الجمهورية العربية السورية
جامعــة دمشــق
كليــة الزراعــة
قسم المحاصيل الحقليــة

تقييم تحمل طرز وراثية من الذرة البيضاء [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] للإجهاد المائي اعتماداً على بعض الصفات الفسيولوجية والبيوكيميائية

Evaluation of Sorghum Genotypes for Water Stress Tolerance Based on Some Physiological and Biochemical Traits

رسالة أُعدت لنيل درجة الماجستير في علوم المحاصيل الحقلية
(قسم المحاصيل الحقلية)

إعداد

جلنار محمد الشيخ علي

إشراف

الأستاذ الدكتور أيمن الشحاذة العودة
أستاذ بيئة وفسيولوجيا المحاصيل الحقلية
قسم المحاصيل، كلية الزراعة – جامعة دمشق

دمشق- 2019

الملخص العربي

نُفذت الدراسة في مخابر قسم المحاصيل الحقلية والهيئة العامة للتقانة الحيوية، ومزرعة أبي جرش في كلية الزراعة بجامعة دمشق، خلال الموسم الزراعي 2017/2016، بهدف تقييم استجابة بعض طرز الذرة البيضاء للإجهاد الحلولي Osmotic stress عند مستوى البادرة الفتية باستعمال تقانة الغربلة المخبرية، بالاعتماد على تقانة الاستجابة للتحريض الحلولي، ودراسة أهمية التحريض في تحسين تحمل البادرات للمستويات المميتة من الإجهاد الحلولي. ونُفذت تجربة أخرى عند مستوى النبات الكامل في الأصص الزراعية، لتقييم أداء الطرز الوراثية المدروسة بالاعتماد على صفة كفاءة استعمال المياه (WUE) بالطريقة الوزنية استجابةً لظروف الإجهاد المائي (50% من السعة الحقلية)، بالإضافة إلى بعض الصفات الشكلية والفيزيولوجية والبيوكيميائية المرتبطة وراثياً بتحسين التحمل مع مراعاة المحافظة على كفاءة المحصول الإنتاجية. وضعت التجربة المخبرية وفق التصميم العشوائي البسيط (CRD) بمعدّل ثلاثة مكررات. سبّب ازدياد الإجهاد الحلولي في محلول النمو تراجعاً معنوياً في متوسط طول البادرات، وتراجع متوسط طول البادرات طرداً ومعنوياً مع ازدياد شدّة الإجهاد الحلولي في وسط النمو، وسبّب المستوى الحلولي المميت (Mpa -1.8) انخفاضاً مقداره 50.03% في طول البادرات بالمقارنة مع الشاهد، ويُعد تبعاً لذلك بمنزلة المستوى الحلولي المميت الأمثل. وكانت نسبة الانخفاض في طول كلٍ من الجذور والبادرات الأدنى معنوياً (7.77، 8.45% على التوالي) عند المستوى الحلولي المُحرّض (Mpa -0.4) بالمقارنة مع باقي المستويات الحلولية المُحرّضة، ويُعد بمنزلة المستوى الحلولي المحرّض الأمثل. وكان متوسط نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات الأدنى معنوياً في البادرات المُحرّضة (10.87، 9.37 سم على التوالي)، في حين كان الأعلى معنوياً لدى البادرات غير المحرّضة (41.75، 33.17 سم على التوالي)، ما يُشير إلى أهمية التحريض في تحسين كفاءة بادرات الذرة البيضاء على تحمل المستويات الحلولية المميتة. تُصنّف طرز الذرة البيضاء الرزينية، ICSV25274 كطرزٍ وراثية عالية التحمل للإجهاد الحلولي، في حين تُصنف طرز الذرة البيضاء ICSSH29، وICSV574، وNTJ2 كطرزٍ مفرطة الحساسية للإجهاد الحلولي، لأنّها أبدت أدنى طول كلي للبادرات وأعلى نسبة انخفاض فيها.

وضعت تجربة الأصص الزراعية وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD)، بمعدّل ثلاثة مكررات لكل طراز. كان متوسط كمية المياه المنتوحة التراكمية الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي ICSV35274 (165.50 كغ. أصيص$^{-1}$)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطراز الوراثي SSV84 (135.40 كغ. أصيص$^{-1}$)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين

الرزينية، وICSB675 وبدون فروقات معنوية بينهما (49.36، 47.85 كغ. أصيص$^{-1}$ على التوالي). وكان متوسط كمية المادة الجافة الكلية الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي ICSV25280 (1844غ)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطراز الوراثي ICSSH29 (1708غ)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرز الوراثية الرزينية،ICSB675، وICSB479 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (570.00، 505.30، 469.30 غ على التوالي). ويُعزى أيضاً التباين في كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة بين الطرز الوراثية إلى التباين في معدّل فقد المياه بالنتح، ومن ثمّ كمية المياه الكلية المنتوحة. كان متوسط كفاءة استعمال المياه الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثيICSV25280 (20.20 غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطرازين الوراثيين ICSB324، ICSSH29 (17.66، 17.93 غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثي ICSB479 (7.35 غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء). عموماً، تُصنّف الطرز الوراثية ICSV25280، ICSSH29، ICSB324 ضمن الطرز الوراثية الكفوءة Capacity types، لأنّها صنّعت كمية أكبر من المادة الجافة باستهلاك كميةٍ أقل من المياه، في حين تُصنّف الطرازان الوراثيان SSV84، ICSV35274 ضمن الطرز الوراثية غير الكفوءة Conductance types، ولكن ارتبطت فيها أيضاً زيادة معدّل فقد المياه بالنتح بزيادة معدّل التمثيل الضوئي، ومن ثمّ كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة، فهي أيضاً ذات كفاءة إنتاجية مرتفعة ولكن لا يُنصح بزراعتها في البيئات ذات الموارد المائية المحدودة بالمقارنة مع الطراز ICSV25280. كان متوسط الوزن الجاف للأجزاء الهوائية الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي ICSV25280 (1793.0غ . نبات$^{-1}$)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطراز الوراثي ICSSH29 (1626 غ . نبات$^{-1}$)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرز الوراثية الرزينية، ICSB675، ICSB479 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها(416.3،447.3،510.7 غ . نبات$^{-1}$ على التوالي). عموماً، تؤدي زيادة حجم ووزن الأجزاء الأرضية إلى زيادة مساحة سطوح الامتصاص، ما يؤدي إلى امتصاص كمية أكبر من المياه والعناصر المعدنية المغذية الداخلة مع تيار المياه، والواصلة إلى الأجزاء الهوائية، ما يؤدي إلى زيادة معدّل نموها وتطورها. كان متوسط نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأعلى معنوياً لدى الطرز الوراثية ICSB479، ICSB324، ICSV25280، والرزينية (0.59، 0.70، 0.76، 0.84 على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين SSV84، CSV25274 (0.40، 0.0.41) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها. وكان متوسط محتوى السكريات الذوّابة في الكحول الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي الرزينية (172.0 ميكرو غرام. غ$^{-1}$ مادة خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين ICSV25280، ICSB 324 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (111.8، 112.6 ميكرو

غرام. غ$^{-1}$ على التوالي). وكان متوسط محتوى الأوراق من البرولين الأعلى معنوياً لدى الطرز الوراثية SSV84، ICSB324، ICSV25274، ICSSH30 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (4.895، 4.364، 4.255، 4.085 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرز الوراثية ICSB675،ICSV25280، والرزينية وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (1.483،1.521، 1.704 مغ . غ$^{-1}$ وزن رطب على التوالي). عموماً، تقوم نباتات الذرة البيضاء بتصنيع البرولين، والسكريات الذوَّابة بالكحول تحت ظروف الإجهاد المائي، ويُساعد بشكلٍ عام تراكمها في تحسين تحمل النباتات للإجهاد المائي، من خلال زيادة كمية المياه الممتصة، وتُصبح إلى حدٍ ما كافية لتعويض كمية المياه المنتوحة والمحافظة على جهد الامتلاء داخل الخلايا النباتية الضروري لاستمرار استطالتها. وقد لُوحظ أيضاً أنَّ بعض الطرز الوراثية التي حافظت على سلامة أغشيتها السيتوبلاسمية (نسبة تسرب الذائبات الأدنى معنوياً)، مثل (SSV84، ICSV35274، ICSSH30) كان لديها معدّل تراكم البرولين الأعلى معنوياً (4.895، 4.085، 4.255)، ما يُشير إلى أهمية هذه الحافظات الحلولية Osmoprotectants في المحافظة على استقرار الأغشية الخلوية وسلامتها. عموماً، يُوصى باعتماد تقانة الغربلة المطورة آنفاً لتقييم أداء طرز الذرة البيضاء في طور البادرة الفتية بعد التأكد حقلياً من فعّاليتها، وبخاصةٍ في حال وجود عدد كبير جداً من الطرز الوراثية لتوفير الجهد والوقت والمال، كون هذه التقانة المخبرية سريعة جداً ولا تتطلب تجهيزات مكلفة ومعقدة. وتُصنّف الطرز الوراثية ICSV25280، ICSSH29، ICSB324 ضمن الطرز الوراثية الكفوءة، في استعمال المياه، وهي طرز مرغوب بها من وجهة نظر إنتاجية، في حين تُصنّف الطرازان الوراثيان SSV84، ICSV35274 ضمن الطرز الوراثية غير الكفوءة ، وهي طرز غير مرغوب بها في البيئات المجهدة مائياً.

