٦) : النشاط الفسيولوجى ـ لمختلف الموجات الضوئية ـ فى النباتات .

العملية الضوئية	التفاعل أو الاستجابة	المركبات المستقبلة للضوء	الموجات الضوئية الفعّالة (الـ nm: peaks)	تحولات الطاقة أو المنتجات
تمثيل الكلوروفيل	اختزال البروتوكلوروفيل	البروتوكلوروفيل	الأزرق : ٤٤٥ الأحمر : ٦٥٠	كلوروفيل أ كلوروفيل ب
البناء الضوئى	تحلل الماء	الكلوروفيل الكاروتينات	الأزرق : ٤٣٥ الأحمر : ٦٧٥	H مركبات مفسفرة
	اختزال الكربون	الكلوروفيل	الأحمر : ٦٥٠ تحت الأحمر : ٧١٠	مركبات مفسفرة
تفاعلات الضوء الأزرق	الانتحاء الضوئى	الكاروتينات	فوق البنفسجية : ٣٧٠	أكسدة الأوكسينات
	لزوجة البروتوبلازم	غير معروفة	غير مؤكدة	–
	تنشيط تفاعلات	النيكليوتيدات البريدينية الريبوفلافين	غير مؤكدة	–
تفاعلات الضوء الأحمر وتحت الأحمر	إنبات البذور	الفيتوكروم	الأحمر : ٦٦٠	–
	النمو	–	–	–
	تمثيل الأنثوسيانين	الفيتوكروم	تحت الأحمر : ٧١٠ و ٧٣٠	–
	استجابة الكلوروبلاستيدات	الفيتوكروم	تحت الأحمر : ٧١٠ و ٧٣٠	–

ويمكن للورقة أن تعكس ٧٠٪ من الأشعة تحت الحمراء ، ومن ٦ - ١٢٪ من الضوء المرئى ، ولكنها لا تعكس سوى ٣٪ من الأشعة فوق البنفسجية . ويزيد انعكاس الضوء الأخضر ـ الذى يتراوح بين ١٠٪ و ٢٠٪ ـ عن انعكاس كل من الضوء البرتقالى والأحمر الذى يكون فى حدود ٣ ـ ١٠٪ .

ويُمتص الإشعاع الذى يخترق الورقة بأجسام ومكونات الورقة المختلفة . فنجد أن الأشعة فوق البنفسجية تُمتص كثيرا بواسطة طبقة الشمع السطحى (الأديم) ، والسيوبرين ، والمركبات الفينولية التى توجد بالورقة . كما تمتص الصبغات الكلورفيللية الضوء المرئى ، ويتوقف مدى ذلك الامتصاص على كثافة الكلوروفيل . وتُمتص الأشعة تحت الحمراء التى يزيد طول موجاتها على ٧٠٠ نانوميتر ـ بسهولة ـ بواسطة النباتات (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧) .

الفترة الضوئية والعوامل المؤثرة فيها

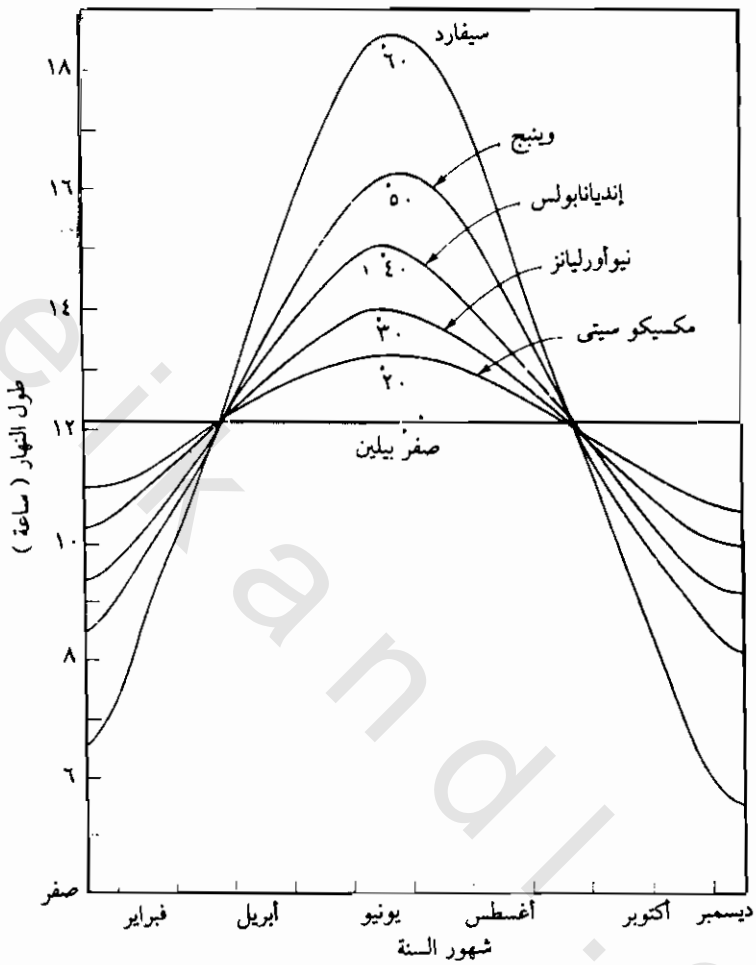
يختلف طول الفترة الضوئية باختلاف خط العرض واليوم من السنة كالتالى (شكل ٧ ـ ٥ ، وجدول ٧ ـ ٧) :

١ - فى ٢١ من مارس ، و ٢١ 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 شمالا 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 .



شكل (٧ ـ ٥) : التغيرات السنوية فى طول الفترة الضوئية بالمناطق المختلفة من العالم . ويلاحظ ازدياد الفارق بين طول النهار صيفًا عنه شتاءً كلما اتجهنا شمالا (عن Leopold & Kriedmann ١٩٧٥) .

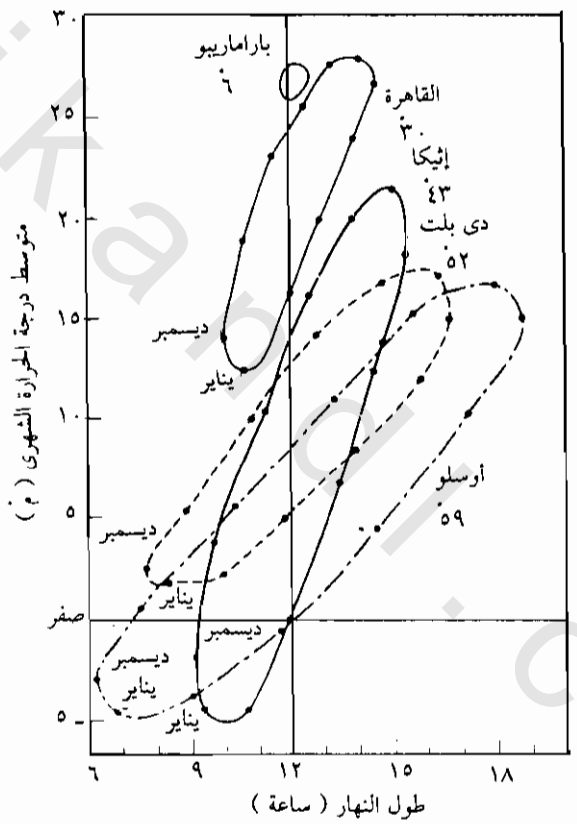
٥ – فى نصف الكرة الشمالى يكون طول النهار فى الفترة من ٢١ مارس إلى ٢١ سبتمبر أطول فى المناطق الشمالية منه فى المناطق الأقرب إلى خط الاستواء . ويكون الفارق أكبر ما يمكن فى ٢١ من يونية ، ويحدث العكس تمامًا فى نصف الكرة الجنوبى .

