طرق التقييم لتحمل الحرارة العالية

بيئات التقييم لتحمل الشدّ الحرارى

يمكن إجراء التقييم لتحمل الحرارة العالية فى أى من البيئات التالية:

١- فى الحقول تحت ظروف الطبيعة:

تلك هى أبسط الطرق وأرخصها، إلا أن كفاءتها تعتمد على مدى تكرارية الشدّ الحرارى من سنة لأخرى، وهى لا تناسب الانتخاب لتحمل الحرارة خلال فترة أو مرحلة معينة من تطور النمو النباتى؛ لأن ذلك أمر لا يمكن تأمينه، وخاصة أنه يكون مطلوب استمراره على مدى سنوات برنامج التربية. كما أن مختلف التراكيب الوراثية قد تصل إلى تلك المرحلة – التى يتعين الانتخاب عندها فى ظروف الشدّ الحرارى — فى توقيتات مختلفة. وقد يمكن تعليم النباتات التى وصلت إلى المرحلة المناسبة للانتخاب (مثل مرحلة تفتح الأزهار) عند ارتفاع الحرارة، وقصر الانتخاب عليها بعد ذلك.

ومن العيوب الأخرى للتقييم فى الظروف الطبيعية صعوبة فصل تأثير الحرارة العالية عن تأثير الجفاف الذى يسود — غالبًا — فى تلك الظروف.

٢- فى الظروف الحقلية غير الطبيعية:

يتم التحايل على عدم توفر الظروف المناسبة للتقييم بإجرائه فى مواقع معينة تتوفر فيها تلك الظروف، أو فى غير أوقات الزراعة الطبيعية، مثل زراعة القمح صيفًا فى المناطق المعتدلة.

٣- فى البيئات المتحكم فيها:

ويعنى بذلك البيئات التى يمكن التحكم الحرارى فيها، مثل الصوبات وحجرات النمو؛ حيث يمكن تحديد مدى الشدّ الحرارى وموعده (عن Singh ١٩٩٣).

تستخدم البيوت المحمية فى دراسات تحمل الحرارة العالية حيث تكون الحرارة بداخلها — صيفًا — أعلى من حرارة الهواء الخارجى، إلا أن فائدة استخدام البيوت المحمية فى هذا المجال تكون أعظم إن كانت البيوت مزودة بنظام للتحكم فى كل من

درجة الحرارة (ليلاً ونهارًا) والفترة الضوئية. وقد استخدمت البيوت المحمية فى عمليات التقييم والانتخاب لتحمل الحرارة العالية فى كل من الطماطم واللوبيا (عن Hall ١٩٩٢).

أما حجرات النمو فإنها غالبًا ما تستخدم لإجراء قياسات فسيولوجية معينة ذات صلة بتحمل الشدّ الحرارى.

ويتعين فى جميع البيئات السابقة عدم تعريض النباتات لشدّ جفافى، وهو الذى يصاحب — عادة — الشدّ الحرارى، كما يجب توفير رطوبة عالية (طبيعية) فى البيئات المبرمجة بواسطة أجهزة رفع الرطوبة humidifiers فى حجرات النمو، وبأجهزة توليد الضباب أو الرذاذ فى الصوبات.

٤- فى بيئات *in vitro*:

يمكن إجراء بعض الاختبارات لتحمل الحرارة العالية فى أنابيب اختبار، مثل اختبار ثبات الأغشية البلازمية بطريقة التوصيل الكهربائى، ومنها أيضًا الانتخاب فى مزارع الأنسجة.

وقد أمكن — على سبيل المثال – انتخاب نباتات قطن مقاومة للحرارة بمعاملة مزارع الكالس بحرارة عالية وصلت إلى ٤٥°م، حيث تجدد نمو النباتات المقاومة من الخلايا التى تحملت المعاملة الحرارية، إلاّ أن كثرة حدوث المظاهر السيتولوجية غير الطبيعية فى تلك النباتات أحدثت خفضًا شديدًا فى خصوبتها (عن Remotti ١٩٩٨).

٥- النمو تحت ظروف الشدّ الحرارى:

من أهم قياسات النمو الكتلة الحيوية والمحصول، وهما من أهم معايير الانتخاب، ويفضل إجراءهما فى الظروف الطبيعية.