المقدمة Introduction

ينتمي محصول الذرة البيضاء Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] للفصيلة النجيلية *Poaceae*، والجنس *Sorghum*، والنوع bicolor. ويُعد محصول الذرة البيضاء من المحاصيل المتعددة الأغراض، إذْ تُستعمل حبوب الذرة البيضاء كعلفٍ مركزٍ في عليقة الدواجن، ويمكن أن تُستعمل النباتات الخضراء كعلفٍ أخضر، وفي تصنيع السيلاج. وتُستعمل حبوب الذرة البيضاء في العديد من المجالات الصناعية، مثل صناعة النشاء، والكحول، وسكر الغلوكوز، والوقود الحيوي Biofuels (Smith و Frederiksen، 2000). وتتميز نباتات الذرة البيضاء بمقدرتها على النمو والتطور وإعطاء غلة حبية جيدة حتى تحت الظروف البيئية القاسية، حيث تتحمل الجفاف Drought، والحرارة المرتفعة Heat stress، والملوحة Salinity. ويمكن أن تنجح زراعتها في الأتربة غير الخصبة والقلوية إلى حدٍ ما، ويُعد محصول الذرة البيضاء من الأنواع المحصولية رباعية الكربون C_4 plants التي تتسم بكفاءة عالية في استعمال المياه Water Use Efficiency (WUE) (Doggett، 1988؛ Rooney، 2004).

لا تتعرض النباتات عادةً مباشرةً إلى مستوىً مميت من الإجهاد البيئي، وإنّما تتعرض أولاً إلى مستوىً غير مميت Sub-lethal من الإجهاد البيئي، وإذا ما استمر الظرف البيئي غير المناسب (جفاف، حرارة مرتفعة، ملوحة ....إلخ)، فقد تواجه النباتات مستوىً مميتاً من الإجهاد البيئي. ويُعد تعرّض النباتات لمستوى غير مميت (محرّض) من الإجهاد البيئي نتيجة التدهور التدريجي في ظروف النمو البيئية مفردةً أو مجتمعةً بمثابة إشارة تحذير Warning signal تنبّه النبات إلى ضرورة تهيئة وسائله الدفاعية بشكلٍ جيد حتى يتمكن من تحمل المستوى المميت Lethal level من الإجهاد (جنود، 2008؛ الشيخ علي، 2006). وبيّنت العديد من البحوث السابقة، إلى أنّ الإجهاد المحرّض عادةً ما يُغير التعبير الوراثي Gene expression، ويمنح النباتات مقدرةً أكبر على تحمّل ظروف الجفاف والحرارة المرتفعة.

تُعد التربية لتحمل الجفاف Drought عملية معقدة جداً، وتحتاج إلى توافر تقانة غربلة Screening technique مناسبة وفعّالة في سبر التباين الوراثي لتحمّل الإجهاد المائي، وتحديد الصفات الفسيولوجية المفتاحية Key traits المرتبطة وراثياً بتحمل الجفاف، إضافةً إلى توافر المهارة لدى مربي النبات على تجميع بعض الصفات التكيفية المرتبطة بالتحمل مع المحافظة

على الكفاءة الإنتاجية Production capacity بما يتناسب مع مستوى الإجهاد المائي في البيئات المستهدفة (Ramirez و Kelly، 1998). ويُعد الأسلوب الفسيولوجي من أكثر الطرائق فعّالية في تطوير الطرز الوراثية عالية التحمل للجفاف، حيث يسمح بإجراء الانتخاب الفعّال خلال الأجيال الانعزالية المبكرة، الأمر الذي يسمح بتسريع وتيرة التحسين الوراثي وتحقيق تقدم وراثي ملموس. وتتطلب عمليات التربية لتحسين تحمّل الإجهادات اللاأحيائية Abiotic stresses ضرورة الفهم العميق للعمليات الفسيولوجية والبيوكيميائية المحددة للغلة الحبية، لذلك تعتمد التربية لتحمّل الجفاف على الانتخاب لصفاتٍ مرتبطة مباشرةً بالغلة الحبية، لأنَّ الغلة الحبية صفة معقدة وراثياً Multigenic trait، وذات درجة توريث منخفضة، وتتأثر بشكلٍ كبير بالعوامل البيئية.

يُعد الجفاف الإجهاد اللاأحيائي الرئيس الذي يحد من غلّة محاصيل الحبوب، والعديد من المحاصيل الرئيسة الأخرى في بيئات حوض البحر المتوسط، وبخاصةٍ تحت ظروف الزراعة المطرية، ويُعد نقص المياه العذبة المتاحة للري السبب الرئيس لتدني إنتاجية النظم البيئية الزراعية، والأنواع المحصولية(Araus، 2002). ولكن رغم حقيقة أنّ محصول الذرة البيضاء من الأنواع المحصولية ذات المتطلبات البيئية، والأرضية، والمائية المحدودة، إلاّ أنّ غلّته الحبية تنخفض بشكلٍ كبير عند تعرضه للإجهادات اللاأحيائية المختلفة. ويؤدي تعرُّض نباتات الذرة البيضاء للإجهاد المائي المتزامن مع الحرارة المرتفعة إلى تأخير حدوث الإزهار، ويؤثر سلباً في حيوية حبوب الطلع والبويضات، وعدد حبوب الطلع المتشكلة، ومقدرة المياسم على استقبال حبوب اللقاح، الأمر الذي يؤثر سلباً في التلقيح Pollination، والإخصاب Fertilization، ومن ثمّ عقد الحبوب Seed set، ما يؤدي إلى تراجع عدد الحبوب المتشكلة في العثكول Panicle. ويؤثر الجفاف سلباً في طول فترة نمو الحبوب Grain growth period ، وطول فترة امتلائها Grain filling ، الأمر الذي يؤثر سلباً في حجم الحبوب المتشكلة ودرجة امتلائها، ما يؤدي إلى تراجع غلة المحصول الحبية (Prasad وزملاؤه، 2008). ويُسبب الإجهاد المائي التفافاً للأوراق Leaf rolling واصفراراً Leaf bleaching وتحترق قمم الأوراق وحوافها، ما يؤثر سلباً في مساحة المسطح الورقي الأخضر الفعّال في عملية التمثيل الضوئي، الأمر الذي يؤثر سلباً في كمية المادة الجافة المتاحة لتشكل النورات الزهرية وتطورها. ويؤدي تعرّض النباتات

للإجهاد المائي خلال مرحلة ما بعد الإزهار Post-flowering إلى تسريع شيخوخة الأوراق، وزيادة حساسية النباتات للرقاد Lodging، ما يؤدي إلى تراجع حجم الحبوب المتشكلة وأحياناً موت النبات بالكامل (Mkhabela، 1995).

