تقييم استجابة بعض أنواع الرغل (*Atriplex* spp.) لتحمّل الإجهاد الحلولي في مرحلة البادرة الفتية

Evaluation the Response of Some *Atriplex* Species to PEG-Induced Osmotic Stress at Seedling Stage

د. أحلام معروف [1] د. أيمن الشحاذة العودة [2] د. جورجيت بابوجيان [1]

A. Marouf [1] A. AL-Ouda [2] G. Babojian [1]

asalman77@gmail.com

(1) قسم علم الحياة النباتية، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية ، سورية.

(1) Dep. of Plant Biology, Faculty of Science, Damascus University, Syria.

(2) قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، سورية.

(2) Dep. Of Field Crops, Faculty of Agriculture, Damascus University, Syria.

الملخص

نُفّذت دراسة مخبرية في كلية العلوم، بجامعة دمشق،(سورية) بهدف تطوير تقانة غربلة مخبرية سريعة وفعّالة في سبر التباين الوراثي لاستجابة أربعة أنواع من الرغل *Atriplex* المنتشرة في محطة وادي العزيب للإجهاد الحلولي المصطنع باستعمال مركب البولي إيثيلين غليكول (PEG6000) خلال مرحلة النمو الأولي (البادرة الفتية) ، وتحديد الأنواع الأكثر تحملاً للإجهاد الحلولي. يُعد مستوى الإجهاد الحلولي (- 1.2 Mpa) بمثابة المستوى الحلولي المميت الأمثل، لأنّه سبب انخفاضاً في طول كل من الجذور والبادرات مقداره 54.6 و 53.3 % على التوالي، وهذا يتوافق مع تعريف المستوى المميت الأمثل، في حين يُعد مستوى الإجهاد الحلولي (- 0.6 Mpa) بمنزلة المستوى الحلولي المحرض الأمثل، لأنّ نسبة الانخفاض في طول الجذور كانت الأدنى معنوياً (9.09 %) في نهاية فترة استعادة النمو. وبيّنت النتائج وجود فروقات معنوية في استجابة أنواع الرغل المدروسة للإجهاد الحلولي، إذ كانت مقدرة بادرات الرغل الملحي على تحمّل الإجهاد الحلولي معنوياً أعلى، وأبدت أقل نسبة انخفاض في طول الجذور والبادرات (17.71، 8.95 % على التوالي) مقارنة ببقية أنواع الرغل المدروسة، في حين كانت نسبة الانخفاض في تلك المؤشرات الأعلى معنوياً في نوع الرغل الكاليفورني (25.00، 17.87 % على التوالي) مقارنة ببقية الأنواع، ويصنّف تبعاً لذلك ضمن أنواع الرغل الحساسة للإجهاد الحلولي خلال مرحلة البادرة الفتية.

الكلمات المفتاحية : الإجهاد الحلولي، التحريض، تقانة الغربلة، الرغل، وادي العزيب.

Abstract

A laboratory experiment was conducted in order to develop an effective and rapid screening tool to assess the genetic variability for the response of some *Atriplex* species to polyethylene glycol-induced osmotic stress at early growth stage (Seedlings), and to identify the most osmotic stress tolerant species. It has been found that the osmotic stress (- 1.2 Mpa) is considered as the lethal osmotic level, because it reduced the length of roots and shoot by 54.6, 53.3% respectively, and this coincides with the definition of the lethal osmotic level, while the osmotic stress level (- 1.2 Mpa) is considered as the optimum osmotic induction level, because the reduction of root length at this level was the least (9.09%) at the end of the growth recovery. There were significant differences in the response of the investigated *atriplex* species to osmotic stress. *Atriplex halimus* showed higher tolerance, where it showed comparatively lesser

©2018 The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, All rights reserved.

ISSN:2305 - 5243 ; AIF(NSP)-177

reduction in the length of roots and shoot (17.71, 8.95% respectively), while the reduction in these two parameters was comparatively higher in the species *Atriplex polycarpa* (25.00,17.87% respectively), so it can be classified as a sensitive species to osmotic stress during the seeding stage.

Keywords: Osmotic stress, Induction, Screening tool, *Atriplex*, Wadi Al-Azeeb.

المقدمة

يُعد الرغل *Atriplex* من النباتات المتكيفة بشكل جيد في البيئات الهامشية الجافة، ويتسم بمقدرة عالية على تحّمل العديد من الإجهادات اللاأحيائية (الجفاف، الحرارة المرتفعة، والملوحة). ويتميز بقيمة اقتصادية كبيرة نظراً لتعدد استعمالاته، فهو من الأنواع النباتية الرعوية العالية الاستساغة، إذ تُرعى نباتاته من قبل الأغنام والماعز والجمال على مدار العام، ويُستعمل طبياً في معالجة ارتفاع سكر الدم، ويمكن أن تُستعمل الأجزاء الغضة من بعض أنواعه في إعداد السلطات، كما تُستعمل مطبوخةً، ولكن عادةً ما يكون مذاق الأوراق مالحاً حتى لو نمت النباتات على ترب غير متملحة (العودات، 2008 و Ben Salem وزملاؤه، 2009). وتُعد إتاحة المياه (Water availability) أحد العوامل المهمة المحددة لإنتاجية الأنواع النباتية، ولاسيما ضمن النظم البيئية الطبيعية. وتتعرض النباتات للإجهاد المائي عندما تقل مصادر المياه المتاحة في المناطق البيئية المستهدفة نتيجة قلّة معدلات الهطول المطري وتذبذبها، وعدم انتظام توزُّعها خلال موسم النمو بما يتناسب وتأمين احتياجات النباتات المائية (Reddy وزملاؤه، 2004).