جدول (٧ ـ ٧) : طول الفرة الضوئية (من شروق الشمس إلى غروبها) فى تواريخ مختلفة عند خطوط عرض مختلفة فى نصف الكرة الأرضية الشمالى . تزيد الفترة الضوئية النشطة فى عملية التأقت الضوئى عن تلك الفترات بنحو نصف ساعة إلى ساعة ، وهى فترة الضوء غير المباشر التى تسبق شروق الشمس أو تلى غروبها (فترتى الـ twilight) . وتتطابق هذه البيانات فى نصف الكرة الأرضية الجنوبى ، ولكن مع تقديم المواعيد أو تأخيرها بمقدار ٦ أشهر (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨) .

التاريخ	خط العرض والفترة الضوئية بالساعة والدقيقة					
	١٠°	٢٠°	٣٠°	٤٠°	٥٠°	٦٠°
١ من يناير	١١,٣٣	١٠,٥٧	١٠,١٥	٩,٢٣	٨,١٠	٦,٠٣
١٧ من يناير	١١,٣٧	١١,٠٥	١٠,٢٧	٩,٤٢	٨,٣٨	٦,٥١
١ من فبراير	١١,٤٢	١١,١٦	١٠,٤٦	١٠,١٠	٩,٢٠	٨,٠٠
١٧ من فبراير	١١,٥٠	١١,٣٢	١١,١٢	١٠,٤٧	١٠,١٥	٩,٢٣
١ من مارس	١١,٥٦	١١,٤٥	١١,٣٣	١١,١٨	١٠,٥٨	١٠,٢٨
١٧ من مارس	١٢,٠٥	١٢,٠٣	١٢,٠٢	١٢,٠٠	١١,٥٨	١١,٥٥
١ من أبريل	١٢,١٤	١٢,٢٠	١٢,٢٩	١٢,٣٩	١٢,٥٥	١٣,١٧
١٧ من أبريل	١٢,٢٢	١٢,٣٨	١٢,٥٧	١٣,٢٠	١٣,٥٣	١٤,٤٥
١ من مايو	١٢,٢٩	١٢,٥٢	١٣,٢٠	١٣,٥٤	١٤,٤١	١٥,٥٨
١٧ من مايو	١٢,٣٥	١٣,٠٧	١٣,٤٢	١٤,٢٧	١٥,٣٠	١٧,١٨
١ من يونية	١٢,٤٠	١٣,١٦	١٣,٥٧	١٤,٤٩	١٦,٠٤	١٨,١٧
١٧ من يونية	١٢,٤٢	١٣,٢٠	١٤,٠٤	١٥,٠٠	١٦,٢٢	١٨,٥٠
١ من يولية	١٢,٤٢	١٣,١٩	١٤,٠٣	١٤,٥٨	١٦,١٨	١٨,٤٣
١٧ من يولية	١٢,٣٨	١٣,١٢	١٣,٥٢	١٤,٤٢	١٥,٥٣	١٧,٥٧
١ من أغسطس	١٢,٣٣	١٣,٠٢	١٣,٣٤	١٤,١٦	١٥,١٤	١٦,٥١
١٧ من أغسطس	١٢,٢٦	١٢,٤٨	١٣,١١	١٣,٤١	١٤,٢٣	١٥,٣٠
١ من سبتمبر	١٢,١٨	١٢,٣٢	١٢,٤٦	١٣,٠٥	١٣,٣١	١٤,١٠
١٧ من سبتمبر	١٢,٠٩	١٢,١٣	١٢,١٨	١٢,٢٤	١٢,٣٢	١٢,٤٤
١ من أكتوبر	١٢,٠٢	١١,٥٧	١١,٥٣	١١,٤٧	١١,٣٩	١١,٢٨
١٧ من أكتوبر	١١,٥٣	١١,٤٠	١١,٢٥	١١,٠٦	١٠,٤٠	١٠,٠٢
١ من نوفمبر	١١,٤٧	١١,٢٥	١٠,٥٩	١٠,٢٩	٩,٤٨	٨,٤٣
١٧ من نوفمبر	١١,٤٠	١١,١٠	١٠,٣٦	٩,٥٥	٨,٥٨	٧,٢٤
١ من ديسمبر	١١,٣٦	١١,٠٠	١٠,٢٢	٩,٣٣	٨,٢٤	٦,٢٨
١٧ من ديسمبر	١١,٣٢	١٠,٥٦	١٠,١٤	٩,٢٠	٨,٠٦	٥,٥٤

٦ - يحدث كذلك فى نصف الكرة الشمالى أن طول النهار فى الفترة من ٢١ سبتمبر إلى ٢١ مارس يكون أقصر فى المناطق الشمالية منه فى المناطق الأقرب إلى خط الاستواء . ويكون الفارق أكبر ما يمكن فى ٢١ من ديسمبر ، ويحدث العكس تماماً فى نصف الكرة الجنوبى (عن Edmond وآخرين ١٩٧٥) .

وتكون هذه الاختلافات فى الفترة الضوئية مصاحبة بتغيرات أخرى فى درجة الحرارة ، كما يتضح من شكل (٧ ـ ٦) .



شكل (٧ ـ ٦) : التغيرات السنوية فى كل من الفترة الضوئية ودرجة الحرارة فى المناطق المختلفة من العالم . يلاحظ أنه كلما ابتعدنا عن خط الاستواء ، ازداد الفارق بين الصيف والشتاء فى كل من درجة الحرارة والفترة الضوئية (عن Leopold & Kriedmann ١٩٧٥) .

تأثير الفترة الضوئية على نمو وتطور النباتات

تؤثر الفترة الضوئية photoperiod على النباتات عن طريقين ؛ هما :

١ - من خلال تأثيرها على كمية الضوء الكلية التى تتعرض لها النباتات ؛ وبالتالى تؤثر على كمية الغذاء المجهز ، والنمو ، والمحصول . ولهذا يلاحظ أن المحصول يكون أكبر ـ عادة ـ صيفًا فى الدول الشمالية ؛ حيث تزيد الفترة الضوئية إلى نحو ١٧ ساعة يوميا .

٢ - تؤثر الفترة الضوئية تأثيرًا مباشرًا فى نمو وتطور النباتات . ويعرف هذا النوع من الاستجابة للفترة الضوئية باسم التأقت الضوئى Photoperiodism . وقد يكون تأثير الفترة الضوئية متمثلا فى دفع النباتات نحو الإزهار ، أو إلى تكوين درنات أو أبصال أو مدادات . . . إلى غير ذلك من عمليات النمو والتطور التى تتأثر بالفترة الضوئية .