تُساعد عمليّة غربلة الطرز الوراثيّة التابعة لنوع محصولي ما لتحمل الإجهاد المائي بالاعتماد على صفة كفاءة استعمال المياه Water Use Efficiency (WUE) في فهم آلية تحسين إنتاجيّة المياه من خلال انتخاب الطرز الوراثية التي تُصنّع كميّةٍ أكبر من المادة الجافة باستهلاك كميّة أقل من المياه. وتُحسّن زيادة قيمة كفاءة استعمال المياه من إنتاجيّة محصول الذرة البيضاء من خلال زيادة معدّل تصنيع المادة الجافة وتراكمها، والمُحافظة على محتوى التربة المائي المتاح بكميّاتٍ محدودة لفترةٍ زمنيّةٍ أطول بما يضمن بقاء نباتات المحصول على قيد الحياة مدةٍ أطول، بحيث تتجنب نباتات المحصول التعرض لمستوياتٍ متطرّفة من الإجهاد المائي المتزامن مع الحرارة المرتفعة خلال المراحل المتقدّمة الحرجة من حياة النبات، ما يمكن نباتات المحصول من إكمال دورة حياتها وإعطاء غلة حبية جيدة (Xin وزملاؤه، 2009). بالرغم من وجود العديد من الصفات الفسيولوجية المرتبطة بتحسين تحمل الإجهاد المائي وزيادة كفاءة استعمال المياه، إلاّ أنّه لا توجد دراسات وبحوث محليّة وعربيّة تُشير إلى الصفات الفسيولوجية المرتبطة بشكلٍ مباشر بزيادة كفاءة استعمال المياه لدى محصول الذرة البيضاء. ورغم حقيقة أنّ كفاءة استعمال المياه في الأنواع النباتيّة رباعيّة الكربون C_4 عادةً ما تكون أكبر بالمقارنة مع الأنواع ثلاثيّة الكربون C_3، إلاّ أنّ التباين الوراثي في صفة كفاءة استعمال المياه بين الطرز الوراثية التابعة للنوع النباتي نفسه لا يزال موضع جدل كبير.

عموماً، يتطلب تطوير طرز متحمّلة للجفاف، وذات طاقة إنتاجية جيدة، توافر شرطين: تحديد الصفات الفسيولوجية المفتاحيّة، وتطوير تقانة غربلة مناسبة. يتبيّن مما تقدّم، ضرورة تحسين إنتاجية محصول الذرة البيضاء من خلال تطوير طرز وراثيّة تتّسم بمجموعةٍ من الصفات المرتبطة بتحسين تحمل الإجهاد المائي، من خلال غربلة الطرز الوراثية المختلفة المتاحة، استناداً إلى بعض الصفات الفسيولوجية، والبيوكيميائية المرتبطة وراثياً بتحمل الإجهاد المائي مع المحافظة على طاقة المحصول الإنتاجيّة.

أهداف البحث Objectives

1. تطوير تقانة غربلة مخبرية سريعة وفعّالة في سبر التباين الوراثي لتحمل الإجهاد الحلولي في طور البادرة الفتية، وتقييم أهمية التحريض Induction في تحسين التحمُّل.
2. تقييم أداء بعض طرز الذرة البيضاء الوراثية لتحمُّل الإجهاد المائي اعتماداً على بعض الصفات الفيزيولوجية، والبيوكيميائية المرتبطة وراثياً بالتحمل على مستوى النبات الكامل ضمن الأصص الزراعية.
3. تقييم أهمية صفة كفاءة استعمال المياه (إنتاجيّة المياه) كمعيار انتخاب مرتبط بتحسين التحمل مع المحافظة على الكفاءة الإنتاجية في البيئات المجهدة مائيّاً.

الدراسة المرجعية Literature review

ينتمي محصول الذرة البيضاء Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] للفصيلة النجيلية *Poaceae*، والجنس *Sorghum*، والنوع bicolor. ويُعد محصول الذرة البيضاء من المحاصيل المتعددة الأغراض، حيث تُعد حبوب الذرة البيضاء الغذاء الرئيس لمئات الملايين من البشر في العديد من الدول النامية الفقيرة، فهو محصول غذائي Food crop لنحو 750 مليون إنساناً في المناطق الجافة Arid zones من العالم (Ryan و Oppen، 1982)، إذْ تُستعمل حبوب الذرة البيضاء في صناعة الخبز Bread وبعض الأطعمة، وكعلفٍ مركزٍ في عليقة الدواجن Poultry، ويمكن أن تُستعمل النباتات الخضراء كعلفٍ أخضر Green forage، وفي تصنيع السيلاج Silage. وتُستعمل حبوب الذرة البيضاء في العديد من المجالات الصناعية، مثل صناعة النشاء Starch، والكحول، وسكر الغلوكوز، والوقود الحيوي Biofuel(Smith و Frederiksen، 2000).

يحتل محصول الذرة البيضاء المرتبة الثانية في الولايات المتحدة الأمريكية بعد محصول الذرة الصفراء Corn (*Zea mays* L.) كمصدرٍ رئيس للكحول الإيثيلي (Xin وزملاؤه، 2008). ويُعد محصول الذرة البيضاء المحصول الحبي الخامس الأكثر أهميةً ضمن محاصيل الحبوب في العالم من حيث الإنتاج Production، حيث وصل إنتاجه إلى قرابة 65.47 مليون طناً. ويزرع الوطن العربي قرابة 12.8% من مساحة الذرة البيضاء في العالم، ويُسهم بنحو6.7% من إنتاج العالم من حبوب الذرة البيضاء، وتُعادل إنتاجية الهكتار الواحد نحو 45% فقط من الإنتاجية العالمية، حيث تتركز زراعته في السودان التي تحتل المرتبة الثانية من حيث الإنتاج في إفريقيا بواقع 4.4 مليون طناً، وتشكل نسبة 21.4% من إنتاج إفريقيا الكلي، كما تحتل مصر المرتبة الخامسة إفريقياً، بإنتاج 862 ألف طناً، ونسبة تصل إلى 4.1% من إنتاج القارة الإفريقية (Taylor، 2001).

تتميز نباتات الذرة البيضاء بمقدرتها على النمو والتطور وإعطاء غلة حبية جيدة حتى تحت الظروف البيئية القاسية، حيث تتحمل الجفاف Drought، والحرارة المرتفعة Heat stress، والملوحة Salinity. ويمكن أن تنجح زراعتها في الأتربة غير الخصبة Infertile soils والقلوية إلى حدٍ ما، ويُعد محصول الذرة البيضاء من الأنواع المحصولية رباعية الكربون C_4 plants التي تتسم بكفاءةٍ مرتفعة في استعمال المياه Water Use Efficiency (WUE) (Doggett، 1988؛ Rooney، 2004). ويُوصف تبعاً لذلك بالمحصول الجمل Camel crop (Stosko، 1985). ويُعزى تحمله للظروف البيئية القاسية، وبخاصةٍ شح المياه Water scarcity وارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط إلى امتلاكه مجموعاً خضرياً صغيراً نسبياً،

ومجموعاً جذرياً قوياً ومتشعباً يمكن أن يتغلغل إلى طبقات التربة العميقة الرطبة، ويمتص كمية من المياه كافية لتعويض المياه المفقود بالنتح Transpiration (T)، بالإضافة إلى وجود طبقة شمعية على الأوراق تُساعد في عكس Reflection جزء كبير من الأشعة الضوئية، ما يحول دون ارتفاع درجة حرارة الأوراق، ومن ثمّ معدّل فقد المياه بالنتح. ويقدّر معامل النتح (كمية المياه المفقودة بالنتح خلال كامل موسم النمو) في محصول الذرة البيضاء بنحو 276 مم فقط (Doggett، 1988).

تتطلب نباتات الذرة البيضاء للأصناف المبكرة بالنضج (90 – 105 يوماً) كمية من المياه تُقدّر بنحو 250–375 مم خلال كامل موسم النمو، في حين تحتاج الأصناف المتوسطة الباكورية (110 – 115 يوماً) نحو 375–500 مم، والمتأخرة بالنضج (115– 120 يوماً) قرابة 500–625 مم لإنتاج غلة حبية تُقدّر بنحو 2.5 طناً في الهكتار. ويؤثر تراجع محتوى التربة المائي خلال مختلف مراحل النمو، وبخاصةٍ مراحل النمو الخضري النشط Rapid vegetative growth، والإزهار Bloom، وامتلاء الحبوب Grain fill، سلباً في كفاءة المحصول الإنتاجية (Blum، 2005).