عند إجراء التقييم لتحمل النموات الخضرية للحرارة العالية يجب أن تؤخذ منافسة أعضاء التخزين على الغذاء المجهز فى الحسبان حتى لا تؤثر المنافسة على قوة النمو الخضرى. فمثلاً .. قيم تحمل النموات الخضرية لتحمل الحرارة العالية فى البطاطس فى

فترة ضوئية طويلة (١٨ ساعة) غير مهيئة لتكوين الدرنات. وبعد انتخاب السلالات ذات النمو الخضرى القوى فى تلك الظروف فإنها تقيم لتحمل الحرارة العالية فى فترة ضوئية قصيرة تكون مهيئة لتكوين الدرنات (عن Hall ١٩٩٢).

قياسات التقييم لتحمل الشدِّ الحرارى

يقيم تحمل الشدِّ الحرارى بعدد من القياسات، كما يلى:

١- القدرة على إنبات البذور فى ظروف الشدِّ الحرارى:

يفيد هذا الاختبار عند اشتداد الحرارة فى الوقت الطبيعى لزراعة البذور. وتفيد إضافة الشاركول الناعم لسطح التربة للعمل على زيادة درجة حرارتها، ويمكن إجراء التقييم والانتخاب فى المواسم والمواقع الشديدة الحرارة. وقد يمكن إجراء الاختبارات فى ظروف متحكم فيها تُسلط فيها الأشعة تحت الحمراء على سطح التربة لرفع حرارتها. ويمكن كذلك الاستفادة من اختبار البادرات فى التقييم لإنتاج بروتينات الصدمة الحرارية.

٢- استعادة النمو الطبيعى بعد التعرض للشدِّ الحرارى:

ويعبر عن استعادة النمو بقياسات المحصول والكتلة الحيوية .. ألخ.

٣- حساسية أطوار النمو التكاثرية:

ومن تلك الأطوار إنتاج الأزهار والقرون والثمار والبذور، وخصوبة حبوب اللقاح (عن Singh ١٩٩٣).

٤- اختبار التسرب الأيونى:

يقدر التسرب الأيونى بقياس الزيادة فى درجة التوصيل الكهربائى، وهو يعد دليلاً على مدى ثبات الأغشية البلازمية لدى تعرض الأنسجة للحرارة العالية، ويتم القياس بعد تعريض أجزاء من ورقة النبات تؤخذ بثاقبة فلين (leaf discs) للمعاملة الحرارية العالية.

ويعد هذا الاختبار سهلاً وسريعًا، وهو يرتبط باستجابة عمليات حيوية نباتية أخرى للحرارة العالية (مثل: مقاومة البروتينات الذائبة والإنزيمات للدنترة، وثبات البناء

الضوئى فى الأوراق الكاملة)، وكذلك باستجابة النباتات الكاملة لدرجات الحرارة العالية تحت ظروف الحقل.

وقد استخدم هذا الاختبار — بنجاح — فى تقييم أصناف وسلالات فول الصويا والسورجم للحرارة العالية، حيث أفاد فى التمييز بينها، ولكنه لا يفيد كثيرًا عن الرغبة فى إجراء الانتخاب فى الأجيال الانعزالية؛ لأنه — أى الاختبار — يُجرى على عدة أقراص ورقية leaf discs من عدة نباتات تُمثل العشيرة التى يُراد اختبارها؛ الأمر الذى لا يمكن تحقيقه فى الأجيال الانعزالية التى تمثلها نباتات مفردة (عن Marshall ١٩٨٢).

بعد اختبار التسرب الأيونى electrolyte leakage أحد أسرع الاختبارات لتقييم القدرة على تحمل الحرارة العالية، وفيه تقاس درجة التوصيل الكهربائى الناشئة عن التسرب الأيونى من الأنسجة الورقية التى عُرِّضت للحرارة العالية جراء تأثير المعاملة على نفاذية أغشيتها البروتوبلازمية. يتم بموجب هذا الاختبار استقبال الأيونات المتسربة من الأنسجة فى ماءٍ خالٍ من الأيونات deionized water، وتقديرها كميًّا بقياس درجة التوصيل الكهربائى للماء. ولقد وجدت علاقة قوية بين درجة ثبات الأغشية البروتوبلازمية — معبرًا عنها باختبار التسرب الأيونى — وبين مدى تحمل الحرارة العالية (عن Ibrahim & Quick ٢٠٠١).