وعادة . . يقصد بتأثير الفترة الضوئية تأثيرها على الإزهار ، ما لم يذكر غير ذلك .

وتقسم النباتات حسب استجابتها للفترة الضوئية إلى ٣ مجموعات ؛ وهى .

١ - نباتات النهار القصير Short-day plants : وهذه لا تزهر إلا إذا زاد طول الليل على حد معين . فيجب أن تتعرض هذه النباتات لفترة ظلام لا تقل عن حد معين حتى تزهر . ومن أمثلتها : الذرة السكرية ، والفول الرومى ، وفول الصويا ، والكايوت ، والروزيل ، والفراولة .

٢ - نباتات النهار الطويل Long-day plants : وهذه لا تزهر إلا إذا قصر طول الليل عن حد معين . فيجب أن تتعرض هذه النباتات لفترة ظلام لا تزيد على حد معين حتى تزهر . ومن أمثلتها : السبانخ ، والفجل ، والشبت .

٣ - نباتات محايدة Day-neutral plants : وهذه لا تتأثر فى إزهارها بالفترة الضوئية ؛ ومن أمثلتها : الطماطم ، والبامية ، والقرعيات .

وكما سبق الذكر . . فإن تأثير الفترة الضوئية لا يقتصر على الإزهار ، بل يمكن أن يكون على :

١ - تكوين الأبصال : فيعتبر البصل والثوم من نباتات النهار الطويل بالنسبة لتكوين الأبصال .

٢ - تهيئة النبات لتكوين الدرنات : فتعتبر البطاطس والطرطوفة واليام من نباتات النهار القصير بالنسبة لتهيئة النبات لتكوين الدرنات ، كما تعتبر البطاطا والكاسافا من نباتات النهار القصيرة بالنسبة لزيادة الجذور فى الحجم (Yamaguchi ١٩٨٣) .

٣ - تكوين المدادات : فتعتبر الفراولة من نباتات النهار الطويل بالنسبة لتكوين المدادات .

٤ - نمو السلاميات فى الفاصوليا .

٥ - تمثيل صبغة الأنثوسيانين فى الكرنب الأحمر (Piringer ١٩٦٢) .

٦ - التأثير على النسبة الجنسية فى القرعيات ؛ حيث تزداد نسبة الأزهار المذكرة إلى الأزهار المؤنثة فى النهار الطويل ، بينما تضيق تلك النسبة - بزيادة عدد الأزهار المؤنثة المتكونة - فى النهار القصير .

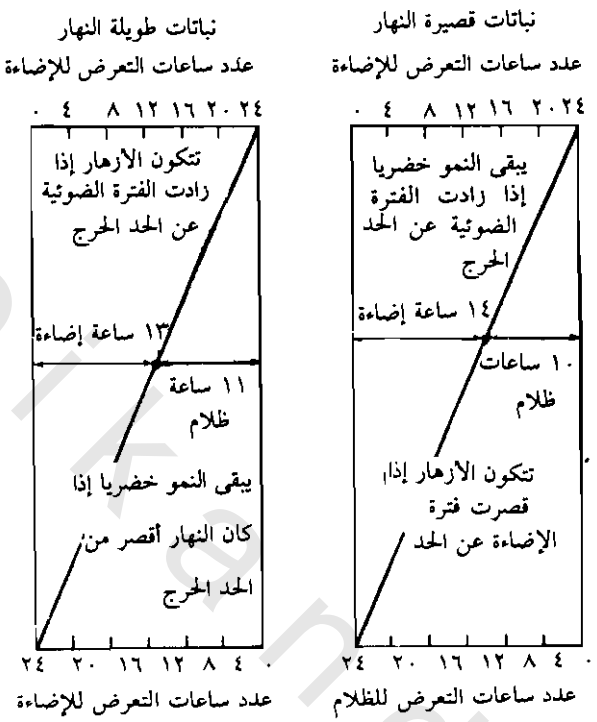
ومما تجدر ملاحظته أن الاستجابة للفترة الضوئية لا تستلزم أبدًا أن يكون النهار قصيرًا بالنسبة لنباتات النهار القصير ، وأن يكون النهار طويلا بالنسبة لنباتات النهار الطويل ؛ بل إن العكس قد يحدث أحيانًا .

فالذرة السكرية تزهر فى المناطق الشمالية صيفًا ؛ حيث يصل طول النهار إلى ١٧ ساعة ، برغم أنها من نباتات النهار القصير ، فى حين أن بعض أصناف السبانخ قد تزهر فى فترة إضاءة أقل من ١٢ ساعة ، برغم أنها من نباتات النهار الطويل .

كذلك قد تكوّن بعض أصناف البصل أبصالا فى نهار طوله ١١ ساعة ، بينما لا يمكن لبعض الأصناف الأخرى أن تكوّن أبصالا فى فترة إضاءة تقل عن ١٦ ساعة ، برغم أن جميع أصناف البصل تُعَدّ من نباتات النهار الطويل بالنسبة لتكوين الأبصال .

فالعبرة بطول فترة الظلام ، وما إن كانت الاستجابة لا تحدث إلا عند زيادتها عن حد معين (نباتات النهار القصير) ، أو إلا عند قصرها عند حد معين (نباتات النهار الطويل) . ويوضح شكل (٧ - ٧) هذه العلاقة بين السبانخ - وهى من نباتات

النهار الطويل ، وتلزمها فترة ظلام لا تزيد على ١١ ساعة حتى تزهر ـ والقرنفل وهو من نباتات النهار القصير ـ وتلزمه فترة ظلام لا تقل عن ١٠ ساعات حتى يزهر .



شكل (٧ ـ ٧) : تأثير الفترة الضوئية على إزهار السبانخ والقرنفل . يلاحظ أن الفترة الضوئية الحرجة هى ١٣ ساعة للسبانخ (على اليسار) ، و١٤ ساعة للقرنفل (على اليمين) (عن Steward ١٩٦٦) .

ويمكن عمليا زيادة طول النهار فى المواسم القصيرة النهار بعمل وميض من الضوء لمدة ٤ ثوان كل دقيقة ليلا ، أو بالإضاءة لمدة ٣ ساعات بعد نهاية النهار . ويستفاد من ذلك فى عدم زيادة طول فترة الظلام عن حد معين ، وبالتالى دفع نباتات النهار الطويل للإزهار . وتختلف الاستجابة لهذه المعاملة بين نباتات النهار الطويل ونباتات النهار القصير .

كما يمكن إطالة فترة الظلام ؛ وذلك بتغطية النباتات بقماش أسود لعدة ساعات يوميا أثناء النهار ؛ وبذلك يمكن دفع نباتات النهار القصير نحو الإزهار فى غير موسمها ، كما فى الأرولا .

الأهمية البستانية للفترة الضوئية

عملياً . . يستفاد من دراسة الفترة الضوئية وتأثيرها على النباتات فى اختيار الصنف والموعد المناسبين للزراعة فى منطقة الإنتاج ، بحيث ينمو المحصول بالطريقة التى تؤدى إلى إنتاج المحصول الاقتصادى الذى زرع من أجله ، فمثلا :

١ - عند زراعة محصول مثل السبانخ يراعى اختيار موعد الزراعة ؛ بحيث يتم إنتاج المحصول الاقتصادى ـ وهو الأوراق ـ قبل زيادة الفترة الضوئية إلى الحد الذى يدفع النباتات نحو الإزهار ، فتفقد بذلك قيمتها الاقتصادية .