يُعد الإجهاد البيئي غير المميت بمنزلة أداة تحريض تستفز برنامج الدفاع الوراثي الكامن في مادة النبات الوراثية لدفعه لتصنيع مواد جديدة كوسائل دفاعية يستعملها النبات في مقاومة الظرف البيئي غير المناسب إلى حين انقضائه (AL-Ouda، 1999). تواجه النباتات عادةً تحت الظروف الحقلية مزيجاً من الإجهادات اللاأحيائية Abiotic stresses، مثل الجفاف والحرارة المرتفعة. والسؤال الذي يطرح نفسه، هل تستجيب النباتات بالطريقة نفسها إزاء الإجهادات البيئية المختلفة، وهل هناك خطوط دفاع عامة تتفعّل بجميع الإجهادات، وأخرى خاصة؟ لا يزال هذا الطرح موضع جدل، ولكن يوجد دليلان يقترحان إمكانية وجود آلية تحمل عامة الأول: الوقاية المتصالبة المشاهدة Cross protection، أي أنّ النباتات المعرّضة إلى مستوى غير مميت (محرِّض) من إجهاد ما تبدي تحملاً عندما تتعرض لمستوى مميت من إجهاد بيئي آخر مختلف تماماً عن الأول (Ganesh Kumar، 1999)، والدليل الثاني: هو التشابه في آلية نقل الإشارات الكيميائية في مخططات نقل التنبيه Signal transduction pathways في الإجهادات البيئية المختلفة (Reynolds وزملاؤه، 2000؛ Mangini وزملاؤه، 2005).

لا تتعرض النباتات عادةً مباشرةً إلى مستوىً مميت من الإجهاد البيئي، وإنّما تتعرض أولاً إلى مستوىً غير مميت Sub-lethal من الإجهاد البيئي، وإذا ما استمر الظرف البيئي غير المناسب (جفاف، حرارة مرتفعة، ملوحة ....إلخ)، فقد يواجه النبات مستوىً مميتاً من الإجهاد البيئي. ويُعد تعرّض النباتات لمستوى غير مميت(محرّض) من الإجهاد البيئي نتيجة التدهور التدريجي في ظروف النمو البيئية مفردةً أو مجتمعةً بمثابة إشارة تحذير Warning signal تنبّه

النبات إلى ضرورة تهيئة وسائله الدفاعية بشكلٍ جيد حتى يتمكن من تحمل المستوى المميت Lethal level من الإجهاد (جنود، 2007؛ الشيخ علي، 2006). وبيّنت العديد من البحوث السابقة، إلى أنّ الإجهاد المحرّض عادةً ما يُغير التعبير الوراثي Gene expression، ويمنح النباتات مقدرةً أكبر على تحمّل ظروف الجفاف والحرارة المرتفعة. وعادةً عندما تتلقي كل الطرز الوراثية إشارة التحذير نفسها بالمستوى المُحرّض أو غير المميت من الإجهاد البيئي، فالطرز الوراثية ذات المقدرة الأكبر على حشد كمية أكبر من الوسائل الدفاعية (تصنيع ذائبات عضوية، بروتينات دفاعية ...الخ) ستكون أقدر على البقاء على قيد الحياة عند مواجهة المستوى المميت من الإجهاد، وأكثر كفاءة في استعادة نموها Recovery growth إذا مازال الظرف البيئي غير المناسب (العودة وزملاؤه، 2005). وحتى يكون أسلوب الغربلة وتقييم التباين الوراثي ناجحاً، لابد وأن يحاكي الطبيعة، أي يتضمن مستوىً مُحرّضاً (غير مميت) لفترةٍ زمنيةٍ كافية لدفع النبات لتهيئة وسائله الدفاعية بالشكل الأمثل، ومستوى مميتاً، وأيضاً فترة لاستعادة النمو تُترك خلالها النباتات ضمن ظروف نمو مثالية، ويسمح لها باستعادة نموها (AL-Ouda، 1999).

في دراسةٍ أُجريت بهدف إيجاد تقانة غربلة مخبرية سريعة وفعّالة في سبر التباين الوراثي لاستجابة بعض أصناف الشعير المحلية (عربي أسود، وعربي أبيض، وفرات، وأكساد1420، وأكساد1468، وعربي محسّن) للإجهاد الحلولي المُصطنع باستعمال سكر بولي إيثلين جلايكول6000 (PEG-6000) في مرحلة النمو الأولي وتقييم أهمية التعريض المسبق لمستوياتٍ غير مميتة (محرِّضة) في تحسين التحمل للمستوى المميت من الإجهاد الحلولي. فقد لُوحظ وجود فروقاتٍ معنوية في استجابة أصناف الشعير المدروسة للإجهاد الحلولي. وكانت مقدرة صنف الشعير عربي أبيض على تحمل الإجهاد الحلولي أكبر، إذْ أبدى أقل نسبة انخفاض في طول الجذور والبادرات بالمقارنة مع بقية الأصناف، في حين كانت نسبة الانخفاض في تلك المؤشرات أعلى في صنف الشعير عربي أسود بالمقارنة مع بقية الأصناف. وكانت المقدرة على استعادة النمو أفضل في صنف الشعير عربي أبيض بالمقارنة مع بقية الأصناف. وكانت بشكلٍ عام المقدرة على استعادة النمو أعلى في النباتات المحرَّضة بالمقارنة مع النباتات غير المحرَّضة لدى جميع الطرز الوراثية المدروسة (العودة وزملاؤه، 2006). وفي دراسة لسبر التباين الوراثي لاستجابة أربعة وعشرين طرازاً وراثياً من القمح للإجهاد الحلولي المحدث باستعمال سكر بولي إيثلين جلايكول6000 (PEG-6000)، وذلك باعتماد تقانة غربلة مخبرية، سريعة وفعّالة. فقد بيّنت نتائج الدراسة أنَّ المعاملة الحلولية (-0.3Mpa) كانت بمنزلة المستوى المحرِّض الأمثل، في حين كانت المعاملة الحلولية (-1.5Mpa) بمثابة المستوى المميت الأمثل. ولُوحظ وجود فروقاتٍ معنوية في استجابة طرز القمح للإجهاد الحلولي، حيث أبدت الطرز المتحملة للإجهاد الحلولي، مثل حوراني منتخب، وكشك، وحوراني، وصوراني-A، ورزي، وشيحاني تراجعاً أقل في معدّل

النمو خلال فترة الإجهاد المائي، ومقدرةً أكبر على استعادة النمو في نهاية فترة استعادة النمو بالمقارنة مع الطرز الحساسة للإجهاد الحلولي، مثل جورجيت، ومسكلاوي، وقوقو، وفرعوني–C، وحوراني، وكحلاء هدباء. ولُوحظ أيضاً أنَّ البادرات المحرَّضة أبدت مقدرةً أكبر على استعادة النمو بالمقارنة مع البادرات غير المحرَّضة (جنود، 2007).

في تجربة لتقييم استجابة بعض طرز القمح الطري السورية والليبية (شام$_6$، شام$_4$، دوما$_2$، بحوث$_{208}$ صفيت$_1$، صفيت$_7$)، وبعض طرز القمح القاسي السورية والليبية (شام$_3$، شام$_5$، أكساد$_{65}$، بركة، كريم) للإجهاد الحلولي باستعمال سكر بولي إيثلين جلايكول$_{6000}$ عند مستوى البادرة الفتية ، بالاعتماد على تقانة الاستجابة للتحريض الحلولي، ودراسة أهمية التحريض في تحسين تحمل البادرات للمستويات المميتة من الإجهاد الحلولي. بيّنت النتائج أنَّ المستوى الحلولي (-1.6Mpa) هو المستوى المميت الأمثل. والمستوى (-0.4Mpa) هو المستوى المحرِّض الأمثل، وقد لُوحظ أنَّ نسبة الانخفاض في طول كلٍ من الجذور والبادرات كانت الأدنى معنوياً في البادرات المُحرَّضة، في حين كانت الأعلى معنوياً لدى البادرات غير المُحرَّضة التي نُقلت مباشرةً إلى المستوى الحلولي المميت، ما يُشير إلى أهمية التحريض في تحسين كفاءة البادرات على تحمّل المستويات المميتة من الإجهاد الحلولي. وقد صُنّفت الأصناف المدروسة استناداً إلى استجابتها للإجهاد الحلولي في طور البادرة الفتية إلى أربع مجموعات تتضمن المجموعة الأولى أصناف القمح الطري شام$_6$، وشام$_4$، ودوما$_2$ كأصناف عالية التحمل للإجهاد الحلولي، لأنَّها أبدت أدنى نسبة انخفاض في طول الجذور والبادرات، في حين تضمّنت المجموعة الثانية صنف القمح الطري صفيت$_1$ وأصناف القمح القاسي بركة، وكريم كأصنافٍ عالية الحساسية للإجهاد الحلولي. وتضمَنت المجموعة الثالثة صنف القمح القاسي أكساد$_{65}$، وصنفي القمح الطري بحوث$_{208}$، وصفيت$_7$ كأصنافٍ متوسطة التحمل . وتضمَنت المجموعة الرابعة الأصناف شام$_3$، وشام$_5$، والمختار كأصنافٍ متوسطة الحساسية للإجهاد الحلولي استناداً إلى نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات (التومي، 2012).

