استخدام تقانة الاستجابة للتحريض في سبر التباين الوراثي لتحمل الجفاف والحرارة المرتفعة لدى بعض طرز زهرة الشمس في طور البادرة الفتية

Application of the Induction Response Technique to Assess the Genetic Variability in Response to Drought and Heat Stresses of Some Sunflower Genotypes at the Seedling Stage

أيمن العودة[1]، ومخلص شاهرلي[2]، وفاطمة خالد الجنعير[3]

(1) و(2): أستاذ مساعد في قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق

(3): قائمة بالأعمال في قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق

المُلَخَّص

نفذت تجربة مخبرية بهدف تقويم استجابة ستة طرز وراثية من محصول زهرة الشمس لظروف الإجهاد الحلولي، والحرارة المرتفعة، لعزل الطرز الوراثية المتحملة عن قريناتها الحساسة باستعمال تقانة الاستجابة للتحريض الحراري (TIRT) عند مستوى البادرة الفتية، بالإضافة إلى دراسة أهمية النقل المرحلي Stepwise transfer في إكساب البادرات المحرَضة Induces seedlings بمستوياتٍ غير مميتة من الإجهاد مقدرة أكبر على تحمل المستويات المميتة من الإجهاد نفسه. ونفذت تجربة أخرى للمفاضلة بين ماهية الإجهاد (متماثل أم متباين) للوقوف على التطبيقات الوظيفية والجزيئية لمفهوم الوقاية المتصالبة Cross protection.

لوحظ وجود تباين وراثي في استجابة طرز زهرة الشمس المختلفة للإجهاد الحلولي، والحرارة المرتفعة خلال مرحلة البادرة الفتية. وكان الطرازان الوراثيان Allstar، وC_{207} معنوياً أكثر تحملاً لإجهادي الجفاف والحرارة المرتفعة، في حين أبدى الطرازان الوراثيان Alison، وسرغايا$_1$ حساسيةً مفرطة بالمقارنة مع باقي الطرز الوراثية المدروسة.

ولوحظ أنّ متوسط طول الجذور والبادرات كان الأعلى معنوياً في البادرات المحرضة حلولياً وحرارياً (تحريض تدريجي: 35 º مدة ساعة 40 º مدة ساعة 45 º مدة ساعة) بالمقارنة مع البادرات غير المحرَضة، ما يشير إلى أهمية التحريض، أو التعريض المسبق للإجهاد غير المميت في تحسين التحمل للمستويات المميتة من الإجهاد. ولوحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً (r = 0.94**) بين أداء بادرات طرز زهرة الشمس تحت ظروف الإجهادين المدروسين، الأمر الذي يؤكد مصداقية تقانة الغربلة المستعملة.

بيّنت نتائج الدراسة إمكانية وجود خطوط دفاعية جزيئية عامة وأخرى خاصة. وتعد إشارة التحريض الحراري أكثر فعّالية من إشارة التحريض الحلولي، حيث ساعدت في تفعيل المورثات المسؤولة عن تصنيع البروتينات الدفاعية المرتبطة بتحمل الإجهاد ين معاً.

الكلمات المفتاحية: الإجهاد الحلولي، الإجهاد الحراري، تقانة الغربلة، التحريض، الوقاية المتصالبة، النقل المرحلي، زهرة الشمس.

Abstract

A laboratory experiment was conducted to assess the response of six sunflower genotypes for osmotic and heat stresses, to screen the highly tolerant genotypes using the temperature induction response technique (TIRT) at the seedling level, beside studying the relevance of stepwise transfer to increase the tolerance of the induced seedlings with the sub-lethal levels of both osmotic as well as heat stress, when they are exposed to

©2009 The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, All rights reserved.

the lethal levels of these stresses. Another experiment was carried out to evaluate the functional and molecular applications of the cross protection concept.

There was a genetic variation in the response of the investigated sunflower genotypes to osmotic as well as heat stresses during the seedling stage. The two genotypes Allstar and C_{207} were more tolerant to both osmotic and heat stresses, while the remaining genotypes, especially Alison and $Sarghai_1$ were more susceptible.

The length of root and shoot was significantly the highest in the osmotically and heat (Gradual induction: 35 Cº-1 hr 40 Cº-1hr 45 Cº-1hr) induced seedlings, indicating the importance of induction or the pre-exposure of seedlings to the sub-lethal level of stresses in enhancing the ability of seedlings to endure the lethal levels of stresses. There was positive significant correlation (r = 0.94**) between the performance of the seedlings under the two investigated stresses, indicating the validity of the applied technique.

Results showed the possibility of presence of general and specific molecular defense lines. The thermal induction signal was found to be more effective than the osmotic induction one, where it could activate the expression of genes responsible for the synthesis of stress responsive proteins, which can acquire tolerance to both investigated abiotic stresses.

Key words: Osmotic stress, Heat stress, Screening tool, Induction, Cross protection, Stepwise transfer, Sunflower.

المقدمة

يعد محصول زهرة الشمس [*Helianthus annuus* L.] من الأنواع المحصولية الحولية الصيفية. ويعد عالمياً المحصول الزيتي الثالث من حيث الأهمية بعد فول الصويا Soybean، واللفت الزيتي Rapeseed. ويسهم محصول زهرة الشمس بنحو 14 % من إنتاج العالم (6.9 مليون طناً) من الزيت، وقرابة 7 % من الكسبة المتداولة عالمياً (Putnam وزملاؤه، 1990)، حيث تحتوي ثمار أصناف زهرة الشمس التجارية Commercial varieties كميةٍ من الزيت تتراوح من 39 إلى 49 % (Xiana و Vance، 2003). بلغت المساحة المزروعة بمحصول زهرة الشمس في سورية خلال عام 1997 قرابة 2981 هكتاراً، منها 1379 هكتاراً تحت ظروف الزراعة المطرية (بعل)، و1602 هكتاراً تحت ظروف الزراعة المروية، في حين وصلت المساحة المزروعة خلال عام 2006 إلى قرابة 8302 هكتاراً، منها 728 هكتاراً زرعت بعلاً، و7574 هكتاراً تحت ظروف الزراعة المروية، ما يشير إلى زيادة المساحة المروية خلال السنوات الماضية (المجموعة الإحصائية السنوية، 2007). ويعود سبب هذه الزيادة إلى حساسية نباتات المحصول لظروف شح المياه، وخاصةً خلال المراحل المتقدمة الحرجة من حياة المحصول. ويحتاج المحصول كمياتٍ كبيرةٍ نسبياً من الماء لإنتاج كمية كبيرة من البذور، بيد أنّ كفاءة استعمال الماء Water use efficiency (WUE) في محصول زهرة الشمس منخفضة جداً، حيث يصل معامل النتح Transpiration ratio إلى 577 غرام ماء لتصنيع غرام واحد من المادة الجافة بالمقارنة مع محاصيل أخرى، مثل الذرة الصفراء Corn (349)، بسبب امتلاكه مجموعاً هوائياً كبيراً، بالإضافة إلى عدم حساسية المسامات للانغلاق السريع عند تراجع محتوى التربة المائي (Reddy وزملاؤه، 2004). يتوقف مقدار الأذى الناجم عن الإجهاد المائي Water stress على شدته، ومدته والمرحلة التطورية التي يتعرّض خلالها النبات للإجهاد المائي (Germ وزملاؤه، 2005). ويسبب شح المياه تدنٍ في وتيرة انقسام الخلايا النباتية واستطالتها (Cossgrove، 1989).

يُعد الإجهاد البيئي غير المميت بمنزلة أداة تحريض تستفز برنامج الدفاع الوراثي الكامن في مادة النبات الوراثية لدفعه لتصنيع مواد جديدة كوسائل دفاعية يستخدمها النبات في مقاومة الظرف البيئي غير المناسب إلى حين انقضائه (AL-Ouda، 1999).

نُفذت عدة تجارب مخبرية لتقويم استجابة عشر سلالات من سلالات أكساد من القمح الطري والقاسي لتحمل الإجهاد الملحي في طور البادرة الفتية باستخدام تقانة الاستجابة للتحريض الملحي ودراسة تأثير طبيعة التحريض في تحمل البادرات المحرّضة للمستويات المميتة من الإجهادات اللاإحيائية (الملوحة، والجفاف). بيّنت نتائج الدراسة أنّ تقانة الغربلة المستخدمة كانت فعّالة وسريعة في كشف التباين الوراثي لاستجابة السلالات المدروسة لتحمل الإجهاد الملحي. وكان للتحريض دوراً مهماً في تحسين تحمل البادرات للمستويات المميتة من الإجهاد الملحي. ولوحظ وجود تباين وراثي معنوي لتحمل الملوحة بين الأنواع والسلالات المدروسة.