٢ - كذلك توجد اختلافات كبيرة بين أصناف السبانخ فى سرعة اتجاهها نحو الإزهار بزيادة الفترة الضوئية ، فيجب اختيار الأصناف الأقل ميلا للإزهار فى الزراعات التى يصاحبها نهار طويل نسبيا .

٣ - عند زراعة البصل يجب اختيار الأصناف التى يمكنها تكوين الأبصال فى الفترة الضوئية السائدة فى منطقة الإنتاج . فتزرع الأصناف التى يمكنها تكوين الأبصال فى فترة ضوئية قصيرة نسبيا فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية . أما الأصناف التى تلزمها فترة ضوئية طويلة ، فلا يمكنها تكوين أبصال جيدة فى مثل هذه المناطق .

٤ - توقيت موعد الزراعة ؛ بحيث تتجه النباتات نحو الإزهار فى الوقت المناسب عند الرغبة فى إنتاج البذور .

٥ - توفير الفترة الضوئية المناسبة لإزهار النباتات فى برامج التربية .

الأشعة غير المرئية وأهميتها

تختلف الأشعة غير المرئية عن الضوء الأبيض العادى . وأهم ما يصل منها إلى النباتات بجرعات محسوسة : الأشعة تحت الحمراء ، والأشعة فوق البنفسجية .

الأشعة تحت الحمراء

تشكل الأشعة تحت الحمراء (الأشعة الحرارية) حوالى ٥١٪ من الأشعة الشمسية الإجمالية التى تصل إلى النباتات . وتلعب الأشعة القصيرة منها ـ التى لا يزيد طول

obeikandl.com

موجاتها على ٨٠٠ مللى ميكرون ـ دوراً فى عملية البناء الضوئى . أما الأشعة الطويلة الموجة منها فإن تأثيرها يقتصر على رفع درجة حرارة النبات .

الأشعة فوق البنفسجية

تشكل الأشعة فوق البنفسجية ـ وهى التى يقل طول موجاتها عن ٣٩٠ مللى ميكرون ـ نحو ٦ ـ ٧٪ من مجموع الأشعة الشمسية التى تصل إلى النباتات . تعد الأشعة ذات الموجات الضوئية الأقل من ٣٠٠ مللى ميكرون منها ضارة بالنباتات ، لكن لا يصل إلى سطح الأرض منها إلا النذر اليسير ؛ لامتصاصها من قِبَلِ طبقة الأوزون . أما الأشعة فوق البنفسجية التى يتراوح طول موجاتها بين ٣٠٠ و ٣٩٠ مللى ميكرون فإنها تخترق الغلاف الجوى وتصل إلى سطح الأرض ، وتلعب دوراً هاما فى تكوين فيتامين « جـ » فى أوراق النباتات ، وفى المساعدة على تقسية النباتات ، وزيادة قدرتها على تحمل الحرارة المنخفضة ، كما تَحُول دون استطالة سيقان البادرات . كذلك تلعب هذه الأشعة دوراً فى تلوين الأوراق فى الخريف ، وفى زيادة تركيز اللون فى بعض الثمار .

ونظراً لأن الزجاج لا يسمح بنفاذ الأشعة فوق البنفسجية . . لذا نجد أن محتوى الخضروات المنتجة فى الصوبات الزجاجية من فيتامين « جـ » يقل بمقدار ٣٠ ـ ٥٠٪ عن نظيرتها المنتجة فى الحقول المكشوفة أو فى الصوبات البلاستيكية التى تسمح بمرور ٧٠ ـ ٨٠٪ من هذه الأشعة (عن بوراس ١٩٨٥) .

تُمتص الأشعة فوق البنفسجية فى النباتات بواسطة الكروموفورات Chromo-phores ، التى تتضمن : الأحماض النووية ، والبروتينات ، وإندول حامض الخليك ، وحامض الأبسيسك ، والفلافوبروتينات . وربما يؤدى امتصاص الأحماض النووية للأشعة فوق البنفسجية إلى انحراف فى تمثيل البروتين ، وإلى زيادة معدل حدوث الطفرات ، وظهور التراكيب الكروموسومية غير العادية .

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 ـ أيضًا ـ 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 .

تأثر الرياح على محاصيل الخضر

تؤدى سرعة الرياح إلى :

١ - اقتلاع النباتات ، وكسر فروع الأشجار ، ورقاد النباتات الطويلة المروية حديثًا .

٢ - تغطية النباتات بالكثبان الرملية .

٣ - إثارة حبيبات الرمل التى تضرب فى النباتات ، محدثة بها أضرارًا كبيرة .

٤ - اختلال التوازن المائى داخل النباتات وذبولها عندما تكون الرياح ساخنة جافة ؛ نظرًا لتسببها فى زيادة سرعة النتح بدرجة أكبر من قدرة الجذور على امتصاص الماء .

٥ - إغلاق الثغور جزئيا عند زيادة سرعة الرياح عن ١٠ كم/ ساعة ، ويؤدى ذلك إلى نقص تبادل الغازات ، وبطء عملية البناء الضوئى .

ولأجل هذا يلزم الاهتمام بإقامة مصدات الرياح حول مزارع الخضر ، كما تجب دراسة تحركات الهواء البارد من أعالى الجبال نحو الوديان ؛ لما لذلك من تأثيرات قد تكون ضارة أو مفيدة ـ حسب المحصول والظروف الجوية السائدة ـ قبل الشروع فى زراعة محاصيل الخضر فى مثل هذه الأماكن .

obeikandl.com

هذا . . وتهبُّ على مصر رياح مختلفة على مدار العام ؛ هى :

١ - الرياح التجارية : وتهب على مصر معظم العام من الشمال أو الشمال الشرقى عادة ، وسرعتها متوسطة ، وتفيد فى تلقيح النباتات الهوائية التلقيح .

٢ - الحسوم أو برد العجوز : وهى رياح شديدة البرودة ، وتهب فى أوائل مارس ، وتستمر لمدة ثمانية أيام . ولهذه الرياح تأثيرات ضارة ؛ إذ إنها :

أ ـ قد تؤدى إلى موت بعض النباتات .

ب ـ تؤخر إنبات البذور .

جـ ـ تؤدى إلى سقوط أزهار النباتات .

٣ - الخماسين : وهى رياح حارة جافة تهب من الجنوب عادة ، وتكون محملة بالأتربة والغبار ، وقد ترتفع درجة الحرارة أثناء هبوبها إلى ٤٥°م . تهب رياح الخماسين عادة أثناء شهور مارس وأبريل ومايو . وفى المتوسط . . فإن عدد أيام رياح الخماسين يكون : ٦ أيام فى فبراير ، و٧ أيام فى مارس ، و٧ أيام فى أبريل ، و٥ أيام فى مايو ، ويومين فى يونيو .

ولهذه الرياح تأثيرات ضارة ؛ إذ إنها تؤدى إلى :

أ ـ سقوط الأزهار والثمار .