تُعد التربية لتحمل الجفاف Drought عملية معقدة جداً، وتحتاج إلى توافر تقانة غربلة Screening technique مناسبة وفعّالة في سبر التباين الوراثي لتحمّل الإجهاد المائي، وتحديد الصفات الفسيولوجية المفتاحية Key traits المرتبطة وراثياً بتحمل الجفاف، إضافةً إلى توافر المهارة لدى مربي النبات على تجميع بعض الصفات التكيفية المرتبطة بالتحمل مع المحافظة على الكفاءة الإنتاجية Production capacity بما يتناسب مع مستوى الإجهاد المائي في البيئات المستهدفة (Ramirez و Kelly، 1998). تختلف مقدرة النبات على تحمّل الإجهاد المائي تبعاً لوقت حدوثه، وشدّته، ومدّته (Jaleel وزملاؤه، 2008). ويُعد الأسلوب الفسيولوجي من أكثر الوسائل فعّالية في تطوير الطرز الوراثية عالية التحمل للجفاف، حيث يسمح بإجراء

الانتخاب الفعّال خلال الأجيال الانعزالية المبكرة، الأمر الذي يسمح بتسريع وتيرة التحسين الوراثي وتحقيق تقدم وراثي ملموس (Turner و Nicolas، 1987). وتتطلب عمليات التربية لتحسين تحمّل الإجهادات اللاأحيائية Abiotic stresses (الجفاف، والحرارة المرتفعة، والملوحة) ضرورة الفهم العميق للعمليات الفسيولوجية والبيوكيميائية المحددة للغلة الحبية (Blum، 1983)، لذلك تعتمد التربية لتحمّل الجفاف على الانتخاب لصفاتٍ مرتبطة مباشرةً بالغلة الحبية، لأنَّ الغلة الحبية صفة معقدة وراثياً Multigenic trait، وذات درجة توريث منخفضة، وتتأثر بشكلٍ كبير بالعوامل البيئية (Richards وزملاؤه، 2002)، وهي حصيلة العديد من العمليات الحيوية والبيوكيميائية داخل الخلية النباتية، وإنَّ المورثات المسؤولة عن الكثير من هذه العمليات لا تزال غير معروفة بشكلٍ دقيق، لذلك كان لا بدّ من تجزئة الغلة الحبية إلى مكوناتها Yield components وتحديد الصفات المرتبطة وراثياً بالغلة الحبية وتحمّل الجفاف، لأنَّ عملية توريث الجزء أيسر من الكل، لذلك عادةً ما يلجأ مربوا النبات إلى تحسين الغلة الحبية عن طريق الانتخاب لصفاتٍ ثانوية Secondary traits مرتبطة بتحمل الجفاف، وبخاصةٍ الصفات الشكلية والفسيولوجية المرتبطة وراثياً بالغلة الحبية، مثل زيادة نسبة المجموعة الجذرية إلى المجموعة الهوائية Root/Shoot ratio، والتفاف الأوراق Leaf rolling (Price وزملاؤه، 2002)، والمحافظة على استدامة اخضرار الأوراق Stay green، وكفاءة استعمال المياه Water Use Efficiency (WUE) (Reynolds وزملاؤه، 2004). ومن الصفات الثانوية الأخرى التي تُعد ذات درجة توريث مرتفعة، ومرتبطة وراثياً بتحسين التحمل للإجهاد المائي، المقدرة على التعديل الحلولي Osmotic adjustment (Moinuddin وزملاؤه، 2005)، وكفاءة النتح Transpiration efficiency (Solomon و Labuschagne، 2004؛ Malik وزملاؤه، 1999)، ومحتوى المياه النسبي في الورقة Relative leaf water content (RWC%)، والناقلية المسامية Stomatal conductance (g_s) (Rebetzke وزملاؤه، 2003)، وصفة التمييز ضد الكربون النظير Carbon isotope discrimination ratio (Δ) $^{13}C/^{12}C$ (Solomon و Labuschagne، 2004)، الذي استعمل كمعيار انتخاب بديل عن كفاءة استعمال المياه، حيث توجد علاقة ارتباط عكسية بين Δ وWUE (Condon وزملاؤه، 2004). وحتى تكون صفة ما مهمة في برامج التربية والتحسين الوراثي، يجب أن تكون سهلة القياس، ولا تحتاج عملية قياسها إلى أجهزة معقدة، وذات قابلية توريث عالية جداً High heritability وأقل تأثراً بالعوامل البيئية، وذات طبيعة تكاملية، حتى تسهل عملية نقلها من الآباء إلى النسل الناتج (Richards، 2006؛ Lafitte وزملاؤه، 2006).

يُعد الجفاف الإجهاد اللاأحيائي الرئيس الذي يحد من غلة محاصيل الحبوب Cereals، والعديد من المحاصيل الرئيسة الأخرى في بيئات حوض البحر المتوسط، وبخاصةٍ تحت ظروف الزراعة المطرية Rainfed conditions (Acevedo وزملاؤه، 1999؛ Araus، 2002). ويُعد نقص المياه العذبة المتاحة للري السبب الرئيس لتدني إنتاجية النظم البيئية الزراعية، والأنواع المحصولية. ولكن رغم حقيقة أنّ محصول الذرة البيضاء من الأنواع المحصولية ذات المتطلبات البيئية، والأرضية، والمائية المحدودة، حيث يمكن أن تبقى نباتاته على قيد الحياة ضمن مدىً واسع من الظروف البيئية (المحصول الجمل)، إلاّ أنّ غلته الحبية تنخفض بشكلٍ كبير عند تعرضه للإجهادات اللاأحيائية المختلفة، أو في حال عدم تطبيق الممارسات الزراعية الملائمة لبلوغ كامل طاقة المحصول الإنتاجية الكامنة Potential yield. عموماً، تتحدد إنتاجية محصول الذرة البيضاء بنوعين من الإجهادات، الإجهادات الأحيائية Biotic stresses (الأعشاب الضَارة، والمسببات المرضية Pathogens، والحشرات Insects، والطيور Birds) (Bennet وزملاؤه، 1990)، والإجهادات اللاأحيائية (الجفاف، الملوحة، درجات الحرارة المرتفعة، ونقص العناصر المغذية) (Prasad وزملاؤه، 2008). ويؤثر الإجهاد المائي Water stress سلباً في نمو الأجزاء النباتية المختلفة وتطورها، في حين يعتمد تأثير الحرارة المرتفعة Heat stress على المرحلة من حياة النبات التي يحدث خلالها الإجهاد اللاأحيائي (Sullivan، 1972). وتُعد مرحلتا الإزهار وتشكل العثاكيل Booting في محصول الذرة البيضاء من أكثر المراحل حساسيةً Critical stages لظروف الجفاف والحرارة المرتفعة(Prasad وزملاؤه، 2008). ويؤدي تعرُّض نباتات الذرة البيضاء للإجهاد المائي المتزامن مع الحرارة المرتفعة إلى تأخير حدوث الإزهار، ويُقلّل من معدّل نمو الساق، وتطور الجذور، وارتفاع النبات، ويؤثر سلباً في حيوية حبوب الطلع والبويضات، وعدد حبوب الطلع المتشكلة، ومقدرة المياسم على استقبال حبوب اللقاح، الأمر الذي يؤثر سلباً في التلقيح Pollination، والإخصاب Fertilization، ومن ثمّ عقد الحبوب Seed set، ما يؤدي إلى تراجع عدد الحبوب المتشكلة في العثكول Panicle. ويؤثر الجفاف أيضا سلباً في طول فترة نمو الحبوب، وطول فترة امتلائها Grain filling period، الأمر الذي يؤثر سلباً في حجم الحبوب المتشكلة ودرجة امتلائها، ما يؤدي إلى تراجع غلة الحبوب نتيجة تراجع هذين المكونين العددين المهمين (Prasad وزملاؤه، 2008). ويؤدي تعرّض نباتات الذرة البيضاء لظروف الإجهاد المائي إلى تراجع الناقلية المسامية Stomatal conductance (g_s)، ما يؤثر سلباً في معدّل انتثار غاز ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)، ومن ثمّ تركيزه المتاح في مراكز التثبيت ضمن الصّانعات الخضراء Chloroplasts المتركزة في خلايا النسيج المتوسط Mesophyll tissues، ما يؤدي إلى تراجع معدّل التمثيل الضوئي Assimilation rate (`A´) (Chaves وزملاؤه، 2003).