وتفوقت جميع سلالات أكساد من القمح الطري والقاسي على الشواهد المحلية المعتمدة (شام$_3$، شام$_6$). ولوحظ وجود فروقاتٍ معنوية في طبيعة التحريض (ملحي أم حلولي)، ونوع التحريض (متماثل أم متباين). وكانت الإشارة الملحية أكثر فعالية في رفع درجة تحمل بادرات القمح للمستويات المميتة من الملوحة والجفاف من الإشارة الحلولية (العودة، 2007).

بيّنت نتائج الدراسات أنّ بعض هجن زهرة الشمس المتحملة للحرارة المرتفعة استناداً إلى تقانة الاستجابة للتحريض الحراري Temperature Induction Response (TIR) أظهرت تحملاً لكلٍ من الإجهاد الملحي والحلولي. ولوحظ وجود علاقة ارتباط موجبة وقوية بين المقدرة على استعادة النمو تحت ظروف الإجهاد الحراري، والنمو خلال فترة الإجهاد واستعادة النمو في هذه الهجن تحت ظروف الإجهاد الملحي. كما أظهرت هذه الهجن معدلات نمو أكبر خلال فترتي الإجهاد واستعادة النمو تحت ظروف الإجهاد الملحي، ومن ثمّ فإنّ تقانة الاستجابة للتحريض الحراري يمكن أن تعطي مؤشراً أولياً جيداً عن سلوك الطرز تحت الإجهادات البيئية الأخرى (AL-Ouda، 1999).

تتطلب المحافظة على استقرار الإنتاجية، وزيادتها في البيئات المجهدة ضرورة تحسين تحمل الأنواع/الطرز الوراثية للإجهاد المائي، والحرارة المرتفعة، عن طريق استثمار التباين الوراثي Genetic variability بحيث تُنتخب التراكيب الوراثية المتحملة. غير أنّ غياب أسلوب الغربلة المناسب Screening technique يعد أحد أهم العقبات التي تحول دون إمكانية الاستفادة من التباين الوراثي في التحمل الحقيقي للجفاف والحرارة المرتفعة. ولكي يكون أسلوب الغربلة المزمع تطويره فعالاً لابد أن يحاكي ما يحدث فعلاً في الطبيعة، فغالباً ما تتعرض النباتات أولاً لمستوى غير مميت Sub-lethal level (المحرّض) من الإجهادين قبل أن تصبح عرضة للمستوى المميت Lethal level لأنّ تراجع محتوى التربة المائي، وارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط عادةً ما يكون تدريجياً.

أهداف البحث :

1. تطوير تقانة غربلة مخبرية سريعة وفعّالة في كشف التباين الوراثي لتحمُّل الإجهادات اللاإحيائية (الجفاف، والحرارة المرتفعة) خلال مرحلة البادرة الفتية لدى بعض طرز زهرة الشمس.
2. تقويم أهمية التحريض بمستوياتٍ غير مميتة من الإجهاد (حلولي، وحرارة مرتفعة) في تحسين تحمل البادرات الفتية للمستويات المميتة.
3. دراسة تأثير طبيعة التحريض (متباين، أم متماثل) في استجابة بادرات زهرة الشمس للمستويات المميتة من الإجهادات اللاإحيائية.

مواد البحث وطرائقه

المادة النباتية:

تمّ تقويم استجابة ستة طرز وراثية من زهرة الشمس (سرغايا$_1$، سرغايا$_4$، Allstar Alison، C_{207}، $Hysun_{33}$) لتحمل الإجهاد الحلولي، والحرارة المرتفعة في طور البادرة الفتية باستعمال تقانة الاستجابة للتحريض الحراري Temperature Induction Response Tool، بهدف عزل الطرز الوراثية المتحملة عن قريناتها الحساسة. تمّ الحصول على البذار من الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية. ويبين الجدول (1) توصيف الطرز الوراثية المدروسة.

موقع تنفيذ التجربة:

نُفذت التجربة في مخبر بحوث المحاصيل الحقلية في كلية الزراعة، بجامعة دمشق في الجمهورية العربية السورية.

الجدول رقم (1). يبين توصيف الطرز الوراثية المدروسة.

الطراز الوراثي	متوسط الإنتاجية (كغ/هكتار)	وزن البذور في القطعة (غ/القطعة)	متوسط وزن 1000 بذرة (غ)	زاوية ميل القرص (°)	متوسط طول النبات (سم)	متوسط ارتفاع النبات (سم)	متوسط عدد الأيام حتى النضج (يوم)	متوسط عدد الأيام حتى الإزهار (يوم)
سرغايا$_1$	3778	1760	55.29	180°	187	143	96	61
سرغايا$_4$	3556	1400	55.54	180°	167	128	95	61
Allstar	4960	1320	49	135°-90°	119	120	97	60
Alison	2337.66	1262.60	56.57	135°	152	141	100	68
C_{207}	4940	1698	51	180°-135°	127	108	101	60
$Hysun_{33}$	1925.9	1040	57.42	135°	145	138	101	61

تحديد التباين الوراثي في طرز زهرة الشمس لتحمل الإجهادات اللاإحيائية (الجفاف، والحرارة المرتفعة) عند مرحلة البادرة الفتية:

أولاً- سبر التباين في استجابة طرز زهرة الشمس لتحمل إجهاد الحرارة المرتفعة:

1 - 1 - تحديد أسلوب الغربلة المناسب لإجهاد الحرارة المرتفعة :

1 - 1 - 1 - تحديد المستوى الحراري المميت الأمثل:

يُعرف المستوى الحراري المميت الأمثل بأنّه المعاملة الحرارية المرتفعة بشكل كافٍ لإحداث موت مقداره 50 % أو تخفيضاً في النمو بنحو 50 % بالمقارنة مع الشاهد المطلق في البادرات غير المحرضة في نهاية فترة استعادة النمو.

عُرضت بادرات زهرة الشمس (بعمر يومين من تاريخ الإنبات) (بطول 2.5 سم)، ضمن أطباق بتري وبواقع عشرة بادرات في كل طبق، وثلاثة مكررات لكل معاملة، إلى مستوى مميت من الحرارة المرتفعة (50، 55 °م) لفترات زمنية مختلفة (1، 1.5، 2، 2.5، 3، 3.5، 4، 4.5، 5 ساعة)، ثمّ سمح للبادرات فيما بعد باستعادة نموها في الماء المقطر على درجة حرارة (30 °م) مدة 72 ساعة (Ganesh Kumar، 1999؛ AL-Ouda، 1999). وُسجلت نسبة البادرات التي بقيت على قيد الحياة في نهاية فترة استعادة النمو. عموماً، تعد درجة الحرارة والفترة الزمنية التي تكون عندها نسبة البادرات الحية في نهاية فترة استعادة النمو تساوي تقريباً 50 % بمنزلة المستوى المميت الأمثل، الذي اعتمد لاحقاً في جميع التجارب.

1 - 1 - 2- تحديد المستوى الحراري المحرِّض الأمثل:

يُعرَّف المستوى الحراري المحرِّض الأمثل بأنه المستوى غير المميت من الحرارة المرتفعة الذي تبدي عنده البادرات المحرَّضة بعد نقلها إلى المستوى المميت، المحدَّد من التجربة السابقة مقدرة أكبر على استعادة النمو في نهاية فترة استعادة النمو.