لا تتعرض النباتات في البيئات التي تخضع للإجهاد المائي مباشرةً إلى مستويات مميتة من الجفاف، وإنّما تتعرّض أولاً إلى مستوى غير مميت من الإجهاد (Sub-lethal stress) قبل أن تتعرّض إلى المستوى المميت منه، لأنّ تراجع محتوى التربة المائي عادةً ما يكون تدريجياً من طبقات التربة السطحية إلى طبقات التربة العميقة، ويمكن للنباتات أن تتكيف مع مثل هذه التبدلات التدريجية، وذلك من خلال الاستفادة من إشارة التحذير (Warning signal) المتمثلة بالمستوى غير المميت من الإجهاد المائي، والبدء بتهيئة وسائلها وآلياتها الدفاعية (الشكلية والفيزيولوجية والبيوكيميائية والجزيئية) لمواجهة المستويات المميتة من الإجهاد. عموماً، تكون الأنواع/الطرز الوراثية التي تُصنّع كميةً أكبر من الوسائل الدفاعية خلال التعرض للمستوى المُحرّض من الإجهاد المائي أقدر على التحمل والبقاء على قيد الحياة خلال فترة المستوى المميت من الإجهاد نفسه (AL-Ouda، 1999). وتُسمّى هذه الظاهرة من التكيّف المرحلي (Step-wise adaptation)، التي تترافق بحدوث العديد من التغيرات على المستوى الخلوي اصطلاحاً بالتحمّل المكتسب (Acquired tolerance) (Ganesh Kumar، 1999). ويرتبط نجاح سبر التباين الوراثي بين الأنواع/الطرز الوراثية على تحديد الصفات المهمة (Key traits) المرتبطة وراثياً بتحمل الإجهاد المدروس، وتوافر تقانة غربلة (Screening tool) مناسبة وسريعة وفعّالة في كشف التباين الوراثي استجابةً لظروف الإجهاد، ويُعد حقيقةً غياب تقانة الغربلة المخبرية السريعة والفعّالة من أهم العقبات التي تحول دون تحديد الطرز المتحملة عن قريناتها الحساسة، ولاسيما في حال وجود عدد كبير جداً من المدخلات الوراثية، إذ تحتاج عملية التقييم على مستوى النبات الكامل في الحقل الكثير من الجهد، والوقت والمال، وغالباً ما تكون غير دقيقة، بسبب محدودية المؤشرات التي يمكن الاعتماد عليها لتقييم أداء تلك الطرز الوراثية العديدة، لذلك كان لا بدّ من تطوير تقانة غربلة مخبرية خاصة بالرغل *Atriplex* تحاكي فعلاً ما يحدث في الظروف البيئية الطبيعية، وذلك من خلال تحديد المستوى المُحرّض (غير المميت) من الإجهاد المائي (الحلولي) والمستوى المميت. ويحدث خلال فترة التعرّض للمستوى غير المميت (المُحرّض) من الإجهاد تصنيع العديد من البروتينات، وتفعيل العديد من الآليات، التي تُساعد على حماية العديد من المكتنفات الخلويّة، بما يضمن المحافظة على سير العديد من العمليات الفيزيولوجية والبيوكيميائية تحت ظروف الإجهاد اللاأحيائي المميت (Hsiao، 1973). عموماً، كلما كان مستوى التعبير الوراثي (Gene expression) كبيراً ومثالياً، كانت كمية البروتينات الدفاعية المُصنّعة أكبر، ما يزيد من كفاءة النباتات على تحمل المستويات المميتة من الإجهاد، وتزداد مقدرتها على استعادة النمو بعد انقضاء العامل البيئي المحدد للنمو (الإجهاد الحلولي). وبالتالي، يتوقف تحديد الأنواع النباتية الأكثر تحمّلاً للإجهاد المائي (الحلولي) على تحديد المستوى المحرّض الأمثل من الإجهاد (Optimum induction level)، والمستوى المميت الأمثل (Optimum lethal level)، وفترة استعادة النمو (العودة والشيخ علي، 2008).

أجريت دراسة بهدف تطوير تقانة غربلة مخبرية سريعة وفعّالة في سبر التباين الوراثي لاستجابة بعض أصناف الشعير المحلية للإجهاد الحلولي المصطنع باستعمال مركب بولي إيثلين غليكول6000 (PEG-6000) في مرحلة النمو الأولي، وتقييم أهمية التعريض المسبق لمستويات غير مميتة (محرِّضة) في تحسين التحمل للمستوى المميت من الإجهاد الحلولي، ولُوحظ وجود فروقات معنوية في استجابة أصناف الشعير المدروسة للإجهاد الحلولي. وكانت المقدرة على استعادة النمو أعلى في النباتات المحرَّضة مقارنة بالنباتات غير المحرَّضة لدى جميع الطرز الوراثية المدروسة (العودة وزملاؤه، 2006).

هدف البحث

- تطوير تقانة غربلة سريعة وفعّالة في سبر التباين الوراثي لتحمل بعض أنواع الرغل للإجهاد الحلولي خلال مرحلة البادرة الفتية.
- عزل أنواع الرغل المدروسة المتحملة للإجهاد الحلولي عن قريناتها الحساسة.

