thermotolerance) سريعًا – ربما فى خلال ساعات؛ مما يمكنها من البقاء فى حرارة تُعد قاتلة لها. ويتم اكتساب صفة القدرة على تحمل الحرارة العالية تلقائيًّا بصورة ذاتية خلوية، ويكون ذلك – عادة – نتيجة لسبق تعرض النبات لمعاملة حرارية غير قاتلة قد تكون لفترة قصيرة. ويؤدى اكتساب النبات لمستوى عال من القدرة على تحمل الحرارة العالية إلى حماية الخلايا والنبات من الحرارة القاتلة التى قد يتعرض لها لاحقًا. كذلك يمكن أن تستحث القدرة على تحمل الحرارة بفعل حدوث زيادة تدريجية فى الحرارة إلى مستوى قاتل. وهذا الاستحثاث يتضمن عددًا من العمليات، منها: تكوين الـ HSPs، ودورات أيض الـ ABA (حامض الأبسيسك)، والـ ROS، والـ SA (حامض السلسيلك). ويعد ذلك كله بمثابة تغيير مؤقت فى برمجة التعبير الجينى المؤثر فى كل تلك الصفات والعمليات، وهو ما يعرف باسم الاستجابة للصدمة الحرارية heat shock response (Wahid وآخرون ٢٠٠٧).

طبيعة الأضرار التى تحدثها الحرارة العالية

تقسم الأضرار التى تنشأ عن تعرض النباتات للحرارة العالية إلى ثلاث فئات، كما يلى:

١- أضرار بسيطة نسبيًّا:

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 – عند ارتفاع درجة الحرارة – 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 – مثلاً – أن ارتفاع حرارة الورقة بمقدار ٥°م مئوية 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 تدريجيًّا إلى أن يتوقف تمامًا 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)، وفقد 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 أمثله 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 جدًّا، حيث يتراوح من ٧١–١٢٠ لعديد من الأنواع المحصولية.

التغيرات الفسيولوجية التى تصاحب الشد الحرارى

يعد الشدّ الحرارى الذى تسببه الحرارة العالية مشكلة زراعية كبيرة فى كثير من المناطق بالعالم؛ فيمكن للحرارة العالية — سواء أكانت عرضية أم مستمرة – أن تُحدث تغيرات كثيرة مورفولوجية وتشريحية وفسيولوجية وكيميائية حيوية؛ وهى التى تؤثر فى النمو والتطور، وتقود إلى خفض كبير فى المحصول الاقتصادى. ويمكن الحد من التأثيرات السيئة للشدّ الحرارى بتربية أصناف جديدة قادرة على تحمل تلك الظروف، ويتعين لتحقيق هذا الهدف الإلمام الكامل بالاستجابات الفسيولوجية النباتية للحرارة العالية، وآليات تحمل الحرارة، والاستراتيجيات الممكنة لتحسين تحمل النباتات للحرارة العالية.

يؤثر الشدّ الحرارى على النمو النباتى فى جميع مراحل تطوره، إلاّ أن الحد الحرارى يختلف كثيرًا بين مختلف مراحل النمو. فمثلاً .. قد تبطء الحرارة العالية إنبات البذور أو تمنعه كلية حسب النوع النباتى ومستوى الشدّ، وفى المراحل التالية قد تؤثر الحرارة العالية سلبًا على البناء الضوئى، والتنفس، والعلاقات المائية، وثبات الأغشية، ومستويات الهرمونات ومنتجات الأيض الأولية والثانوية. كذلك نجد فى