عُرّضت بادرات زهرة الشمس (بعمر يومين) إلى مستويات حرارة محرِّضة مختلفة، مثل 35 °م مدة أربع ساعات، و45 °م مدة أربع ساعات، وارتفاع تدريجي في درجة الحرارة، بمعدل خمس درجات مئوية في الساعة اعتباراً من 35 °م ولغاية 45 °م، ثمّ تركت البادرات مدة ساعتين على درجة حرارة 45 °م. وُعرضت البادرات فيما بعد إلى المستوى المميت الأمثل. وعرضت في الوقت نفسه بادرات غير محرّضة مباشرةً إلى المستوى المميت من الحرارة المرتفعة. وتركت خلال الفترة نفسها بادرات من العمر نفسه في الماء المقطر، وعند درجة حرارة 30 °م من بداية التجربة وحتى نهايتها واعتمدت كشاهدٍ مطلق تُحسب على أساسه نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات في النباتات المعاملة. ثمّ سمح للبادرات المعاملة فيما بعد باستعادة نموها عند درجة حرارة 30 °م مدة ثلاثة أيام. وسجل في نهاية فترة استعادة النمو طول كل من الجذور والسويقة الجنينية. وحسبت استناداً لذلك نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات وفق المعادلة الرياضية الآتية (AL-Ouda، 1999):

$$\text{نسبة الانخفاض في طول الجذور أوالبادرات (\%)} = \frac{\text{طول الجذور/ البادرات في الشاهد المطلق} - \text{طول الجذور/البادرات في المعاملة}}{\text{طول الجذور/ البادرات في الشاهد المطلق}} \times 100$$

1 - 1 - 3 - غربلة طرز زهرة الشمس استجابةً لإجهاد الحرارة المرتفعة عند مستوى البادرة الفتية :

عُرضت بادرات زهرة الشمس (بعمر يومين) من كل طراز على حدة أولاً إلى المستوى الحراري المحرِّض الأمثل، ثمّ نُقلت البادرات المحرّضة وغير المحرّضة (الشاهد) إلى المستوى الحراري المميت، ثمّ سمح لها فيما بعد باستعادة نموها في الماء المقطر، وعند درجة حرارة 30°م مدة ثلاثة أيام. وسجل في نهاية فترة استعادة النمو طول كل من الجذور والسويقة الجنينية، وحُسبت نسبة الانخفاض في النمو بالمقارنة مع الشاهد المطلق وفق المعادلة السابقة.

ثانياً: سبر التباين في استجابة طرز زهرة الشمس لتحمل الإجهاد الحلولي باستعمال سكر البولي إيثيلين جلايكول (PEG – 6000):

2 - 1 - تحديد المستوى الحلولي المميت الأمثل:

تمّ إحداث الإجهاد المائي (الحلولي) مخبرياً باستعمال سكر البولي إيثيلين جلايكول-6000 (PEG – 6000)، حيث عُرضت بادرات زهرة الشمس (بعمر يومين) إلى مستوياتٍ مميتة مختلفة من الإجهاد الحلولي (0.8-، 1.0-، 1.2-، 1.4-، 1.6-، 1.8-، 2.0- Mpa) مدة 48 ساعة، ثمّ نقلت البادرات إلى أطباق بتري أخرى تحوي ماء مقطر فقط لتستعيد نموها مدة 72 ساعة. وتركت في الوقت نفسه بادرات زهرة الشمس في أطباق بتري تحوي ماء مقطر فقط منذ بداية التجربة وحتى نهايتها واعتمدت كشاهدٍ مطلق تحسب على أساسه نسبة الانخفاض في المؤشرات المدروسة. ثمّ حسبت في نهاية فترة استعادة النمو نسبة الانخفاض في نمو الجذور/ البادرات بالمقارنة مع الشاهد المطلق وفق المعادلة الآنفة الذكر. عموماً، تُعد المعاملة التي تكون عندها نسبة الانخفاض في طول الجذور أو البادرات قرابة 50 % بمنزلة المستوى الحلولي المميت الأمثل.

2 - 2 - تحديد المستوى الحلولي المحرِّض الأمثل:

عُرضت بادرات طرز زهرة الشمس (بعمر يومين) إلى مستوياتٍ محرِّضةٍ مختلفة من الإجهاد الحلولي (0.0، 0.2-، 0.4-، 0.6-، 0.8- Mpa) مدة 16 ساعة، ثمّ نقلت البادرات المحرّضة من كل معاملة على حدة إلى المستوى الحلولي المميت الأمثل المحدَّد من التجربة السابقة، وتركت مدة 48 ساعة، ثمّ سمح للبادرات باستعادة نموها في الماء المقطر مدة 72 ساعة. وحسبت في نهاية فترة استعادة النمو نسبة الانخفاض في نمو الجذور/ البادرات بالمقارنة مع

الشاهد المطلق، واعتُمدت المعاملة التي تكون عندها نسبة الانخفاض في طول الجذور/ البادرات أقل ما يمكن بالمقارنة مع الشاهد بمنزلة المستوى الحلولي المحرض الأمثل.

2 - 3 - غربلة طرز زهرة الشمس استجابةً للإجهاد الحلولي عند مستوى البادرة الفتية:

تمّ تعريض بادرات زهرة الشمس (بعمر يومين) من كل طراز على حدة للمستوى الحلولي المحرِّض الأمثل مدة 16 ساعة، ثمّ نقلت البادرات المحرّضة إلى المستوى الميت الأمثل من الإجهاد الحلولي وتركت مدة 48 ساعة، ثمّ سمح للبادرات باستعادة نموها في الماء المقطر مدة 72 ساعة. وسجلت في نهاية فترة استعادة النمو القراءات المتعلقة بطول الجذور/ البادرات. وحسبت نسبة الانخفاض في طول كل من الجذور/ البادرات بالمقارنة مع الشاهد المطلق. وتمّ تقويم استجابة طرز زهرة الشمس المدروسة للإجهادات اللاإحيائية المختلفة باستعمال التحليل الإحصائي المسمى Z–distribution analysis بالاعتماد على مؤشرات متوسط الطول الكلي للجذور والبادرات ونسبة الانخفاض فيهما بالمقارنة مع الشاهد. وقسمت الطرز وفقاً لذلك إلى المجموعات الآتية:

1. الطرز عالية التحمل: وهي الطرز التي أبدت أدنى نسبة انخفاض في طول الجذور/البادرات وأعلى متوسط طول كلي لهما.
2. الطرز عالية الحساسية: وهي الطرز التي أبدت أعلى نسبة انخفاض في طول الجذور/البادرات وأدنى متوسط طول كلي لهما.
3. الطرز متوسطة الاستجابة.

ثالثاً- تأثير طبيعة التحريض في تحمل المستويات المميتة من الإجهاد الحلولي والحرارة المرتفعة:

عُرضت بادرات زهرة الشمس (بعمر يومين) إلى المستوى المحرض الحلولي الأمثل مدة 16 ساعة، ثمّ نقلت البادرات المحرّضة حلولياً إلى المستوى الحلولي المميت الأمثل مدة 48 ساعة، ثمّ سمح للبادرات باستعادة النمو في الماء المقطر مدة 72 ساعة، وعرضت في الوقت نفسه مجموعة أخرى من البادرات من العمر نفسه إلى المستوى المحرض الحراري الأمثل، ثمّ نقلت إلى المستوى الحلولي المميت الأمثل مدة 48 ساعة، ثمّ سمح للبادرات باستعادة نموها في الماء المقطر مدة 72 ساعة. وعُرضت مجموعة ثالثة من البادرات إلى المستوى الحلولي المحرض الأمثل مدة 16 ساعة، ثمّ نقلت البادرات المحرضة حلولياً إلى المستوى الحراري المميت الأمثل، ثمّ سمح للبادرات باستعادة نموها في الماء المقطر مدة 72 ساعة، وعرّضت في المجموعة الرابعة بادرات زهرة الشمس إلى المستوى الحراري المحرض الأمثل ثمّ نقلت البادرات المحرضة إلى المستوى الحراري المميت الأمثل، وسمح للبادرات باستعادة نموها في الماء المقطر عند درجة حرارة 30 °م مدة 72 ساعة. وحسبت في نهاية فترة استعادة النمو نسبة الانخفاض في طول كلٍ من الجذور/البادرات وتمّ بناءً على ذلك دراسة تأثير طبيعة التحريض (متباين أم متماثل) في مقدرة البادرات على استعادة النمو.

رابعاً- دراسة أهميّة التحريض :

4 - 1 - إجهاد الحرارة المرتفعة:

تمّ تعريض بادرات زهرة الشمس (بعمر يومين) إلى المستوى المحرِّض الحراري الأمثل ثمّ نقلت البادرات إلى المستوى الحراري الميت الأمثل. ونقلت في الوقت نفسه بادرات غير محرَّضة بشكلٍ مباشر إلى المستوى الحراري الميت الأمثل. ثمّ سمح للبادرات من كلتا المعاملتين (المحرَّضة، وغير المحرَّضة) باستعادة نموها في الماء المقطر وعند درجة حرارة 30 °م مدة 72 ساعة.