مواد البحث وطرائقه

المادة النباتية: تمت الدراسة على بادرات أربعة أنواع من الرغل المنتشرة في وادي العزيب (سورية) هي: (الرغل الأمريكي *A. canescens*، والرغل الكاليفورني *A. Polycarpa*، والرغل السوري *A. leucoclada*، والرغل الملحي *A. halimus*).

سبر التباين في استجابة بعض أنواع الرغل لتحمّل الإجهاد الحلولي باستعمال سكر البولي إيثيلين جلايكول (6000 – PEG) خلال مرحلة البادرة الفتيّة:

- تحديد المستوى الحلولي المميت الأمثل: طبق الإجهاد المائي (الحلولي) مخبرياً باستعمال مركب البولي إيثيلين جلايكول-6000 (PEG6000)، إذ عُرّضت بادرات الرغل (بعمر يومين) إلى مستويات مختلفة من الإجهاد الحلولي (0.8-، 1.0-، 1.2-، 1.4-، 1.6- 1.8- 2.0- Mpa) مدّة 48 ساعة، ثمّ نُقلت البادرات إلى أطباق بتري أخرى تحوي ماءً مقطراً فقط لتستعيد نموها مدّة 72 ساعة عند درجة حرارة 25 درجة مئوية. وتُركت في الوقت نفسه بادرات من الرغل في أطباق بتري تحوي ماءً مقطراً فقط منذ بداية التجربة وحتى نهايتها لتُعتمد شاهداً مطلقاً تُحسب على أساسه نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات. حُسبت في نهاية فترة استعادة النمو نسبة الانخفاض في طول الجذور/ البادرات مقارنة بالشاهد المطلق وفق المعادلة الرياضية الآتية (AL-Ouda، 1999):

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

عموماً، تُعد المعاملة التي تكون عندها نسبة الانخفاض في طول الجذور/البادرات نحو 50 % بمنزلة المستوى الحلولي المميت الأمثل.

- تحديد المستوى الحلولي المحرِض الأمثل: عُرّضت بادرات الرغل (بعمر يومين) إلى مستويات محرِّضة مختلفة من الإجهاد الحلولي (0.0، 0.2-، 0.4-، 0.6-، 0.8- Mpa) مدّة 16 ساعة، ثمّ نُقلت البادرات المحرّضة من كل معاملة على حدة إلى المستوى الحلولي المميت الأمثل المحدَّد من التجربة السابقة، وتُركت مدّة 48 ساعة، ثمّ سُمح للبادرات باستعادة نموها في الماء المقطّر مدّة 72 ساعة. وحُسبت في نهاية فترة استعادة النمو نسبة الانخفاض في طول الجذور/البادرات مقارنةً بالشاهد المطلق. واُعتمدت المعاملة التي كانت عندها نسبة الانخفاض في طول الجذور/ البادرات أقل ما يمكن بالشاهد بمنزلة المستوى الحلولي المحرّض الأمثل. تمّ تحضير المستويات الحلولية المختلفة بناءً على جداول متعارف عليها دولياً، يوضح فيها الكمية اللازمة من مركب البولي إيثيلين غليكول لتحضير لتر واحد لإجهاد حلولي محدد (AL-Ouda ، 1999)، إذ تمّ تحضير محلول أم (Stock solution) ذو جهد حلولي 2- Mpa، استعمل لاحقاً لتحضير المستويات الحلولية المختلفة بالكميات المطلوبة. وضعت البادرات في أطباق بتري (قطر 9 سم)، بمعدل 10 بادرات في كل طبق، ولكل معاملة ونوع من أنواع الرغل الأربعة المدروسة، وبمعدل أربعة مكررات لكل معاملة. واستعمل في التجربة المخبرية التصميم العشوائي التام، وحُللت البيانات باستعمال برنامج التحليل الإحصائي M-stat-C لحساب قيم أقل فرق معنوية عند مستوى المعنوية 1 %.

- غربلة أنواع الرغل المدروسة استجابةً للإجهاد الحلولي عند مستوى البادرة الفتية: عُرّضت بادرات الرغل المدروسة (بعمر يومين) من كل نوع على حدة للمستوى الحلولي المحرِّض الأمثل مدّة 16 ساعة، ثمّ نُقلت البادرات المحرّضة إلى المستوى المميت الأمثل من الإجهاد الحلولي، وتركت مدّة 48 ساعة، ثمّ سُمح لها باستعادة نموها في الماء المقطر مدّة 72 ساعة. وسُجّل في نهاية فترة استعادة النمو القراءات المتعلّقة بطول الجذور/ البادرات. وحُسبت نسبة الانخفاض في طول كل من الجذور/البادرات مقارنة بالشاهد المطلق. وتمّ تقييم استجابة أنواع الرغل المدروسة للإجهاد الحلولي باستعمال التحليل الإحصائي المسمّى Z–distribution analysis بالاعتماد على مؤشرات متوسط الطول الكلي للجذور والبادرات، ونسبة الانخفاض فيهما مقارنة بالشاهد. وقُسّمت الأنواع وفقاً لذلك إلى المجموعات الآتية:

1 - الأنواع عالية التحمل: وهي الأنواع التي تُبدي أدنى نسبة انخفاض في طول الجذور/البادرات وأعلى متوسط طول كلي لهما.