ويؤدي أيضاً الجفاف إلى ازدياد معدّل فقد المادة الجافة Dry matter بالتنفس Respiration (R)، ما يؤثر سلباً في معدّل صافي التمثيل الضوئي Net Assimilation Rate (NAR) (Paulsen، 1994). يؤثر الإجهاد المائي أيضاً في معدّل انقسام الخلايا النباتية واستطالتها حتى قبل حدوث أي تراجع في كلٍ من معدّلي التمثيل الضوئي Photosynthesis والتنفس (Prasad وزملاؤه، 2008). وتُعد عملية استطالة خلايا الأوراق Leaf expansion من أكثر عمليات النمو حساسيةً لظروف العجز المائي، نتيجة تراجع جهد الامتلاء Turgor potential (Ψ_p) الضروري لدفع جدران الخلايا النباتية على الاستطالة (Alves و Setter، 2004). ويمكن أن يؤدي الإجهاد المائي إلى تأخير تشكل العثكول بنحو 2– 25 يوماً، والإزهار بنحو 1– 59 يوماً، وذلك حسب مدّة الإجهاد المائي وشدّته. ويمكن أن يكون التأثير أكبر إذا ما تعرّضت النباتات للإجهاد المائي خلال كلٍ من المرحلتين المبكرة والمتأخرة من تطور العثكول Panicle development، ويمكن أن يتوقف تطور العثكول بشكلٍ كامل تحت ظروف الإجهاد المائي الشديد Severe water deficit (Craufurd وزملاؤه، 1993). ويُسبب الإجهاد المائي التفافاً للأوراق واصفراراً وتحترق قمم الأوراق وحوافها، ما يؤثر سلباً في مساحة المسطح الورقي الأخضر الفعّال في عملية التمثيل الضوئي، فتقل كمية الطاقة الضوئية المعترضة والممتصة والمحولة إلى طاقةٍ كيميائيةٍ مخزونةٍ في روابط المركبات العضوية المُصنّعة (السكريات Carbohydrates)، الأمر الذي يؤثر سلباً في كمية المادة الجافة المتاحة لتشكل النورات الزهرية وتطورها. ويؤدي تعرض النباتات للإجهاد المائي خلال مرحلة ما بعد الإزهار Post-flowering إلى تسريع شيخوخة الأوراق، وزيادة حساسية النباتات للرقاد Lodging، ما يؤدي إلى تراجع حجم الحبوب المتشكلة وأحياناً موت النبات بالكامل (Mkhabela، 1995). ويُسبّب تعرض النباتات للإجهاد المائي خلال مرحلة ما قبل الإزهار Pre-flowering تراجعاً في الغلة الحبية، عادةً ما يكون معنوياً وأكبر بالمقارنة مع مرحلة ما بعد الإزهار (Krieg، 1983). ويؤدي تعرض النباتات للإجهاد المائي إلى تراجع قيمة دليل الحصاد Harvest index (HI) نتيجة تراجع غلة المحصول الحبية بدرجةٍ أكبر من التراجع الحاصل في الغلة الحيوية Biological yield (Fisher و Turner، 1978). ويؤثر الإجهاد المائي سلباً في نوعية الحبوب Grain quality نتيجة تراجع معدّل امتصاص العناصر المعدنية المغذية Nutrients، ونقل نواتج التمثيل الضوئي Photo-assimilates translocation من المصدر Source (الأوراق والساق) إلى المصب Sink (الحبوب)، بالإضافة إلى تراجع كمية المادة الجافة Dry matter المسخّرة لامتلاء الحبوب (Prasad وزملاؤه، 2008). وإذا ما تعرّضت نباتات الذرة البيضاء للإجهاد المائي خلال مرحلة النمو الخضري (المرحلة الثانية GS2:40-55 يوماً بعد الإنبات) فغالباً ما تدخل في سكون فيزيولوجي Physiological dormancy دون أن يؤثر ذلك سلباً في

غلة المحصول الحبية (Bennet وزملاؤه، 1990). وتتمثل الآليات المرتبطة بتحمل الإجهاد المائي في الذرة البيضاء بتحوير توقيت المراحل التطورية المختلفة بحيث تتوافق مع فترات إتاحة المياه، والمقدرة على التعديل الحلولي Osmotic adjustment (OA) في الأوراق والجذور، وزيادة درجة تعمق الجذور وكثافتها، وقوة النمو المبكر Early vigor، والمحافظة على استدامة اخضرار الأوراق ، وزيادة سرعة استجابة المسامات Stomata بالانغلاق للمحافظة على ميزان العلاقات المائية داخل الخلايا النباتية (Ludlow و Muchow، 1990). ويمكن أن تُسهم المحافظة على استدامة اخضرار الأوراق، وبخاصةٍ عند تعرض النباتات للإجهاد المائي بعد الإزهار في تحسين غلّة المحصول الحبية (Borrel و Hammer، 2000).

أدّت التغيرات المناخية إلى تراجع معدّلات الهطول المطري السنوية في بيئات حوض البحر المتوسط، وازدياد وتيرة تكرار الجفافDrought frequency، ما سبّب ازدياداً في معدّلات فقد المياه بالتبخر Evaporation والنتح، نتيجة ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط، الأمر الذي أثر سلباً في إنتاجية الأنواع المحصولية المزروعة في البيئات الشحيحة بالمياه. وتتوقف كفاءة الأنواع النباتية في المحافظة على الإنتاجية واستقرار الإنتاج الزراعي في مثل هذه البيئات على تطبيق الممارسات الزراعية المُحسّنة التي تُقلل من الفواقد المائية غير المنتجة (تبخر Evaporation، جريان سطحي Surface run-off، صرف عميق) مثل ضبط موعد الزراعة، معدّل البذار، وطريقة الزراعة (حافظة أو تقليدية)، ومعدّلات التسميد ومواعيد إضافتها، ومكافحة الأعشاب الضارة Weed control، بالإضافة إلى زراعة الأنواع/الأصناف الأكثر تحملاً للجفاف المترافق مع الحرارة المرتفعة (Singh وزملاؤه، 2012).

يستهلك القطاع الزراعي عالمياً أكثر من 70% من الموارد المائية العذبة سنوياً. ويُشكل تراجع المصادر المائية العذبة المترافق مع ازدياد الطلب على الغذاء لتلبية الاحتياجات السكانية المتزايدة أحد التحديات التي تواجه الزراعة (Bacon، 2004) . وتعتمد المحافظة على غلة الأنواع المحصولية أو زيادتها على تحسين عوامل إدارة المياه Efficient water management (EWM) بهدف زيادة إنتاجيتها (Bennett، 2003). وأصبحت البحوث الخاصة بتحسين كفاءة استعمال المياه في الآونة الأخيرة تلقى أهمية كبيرة، بسبب تراجع حجم الموارد المائية السطحية والجوفية العذبة، وارتفاع أسعار الوقود (زيادة تكاليف عملية الري)، وازدياد الطلب على المنتجات الغذائية Food، والعلفية Feed، والألياف Fiber نتيجة النمو السكاني المتزايد، الأمر الذي دفع إلى التوجه إلى البيئات الجافة (الزراعة المطرية).