4 - 2 - الإجهاد الحلولي Osmotic stress:

عُرضت بادرات زهرة الشمس (بعمر يومين) إلى المستوى الحلولي المحرض الأمثل مدة 16 ساعة، ثمّ نقلت البادرات المحرضة إلى المستوى الحلولي الميت الأمثل مدة 48 ساعة، ونقلت في الوقت نفسه مجموعة أخرى من البادرات غير المحرَّضة بشكلٍ مباشر إلى المستوى الحلولي الميت الأمثل وتركت البادرات المحرَّضة وغير المحرَّضة في المستوى الحلولي الميت الأمثل مدة 48 ساعة، ثمّ سمح للبادرات باستعادة نموها في الماء المقطر مدة 72 ساعة. وحُسبت عند مختلف الإجهادات المدروسة نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات بالمقارنة مع الشاهد في نهاية فترة استعادة النمو. وتمّ استناداً إلى ذلك تقويم أهمية التحريض في تحسين كفاءة البادرات في تحمل المستويات الميتة من الإجهادات البيئية المختلفة المدروسة.

خامساً- تصميم التجربة والتحليل الإحصائي

نُفذت التجارب المخبرية وفق التصميم العشوائي البسيط، وتمّ تحليل البيانات بعد جمعها وتبويبها إحصائياً باستخدام برنامج التحليل الإحصائي M-Stat-C لحساب قيم أقل فرق معنوي (L.S.D)، ومعامل التباين (%CV) بين المتغيرات المدروسة. وحسبت أيضاً قيم معامل الارتباط بين الصفات المدروسة.

النتائج والمناقشة

أولاً- غربلة طرز زهرة الشمس لتحمل الإجهاد الحلولي خلال مرحلة البادرة الفتية:

1-1: تحديد المستوى الحلولي الميت الأمثل:

يُلاحظ من الجدول (2)، وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) بين المستويات الحلولية الميتة المختلفة. سببّ ازدياد تركيز سكر البولي إيثيلين جلايكول (PEG-6000) ازدياداً مضطرداً في الجهد الحلولي Osmotic potential لمحلول النمو، وتراجعاً موازٍ في الجهد المائي، ما أثر سلباً في معدل

الجدول رقم (2). يبين تأثير مستويات حلولية مميتة مختلفة في نمو بادرات زهرة الشمس.

المعاملات (PEG-6000) MPa	متوسط طول الجذور (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول البادرات (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرات (%)
الشاهد المطلق	13.07 a	-	25.43 a	-
-0.8	11.87 b	9.07 f	21.93 b	13.73 e
-1.0	11.07 c	15.27 e	21.27 b	16.33 e
-1.2	10.53 c	19.27 e	20.00 c	21.23 d
-1.4	9.77 d	25.10 d	17.77 d	30.03 c
-1.6	7.73 d	40.63 c	15.33 e	39.77 b
-1.8	6.67 f	48.97 b	12.40 f	50.67 a
-2.0	5.83 g	55.40 a	11.73 f	53.83 a
L.S.D (0.05)	0.6939	5.342	0.8981	3.434
C.V (%)	4.14	11.42	2.81	6.95

* تشير الأحرف المتماثلة إلى عدم وجود فروقات معنوية بين المعاملات عند كل صفة مدروسة.

استطالة الجذور ونموها، بسبب تراجع كمية الماء الحر المتاح للنبات. وأدى ازدياد الجهد الحلولي في وسط النمو إلى ازدياد نسبة الانخفاض في طول جذور البادرات بالمقارنة مع الشاهد. وكانت نسبة الانخفاض الأعلى معنوياً (55.40%) عند المستوى الحلولي المميت الأعلى (2.0- Mpa)، في حين كانت نسبة الانخفاض في طول الجذور الأدنى معنوياً عند المستوى الحلولي المميت الأدنى (9.07%). ويعد المستوى الحلولي (1.8- Mpa) بمنزلة المستوى الحلولي المميت الأمثل، لأنه سببّ انخفاضاً في متوسط طول الجذور مقداره (48.97 %) بالمقارنة مع باقي المستويات الحلولية المميتة الأخرى، و يتوافق هذا مع تعريف المستوى الحلولي المميت الأمثل. وسيُعتمد هذا المستوى كمستوىً حلولي مميتْ خلال جميع التجارب اللاحقة. وسببّ أيضاً ازدياد الجهد الحلولي في محلول النمو تراجعاً معنوياً في متوسط طول البادرات، وازدادت نسبة الانخفاض في طول البادرات طرداً مع ازدياد تركيز الذائبات الحلولية (PEG-6000) في محلول النمو. وسببّ المستوى الحلولي المميت (1.8- Mpa) انخفاضاً مقداره 50.67 % في طول البادرات بالمقارنة مع الشاهد. وُيعد تبعاً لذلك بمنزلة المستوى الحلولي المميت الأمثل. ويعزى التراجع في متوسط طول كل من الجذور والبادرات نتيجة ازدياد الجهد الحلولي في محلول النمو إلى تراجع قيمة الجهد المائي Water potential (يصبح الجهد المائي أكثر سلباً)، فتقل بذلك كمية المياه الحرة المتاحة للنبات، مما يؤثر سلباً في معدل امتصاص الماء من قبل المجموعة الجذريّة، وتصبح كميّة الماء الممتصة غير كافية لتعويض الماء المفقود بالتبخر-النتح عن طريق الأجزاء الهوائية، ما يؤدّي إلى تراجع جهد الامتلاء Turgor potential داخل خلايا الأوراق وتثبيط استطالتها Leaf elongation، حيث يعد جهد الامتلاء بمنزلة القوة الفيزيائيّة التي تدفع جدر الخلايا النباتية على الاستطالة (Bressan، 1990 ؛ Cossgrove، 1989). يؤدّي تراجع استطالة الأوراق إلى تدني حجم المسطح الورقي الأخضر الفعّال في عملية التمثيل الضوئي، ما يؤثر سلباً في كمية المادة الجافة المصنّعة والمسخرة لنمو المجموعة الجذرية وتطورها. تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه AL-Ouda (1999)، وجنود (2007) في محصولي زهرة الشمس، والقمح على التوالي تحت ظروف الإجهاد الحلولي.

1 - 2 - تحديد المستوى الحلولي المحرض الأمثل:

يُلاحظ من الجدول (3) وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) بين المستويات الحلولية المحرضة المختلفة. وُيلاحظ أنّ نسبة الانخفاض في طول كل من الجذور والبادرات كانت الأدنى معنوياً (9.93، 9.87 % على التوالي) عند المستوى الحلولي المحرض (0.8- Mpa) بالمقارنة مع باقي المستويات الحلولية المحرضة. ويعد المستوى الحلولي المحرض (0.8- Mpa) بمنزلة المستوى الحلولي المحرض الأمثل، وسيعتمد في جميع تجارب الغربلة اللاحقة. تعّبر نسبة الانخفاض في طول كل من الجذور والبادرات عن كفاءة البادرات في استعادة النمو Recovery growth في نهاية فترة استعادة النمو. وترتبط القدرة على استعادة النمو بنسبة الخلايا النباتية التي بقيت حية في نهاية فترة التعريض للمستوى الحلولي المميت الأمثل (1.8- Mpa). عموماً، تتحدد نسبة الخلايا التي تبقى حية في نهاية فترة الإجهاد الحلولي المميت بكمية الوسائل الدفاعية المختلفة المصنّعة استجابة لإشارة التحذير Warning signal المتمثلة بالمستوى المحرض (غير المميت) من الإجهاد الحلولي. وتتوقف كمية الوسائل الدفاعية المصنّعة على مدى توافق المستوى الحلولي المحرض مع المورثات المسؤولة عن تصنيع الوسائل الدفاعية المختلفة. وُيلاحظ مما تقدّم، أنّ المستوى المحرض (0.8- Mpa) كان كافياً لدفع المورثات للتعبير عن كامل طاقتها الوراثية، ما أدّى إلى تصنيع كمية أكبر

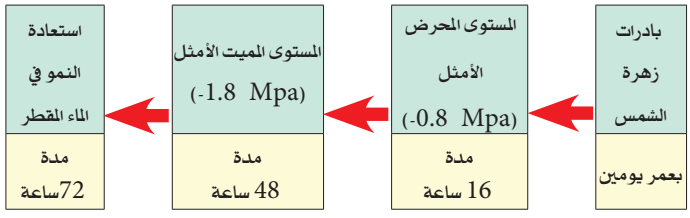
الجدول رقم (3). يبين تأثير مستويات حلولية محرضة مختلفة في نمو بادرات زهرة الشمس.