2 - الأنواع عالية الحساسية: وهي الأنواع التي تُبدي أعلى نسبة انخفاض في طول الجذور/البادرات وأدنى متوسط طول كلي لهما.

النتائج والمناقشة

- تحديد المستوى المميت الأمثل (Identification of the optimum lethal level)

بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.01$) في صفتي نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات بين المستويات الحلولية المميتة المختلفة (الجدول 1). ويُلاحظ أنّ نسبة الانخفاض في طول البادرات كانت الأعلى معنوياً عند المستويات الحلولية المميتة (1.4-، 1.6-، 1.8-، 2- Mpa) (80.33، 73.77، 96.40، 93.27 % على التوالي) ودون فروقات معنوية بينها، في حين كانت نسبة الانخفاض في طول البادرات الأدنى معنوياً عند المستويات الحلولية المميتة (0.8-، 1.0-، 1.2- Mpa) (43.60، 45.57، 53.27 % على التوالي) ودون أية فروق معنوية بينها. ويُلاحظ أنّ نسبة الانخفاض في طول الجذور كانت الأعلى معنوياً عند المستويات الحلولية المميتة (1.8-، 2.0-، 1.4-، 1.6-، 1.2- Mpa) (89.17، 83.60، 72.23، 65.27، 54.57 % على التوالي) ودون فروقات معنوية بينها، في حين كانت الأدنى معنوياً عند المستويين (0.8-، 1.0- Mpa) (38.70، 42.07 % على التوالي)، ودون فروقات معنوية بينهما. يُلاحظ مما تقدم، أنّ المعاملة 1.2- Mpa تُعد بمثابة المستوى المميت الأمثل، كونها خفَّضت طول كل من الجذور والبادرات بنحو 50 % تقريباً (54.57، 53.27 % للجذور والبادرات على التوالي). ويتفق هذا مع تعريف معاملة المستوى المميت الأمثل المُشار إليه سابقاً. ويُعزى التراجع المضطرد في معدل نمو كل من الجذور والسويقة الجنينية بازدياد تركيز السكريات الذوّابة في محلول النمو إلى انخفاض الجهد المائي لمحلول النمو (أي يصبح الجهد المائي أكثر سلباً)، فتتراجع حدة التدرج في الجهد المائي (Water potential gradient) بين البادرات ومحلول النمو، فيقل بذلك معدل تدفق الماء وامتصاصه من قبل الجذور، أي تصبح كمية المياه الممتصة غير كافية لتعويض المياه المفقودة بالنتح، فيختل ميزان العلاقات المائية داخل الخلايا النباتية، وتتعرّض الخلايا إلى العجز المائي (Water defici)t، فتتراجع قيمة جهد الامتلاء Turgor potential (Ψp)، ما يؤدي إلى تراجع استطالة الخلايا النباتية cell expansion Plant ، إذ تُعد المحافظة على جهد الامتلاء داخل الخلايا النباتية من أهم العوامل المحددة لاستطالة الخلايا النباتية ونموها (Cossgrove، 1989). ويُلاحظ بشكل عام، وعند كل مستوى حلولي مميت، إنّ نسبة الانخفاض في طول البادرات كانت أعلى مقارنة بنسبة الانخفاض في طول الجذور (باستثناء المستوى الحلولي المميت -1.2 Mpa)، أي أنّ نسبة الانخفاض في المجموعة الهوائية كانت أكبر من نسبة الانخفاض في المجموعة الأرضية، وهذا يتفق مع حقيقة أنّ الأجزاء الهوائية أكثر حساسيةً للإجهاد المائي من المجموعة الجذرية (Westgate و Boyer، 1985 و Sharp وزملاؤه، 1988). وتُعدّ هذه الصفة من الصفات التكيفية المهمة، إذ يسمح استمرار نمو الجذُور بزيادة درجة تعمقها وتغلغلها ووصولاً إلى طبقات التربة العميقة الرطبة، ما يزيد من كفاءة الجذور في امتصاص كمية من المياه كافية لتعويض المياه المفقودة بالنتح، والمحافظة على حالة الامتلاء في الخلايا النباتية، واستمرار استطالتها ونمو الأجزاء النباتية المشكلة لها. ويُمكن أن يسمح ذلك أيضاً بضمان استمرار انفتاح المسامات ودخول غاز CO_2 اللازم لاستمرار عملية التمثيل الضوئي، وتصنيع المادة الجافة اللازمة لنمو أجزاء النبات المختلفة وتطورها (Loboda ، 2002). وتُعد زيادة حساسية الأجزاء الهوائية للإجهاد المائي مقارنة بالمجموعة الجذرية من الصفات التكيفية المهمة، وذلك من خلال تقليص حجم المسطح الورقي الأخضر للحد من معدل فقد الماء بالبخر ـ نتح، وتسخير نواتج التمثيل الضوئي لنمو المجموعة الجذرية (Dwyer و Stwart، 1985 ؛ Chapin، 1991)، ولكن يؤثر سلباً في كفاءة النباتات التمثيلية وكمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة (Witkowski و Lamont، 1991). وتتفق هذه النتائج مع ما توصلت إليه جنود (2007) والتومي (2012) في القمح ، والتمو (2013) في الشعير.

الجدول 1. تأثير مستويات حلولية مميتة مختلفة في نمو بادرات الرغل.