عند إجراء هذا الاختبار تؤخذ أقراص ورقية بقطر ١٢ مم من النباتات التى يُراد قياس مدى تحملها للشدِّ الحرارى. ويجب الحرص على أخذ الأقراص من أوراق فى عمر متقارب. تُغسل الأقراص ٢–٣ مرات فى ماء منزوع الأيونات قبل وضعها فى أنابيب اختبار أو فى قنينات زجاجية. يلزم ١٠ قنينات لكل تركيب وراثى. تغلق القنينات دون إحكام، وتترك ٥ قنينات فى حمام مائى على ٤٢–٤٥°م لمدة ساعة، بينما تترك الخمس قنينات الأخرى فى حرارة الغرفة (الكنترول). يضاف بعد ذلك ١٠–٢٠ مل من الماء المنزوع الأيونات لكل قنينة، وتغلق جيدًا، ثم تُحضَّن على ١٠°م لمدة ٢٤ ساعة.

تقاس درجة التوصيل الكهربائى للماء (الذى سيحتوى على المواد الذائبة التى تتسرب

من الأقراص الورقية) بغمس القطب الكهربائى (الإلكترود) فى كل قنينة بعد وصول حرارتها إلى ٢٠°م. يلى ذلك تعقيم جميع القنينات فى الأوتوكليف لمدة ١٠-١٥°م، ثم قياس درجة التوصيل الكهربائى فيها بعد وصول حرارتها إلى ٢٠°م.

وتقاس شدة أضرار الحرارة العالية، كما يلى:

$$HI(\%) = \{1-[1-(T_1/T_2)]/[(1-(C_1/C_2)]\} \times 100$$

حيث إن:

HI: أضرار الحرارة العالية.

T_1، T_2: متوسط درجة التوصيل الكهربائى للتركيب الوراثى قبل وبعد التسخين فى الأوتوكليف، على التوالى.

C_1، C_2: متوسط درجة التوصيل الكهربائى لقنينات الكنترول من نفس التركيب الوراثى قبل وبعد التسخين فى الأوتوكليف، على التوالى (Singh ١٩٩٣).

٥- حساسية البناء الضوئى وفلورة الكلوروفيل:

يقاس مدى تأثر معدل البناء الضوئى بمعاملة التعريض للحرارة، ويتم تقدير ذلك على الأوراق المفردة - غير المفصولة عن النبات - باستعمال أجهزة خاصة يسهل نقلها واستعمالها فى الحقل (عن Marshall ١٩٨٢).

ويعبر عن تلك الصفة بقياس فلورة الكلوروفيل عند ٦٨٥ نانوميتر، وتلك طريقة هامة وإن كان من الصعب إجراءها وتفسير نتائجها.

عندما يكون العامل المحدد للشدِّ الحرارى هو التأثير السلبى على عملية البناء الضوئى، يكون من المفضل قياس فلورة الكلوروفيل chlorophyll fluorescence كدليل على مدى الضرر الذى يقع على الـ photosystem II. وتتوفر أجهزة حقلية للقياس السريع للنسبة F_v/F_m التى تعد دليلاً على مدى الضرر الحادث بالـ photosystem II. لكن يتعين تقدير مدى الارتباط بين نسبة F_v/F_m وتحمل الحرارة، ومدى جدوى الانتخاب لتحمل الحرارة على أساسها (Hall ٢٠١١).

وقد أظهرت أصناف الخيار الأكثر تحملاً للحرارة مستويات من فلورة الكلوروفيل بالأوراق — بعد تعرضها لشدٍّ حرارى (٣٨–٤٨°م) — أقل مما حدث فى الأصناف الحساسة؛ بما يعنى إمكان استخدام هذا الاختبار فى تعرف التراكيب الوراثية الأكثر حساسية للحرارة العالية (Aoki ١٩٩٠).