المعاملات (PEG-6000) MPa	متوسط طول الجذور (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول البادرات (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرات (%)
الشاهد المطلق	12.03 a	-	25.0 a	-
-0.2	9.40 c	21.70 b	20.83 c	16.67 c
-0.4	8.03 d	32.93 a	18.33 d	26.63 a
-0.6	8.30 d	33.70 a	19.13 d	23.37 b
-0.8	10.83 b	9.93 c	22.57 b	9.87 d
L.S.D (0.05)	0.8811	5.177	0.8378	2.947
C.V (%)	4.82	13.99	2.10	10.23

* تشير الأحرف المتماثلة إلى عدم وجود فروقات معنوية بين المعاملات عند كل صفة مدروسة.

من الوسائل الدفاعية التي ساعدت بدورها في وقاية المكتنفات الخلوية الحساسة والإبقاء على حياة نسبة أكبر من الخلايا النباتية لذلك اعتمد كمستوىً حلولي محرض أمثل. تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه Ganesh Kumar (1999)، وAL-Ouda (1999) في محصول زهرة الشمس Sunflower. وتنسجم هذه النتائج أيضاً مع ما توصل إليه العودة وزملاؤه (2006) في محصول الشعير، والعودة وزملاؤه (2005) في محصول القمح.

وتتلخص استناداً لما تقدم تقانة الغربلة Screening technique لتحمل الإجهاد الحلولي في طور البادرة الفتية على النحو الآتي:

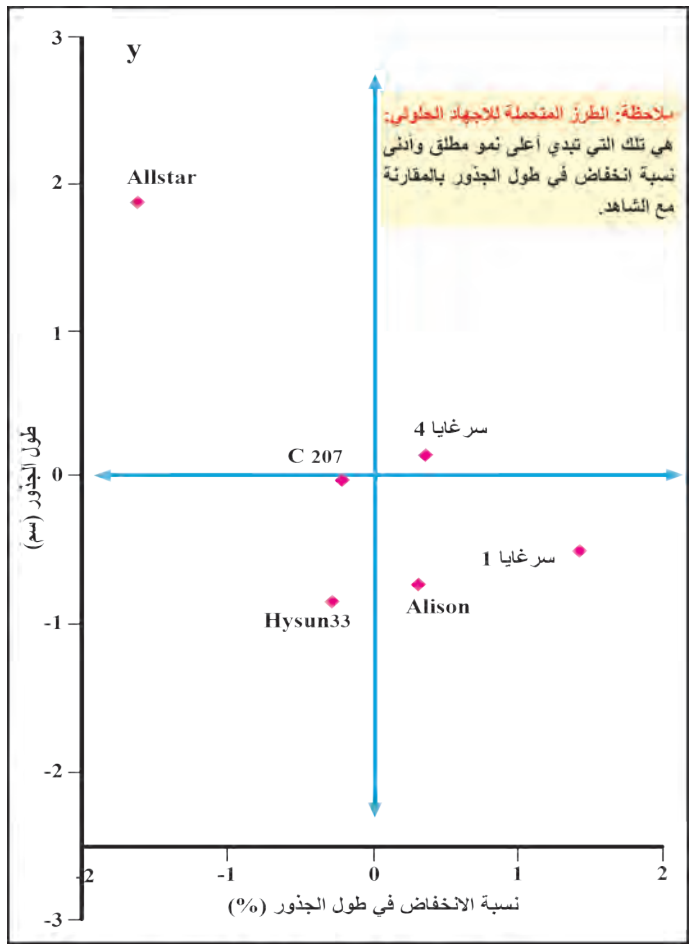


1 - 3 غربلة طرز زهرة الشمس لتحمل الإجهاد الحلولي في طور البادرة الفتية:

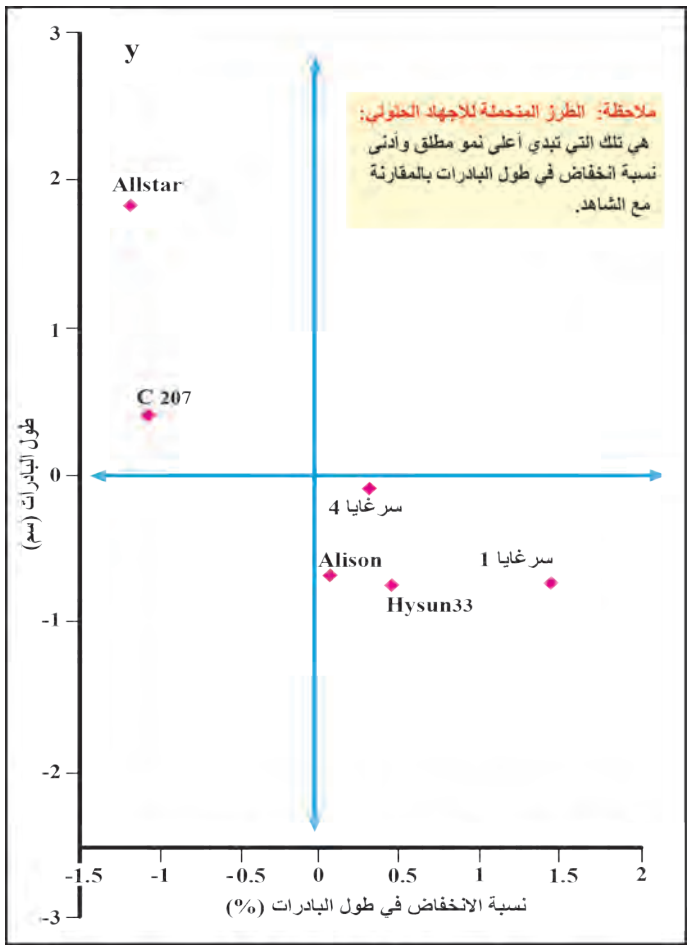
استخدمت تقانة الغربلة المطورة آنفاً لسبر التباين الوراثي في استجابة طرز زهرة الشمس المدروسة لتحمل الإجهاد الحلولي في مرحلة البادرة الفتية، بهدف عزل الطرز الوراثية المتحملة عن قريناتها الحساسة. بَيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية في استجابة طرز زهرة الشمس لتحمل الإجهاد الحلولي في طور البادرة الفتية. ولوحظ استناداً إلى صفتي طول الجذور والبادرات ونسبة الانخفاض فيهما أنّ الطرازين الوراثيين Allstar، وC_{207} يصنفان كطرزٍ وراثيّة عالية التحمل للإجهاد الحلولي، لأنهما أبديا أدنى نسبة انخفاض في طول الجذور (الشكل، 1) والبادرات (الشكل، 2). وكانت القيم المطلقة لهاتين الصفتين الأعلى معنوياً، في حين يصنف الطرازان الوراثيان Alison، وسرغايا $_1$ كطرزٍ وراثية عالية الحساسية للإجهاد الحلولي استناداً إلى المعايير السابقة، في حين يصنف الطرازان الوراثيان سرغايا $_4$، و$Hysun_{33}$ كطرزٍ وراثية متوسطة التحمل إلى حساسة للإجهاد الحلولي استناداً إلى نسبة الانخفاض في طول الجذور.