يُعرف مفهوم كفاءة استعمال المياه Water use efficiency (WUE) بأنّه كمية الكتلة الحية الكليّة المُصنّعة في وحدة المياه المستهلكة (Tanner و Sinclair، 1983). وتختلف قيمة كفاءة استعمال المياه باختلاف الأنواع المحصوليّة، وباختلاف الأصناف التابعة

للنوع نفسه (Xin وزملاؤه، 2009). وتُعد صفة كفاءة استعمال المياه من الصفات الفسيولوجية المهمّة المرتبطة بزيادة الغلّة الاقتصادية للمحاصيل Economic yield، وبخاصةٍ في البيئات المجهدة مائياً (Sinclair وزملاؤه، 2001). وقد أكّد Passioura (1977) أنّ الغلة الاقتصادية تتحدد بثلاثة عوامل مستقلّة عن بعضها البعض، هي معدّل فقد المياه بالنتح (T)، وكفاءة استعمال المياه (WUE)، ودليل الحصاد (HI)، حيث تُساعد زيادة قيمة كفاءة استعمال المياه في تحسين تحمل نباتات الأنواع المحصوليّة للإجهاد المائي مع المحافظة على كفاءة المحصول الإنتاجية (Turner وزملاؤه، 2001). وتُسهم عملية تحسين كفاءة النتح Transpiration efficiency (TE) في زيادة إنتاج المادة الجافة أو الكتلة الحية Biomass، وتسمح للنباتات في البقاء على قيد الحياة لفترةٍ زمنيةٍ أطول في البيئات الشحيحة بالمياه (Xin وزملاؤه، 2008). وتتحدد بكمية المادة الجافة المصنّعة قيمة كفاءة استعمال المياه، ومعدّل فقد المياه بالنتح (WUE=A/T)، ويُعبّر عن ذلك اصطلاحاً بمفهوم كفاءة النتح (TE)، حيث يرتبط الأخير بشكلٍ موجب مع كلٍ من كمية الكتلة الحيوية الكلية Total biomass، وكفاءة استعمال المياه (Xin وزملاؤه، 2009). عموماً، يمكن زيادة قيمة كفاءة استعمال المياه إمّا من خلال زيادة معدّل التمثيل الضوئي (Impa وزملاؤه، 2005)، أو من خلال تقليل معدّل فقد المياه بالنتح (Prasad وزملاؤه، 2008).

تتأثّر كفاءة استعمال المياه بالعديد من العوامل البيئيّة أهمّها درجة الحرارة في الوسط المحيط، وإتاحة المياه، والرطوبة النسبيّة، وتركيز غاز CO_2، من خلال تأثيرها في فرق التدرّج في ضغط بخار المياه بين الأوراق والوسط المحيط Leaf to air vapor pressure difference (VPD)، الذي يؤثر بدوره في معدّل فقد المياه بالنّتح، ومن ثمّ في كفاءة النّتح (Van De Geijn و Goudriaan، 1996).

تُشير كفاءة استعمال المياه من وجهة نظر فسيولوجية (على مستوى الورقة) إلى مستوى الربح الصافي من الكربون (`A´) في وحدة المياه المنتوحة اللحظية Instantaneous WUE (أو $WUE_{instantaneous}$، $WUE_{is}$) (Polley، 2002؛ Farquhar وزملاؤه، 1989؛ Bacon، 2004). أو ممكن أن تُحسب كفاءة استعمال المياه الفعلية Intrinsic WUE ($WUE_{intrinsic}$ أو $WUE_{ic}$) من خلال النسبة بين معدل التمثيل الضوئي (`A´)، والناقلية المسامية (g_s) (Choi وزملاؤه، 2007)، في حين تُعد كفاءة استعمال المياه من وجهة نظر زراعية عبارة عن نسبة كمية المادة الجافة المتراكمة إلى كمية المياه المستهلكة من قبل نباتات المحصول خلال كامل دورة حياة النبات ($WUE_{integrative}$ or WUE_{ie})، ويُعبَّر عنها بالمعادلة الآتية (Tuberosa وزملاؤه، 2007؛ Condon وزملاؤه، 2004):

$$\mathbf{WUE_{ie} = T_E / (1 + (E_S / T))}$$

حيث أنَّ: T_E: كفاءة النتح، E_S: المياه المفقود بالتبخر المباشر من سطح التربة، T: المياه المفقود بالنتح من قبل النبات. ويُلاحظ أنَّه يمكن تحسين WUE_{ie} من خلال زيادة كفاءة النتح (T_E)، أو زيادة كمية المياه المفقودة بالنتح من قبل النبات (T)، ومن خلال تقليل المياه المفقود بالتبخر المباشر من سطح التربة (E_S)، وذلك من خلال تطبيق الممارسات الزراعية المناسبة (Richards وزملاؤه، 2002؛ Passioura، 2006).

يُعد كلٍ من معدّل التمثيل الضوئي (A`) المسؤول عن إنتاج المادة الجافة Dry matter production، ومعدّل فقد المياه بالنتح Transpiration rate (T) من أهم المؤشرات الفيسيولوجية المرتبطة بكفاءة استعمال المياه وفق المعادلة الآتية (Xin وزملاؤه، 2008):

$$\mathbf{WUE = A / T}$$

يتحدد معدّل التمثيل الضوئي بالناقلية المسامية Stomatal conductance (g_s)، التي تُحدد معدّل انتشار غاز الفحم (CO_2) عبر المسامات أثناء عملية التبادل الغازي، ومن ثمّ كمية CO_2 المتاحة في مراكز التثبيت ضمن الصّانعات الخضراء (Stroma)، وكفاءة خلايا النسيج المتوسط التمثيلية Mesophyll efficiency (g_m). ويتحدد معدّل انتشار غاز الفحم بدوره، بالناقلية المسامية Stomatal conductance (g_s). ويتحدد معدّل فقد المياه بالنتح بفرق التدرج في ضغط بخار المياه بين الأوراق والوسط المحيط (VPD)، بالإضافة إلى الناقلية المسامية. ويمكن أنْ تُوصف العلاقة بين هاتين الصفتين الفيسيولوجيتين وصفة كفاءة استعمال المياه بالعلاقة الرياضية الآتية (Hubick وزملاؤه، 1986):

$$\mathbf{WUE = (P_a - P_i) / 1.6V = (1 - P_i / P_a)/ 1.6V}$$

حيث أنَّ: P_a، P_i هما ضغط/تركيز غاز الفحم في الوسط المحيط وضمن الفراغات الداخلية في الأوراق على التوالي.

V: فرق التدرج في ضغط بخار المياه بين الأوراق والوسط المحيط.

1.6: عامل الانتشارية Diffusivity factor بين كل من CO_2 وبخار المياه H_2O عبر المسامات.

حيث أنَّ كمية بخار المياه المفقودة عبر المسامات خلال واحدة الزمن أكبر بـ 1.6 مرة من كمية CO_2 المنتشرة من الوسط المحيط إلى داخل الأوراق، لذلك يُقال إنَّ النبات يدفع ضريبة باهظة من المياه للحصول على CO_2 اللازم لعملية التمثيل الضوئي. تقترح المعادلة السابقة أنَّ قيمة كفاءة استعمال المياه تُنظم إمّا من خلال تغير النسبة P_i / P_a أو فرق التدرج في ضغط بخار المياه بين الأوراق والوسط المحيط (V). وأنَّ أي عامل وراثي أو بيئي يُمكن أنْ يُقلل من قيمة V سيزيد من قيمة كفاءة استعمال المياه (Condon وزملاؤه، 2004). ويُساعد تقليل كمية الأشعة الشمسية

الواصلة إلى الغطاء النباتي، وتقليل درجة حرارة الأنسجة النباتية في تقليل قيمة (V)، ومن ثمَّ معدّل فقد المياه بالنتح. وتُساعد أيضاً التربية لزيادة سماكة الترسبات الشمعية Waxy deposits فوق سطوح الأوراق (Johnson وزملاؤه، 1983)، وزيادة كثافة الزغب الأبيض، في تقليل قيمة (V)، ومن ثمَّ معدّل فقد المياه بالنتح. وتُساعد حركة الأوراق الفعَّالة في تقليل كمية الأشعة الضوئية الواصلة إلى الغطاء النباتي والممتصة من قبل الأوراق، الأمر الذي يُقلّل أيضاً من قيمة (V). وتُساعد حسب المعادلة السابقة كل تلك التكيفات في زيادة قيمة كفاءة استعمال المياه (WUE). وإنَّ التباين في نسبة P_i/P_a كعاملٍ آخر محدد لقيمة WUE، إنّما تتحدد بشكلٍ رئيس بالتباين في تركيز CO_2 داخل الأوراق (P_i)، لأنَّ تركيز CO_2 في الوسط المحيط عادةً ما يكون ثابتاً نوعاً ما، وبما أنَّ تركيز CO_2 الداخلي Intercellular CO_2 Concentration (P_i) يتحدد بكلٍ من معدل التمثيل الضوئي (`A´) (معدل استهلاك $CO_2$)، والناقلية المسامية ($g_s$)، لذلك فإنَّ نسبة (`A´) إلى (g_s) تُعد بمنزلة مرآة جيدة لقيمة كفاءة استعمال المياه (WUE). وبالرغم من حقيقة أنَّ ازدياد الناقلية المسامية يؤدي إلى زيادة معدّل انتشار CO_2، إلاَّ أنَّه يؤدي بالمقابل إلى زيادة معدل فقد المياه بالنتح Transpiration (T)، ما يؤدي إلى تقليل كفاءة استعمال المياه. ويمكن القول: إنّه عند أي مستوى من الناقلية المسامية (معدّل النتح) فإنَّ زيادة معدل التمثيل الضوئي جرَّاء زيادة كفاءة خلايا النسيج المتوسط (g_m) سوف تقلل من P_i، وبالتالي ستكون قيمة كفاءة استعمال المياه أعلى (Farquhar وزملاؤه، 1989)، لذلك فإنَّ التباين في P_i ومن ثمَّ WUE يتحدد بكلٍ من الناقلية المسامية (g_s) وكفاءة خلايا النسيج المتوسط التمثيلية (g_m).