ب ـ تمزق الأوراق .

جـ ـ زيادة سرعة النضج .

د ـ ضمور حبوب اللقاح .

هـ ـ زيادة الإصابة بالعنكبوت الأحمر (عن مرسى وآخرين ١٩٥٩) .

وفى دراسة عن تأثير الرياح على نباتات الخضر قام Bubenzer & Weis (١٩٧٤) بتعريض نباتات الفاصوليا والبسلة لرياح سرعتها ٢٤,٨ كيلو متر فى الثانية لمدة ٢٠ دقيقة ، ووجدا أن هذه المعاملة قد أدت إلى نقص المحصول :

١ - فى الفاصوليا بمقدار ٨٪ عندما أُجريت المعاملة فى مرحلة نمو البادرات ، وبمقدار ١٤٪ عندما أُجريت فى مرحلة الإزهار .

٢ - فى البسلة بمقدار ١٦٪ ، سواء أُجريت المعاملة فى مرحلة نمو البادرات ، أم فى مرحلة الإزهار .

كما وجد Mitchell وآخرون (١٩٧٥) أن هز نباتات الطماطم برفق مرة أو مرتين يوميا أدى إلى نقص عدد العقد على الساق وعدد الأوراق ، مع قصر السلاميات ، وتقزم النبات ، وحدوث انتفاخ عند العقد ، وتدلى نصل الأوراق لأسفل epinasty ، مع تلون الأوراق الحديثة بلون أخضر داكن ، وزيادة التفرع الجانبى للنبات . وقد اقترح الباحثون مصطلح « سيسمومورفوجينيسس Seismomorphogensis » لوصف التأثير الذى تحدثه الرياح على النباتات .

تأثير الأمطار على محاصيل الخضر

لا تخفى أهمية الأمطار فى حالة الاعتماد على ماء المطر بدلاً من الرى . وتجب فى هذه الحالة دراسة توزيع الأمطار . والكمية الكلية لماء المطر على مدار العام قبل التخطيط لزراعة محاصيل الخضر .

ويفضل دائماً إنتاج البذور فى المناطق غير الممطرة ؛ نظراً لأن الأمطار تساعد على :

١ - انتشار بعض الأمراض الفطرية والبكتيرية التى تنتقل عن طريق البذور ، كما فى عديدٍ من أمراض البسلة والفاصوليا .

٢ - انتثار البذور من الثمار الجافة قبل حصادها ؛ كما فى الخس .

هذا ويقسم العالم إلى ثلاث مناطق حسب معدل تساقط الأمطار السنوى فيها كالتالى :

١ - المناطق الجافة Arid : ويقل معدل تساقط الأمطار فيها عن ٢٥ سم سنويا .

٢ - المناطق شبه الجافة Semi arid : ويتراوح المعدل السنوى لتساقط الأمطار فيها بين ٢٥ و ٥٠ سم .

٣ - المناطق تحت الرطبة Subhumid : ويتراوح المعدل السنوى لتساقط الأمطار فيها بين ٥٠ و ١٠٠ سم .

٤ – المناطق الرطبة Humid : ويتراوح المعدل السنوى لتساقط الأمطار فيها بين ١٠٠ و١٥٠ سم .

٥ – المناطق المبتلة Wet : ويزيد معدل تساقط الأمطار فيها عن ١٥٠ سم سنويا (Yamaguchi ١٩٨٣) .

وتعتبر مصر من المناطق الجافة التى يقل معدل تساقط الأمطار السنوى فيها كثيرًا ؛ حيث يبلغ المعدل ١٣,٣ سم فى المناطق الساحلية ، وينخفض المعدل إلى النصف فى الدلتا ، وإلى الربع فى مصر الوسطى ، وينعدم المطر تقريبًا فى مصر العليا . كما تتساقط معظم الأمطار خلال الفترة من نوفمبر حتى مارس ، وتنعدم خلال شهور الصيف (جدول ٧ ـ ٨) .

جدول (٧ ـ ٨) : معدل تساقط الأمطار السنوى فى مصر (بالملليمتر) .

الشهر	المنطقة			
	الساحلية	الدلتا	مصر الوسطى	مصر العليا
يناير	٢٨	١٦	٩	–
فبراير	٢٢	١٢	٥	–
مارس	١٤	٩	٥	–
أبريل	٤	٢	١	–
مايو	٢	٢	١	–
يونيه	–	–	–	–
يولية	–	–	–	–
أغسطس	–	–	–	–
سبتمبر	–	١	–	–
أكتوبر	٧	٥	٢	–
نوفمبر	٢١	٧	٢	–
ديسمبر	٣٥	١١	٦	–
المجموع	١٣٣	٦٥	٣٠	–

الرطوبة النسبية وأهميتها

يتراوح المتوسط العام للرطوبة النسبية فى مصر بين ٤٤٪ فى شهر مايو و ٦١٪ فى شهر نوفمبر ، لكن المعدل العام يزداد كلما اتجهنا شمالاً ، ويقل كلما اتجهنا جنوبًا ؛ فمثلا تكون الرطوبة النسبية كالتالى فى كل من الإسكندرية وأسوان :

الشهـر	فى أسوان	فى الإسكندرية
مـارس	٣٦٪	٦٧٪
ديسمبر	٥٣٪	٧٤٪

وبينما تجود بعض المحاصيل فى ظروف الرطوبة النسبية العالية ـ كما فى : القنبيط ، والخس ، والسبانخ ، والخضر الورقية عموما ـ فإن محاصيل أخرى تجود فى الجو الجاف ؛ مثل : البطيخ والقاوون . كما تعمل الرطوبة النسبية المرتفعة على تخفيف الأثر الضار لكل من الحرارة المنخفضة والحرارة المرتفعة فى بعض محاصيل الخضر ؛ مثل : الطماطم والفاصوليا ؛ ولهذا السبب .. تنجح العروة الصيفية المتأخرة من الطماطم فى المناطق الساحلية وشمال الدلتا .

تأثير الرطوبة النسبية على نمو وتطور محاصيل الخضر

يمكن إيجاز تأثير الرطوبة النسبية على نمو وتطور محاصيل الخضر فيما يلى :

١ - ليس للرطوبة النسبية التى تتراوح بين ٥٥٪ ، و٩٠٪ عند ٢٠°م تأثير يذكر على نمو وتطور معظم المحاصيل البستانية ، ولكن الرطوبة النسبية الأقل من ذلك تعرض النباتات للشد الرطوبى ؛ وبذا .. تتسبب فى نقص نموها ، كما قد تزيد الرطوبة النسبية ـ الأعلى من ذلك ـ من الإصابات المرضية ، وقد تعرض النباتات للإصابة ببعض العيوب الفسيولوجية .

٢ - قد تزيد الرطوبة العالية من أضرار ملوثات الهواء عند تواجدها فى بيئة النباتات .

٣ - قد تفيد الرطوبة النسبية العالية فى زيادة كفاءة المقاومة الحيوية عند استخدام الفطريات فى مكافحة الحشرات .

٤ - تفيد زيادة الرطوبة النسبية فى نجاح التكاثر بالعُقل الورقية ، وعند تقسية النباتات الناتجة من مزارع الأنسجة .