ثانياً- تقويم أهمية التحريض الحلولي:

يُلاحظ من الجدول (4) وجود فروقات معنويّة ($P\leq0.05$) بين المعاملات المعتمدة للوقوف على أهميّة التحريض في تحسين كفاءة البادرات في تحمل المستوى الميت من الإجهاد الحلولي Osmotic stress. ويُلاحظ أنّ متوسط طول الجذور والبادرات كان الأعلى معنوياً في البادرات المحرضة Iinduced seedling (9.33 ، 17.27 سم على التوالي)، في حين كان متوسط طول الجذور والبادرات الأدنى معنوياً لدى البادرات غير المحرضة، التي نقلت مباشرةً إلى المستوى الحلولي الميت (4.76، 9.26 سم على التوالي). وكانت نسبة الانخفاض في طول كلٍ من الجذور والبادرات الأعلى معنوياً لدى البادرات غير المحرضة (70.20، 68.30 % على التوالي) بالمقارنة مع البادرات المحرضة (41.53، 40.90 % على التوالي)، ما يشير إلى أهمية التحريض في تحسين كفاءة بادرات زهرة الشمس على تحمل المستويات الحلولية الميتة. ويعزى ارتفاع نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات لدى البادرات غير المحرّضة إلى تعرضها إلى صدمة حلوليةOsmotic shock ، لذلك يعتمد نجاح أسلوب الغربلة على النقل المرحلي Stepwise transfer للبادرات من المستويات المجهدة غير الميتة إلى المستويات الميتة من الإجهاد، بحيث تتمكن البادرات خلال فترة الإجهاد غير الميت من حشد وسائلها الدفاعية، وذلك حسب الطاقة الوراثية الكامنة Potential genetic لكل طراز والتهيؤ لمواجهة المستوى الميت، في حين يؤدي التعريض المباشر للمستويات الميتة إلى قتل جميع بادرات الطرز الحساسة والمتحملة على حدٍ سواء، لأنّها لم تُعطَ الزمن الكافي للتعبير عن طاقتها الوراثية الكامنة. تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه Ganesh Kumar (1999) وAL-Ouda (1999) في محصول زهرة الشمس. وتناغمت أيضاً مع ما توصل إليه العودة وزملاؤه (2005) في محصول القمح.



الشكل رقم (1). يبين توزع طرز زهرة الشمس حسب استجابتها للإجهاد الحلولي باستخدام التحليل لإحصائي Z- distribution.



الشكل رقم (2). يبين توزع طرز زهرة الشمس حسب استجابتها للإجهاد الحلولي باستخدام التحليل لإحصائي Z- distribution.

الجدول رقم (4). أهمية التحريض في تحسين تحمل بادرات زهرة الشمس للمستوى المميت من الإجهاد الحلولي.

المعاملات	متوسط طول الجذور (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول البادرات (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرات (%)
الشاهد المطلق	16.00	-	29.30	-
بادرات محرضة	9.33	41.53	17.27	40.90
بادرات غير محرضة	4.76	70.20	9.26	68.30
L.S.D (0.05)	1.647	6.581	2.402	5.573
C.V (%)	7.24	7.79	5.69	6.75

ثالثاً : غربلة طرز زهرة الشمس لتحمل إجهاد الحرارة المرتفعة في طور البادرة الفتية:

3 - 1 - تحديد المستوى الحراري المميت الأمثل:

بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) بين المعاملات الحرارية المميتة والفواصل الزمنية عند كل مستوى حراري. ويُلاحظ من الجدول (5) أنّ نسبة البادرات التي بقيت على قيد الحياة Survival في نهاية فترة استعادة النمو قد انخفضت تدريجياً بازدياد طول فترة التعرض للمستوى الحراري المميت. ويعد المستوى الحراري المميت 55مْ مدة ساعة واحدة بمنزلة المستوى الحراري المميت الأمثل، حيث كانت نسبة البادرات التي بقيت على قيد الحياة عند هذا المستوى والفاصل الزمني قرابة (53.33%)، و يتوافق هذا مع تعريف المستوى الحراري المميت الأمثل المشار إليه آنفاً. تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه AL-Ouda (1999) في محصول زهرة الشمس.

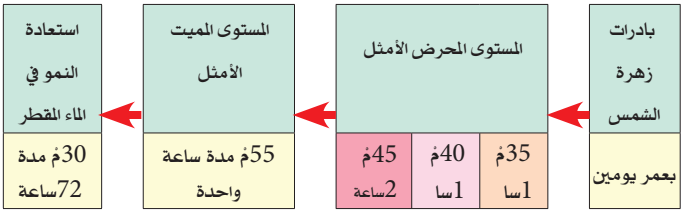
الجدول رقم (5). متوسط نسبة البادرات (%) التي بقيت حية في نهاية فترة استعادة النمو بعد تعريضها لدرجات حرارة مرتفعة لفترات زمنية مختلفة.

المعاملة		متوسط نسبة البادرات الحية (%)	المتوسط البيئي
درجة الحرارة (مْ)	الفترة الزمنية (سا)		
50مْ	1	83.33	68.33
	1.5	63.33	
	2	46.66	43.33
	2.5	23.33	
	3	6.66	25.00
	3.5	0	
المتوسط العام		37.22	11.67
55مْ	1	53.33	
	1.5	23.33	
	2	3.33	3.33
	2.5	0	
	3	0	0.00
	3.5	0	
المتوسط العام		13.33	
متوسط نسبة البادرات الحية (%)			
المتغير		L.S.D (0.05)	
درجات الحرارة		3.332	
الفواصل الزمنية		5.771	
التفاعل		8.162	
معامل التباين (%)		19.07	

3-2 - تحديد المستوى الحراري المحرض الأمثل:

يلاحظ من الجدول (6) وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في كفاءة استجابة بادرات زهرة الشمس للمستويات الحرارية غير المميتة (المحرّضة) المختلفة. ويُلاحظ بشكلٍ عام أنّ نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات كانت الأدنى معنوياً عند مختلف مستويات التحريض (35، 40، 45مْ مدة أربع ساعات) بالمقارنة مع البادرات غير المحرضة، التي نُقلت مباشرةً إلى المستوى المميت الأمثل المحدد من التجربة السابقة (55مْ مدة ساعة واحدة) (الجدول، 6). وُيلاحظ أنّ نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات في نهاية فترة استعادة النمو كانت الأدنى معنوياً في البادرات التي تعرضت إلى تحريض حراري تدريجي (35)مْ مدة ساعة، 40 مْ مدة ساعة، 45 مْ مدة ساعتين) قبل نقلها إلى المستوى المميت الحراري الأمثل (39.53، 28.10 % على التوالي)، ما يؤكّد أهميّة التعريض التدريجي (النقل المرحلي) في تحسين تحمل المستويات الحرارية المميتة وزيادة كفاءة سبر التباين الوراثي عند الغربلة لتحمل الإجهادات اللاإحيائية عامةً. ويعد استناداً إلى ما تقدم التحريض الحراري التدريجي بمنزلة المستوى الحراري المحرض الأمثل.

وتكون تقانة الغربلة التي ستستخدم في تقويم استجابة طرز زهرة الشمس لتحمل الحرارة المرتفعة على النحو الآتي:

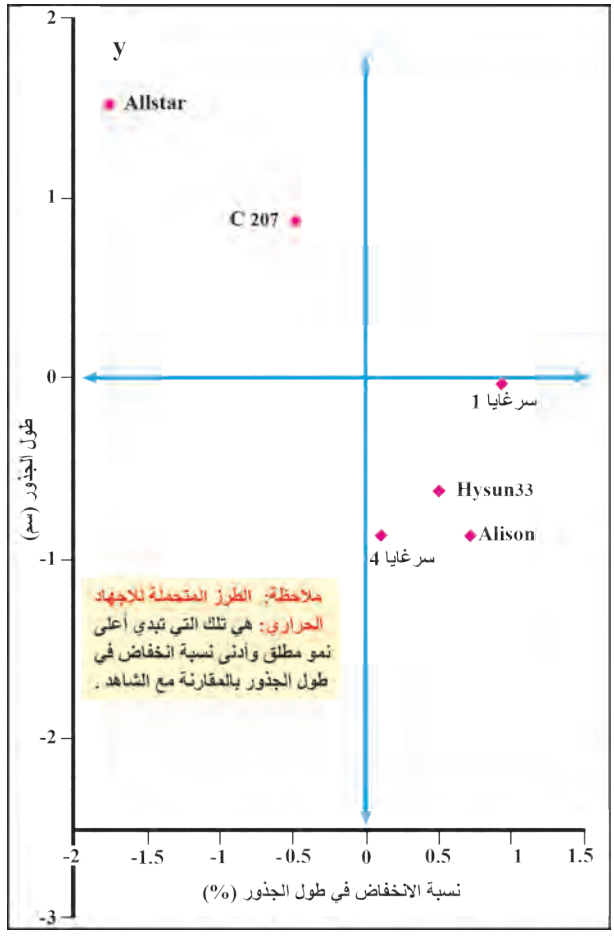


الجدول رقم (6). يبين تأثير مستويات حرارية محرضة مختلفة في نمو بادرات زهرة الشمس.

