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 ٨ °م. ولكن .. بالرغم من استمرار تكوُّن الأوراق الجديدة بصورة طبيعية عند نقل النباتات إلى حرارة ٢٢ °م/١٨ °م (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.

طبيعة تحمل البرودة

دور الأحماض الدهنية غير المشبعة بالغشاء البلازمى

تحتوى الأغشية البروتوبلازمية للخلايا على أحماض دهنية غير مشبعة بدرجة عالية، وهى التى يُشار إليها باسم trienoic fatty acids (اختصارًا: TFA) ورغم تباين كمية تلك الأحماض فى النوع النباتى الواحد تبعًا للبيئة التى يعيش فيها النبات، فإن النباتات ذات القدرة العالية على تحمل الحرارة المنخفضة — مثل القمح — تزداد فيها كمية الـ TFA لتمثل أكثر من ٨٠٪ من جميع الأحماض الدهنية فى الغشاء البلازمى حينما تتعرض لحرارة منخفضة. وفى المقابل.. فإن بعض النباتات الصحراوية والتى تتحمل الأجواء الحارة والجفاف تنخفض فيها بوضوح نسبة الـ TFA فى البيئات الحارة. ولذا.. فإنه يعتقد بأن

الـ TFA تلعب دورًا هامًّا فى تحمل النباتات للبرودة والحرارة. ولقد أمكن إنتاج نباتات محولة وراثيًّا ذات قدرة عالية على تحمل الحرارة بتثبيط نشاط الإنزيم omega-3 fatty acid desaturase الذى يقوم بتمثيل الـ TFA (Iba ٢٠٠٦).

وقد تبين لدى مقارنة الأحماض الدهنية فى الأغشية الخلوية للنباتات الحساسة للبرودة بتلك التى تكون فى النباتات المتحملة لها، وفى النباتات التى أقلمت على البرودة مقابل تلك التى لم تؤقلم.. تبين وجود وفرة أكبر من الأحماض الدهنية التى تحتوى إما على رابطتين غير مشبعتين (حامض اللينوليّك linoleic acid)، وإما على ثلاث روابط غير مشبعة (حامض اللينولينك linolenic acid) بكل حامض دهنى من الدهون الفوسفورية التى توجد فى الأغشية الخلوية بالنباتات الأكثر تحملاً للبرودة عن الأقل تحملاً، وبالنباتات الأكثر تأقلمًا على البرودة عن غير المؤقلمة، هذا مع العلم بأن الأحماض الدهنية غير المشبعة تجعل الأغشية الخلوية أكثر سيولة فى الحرارة المنخفضة، مما يمنع صلابتها عند انخفاض الحرارة إلى أقل من ١٠°م.

ويبين جدول (٢-١) نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة إلى الأحماض الدهنية المشبعة فى دهون الغشاء الخلوى للميتوكوندريات فى عدد من النباتات الحساسة لأضرار البرودة والمتحملة لها.

جدول (٢-١): نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة إلى الأحماض الدهنية المشبعة فى دهون الغشاء الخلوى للميتوكوندريات فى عدد من النباتات الحساسة لأضرار البرودة والمتحملة لها (عن Hopkins ١٩٩٥).

النبات	الجزء النباتى	النسبة
نباتات حساسة لأضرار البرودة:		
القاصوليا	النموات الخضرية	٢,٨
البطاطا	الجذور الخازنة	١,٧
الذرة	النموات الخضرية	٢,١
الطماطم	الثمار الخضراء	٢,٨

(يتبع)

تابع جدول (٢-١)

النبات	الجزء النباتى	النسبة
نباتات متحملة لأضرار البرودة:		
القنبيط	البراعم	٣,٢
اللفت	الجذور	٣,٩
البسلة	النموات الخضرية	٣,٨

ولقد أحدث تعريض نباتات الخيار لحرارة ٦°م أضرارًا لا رجوع فيها أدت إلى موتها. فبعد التعرض لتلك الدرجة انخفض المحتوى الكلى للزيوت المؤيَّنة (polar) بنحو ٣٠٪، وكان الانخفاض فى الدهون الجالاكتونية (galacto) والكبريتية (sulfo) أشد عما فى الدهون الفوسفورية (phospholipids) كذلك نتج عن معاملة الحرارة المنخفضة انخفاضًا طفيفًا فى نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة إلى الأحماض الدهنية المشبعة، وزيادة فى نسبة حامض اللينولينك linolenic إلى حامض اللينوليك linoleic (Novitskaya وآخرون ١٩٩٩).