٥ - قد يؤدى توافق ارتفاع الرطوبة النسبية مع ارتفاع شدة الإضاءة إلى ارتفاع شديد فى درجة حرارة الأوراق - بسبب نقص النتح أو انعدامه مع زيادة الطاقة الحرارية المستمدة من الضوء - الأمر الذى قد يُحْدِث تلفًا بالأوراق .

٦ - تؤدى الزيادة الكبيرة فى الرطوبة النسبية - كما يحدث فى البيوت المحمية عند ضعف التهوية - إلى انخفاض معدل النتح من الأوراق ؛ وبذا . . يقل وصول الكالسيوم - وهو العنصر الذى ينتقل فى النبات مع تيار الماء المفقود بالنتح - إلى مختلف الأعضاء النباتية ، وخاصة تلك التى ينعدم فيها النتح تقريبا ، مثل الثمار والأوراق الداخلية .

ومن العيوب الفسيولوجية التى يسببها نقص وصول الكالسيوم إلى الأعضاء النباتية التى تتأثر به - بالرغم من توفر العنصر فى التربة - احتراق حواف الأوراق فى الفراولة والشيكوريا والخس ، والقلب الأسود فى القنبيط والكرفس وكرنب بروكسل ، وتعفن الطرف الزهرى فى الطماطم والفلفل .

ويعمل الضغط الجذرى root pressure (وهو خاصية انسياب الماء من الجذور إلى أعلى بفعل الضغط الآسموزى بالجذور وليس نتيجة لجذب الماء بالنتح) على توفير جزء من الكالسيوم اللازم للنبات . ويشاهد أثر الضغط الجذرى بحدوث ظاهرة الإدماع guttation بخروج الماء على صورة قطرات صغيرة من نهايات العروق بالأوراق (وهى التى تعرف بالثغور المائية hydathodes) . وتعمل الرطوبة النسبية العالية ليلاً على زيادة الضغط الجذرى . كذلك يزيد الضغط الجذرى بانخفاض تركيز الأملاح فى الماء الأرضى .

٧ - قد تتأثر عمليتا التلقيح والإخصاب - كذلك - بالرطوبة النسبية ؛ ففى الطماطم . . كانت أنسب رطوبة نسبية لذلك هى ٠,٧ كيلو باسكال ، بينما أوضحت

دراسة أخرى أن الرطوبة النسبية لم تكن لها أية تأثيرات فى هذا الشأن عندما تراوح المجال الرطوبى بين ١,٠ و ٢,٠ كيلو باسكال ، ولكن الرطوبة العالية جداً (أقل من ٠,٢ kPa vpd) أدت إلى عدم انتثار حبوب اللقاح بسهولة من المتوك ، بينما لم تلتصق حبوب اللقاح بسطح المياسم عند انخفاض الرطوبة إلى أكثر من ١,٠ كيلو باسكال .

٨ - وجد كذلك أن زيادة الرطوبة النسبية تؤدى إلى زيادة مساحة الورقة بالنسبة لوحدة الوزن الجاف من النبات ـ وهى القيمة التى تعرف باسم نسبة المساحة الورقية leaf Area Ratio (أو LAR) ـ ولكنها تؤدى ـ كذلك ـ إلى انخفاض الكفاءة التمثيلية Net Assimilation Rate (أو NAR) لتلك المساحة الورقية . كما وجد أن معدل النمو المحصولى Crop Growth Rate (أو CGR) فى الطماطم يزداد بزيادة الرطوبة النسبية من ١,٠ إلى ٢,٠ كيلو باسكال .

٩ - تؤكد عديد من الدراسات وجود تأثيرات إيجابية للرطوبة النسبية ـ فيما بين ٢,٠ ، و٠,٥ kPa (كيلو باسكال kilopascals) ـ من الفرق فى ضغط بخار الماء vapor pressure deficit (vpd) على عملية البناء الضوئى ؛ حيث يزيد البناء الضوئى بزيادة الرطوبة النسبية ، وتزيد معها ـ تحت نفس الظروف ـ قدرة الثغور على تبادل الغازات Stomatal Conductivity . ويدل ذلك على نقص الشد الرطوبى فى الأوراق عند زيادة الرطوبة . وبالمقارنة . . فإن نقص الرطوبة النسبية يؤدى إلى زيادة فقد الرطوبة من الأوراق ؛ الأمر الذى يترتب عليه انغلاق الثغور ، والحد من تبادل غاز ثانى أكسيد الكربون ـ اللازم لعملية البناء الضوئى ـ عبرها .

كذلك يزداد النمو الخضرى الكلى للنباتات بزيادة الرطوبة النسبية فى الهواء المحيط بها ؛ الأمر الذى يترتب عليه زيادة فى معدل البناء الضوئى بالنسبة للنبات ككل . وتحدث أكبر زيادة فى معدل النمو النباتى عند زيادة الرطوبة النسبية بالقدر الذى يصاحبه انخفاض الـ vpd من ١,٨ إلى ١,٠ كيلو باسكال . وليست لزيادة الرطوبة النسبية إلى ٠,٣ كيلو باسكال تأثيرات إضافية هامة على النمو النباتى (عن Grange & Hand ١٩٨٧) .

وقد كان للرطوبة النسبية العالية تأثير إيجابى على المحصول فى كل من الخس والكيل . كما أدت الرطوبة العالية (٨٥٪) إلى زيادة محصول درنات البطاطس مقارنة بالرطوبة المنخفضة (٥٠٪) ، بينما كانت المساحة الورقية أكبر فى الرطوبة المنخفضة .

كذلك أدت الرطوبة النسبية المرتفعة (٨٥٪) إلى زيادة المحصول ، والنمو النباتى الكلى الصالح للأكل edible biomass ، ومعدل النمو ، ونشاط البناء الضوئى ، ونشاط الثغور فى البطاطا ، وذلك مقارنة بالرطوبة المنخفضة (٥٠٪) (Mortley وآخرون ١٩٩٤) .

ولكن وجد فى دراسة على الفاصوليا (O'Leary & Knecht ١٩٧١) أن الرطوبة النسبية المرتفعة جدا (من ٩٥ ـ ١٠٠٪) لم يكن لها أى تأثير على الوزن الجاف أو الطازج للنباتات ، أو على محصول بذور الفاصوليا ، بالمقارنة بالرطوبة النسبية المنخفضة (٣٥ ـ ٤٠٪) أو المتوسطة (٧٠ ـ ٧٥٪) . وانحصر تأثير الرطوبة العالية فى نقص الماء المفقود بالنتح مع زيادة فى المادة الجافة بالنبات لكل وحدة من الماء المستهلك فى النمو ، بالمقارنة بالمستويات الأخرى من الرطوبة النسبية .

تأثير البرق على محاصيل الخضر

عندما يلامس البرق سطح الأرض تنتشر طاقة كهربائية كبيرة فى اتجاه شبه دائرى تقريباً ، ويتوقف المدى الذى يصل إليه انتشار هذه الطاقة الكهربائية على نسبة الرطوبة الأرضية فى الطبقة السطحية من التربة . فكلما ازدادت الرطوبة الأرضية ازداد اتساع دائرة الضرر .