المعاملات	متوسط طول الجذور (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول البادرات (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرات (%)
الشاهد المطلق	9.25 a	-	16.93 a	-
الشاهد (بدون تحريض)	2.10 f	77.13 a	5.06 f	70.07 a
35مْ مدة أربع ساعات	2.70 e	70.63 b	7.67 d	54.73 c
40مْ مدة أربع ساعات	4.13 c	55.03 d	9.37 c	44.60 d
45مْ مدة أربع ساعات	3.40 d	62.97 c	6.47 e	61.73 b
تحريض تدريجي 35مْ 1 سا، 40مْ 1 سا، 45مْ 2 سا	5.56 b	39.53 e	12.17 b	28.10 e
L.S.D (0.05)	0.4233	4.327	1.064	5.659
C.V (%)	5.29	4.67	6.08	7.20

2-3 - غربلة طرز زهرة الشمس لتحمل إجهاد الحرارة المرتفعة:

بيّنت نتائج التحليل المسمى Z-distribution وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في استجابة طرز زهرة الشمس المدروسة لتحمل إجهاد الحرارة المرتفعة. ويُلاحظ من الشكل (3)، أنّ الطرازين الوراثيين Allstar، وC_{207} كانا الأكثر تحملاً لإجهاد الحرارة المرتفعة في طور البادرة الفتية، حيث أبديا أقل نسبة انخفاض في طول الجذور والبادرات، وأعلى معدل نمو مطلق Absolute growth rate في تلك الصفتين، في حين تُصنّفُ الطرز الوراثية سرغايا$_1$، و$Hysun_{33}$، وAlison، وسرغايا$_4$ كطرز حساسة جداً لإجهاد الحرارة المرتفعة، حيث أبدت معنوياً أعلى نسبة انخفاض في طول الجذور والبادرات، وأدنى معدل نمو مطلق في هاتين الصفتين (الشكلين 3 و 4). وتمت بهدف الوقوف على طبيعة استجابة طرز زهرة الشمس المدروسة لظروف الإجهادات اللاإحيائية المختلفة المدروسة تقدير قيمة معامل الارتباط بين طول البادرات للطرز المختلفة المدروسة تحت ظروف الإجهاد الحلولي، وطول البادرات تحت ظروف إجهاد الحرارة المرتفعة. لوحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً ($r = 0.94^{**}$)(الجدول، 7)، ما يشير إلى أنّ الطرز التي كانت عالية التحمل للإجهاد الحلولي في طور البادرة الفتية كانت أيضاً عالية التحمل لإجهاد الحرارة المرتفعة (Allstar، C_{207}).



الشكل رقم (3). يبين توزع طرز زهرة الشمس حسب استجابتها للإجهاد الحراري باستخدام التحليل لإحصائي Z- distribution.

وتشير هذه النتائج أيضاً إلى مصداقية تقانتي الغربلة المقترحتين.

الشكل رقم (4). يبين توزع طرز زهرة الشمس حسب استجابتها للإجهاد الحراري باستخدام التحليل لإحصائي Z- distribution.

رابعاً- تقويم أهمية التحريض الحراري التدريجي:

بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) بين المعاملات الحرارية المختلفة المدروسة (الشاهد، بدون تحريض، تحريض تدريجي). ويُلاحظ أنّ متوسط طول الجذور والبادرات كان الأعلى معنوياً لدى بادرات زهرة الشمس في المعاملة الشاهد، التي تركت فيها البادرات طيلة التجربة تحت ظروف النمو الطبيعية (9.20، 16.93 سم على التوالي)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية البادرات التي حرّضت بشكلٍ تدريجي قبل نقلها إلى المستوى الحراري المميت الأمثل (5.57، 12.17 سم على التوالي)، في حين كان متوسط طول الجذور والبادرات الأدنى معنوياً لدى البادرات غير المحرّضة التي نقلت مباشرةً إلى المستوى الحراري المميت الأمثل (2.10، 5.07 سم على التوالي). ويلاحظ تأكيداً لما سبق أنّ نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات كانت الأدنى معنوياً لدى البادرات المحرّضة (39.53، 28.10 % على التوالي)، ما يشير إلى أهمية التحريض التدريجي في تحسين تحمل بادرات زهرة الشمس للمستويات المرتفعة من الحرارة (الجدول، 8).

الجدول رقم (7). متوسط طول بادرات زهرة الشمس (سم) تحت ظروف الإجهادين الحلولي والحرارة المرتفعة.

الطراز الوراثي	متوسط طول البادرات تحت ظروف الإجهاد الحلولي (سم)	متوسط طول البادرات تحت ظروف الإجهاد الحراري (سم)	المتوسط البيئي (سم)
سرغايا1	16.18	12.53	14.36
Allstar	27.23	18.87	23.05
$Hysun_{33}$	16.10	10.73	13.42
سرغايا4	19.05	11.72	15.39
Alison	16.35	11.78	14.07
C_{207}	21.13	15.93	18.53
المتوسط العام	19.34	13.59	16.47
معامل الارتباط (r)	0.94		
C.V (%)	12.88		

الجدول رقم (8). يبين أهمية التحريض الحراري التدريجي في تحسين تحمل البادرات لإجهاد الحرارة المرتفعة.

المعاملات	متوسط طول الجذور (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول البادرات (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرات (%)
الشاهد المطلق	9.20	-	16.93	-
بادرات محرضة (تحريض تدريجي)	5.57	39.53	12.17	28.10
بادرات غير محرضة	2.10	70.63	5.07	70.07
L.S.D (0.05)	1.647	6.581	2.402	5.573
C.V (%)	7.24	7.79	5.69	6.75

خامساً- تقويم تأثير طبيعة التحريض في تحمل المستويات المميتة من الإجهاد:

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) بين المعاملات المدروسة. ويُلاحظ من الجدول (9) أنّ متوسط طول الجذور كان الأعلى معنوياً في البادرات النامية ضمن ظروف النمو الطبيعية (ماء مقطر، 30مْ) (الشاهد) (12.20 سم)، تلاها البادرات المحرضة حرارياً والمنقولة إلى المستوى المميت الحلولي والحراري تباعاً وبدون فروقات معنوية بينهما (10.10، 9.63 سم على التوالي)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية البادرات التي حُرضت حلولياً (0.8- Mpa) ثمّ نُقلت إلى المستوى الحلولي المميت الأمثل (1.8- Mpa) (إجهاد حلولي متماثل) (9.07 سم)، في حين كان متوسط طول الجذور الأدنى معنوياً لدى البادرات التي حُرضت حلولياً ثمّ نقلت إلى المستوى الحراري المميت الأمثل (55مْ مدة ساعة واحدة) (8.43 سم). وكانت أيضاً نسبة الانخفاض في طول الجذور بالمقارنة مع الشاهد الأدنى معنوياً لدى البادرات التي حرضت حرارياً (35مْ مدة ساعة 40 مْ مدة ساعة 45 مْ مدة ساعتين)، ثمّ نقلت إلى المستوى الحلولي المميت الأمثل (17.40 %)، في حين كانت نسبة الانخفاض في طول الجذور الأعلى معنوياً لدى البادرات التي حُرضت حلولياً ثمّ نقلت إلى المستوى الحراري المميت الأمثل (30.87 %). ولوحظت الاستجابة نفسها بالنسبة لباقي المعاملات. تشير هذه النتائج إلى أنّ التحريض الحراري التدريجي أكثر فاعلية من التحريض الحلولي. ويمكن أن يعزى ذلك إلى حقيقة أنّ التحريض الحراري التدريجي يمكن أن يدفع عدد أكبر من المورثات المسؤولة عن تصنيع البروتينات الدفاعية للتعبير عن نفسها بالمقارنة مع التحريض الحلولي. ويمكن أن تكون البروتينات الدفاعية المصنّعة Stress responsive proteins معنوياً أكبر تحت ظروف الإجهاد الحراري المحرّض بالمقارنة مع الإجهاد الحلولي، ما يساعد في حماية نسبة أكبر من الخلايا النباتية، والمحافظة على سلامتها خلال فترة الإجهاد الحلولي والحراري المميت. وتجلى ذلك بوضوح بزيادة مقدرة الجذور على استعادة النمو، حيث كان متوسط طول الجذور في نهاية فترة استعادة النمو الأعلى معنوياً عند هذه المعاملة بالمقارنة مع باقي المعاملات (الجدول، 9).