كما أجرى تقييم لتسعة تراكيب وراثية من الفاصوليا لتعرف مدى تحملها للحرارة العالية خلال مرحلة الإزهار، وذلك بدراسة التغيرات التى تحدث فى استشعاع الكلوروفيل chlorophyll fluorescence فيها أثناء وبعد التعرض لحرارة ٤٥°م لمدة ساعتين، ثم لحرارة ٢٣°م لمدة ٤ ساعات. ويستدل من الدراسة أن تركيبين وراثيين فقط — هما: السلالة RH26D والصنف Ranit تشابها مع سلالة الكنترول المتحملة للحرارة 83201007 فى عدم إظهارهم لأى تغيرات جوهرية فى شدة استشعاع الكلوروفيل جراء التعرض للحرارة العالية (Stefanov وآخرون ٢٠١١).

٦– اختبار التترازوليم:

يمكن تقدير مستوى الشدِّ الحرارى كميًّا بقياس قدرة الميتوكوندريا على اختزال الـ tetrazolium triphenyl chloride (اختصارًا: TTC) بإنزيمات الـ dehydrogenase التنفسية التى تنشط فيها. يُجرى الاختبار فى القمح — على سبيل المثال — بإخضاع النسيج الورقى لحرارة عالية لفترة محددة، ويلى ذلك تشريب أنسجة الورقة بمحلول الـ TTC تحت تفريغ. ويعد المستوى النسبى لاختزال الـ TTC إلى فورمازان formazan دليلاً كميًّا على حيوية الخلايا؛ الأمر الذى يتم تقديره بتحليل طيفى spectrophotometric للفورمازان. ويقدِّر هذا الاختبار — مباشرة — نشاط الميتوكوندريا فى انتقال الإليكترونات. وقد أمكن عن طريق هذا الاختبار التوصل إلى اختلافات جوهرية بين أصناف القمح فى تحملها للحرارة العالية.

وقد أوضحت الدراسات على تحمل الحرارة فى القمح وجود ارتباط قوى (r= ٠,٦٢، n = ١٤، P < ٠,٠٥) بين نتائج اختبارى التسرب الأيونى واختزال التترازوليم فى التقييم

للتحمل. وقد قدرت درجة توريث الصفة كما يلى:

طريقة حساب درجة التوريث	اختبار التسرب الأيونى	اختبار اختزال النترازوليم
١- انحدار الآباء ونسلهم Parent-offspring regression and correlation	٠,٣٢-٠,٣٨ (منخفضة نسبيًا)	٠,٥٠-٠,٦٥ (متوسطة)
٢- درجة التوريث المتحققة Realized heritability على أساس ١٥٪ شدة انتخاب	٠,٢٧-٠,٤٧ (منخفضة إلى متوسطة)	٠,٤٩-٠,٦٤ (متوسطة إلى عالية)

يتبين مما تقدم إمكان الاستعانة باختبار اختزال النترات فى تحقيق تقدم ملموس فى الانتخاب لصفة التحمل، وربما كان من المفيد زيادة عدد المكررات أثناء الانتخاب عند الاستعانة باختبار التسرب الأيونى لأجل الحد من التأثيرات البيئية على الصفة (Ibrahim & Quick ٢٠٠١).

جهود التربية لتحمل الحرارة العالية

لقد وجدت اختلافات وراثية فى القدرة على تحمل الحرارة العالية بين أصناف عديد من المحاصيل، منها: السورجم، والذرة، وفول الصويا، والشوفان، وغيرها. وكان التقييم فى معظم الحالات يرتبط بالقدرة الإنتاجية العالية تحت ظروف الحرارة العالية، وهو الهدف النهائى من التربية فى هذا المجال. ولكن تحقيق تقدم مستمر فى هذا الأمر يتطلب دراسة الأساس الفسيولوجى لتحمل الحرارة العالية، ليمكن الجمع بين مصادر الصفة — التى تختلف فى أساسها الفسيولوجى — فى تركيب وراثى واحد.

ونستعرض — فيما يلى — الجهود التى أجريت فى مجال التربية لتحمل الحرارة المرتفعة — فى عدد من المحاصيل الزراعية — سواء ما يتعلق منها بطرق التقييم المستخدمة، أم بالأساس الفسيولوجى للصفة، أم بمصادرها، أم بوراثتها. ونقدم هذا العرض — كما سبق أن قدمناه بالنسبة لجهود التربية لتحمل الحرارة المنخفضة — فى المجالات الثلاثة لهذا الموضوع، وهى: إنبات البذور، ونمو النباتات، وعقد الثمار.