وعادة لا يلاحظ ضرر البرق إلا بعد مضى عدة أسابيع من وقت حدوثه . ويظهر الضرر فى صورة مساحة شبه دائرية قاحلة ماتت فيها كل النباتات أو معظمها . وعلى حواف هذه الدائرة تكون النباتات متوقفة جزئيا عن النمو ، ومعرضة بدرجة كبيرة للإصابات المرضية ، لكن تختلف درجة الإصابة باختلاف النباتات .

ففى الكرنب ربما لا تكون الشحنة الكهربائية كافية لموت النباتات ، وحينئذ فإنها تخترق الساق فى مستوى سطح التربة ، محدثة ضررًا بسيطًا فى نسيج البشرة والحزم

الوعائية ، ثم تتخلل النخاع العصيرى ؛ حيث تموت الخلايا النخاعية التى توجد أعلى وأسفل مكان اختراق الشحنة الكهربائية ، تاركة فراغاً محاطاً بلون بنى داكن من أنسجة الخلايا الجافة التى تحللت . وقد يتبع ذلك ظهور جذور عرضية جديدة كثيرة من المحيط الداخلى للحلقة الوعائية .

أما فى الطماطم ، فإن الفرصة تكون أكبر لانتشار الشحنة الكهربائية خلال نخاع الساق ، وتظهر أول الأعراض بعد ساعات قليلة من وقت تفريغ الشحنة فى صورة ذبول للأوراق الطرفية ، يتبع ذلك ذبول باقى الأوراق والفروع ، وانهيار السيقان المصابة . وقد يمتد الضرر خلال أعناق الثمار إلى داخلها ؛ حيث يحدث بها تحلُّل جزئى . وقد يمتد الضرر إلى سطح الثمار ؛ محدثًا بثورًا تتحول فى النهاية إلى اللون البنى .

ويتماثل الضرر فى البطاطس مع الضرر فى الطماطم . وقد تحدث أحياناً أضرار للدرنات ؛ فتظهر بها مساحات منخفضة داكنة غير منتظمة فى الشكل أو فى المساحة (Walker ١٩٦٩) .

تأثير البَرَدِ على محاصيل الخضر

يُحدث البَرَدُ (الهيل) hail أضرارًا شديدة لحقول الخضر ، ويتوقف مدى الضرر على حجم حبات البَرَدِ وفترة انهماره . ويعد إتلاف الأوراق والسيقان وتكسيرها وإتلاف الأزهار وتجريح الثمار ـ ومن ثم نقص المحصول ـ أهم أضرار البرد .

ويمكن أن تصاب الثمار وأعضاء التخزين الأخرى بلفحة الشمس إذا أدى البرد إلى تجريد النباتات من أوراقها ، ثم أعقب ذلك فترة من الجو الصحو والحرارة العالية .

وإذا أدت موجة البَرَدِ إلى إتلاف أوراق البصل فى نهاية موسم النمو ، فإن النبات إما أن يُكوِّن أوراقًا جديدة متأخرة (إذا سمحت الظروف البيئية وعمليات الخدمة التى تعطى للمحصول بذلك) ؛ الأمر الذى يؤدى إلى إنتاج أبصال ذات رقاب سميكة ـ وهو عيب فسيولوجى ـ وإما لا يُكوِّن النباتُ أوراقًا بديلة لتلك التى أتلفت ؛ الأمر الذى يترتب عليه نقص المحصول ، وتَعَرُّض الأبصال المتكونة للفحة الشمس إذا بقيت فى الأرض دون حصاد .

وقد أجرت عديد من شركات التأمين السويسرية ، والألمانية ، والهولندية (Bürger ١٩٩٣) دراسات حول تأثير البَرَد على محصول البطاطس ؛ تبين منها أن أكثر مراحل النمو النباتى التى يتأثر فيها النبات بالبَرَد هى عند تفتح الأزهار ، أو قبل ذلك أو بعده بفترة وجيزة . ويعود نقص المحصول ـ أساسًا ـ إلى نقص المساحة الورقية ، بسبب إتلاف البَرَد للأوراق . هذا . . إلا أن غالبية الأصناف ـ وخاصة المتأخرة النضج منها ـ يمكنها إنتاج أوراقٍ جديدة ؛ ولذا . . يندر أن يفشل المحصول تماما بسبب البَرَد .

وإذا سقط البَرَد أثناء تفتح أزهار نباتات البطاطس ، وأدى إلى إتلاف جميع أوراق النبات . . فإن المحصول ينخفض بمقدار ٦٠٪ ، بينما يؤدى تلف ٥٠٪ من الأوراق إلى نقص المحصول بمقدار ٢٠ ـ ٣٠٪ .

وبالرغم من أن البَرَدَ لا يحدث ضررًا مباشرًا للدرنات ـ التى تكون تحت سطح التربة ـ إلا أنه يؤدى إلى نقص حجم الدرنات المتكونة ووزنها النهائى عند الحصاد ، وزيادة محتواها من السكريات المختزلة ؛ الأمر الذى يؤدى إلى اكتساب الشبس والبطاطس المقلية المصنعة منها لونًا بنيا أو أسود غير مرغوب فيه .

تأثير غاز ثانى أكسيد الكربون على محاصيل الخضر

تأثير الغاز على المناخ

بالرغم من الأهمية القصوى لغاز ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى ، إلا أن الغاز ذاته لا يتغير بتغير المناخ السائد من منطقة لأخرى على سطح الكرة الأرضية ، وإنما هو الذى يؤثر فى المناخ كله على سطح هذا الكوكب .

لقد أصبح من المسلم به أن النشاط الإنسانى المتزايد ـ المتمثل فى إحراق الوقود الحفرى من فحم وبترول وغاز طبيعى ، وإزالة الغابات ، والإفراط فى الرعى وما ترتب على ذلك من تصحر ـ أدى إلى زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى . وقد قدرت هذه الزيادة بنحو جزء ونصف إلى جزأين فى المليون سنويا منذ نحو ٢٥ عاما . كما صاحب إحراق الوقود الحفرى زيادة مماثلة فى المطر الحامضى ، وفى كل من غازات الأوزون ، وثانى أكسيد الكبريت ، وأكاسيد النيتروجين .

كما أصبح من المسلم به كذلك أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى أدت ـ وتؤدى ـ إلى رفع درجة الحرارة على سطح هذا الكوكب ؛ ذلك لأن الغاز يعد « شفافا » بالنسبة للجزء المنظور من الموجات الضوئية الصادرة عن الشمس ـ وهى التى تشكل الجزء الأكبر من الطاقة التى تصل إلينا من الشمس ـ إلا أن جزيئات غاز ثانى أكسيد الكربون الموجودة فى الغلاف الجوى تمتص كثيرًا من الطاقة الحرارية التى تنطلق من الأرض فى صورة أشعة تحت حمراء طويلة الموجة ، ثم تعيد إشعاعها ـ مرة أخرى ـ فى جو الأرض ، بدلاً من انطلاقها إلى الفضاء الخارجى .