المعاملة (PEG- 6000) (Mpa)	متوسط طول الجذور (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول البادرة (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرة (%)
الشاهد (ماء مقطّر)	0.70	-	3.57	-
0.8 -	0.43	38.70^{B}	2.03	43.60^{C}
1.0-	0.40	42.07^{B}	1.93	45.57^{C}
1.2-	0.33	54.57^{AB}	1.70	53.27^{BC}
1.4-	0.20	72.23^{AB}	0.70	80.33^{AB}
1.6-	0.23	65.27^{AB}	0.90	73.77^{ABC}
1.8-	0.03	89.17^{A}	0.13	96.40^{A}
2.0-	0.07	83.60^{A}	0.23	93.27^{A}
$L.S.D_{0.01}$	-	40.56	-	32.41
C.V (%)	-	31.89	-	23.36

تشير الأحرف المتماثلة إلى عدم وجود فروقاتٍ معنوية بين المعاملات عند مستوى معنوية **0.01**.

تحديد المستوى المحرّض الأمثل (Identification of the optimum induction level)

بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنويّة ($P\leq0.01$) في صفتي نسبة الانخفاض في طول كل من الجذور والبادرات، (الجدول 2). يُلاحظ أنّ متوسط نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات كان الأعلى معنويّاً عند المستوى المحرّض 0.4- Mpa (28.21، 58.18 % على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً عند المستوى المحرّض 0.8Mpa- (20.51 %) بالنسبة إلى طول البادرات، وعند المستوى المحرّض 0.6- Mpa (9.09 %) بالنسبة إلى طول الجذور. ونظراً لأهمية تشكيل مجموع جذري متعمق ومتشعب تحت ظروف الإجهاد المائي من ناحية، وتقليل حجم المسطح الورقي الأخضر في البيئات المجهدة لتقليل معدل فقد المياه بالنتح من ناحية أخرى، سيعتمد المستوى المحرض 0.6- Mpa بمنزلة المستوى المحرّض الأمثل. ويُلاحظ أنّ نسبة الانخفاض عند المستوى 0.6MPa- (26.67 %) كانت معنوياً أدنى مقارنةً بالمستويين المحرّضين الأدنى (0.4-، 0.2- Mpa) (28.21، 27.18 %). ويمكن أن يُعزى ذلك إلى دور مركب البولي إيثيلين غليكول-6000 (PEG_{6000}) في عملية التعديل الحلولي، إذ ساعد امتصاص كمية نسبياً أكبر من هذا المركب الذوّاب (دون المستوى الضار) على خفض الجهد الحلولي داخل الخلايا النباتية (يصبح الجهد الحلولي أكثر سلباً)، ومن ثمّ يزداد فرق التدرّج في الجهد المائي، الذي يسمح بامتصاص كمية أكبر من المياه، ومن ثمّ المحافظة على جهد الامتلاء داخل الخلايا النباتية، الذي يُعد القوّة الفيزيائية التي تدفع جدر الخلايا النباتية على الاستطالة والنمو (Bressan وزملاؤه، 1990؛ Taiz و Zeiger، 2006). عموماً، تسمح عملية المحافظة على جهد الامتلاء داخل الخلايا النباتية في استمرار جميع العمليات الفيزيولوجية المعتمدة على جهد الامتلاء (Turgor-dependent processes)، ولاسيما عملية التمثيل الضوئي (Photosynthesis). وتسمح أيضاً عملية المحافظة على جهد الامتلاء في ضمان استمرار انفتاح المسامات لفترة زمنية أطول وبدرجة أكبر ما يؤدي إلى زيادة معدل انتشار غاز CO_2 عبر المسامات، ومن ثمّ ارتفاع تركيزه داخل مراكز التثبيت ضمن الصّانعات الخضراء. تؤدي هذه العوامل مجتمعةً إلى زيادة كفاءة البادرات في تصنيع المادة الجافة (Dry matter)، ما يؤدي إلى زيادة معدّل نمو البادرة وتطورها (Chaves وزملاؤه، 2002). ويمكن أن تفسّر المقدرة العالية على استعادة النمو عند المستوى المُحرّض الأمثل بدوره على دفع المورثات التي تتفعّل بتأثير الإجهاد الحلولي للتعبير الوراثي (Gene expression) الكامل والمتمثل بتصنيع كمية أكبر من البروتينات الدفاعية، التي يتراوح وزنها الجزيئي بين 15 و70 KD، ويرتبط تصنيع هذه البروتينات وتراكمها بزيادة مقدرة النباتات على تحمّل الإجهادات البيئية (Shen وزملاؤه، 2003). تساعد هذه البروتينات على وقاية، وضمان سلامة نسبة أكبر من الخلايا النباتية، إذ يتجلى ذلك بمقدرة أكبر على استعادة النمو. تُعزز هذه النتائج أهمية التعريض المسبق للنباتات إلى مستويات غير مميتة من الإجهاد، إذ يسمح ذلك بتنبيه النباتات للخطر المُحدق (الجفاف الشديد)، ويدفعها لحشد كل الوسائل الدفاعية المتاحة لمواجهة المستوى المميت من الجفاف والبقاء حية ريثما يزول العامل البيئي المحدد للنمو، عندها تستطيع فقط النباتات التي حافظت على حياة خلاياها أن تستعيد نموها، في حين يُسبب تعرّض البادرات بشكل مباشر ومفاجئ لمستوى مميت من الإجهاد صدمةً (Shock) وإرباكاً لتلك البادرات نتيجة عدم توفر الوقت الكافي لتصنيع الوسائل الدفاعية، ومن ثمّ يمكن أن تموت البادرات حتى في الطرز عالية التحمل للجفاف، ويُصبح من العسير بمكان سبر التباين الوراثي لتحمل الجفاف، ومن ثمَّ تمييز الطرز المتحملة عن قريناتها الحساسة. تتفق هذه النتائج مع نتائج كل من Ganesh Kumar (1994) و AL-Ouda (1999) والعودة وزملائه (2005)، إذ بيّنوا أنَّ التعريض المسبق لبادرات عباد الشمس والقمح والشعير لمستوىً محرض غير مميت من الإجهاد الحلولي كان له تأثير مهم في تحسين تحمل البادرات للمستوى المميت من الإجهاد.