الجدول رقم (9). يبين تأثير طبيعة التحريض في نمو بادرات زهرة الشمس.

المعاملات	متوسط طول الجذور (سم)	متوسط نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول البادرات (سم)	متوسط نسبة الانخفاض في طول البادرات (%)
الشاهد	12.20	-	24.90	-
تحريض حلولي - مميت حلولي	9.06	25.67	18.90	24.07
تحريض حراري- مميت حراري	9.63	21.77	18.67	25.00
تحريض حراري- مميت حلولي	10.10	17.40	20.33	18.33
تحريض حلولي - مميت حراري	8.43	30.87	18.37	26.20
L.S.D (0.05)	0.5359	3.590	1.165	4.592
C.V (%)	2.88	9.96	3.06	13.03

وتشير هذه النتائج أيضاً إلى أنّ المستويات المميتة من الحرارة المرتفعة (55مْ مدة ساعة واحدة) تؤثر سلباً في نمو البادرات بدرجة أكبر من تأثير المستويات الحلولية المميتة، ما يشير إلى أنّ درجات الحرارة أكثر أهمية في تحديد انتشار نوع نباتي ما من محتوى التربة المائي. ويلاحظ أيضاً أنّ متوسط طول البادرات كان الأعلى معنوياً لدى البادرات التي حرضت حرارياً ثمّ نقلت إلى المستوى الحلولي المميت (20.33 سم)، وكانت نسبة الانخفاض في طول البادرات الأدنى معنوياً عند المعاملة نفسها (18.33 %) بالمقارنة مع باقي المعاملات. ولم تظهر نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية في متوسط طول البادرات ونسبة الانخفاض فيها بين باقي المعاملات. يتضح مما تقدم، وجود خطوط دفاعية عامة وأخرى خاصة. وأدى الإجهاد الحراري المحرض إلى تفعيل المورثات المرتبطة بتحمل الحرارة المرتفعة والجفاف، لذلك كانت نسبة الانخفاض في طول الجذور الأدنى معنوياً في البادرات المحرضة حرارياً بغض النظر عن طبيعة الإجهاد اللاإحيائي المميت (إجهاد حلولي، حرارة مرتفعة)، ولكن تؤدّي الإشارة الحلولية غير المميتة Osmotic stimuli إلى تفعيل فقط المورثات المسؤولة عن تصنيع البروتينات المرتبطة بتحمل الإجهاد الحلولي، لذلك كانت نسبة الانخفاض في طول الجذور الأعلى معنوياً في البادرات المحرضة حلولياً، ثمّ نقلت إلى المستوى الحراري المميت (30.87 %) بالمقارنة مع البادرات المحرضة حلولياً ثمّ نقلت إلى المستوى الحلولي المميت الأمثل (25.67 %). ويعزى ذلك إلى عدم تصنيع البروتينات المسؤولة عن تقليل التأثير الضار الناجم عن الحرارة المرتفعة Heat Shock Proteins (HSP,s). تشير هذه النتائج إلى أنّ مستوى التحمل في بادرات زهرة الشمس يرتبط بطبيعة الإجهاد المحرض وكفاءته في تفعيل عدد أكبر من المورثات المسؤولة عن تصنيع البروتينات الدفاعية (الإجهاد الحراري التدريجي).

يستنتج من ذلك:

1. تتوقف فعالية تقانة الغربلة المستخدمة لسبر التباين الوراثي استجابة لظروف الإجهاد الحلولي (الجفاف) على تعريض البادرات بشكلٍ مسبق لمستوى غير مميت (محرض) من الإجهاد الحلولي قبل نقلها إلى المستوى المميت من الإجهاد.
2. أظهرت طرز زهرة الشمس المدروسة تبايناً في استجابتها للإجهاد الحلولي خلال مرحلة البادرة الفتية باستخدام تقانة الاستجابة للتحريض الحلولي المطوّرة مخبرياً (OIRT). وصنفت الطرازان الوراثيان Allstar و C_{207} كطرازين متحملين بشكلٍ كبير للإجهاد الحلولي، والحرارة المرتفعة في حين صنف الطرازان الوراثيان Alison وسرغايا$_1$ كطرازين حساسين للإجهاد الحلولي.
3. ساعد التحريض الحلولي، والحراري التدريجي في تحسن كفاءة البادرات في تحمل المستويات الحلولية والحرارية المميتة بالمقارنة مع التعريض المباشر للمستوى المميت. ويتوقف نجاح أسلوب الغربلة على النقل المرحلي Stepwise transfer للبادرات.
4. يعد التحريض الحراري التدريجي أكثر فعّالية في تحسين تحمل بادرات زهرة الشمس للإجهادات اللاإحيائية المميتة الأخرى بالمقارنة مع التحريض الحلولي.
5. لا يمكن الجزم بفعالية تقانتي الغربلة المقترحتين لسبر التباين الوراثي في استجابة طرز زهرة الشمس لإجهادي الجفاف والحرارة المرتفعة ما لم يتم التأكد من وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً بين أداء الطرز الوراثية المدروسة في طور البادرة الفتية والنبات الكامل في الحقل.

المراجع

الشحاذة العودة، أيمن؛ صبوح، محمود وجودة، محمد عادل .2005. تقويم استجابة بعض الطرز الوراثية من القمح لإجهاد المائي في طور البادرة .

مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، المجلد (21)- العدد (1)، الصفحات 15-33.

الشحاذة العودة، أيمن؛ صالح، رفيق؛ والشيخ علي، رؤى. 2006. تقييم استجابة بعض أصناف الشعير المحلية لتحمل الإجهاد الحلولي في مرحلة النمو لأولي. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، المجلد (22)- العدد (1)، الصفحات:15-33.

الشحاذة العودة، أيمن.2007. تقويم أهمية التحريض وطبيعته في تحسين تحمل بعض سلالات أكساد من القمح القاسي والطري للإجهاد الملحي. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، المجلد (23)- العدد (2)- الصفحات:15-36.

جنود، غادة .2007. دراسة التباين الوراثي لتحمل الجفاف في بعض الأصول الوراثية للقمح. رسالة ماجستير، قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، الجمهورية العربية السورية.

AL-Ouda, A.S. 1999. Genetic variability for heat and drought stress tolerance among sunflower hybrids: An assessment based on physiological and biochemical parameters. Ph. D. Thesis submitted to Crop Physiology Dept., UAS, Bangalore, India.

Bressan, R.A.1990. Reduced cell expansion and changes in cell walls of plant cells adapted to NaCl. Environmental Injury to Plants (F. Katterman ed.), Academic Press, San Diego, P.137.

Cossgrove, D.J. 1989. Characterization of long-term extension of isolated cell walls from growing cucumber hypocotyls. Planta, (177):121.

Ganesh Kumar, 1999. Identification of thermo-tolerant lines in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Based on temperature induction response (TIR): Role of HSPs and LEAs in temperature and osmotic stress. Ph.D. Thesis submitted to University of Agricultural Sciences, Bangalore, India.

Germ, M., Urbanc, O. B., and Kocjan, A. D. 2005. The response of Sunflower to acute disturbance in water availability. Acta Agriculture Solvenica;85(1):135-141.

Putnam, D.H., Oplinger E.S., Hicks, D.R., Durgan B.R., Noetzel, D.M., Meronuck, R.A., Doll J.D., and Schulte E.E. 1990. Field Crops Manual. University of Wisconsin-Madison-College of Agricultural and Life Sciences and Cooperative Extension Service. *Electronic Publishing*.

Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant Physiol., (161):1189-1202.

Xiana Liu and Wm. Vance, Baird. 2003. Differential Expression of genes regulated in response to drought or salinity stress in sunflower. Crop Sci. (43):678-687.