وقبل النشاط الإنسانى المتسارع منذ منتصف القرن العشرين كان تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى بالقدر الذى يسمح بتسرب الطاقة الحرارية المنبثة من الأرض بما يكفى لاحتفاظ الأرض بتوازنها الحرارى . ولكن .. مع زيادة تركيز الغاز ، أصبح قدر أكبر من الطاقة الحرارية المنبثة من الأرض يعود ثانية إلى جو الأرض بدلا من انطلاقه إلى الفضاء الخارجى ؛ الأمر الذى أدى ـ ويؤدى ـ إلى ارتفاع تدريجى فى درجة حرارة الأرض .

ونظرا لأن غاز ثانى أكسيد الكربون يعمل ـ بالنسبة لكوكب الأرض ـ على منع فقد الحرارة المنبثة من الأرض ـ كما يفعل الغلاف الزجاجى بالنسبة للصوبة الزجاجية ـ لذا .. عُرفت هذه الظاهرة باسم « تأثير الصوبة Greenhouse Effect » ، علما بأن المقصود بالصوبة هو كوكب الأرض .

وقد نشط الباحثون فى إيجاد الصيغ الرياضية التى تتنبأ بمقدار الزيادة فى درجة حرارة كوكب الأرض مع زيادة تركيز نسبة الغاز فى الغلاف الجوى . وتُقدَّر هذه الزيادة فى إحدى الدراسات بنحو ٢,٨ م° عند تضاعف تركيز الغاز ، بينما تقدرها دراسة أخرى بنحو ٢م° عند خط الاستواء ، مقابل زيادات أكبر فى درجة الحرارة كلما اتجهنا نحو القطبين ؛ بحيث تكون الزيادة حوالى ٤م° عند خط عرض ٥٠° شمالا ، وسبع درجات مئوية عند خط عرض ٧٠° شمالا .

ويمكن تلخيص معظم التنبؤات المتعلقة بالارتفاع فى درجة حرارة كوكب الأرض عند تضاعف تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون بأن متوسط الارتفاع فى درجة الحرارة ـ

عند مختلف خطوط العرض ـ سيتراوح بين ٢ْ و ٣,٥ْم ، بمدى يتراوح بين ١,٦ْ و٤,٥ْم ، ومتوسط عام للكرة الأرضية يقدر بنحو ٢,٥ْ ـ ٣ْم ، علما بأن التدفئة تصل إلى أقصاها عند القطبين ؛ الأمر الذى يترتب عليه ذوبان جزء من الثلوج المتراكمة بها ؛ مما يرفع من مستوى المياه فى البحار والمحيطات إلى درجة تغطية مياه البحار جزءًا كبيرًا من اليابسة .

ولكن . . مقابل هذه النظرة التشاؤمية لتلك الظاهرة ، فإن هناك وجهة نظر أخرى أكثر إشراقًا ؛ تعتمد على حقيقة أن التركيز الحالى لغاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى أقل من التركيز الأمثل لعملية البناء الضوئى . ويؤكد هذه الحقيقة أن زيادة تركيز الغاز فى البيوت المحمية ـ فى دول الشمال ـ إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون ـ مقابل التركيز العادى الذى يبلغ نحو ٣٥٠ جزءًا فى المليون ـ أصبح إجراء روتينيا لزيادة محصول الصوبات من الخضر ونباتات الزينة .

ويتوقع العلماء أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى ستؤدى إلى زيادة الإنتاج من مختلف المحاصيل الزراعية . ويُقدّر أن مضاعفة تركيز الغاز ستؤدى إلى زيادة معدل البناء الضوئى فى النباتات الـ C_3 بنحو ٥٠٪ ، مع زيادة المحصول والوزن الجاف من ٢٠ ـ ٤٥٪ (عن Wittwer ١٩٨٣) .

وللقراءة الممتعة فى هذا الموضوع . . يراجع جريبين (١٩٩٢ ، ترجمة أحمد مستجير) .

تأثير الغاز على النمو المحصولى تحت ظروف الحقل

تستفيد النباتات من زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء المحيط بها ، وهو أمر تؤكده عديد من الدراسات التى أجريت على النباتات النامية فى البيوت المحمية فى المناطق التى لا تلزم فيها التهوية لخفض درجة الحرارة ، وخاصة عندما تكون حرارة الهواء الخارجى شديدة الانخفاض ؛ الأمر الذى يخشى معه من حدوث انخفاض شديد فى درجة الحرارة داخل الصوبة عند تهويتها ، أو الذى تترتب عليه زيادة كبيرة فى تكلفة التدفئة ؛ ولذا يلجأ منتجو الخضر المحمية فى تلك المناطق إلى زيادة تركيز الغاز ـ بالوسائل الصناعية ـ فى جو الصوبة .

ونظراً لصعوبة التحكم فى تركيز الغاز فى الزراعات المكشوفة ؛ لذا . . لم يحاول أحد من الباحثين دراسة تأثير تركيز الغاز فى مثل هذه الظروف ، إلا أن الأنفاق المنخفضة يمكن أن تمثل بيئة محددة يمكن التحكم فيها فى الأيام التى لا يجوز فيها فتحها لتهويتها بسبب شدة انخفاض الحرارة فى الجو الخارجى . ففى مثل هذه الظروف ينخفض تركيز الغاز بشدة من جَرّاء استنفاذه فى عملية البناء الضوئى ، وتفيد زيادة تركيز الغاز ـ فى ظروف كهذه ـ فى زيادة المحصول . وتكون الزيادة فى المحصول أكبر عند زيادة تركيز الغاز عن المستوى الطبيعى له فى الهواء الجوى .

ففى دراسة أجريت على الخيار والكوسة والطماطم ، أضيف الغاز إلى أنفاق الزراعة ـ من خلال أنابيب الرى بالتنقيط فى غير أوقات الرى ـ بحيث ظل تركيز الغاز داخل النفق يتراوح بين ٠,٧٪ و١٪ (يبلغ التركيز الطبيعى للغاز حوالى ٠,٣٥٪) خلال فترة الإضاءة يوميا لمدة حوالى أربعة أسابيع بعد الإنبات . وقد أدت هذه المعاملة إلى زيادة الوزن الجاف للنباتات ، وزيادة المحصول بنسبة ٣٠٪ للخيار ، و٢٠٪ للكوسة ، و٣٢٪ للطماطم . وقد شكّلت التغذية بثانى أكسيد الكربون أقل من ١٠٪ من التكلفة الإجمالية السابقة للحصاد (عن Hartz وآخرين ١٩٩١) .

كما درس Fierro وآخرون (١٩٩٤) تأثير زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون من ٣٥٠ إلى ٩٠٠ جزء فى المليون لمدة ثمانى ساعات يوميا ـ خلال فترة إنتاج الشتلات داخل البيوت المحمية ـ على نمو محصولى الطماطم والفلفل عند زراعتهما بعد ذلك تحت ظروف الحقل . ووجد الباحثون أن هذه المعاملة أدت ـ عند زيادة الإضاءة لمدة ٣ أسابيع قبل الشتل ـ إلى زيادة وزن الشتلات الجاف بنسبة حوالى ٥٠٪ للنموات القمية ، و٤٩٪ ، و٦٢٪ للنمو الجذرى فى كل من الطماطم والفلفل على التوالى ، بينما ازداد المحصول فيهما بنسبة ١٥٪ ، و١١٪ على التوالى .