الجدول 2. استجابة بادرات الرغل لمستويات محرضة من الإجهاد الحلولي (PEG6000).

المعاملة (PEG_{6000})	متوسط طول الجذور في نهاية استعادة النمو (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول البادرة في نهاية استعادة النمو (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرة (%)
الشاهد(ماء مقطّر)	0.84	-	3.06	-
-0.2	4.03	23.64^{B}	6.15	27.18^{B}
-0.4	8.72	58.18^{A}	6.34	28.21^{A}
-0.6	2.08	9.09^{D}	6.06	26.67^{C}
-0.8	3.41	18.18^{C}	5.67	20.51^{D}
$L.S.D_{0.01}$	-	4.86	-	1.632
%C.V	-	8.92	-	3.18

تُشير الأحرف المتماثلة إلى عدم وجود فروقاتٍ معنوية بين المعاملات عند مستوى معنوية **0.01**.

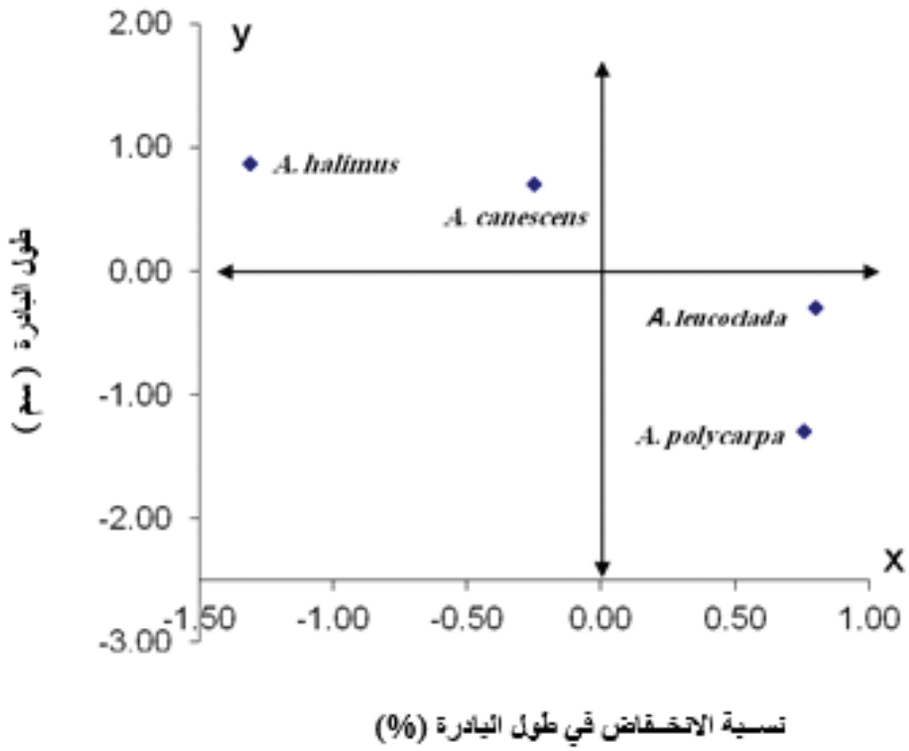
التباين في استجابة الأنواع المدروسة لتحمل الإجهاد الحلولي خلال مرحلة البادرة الفتية