أهمية مضادات الأكسدة فى تقليل أضرار البرودة

تُنتج جميع الكائنات الحية عناصر نشطة فى الأكسدة reactive oxygen species (اختصارًا: ROSs)، منها السوبر أوكسيد (O_2^-)، وفوق أكسيد الأيدروجين (H_2O_2)، والـ hydroxyl radical (أى OH). يمكن لهذه العناصر النشطة التفاعل مع عديد من المركبات الخلوية؛ مما يؤدى إلى فقدان لون الصبغات، والإضرار بالبروتينات والأحماض النووية، وأكسدة دهون الأغشية البروتوبلازمية. وتؤدى أضرار الأكسدة الشديدة إلى موت الخلايا والأنسجة.

ويعد الكاتاليز catalase الإنزيم الفاعل الرئيسى الذى يعمل على فوق أكسيد الأيدروجين فى البيروكسى زومات peroxisomes، كما يتواجد فى الميتوكوندريا — كذلك — فى النباتات. ويُنتج فوق أكسيد الأيدروجين خلال كثير من العمليات الخلوية، فهو يتم تمثيله كناتج

للتنفس فى الضوء photorespiration، والـ β-oxidation للأحماض الدهنية، وكنتيجة للشدّ البيئى والبيولوجى.

ولقد وجد أن أضرار البرودة فى النباتات تتحقق جزئيًّا بواسطة العناصر النشطة فى الأكسدة التى تحدث أضرارًا ثانوية بالأنسجة. فعلى سبيل المثال.. أدى تعريض بادرات الخيار للبرودة فى الضوء إلى حث أكسدة الدهون واستنفاذ مضادات الأكسدة بما فى ذلك الألفا توكوفيرول α-tocopherol، والجلوتاثيون، وحامض الأسكوربيك (عن Kerdnaimongkol & Woodson ١٩٩٩).

ومع زيادة تعريض شتلات الفراولة للبرودة (من الكنترول — حوالى ٢٥°م — إلى ١٠، و٤، وصفر°م) ازداد معدل إنتاج الإنزيمات المضادة للأكسدة مثل: superoxide dismutase، وascorbate peroxidase، وglutahione reductase، و dehydroascorbate reductase، و monodehydroascorbate reductase. كذلك ازداد محتوى الشتلات من حامض الأسكوربيك (AsA)، مع حدوث زيادة جوهرية فى الـ dehydroascorbate (DHA)، وفى نسبة الـ AsA إلى الـ DHA (Zhang وآخرون ٢٠٠٩).

التأثير الفسيولوجى للحرارة المنخفضة على بعض محاصيل الخضر

الطماطم

إنبات البذور

تتفاوت أصناف وسلالات الطماطم فى قدرتها على الإنبات فى حرارة ١٢°م أو أقل من ذلك. وقد وجد أن عدم قدرة بذور الطماطم على الإنبات عند هذه الدرجة مرده إلى وجود عوائق فى طبقة الإندوسبرم. وتبين لدى مقارنة بذور سلالة الطماطم PI 1341988 القادرة على الإنبات فى حرارة ١٢°م، وبذور الصنف UC82 غير القادرة على الإنبات عند هذه الدرجة أن بذور السلالة الأولى التى شُرِّبت بالماء على حرارة ١٢°م أو ٢٥°م أظهرت نشاطًا أعلى لإنزيم endomannase عن البذور التى عوملت بطريقة مماثلة من