تُشير نتائج التحليل الإحصائي إلى وجود فروقات معنوية ($P \leq 0.01$) في متوسط طول البادرات ونسبة الانخفاض فيها مقارنة بالشاهد بين الأنواع الأربعة المدروسة (الجدول 3). ويُلاحظ أنَّ متوسط طول البادرة كان الأعلى معنوياً لدى الرغل الملحي (4.07 سم)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الرغل الكاليفورني (1.93سم). وكانت نسبة الانخفاض في متوسط طول البادرة الأدنى معنوياً لدى الرغل الملحي (8.95 %)، في حين كانت نسبة الانخفاض الأعلى معنوياً لدى الرغل السوري (18.03 %) (الجدول 3). وقد تمّ بالإضافة إلى هذه الطريقة توزيع الطرز المدروسة استناداً إلى متوسط طول البادرة ونسبة الانخفاض فيها إلى أنواع عالية التحمل للإجهاد الحلولي، وأنواع عالية الحساسية باستعمال التحليل الإحصائي المسمى Z-distribution (الشكل 1). ونظراً لأهمية تشكيل مجموع جذري متعمق ومتشعب في تحسين التحمل للإجهاد المائي، فقد دُرست أيضاً هذه الصفة كمعيار لتصنيف الأنواع المدروسة حسب استجابتها للإجهاد الحلولي. وأشارت نتائج التحليل الإحصائي إلى وجود فروقات معنوية في متوسط طول المجموعة الجذرية، ونسبة الانخفاض فيها بين الأنواع النباتية المدروسة. وكان متوسط طول الجذور الأعلى معنوياً لدى بادرات الرغل الملحي (0.79 سم)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى بادرات الرغل الكاليفورني (0.18 سم). وكانت نسبة الانخفاض في متوسط طول الجذور الأعلى معنوياً لدى بادرات الرغل السوري (30.77 %)، في حين كانت الأدنى معنوياً لدى بادرات الرغل الأمريكي (17.24 %). وقد تطابقت هذه النتائج إلى حد كبير مع نتائج التحليل الإحصائي باستعمال Z-distribution، الذي يُعد أكثر دقة، ولاسيما أنّه عزل الأنواع حسب استجابتها للإجهاد الحلولي إلى مجموعتين: الأنواع عالية التحمل للإجهاد الحلولي: وهي الأنواع التي أبدت معنوياً أعلى معدل نمو جذور وأدنى نسبة انخفاض في متوسط طول الجذور، مثل الرغل الملحي، والأمريكي، والأنواع مفرطة الحساسية للإجهاد الحلولي: وهي الأنواع التي أبدت معنوياً أدنى معدل نمو جذور وأعلى نسبة انخفاض في متوسط طول الجذور، مثل الرغل السوري، والكاليفورني (الشكل 2). ويكفي مؤشرا متوسط الطول الكلي للجذور والبادرات ونسبة الانخفاض فيهما، كمعايير تقييم خلال مرحلة البادرة الفتية فقط.

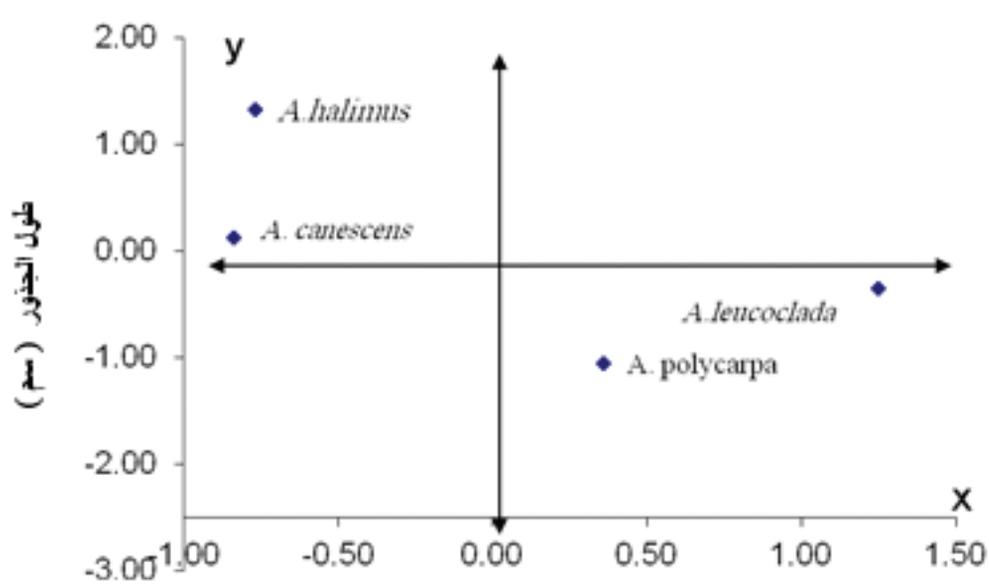
الجدول 3. التباين الوراثي في استجابة أنواع الرغل للإجهاد الحلولي (PEG_{6000}).

النوع	المعاملة	متوسط طول البادرة (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرة (%)	متوسط طول الجذور (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور(%)
الرغل الأمريكي	الشاهد	4.52	13.5^{B}	0.58	17.24^{C}
	المعاملة	3.91		0.48	
الرغل الكاليفورني	الشاهد	2.35	17.87^{A}	0.24	25.00^{B}
	المعاملة	1.93		0.18	
الرغل السوري	الشاهد	3.55	18.03^{A}	0.52	30.77^{A}
	المعاملة	2.91		0.36	
الرغل الملحي	الشاهد	4.47	8.95^{C}	0.96	17.71^{C}
	المعاملة	4.07		0.79	
$L.S.D_{0.01}$		-	2.427	-	1.940
%C.V		-	8.39	-	4.23

تُشير الأحرف المتماثلة إلى عدم وجود فروقاتٍ معنوية بين المعاملات عند مستوى معنوية 0.01.



الشكل 1. توزع الأنواع المدروسة إلى أنواع متحملة، وأنواع حساسة، حسب التحليل لإحصائي **Z- distribution.**



الشكل 2. توزع الأنواع المدروسة إلى أنواع متحملة، وأنواع حساسة، حسب **Z- distribution.**

الاستنتاجات

- تُعد تقانة الغربلة بالاعتماد على التحريض الحلولي سريعة وفعّالة في سبر التباين الوراثي لتحمل الإجهاد الحلولي في الرغل. ويعد كلّاً من المستوى المحرّض 0.6- Mpa والمستوى المميت 1.2- Mpa بمنزلة المستوى المحرّض والمميت الأمثل على التوالي.
- تتوقف فعّالية تقييم أداء أنواع الرغل استجابةً لظروف الإجهاد الحلولي (الجفاف) على النقل المرحلي للبادرات من المستوى المحرّض إلى المستوى المميت من الإجهاد الحلولي.
- أظهرت أنواع الرغل المدروسة تبايناً في استجابتها للإجهاد الحلولي خلال مرحلة البادرة الفتية، وُصنّف النوعان الملحي والأمريكي كنوعين متحملين للإجهاد الحلولي، في حين صُنّف النوعان الكاليفورني والسوري كنوعين حساسين.

المراجع

- العودات، محمد. 2008. النباتات الملحية والمتحملة للملوحة في سورية. هيئة الطاقة الذريّة.
- الشحاذة العودة، أيمن، ورؤى الشيخ علي. 2008. تقييم التباين الوراثي لتحمل الإجهادات اللاأحيائية (الحرارة المرتفعة، والجفاف، والملوحة) باستخدام تقانة الاستجابة للتحريض، فيزيولوجيا المحاصيل الحقلية (الجزء العملي)، رقم الكتاب 2342 منشورات جامعة دمشق كلية الهندسة الزراعية، مديرية الكتب الجامعية، دمشق : 17-26.
- الشحاذة العودة، أيمن، رفيق صالح، ورؤى الشيخ علي. 2006. تقييم استجابة بعض أصناف الشعير المحلية لتحمل الإجهاد الحلولي في مرحلة النمو الأولي. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، المجلد (22)- العدد (1):15-33.
- الشحاذة العودة، أيمن، محمود صبوح، ومحمد عادل جودت. 2005. تقويم استجابة بعض الطرز الوراثية من القمح للإجهاد المائي في طور البادرة. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية المجلد (21)- العدد (1): 15-33.
- التمو، منوّر. 2013. التباين الوراثي في استجابة بعض طرز الشعير .*Hordeum* spp لتحمل الجفاف: تقييم الصفات الفسيولوجية والبيوكيميائية والجزيئية، رسالة دكتوراه في الهندسة الزراعية (المحاصيل الحقلية)، كلية الزراعة - جامعة دمشق، الجمهورية العربية السورية.
- جنّود، غادة. 2007. دراسة التباين الوراثي لتحمل الجفاف في بعض الأصول الوراثية للقمح. رسالة ماجستير، قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، الجمهورية العربية السورية.
- التومي الزنتاني، عمر الطاهر. 2012. تقويم أهم الآليات التكيفية المورفوفيسيولوجية المحددة لكفاءة محصول القمح الإنتاجيّة في نظم الزراعة الجافّة. أطروحة دكتوراه، 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.

-Ben Salem, H., H.C. Norman, A. Nefzaoui, D.E. Mayberry, K.L. Pearce and Revell, D.K. 2009. Potential use of saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) in sheep and goat feeding.doi:10.1016/j. smallrumres.2009.10.017 | How to Cite or Link Using DOI. Copyright © 2010 Elsevier B.V. All rights reserved.

-Bressan, R.A.; D.E. Nelson, N.M. Iraki, P.C.; LaRosa, N.K.; Singh, P.M. Hasegawa, and N.C Carpita. 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.

-Chapin, F. S. 1991. Effect of multiple environmental stresses on nutrients availability and use, responses of plants to multiple stresses (Mooney et al.,). Academic Press San Diegom pp. 67.

-Chaves, M. M.; J.`S Pereira, j. Maroco, M. L. Rodrigues, C. P. P .Ricardo, M. L .Osorio, I. Carval o, T. Faria, C.and Pinheiro. 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. Ann. Bot. 89: 907- 916.

-Cossgrove, D. J. 1989. Characterization of long term extension of isolated cell walls from growing cucumber hypocotyls. Planta, (177):121.
-Dwyer, L. M. and D.W. Stwart. 1985. Water extraction patterns and development of plant water deficit in corn. Can. J. Plant Sci., 65: 921.
-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.
-Ganesh Kumar 1994. Evaluation of sunflower genotypes for relative drought resistance and understanding the physiological basis of drought resistance. M.SC. thesis, Submitted to University of Agricultural Sciences, Bangalore, India.
-Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology, 24: 519 - 570.
-Loboda, T. 2002. Gas exchange of spring barley and wheat grown under mild water shortage. Photosynthetica (Zech Republic), Vol. 38 (3) P. 429 - 432.
-Reddy, A. R., K.V. Chiatanya and M. Vivekanandan. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology;161(11) 1189 - 1202.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. Plant Physiology, 4th Ed., Sinauer Associates Inc. Publishers. Massachusetts.
- Sharp, R. E., W. K. Silk and T.C. Hsiao. 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials. Spatial distribution of expansive growth. Plant Physiol. 87: 50- 57.
- Shen, Y. G., W. K. Zhang, D. Q. Yan, B. X. Du, J. S. Zhang, Q. Liu and S.Y. Chen. 2003. Characterization of a DRE-binding transcription factor from a halophyte Atriplex hortensis, Theoretical and Applied Genetics, 107: 155 - 161.
- Westgate, M. E. and J.S. Boyer. 1985. Osmotic adjustment and the inhibition of leaf, root, stem and silk growth at low water potentials in maize. Planta, 164: 540 - 549.

N° Ref: 412