تُنظم صفة كفاءة استعمال المياه بشكلٍ رئيس بالعوامل المسامية Stomatal factors(g_s) أو بالعوامل المرتبطة بكفاءة خلايا النسيج المتوسط التمثيلية (g_m)، التي تنظم تمثيل الكربون. وتبعاً لذلك، فإنَّ التباين في صفة كفاءة استعمال المياه الناتج عن التباين في كفاءة خلايا النسيج المتوسط التمثيلية (g_m) يكون مرغوباً، حيث تكون في مثل هذه الحالة العلاقة بين معدّل النتح (T) وكفاءة استعمال المياه (WUE) ضعيفة. وتكون تبعاً لذلك الأنماط الوراثية التي تتحدد فيها قيمة كفاءة استعمال المياه (WUE) بقيمة خلايا النسيج المتوسط التمثيلية (gm) ذات كفاءة إنتاجية مرتفعة، وتُسمى اصطلاحاً بالأنماط الوراثية الكفوءة Capacity types، حيث ترتبط فيها زيادة قيمة كفاءة استعمال المياه (WUE) بتحسين الغلة الاقتصادية Economic yield (Araus وزملاؤه، 2007)، في حين تُسمّى الأنماط التي تتحدد فيها قيمة كفاءة استعمال المياه (WUE) بالناقلية المسامية (gs) اصطلاحاً Conductance types، وهي ذات فائدة قليلة، رغم أنَّ تقليل الناقلية المسامية سيقلل كمية المياه المنتوحة في وحدة المساحة الورقية، ولكن سيؤثر ذلك سلباً في معدّل انتشار غاز الفحم عبر المسامات، ما يؤدي إلى

تراجع معدل تثبيت الكربون، ومن ثمَّ كمية المادة الجافة المُصنّعة، ما يؤدي إلى تراجع الكفاءة الإنتاجية Production capacity على الرغم من زيادة كفاءة استعمال المياه في هذه الأنماط (Condon وزملاؤه، 2002). تُعد صفة تقليل الناقلية المسامية من الصفات المهمة المرتبطة بتحسين تحمل الجفاف تحت ظروف الإجهاد المائي، نتيجة تقليل كمية المياه الكلية المفقودة بالنتح، ما يُسهم في المحافظة على ميزان العلاقات المائية داخل الخلايا النباتية، ويُحافظ على محتوى التربة المائي لفترةٍ زمنيةٍ أطول، ولكن يُخفض بالمقابل تقليل الناقلية المسامية من معدّل انتثار غاز الفحم عبر المسامات، الأمر الذي يؤثر سلباً في معدّل التمثيل الضوئي، وتصنيع المادة الجافة (Araus وزملاؤه، 2007). وتبعاً لذلك، ففي الأنواع التي تتحدد فيها قيمة كفاءة استعمال المياه (WUE) بالناقلية المسامية، فعادةً ما يكون معدّل فقد المياه بالنتح في وحدة المساحة الورقية منخفضاً، وكذلك فإنَّ معدّل صافي التمثيل الضوئي (NAR) يكون منخفضاً، بسبب وجود علاقة ارتباط موجبة بين معدّل النتح الكلي، وكمية المادة الجافة الكلية. ويمكن أن تكون علاقة الارتباط ضعيفة بين كفاءة استعمال المياه (WUE)، وكمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة في مثل تلك الأنواع النباتية، التي تتحدد فيها قيمة كفاءة استعمال المياه (WUE) بالناقلية المسامية. وبالتالي فإنَّ الانتخاب لقيمٍ مرتفعة لصفة كفاءة استعمال المياه في مثل تلك الأنماط الوراثية سيؤدي إلى الحصول على إنتاجية متدنية في الغلتين الحبية والحيوية. ويؤدي الانتخاب لقيمٍ مرتفعة لصفة كفاءة استعمال المياه في الأنماط الوراثية الكفوءة ، التي تتحدد فيها قيمة WUE بكفاءة خلايا النسيج المتوسط التمثيلية، إلى إنتاج أنماط وراثية ذات معدلات نمو عالية، ومستوياتٍ مرتفعة من الغلتين الحبية والحيوية (AL-Ouda، 1999).

وقد لخص Blum (2006) العوامل الأولية المسؤولة عن الأداء الجيد للمحاصيل الزراعية تحت ظروف الجفاف، من خلال تكوين مجموع جذري متعمق قادر على امتصاص ماء التربة بشكلٍ كبير، وقد أثبتت الأصناف عميقة الجذور قدرتها على تكوين غلة حبية مرتفعة تحت ظروف الإجهاد المائي (Lorens وزملاؤه، 1987). وتُعد الأنماط الوراثية ذات النمو الأولي السريع التي تمتلك مجموع جذري متعمق ومتشعب Deep-well branched root system قادر على امتصاص ماء التربة (Turner و Asseng، 2005)، ذات مقدرة كبيرة على تحسين كفاءة استعمال المياه تحت ظروف الجفاف، وبخاصةٍ ظروف بيئات حوض البحر الأبيض المتوسط التي تتصف بتذبذب الهطول المطري خلال موسم النمو، وانخفاض معدل الأمطار خلال فترة امتلاء الحبوب (Blum، 2009).

تُساعد عمليّة غربلة الطرز الوراثيّة التابعة لنوع محصولي ما لتحمل الإجهاد المائي بالاعتماد على صفة كفاءة استعمال المياه في فهم آلية تحسين إنتاجيّة المياه Water

productivity (Hammer وزملاؤه، 1997)، من خلال انتخاب الطرز الوراثية التي تُصنّع كميّةٍ أكبر من المادة الجافة باستهلاك كميّة أقل من المياه "More crop per drop".

تُحسّن زيادة قيمة كفاءة استعمال المياه من إنتاجيّة محصول الذرة البيضاء بطريقتين، الأولى من خلال زيادة معدّل تصنيع المادة الجافة وتراكمها، ومن ثمّ زيادة غلّة المحصول الحبيّة، وبخاصةٍ في حالة المحافظة على قيمة دليل الحصاد Harvest index (HI)، وذلك باستهلاك كميّة المياه المتاحة نفسها في التربة خلال كامل موسم النمو. والثانية من خلال المُحافظة على محتوى التربة المائي المتاح بكميّاتٍ محدودة لفترةٍ زمنيّةٍ أطول بما يضمن بقاء نباتات المحصول على قيد الحياة مدةٍ أطول، بحيث تتجنب نباتات المحصول التعرض لمستوياتٍ متطرّفة من الإجهاد المائي المتزامن مع الحرارة المرتفعة خلال المراحل المتقدّمة الحرجة من حياة النبات، ما يمكن نباتات المحصول من إكمال دورة حياتها وإعطاء غلة حبية جيدة (Xin وزملاؤه، 2009).

بالرغم من وجود العديد من الصفات الفسيولوجية المرتبطة بتحسين تحمل الإجهاد المائي وزيادة كفاءة استعمال المياه، إلاّ أنّه لا توجد دراسات وبحوث محليّة وعربيّة تُشير إلى الصفات الفسيولوجية المرتبطة بشكلٍ مباشر بزيادة كفاءة استعمال المياه لدى محصول الذرة البيضاء. ورغم حقيقة أنّ كفاءة استعمال المياه في الأنواع النباتيّة رباعيّة الكربون عادةً ما تكون أكبر بالمقارنة مع الأنواع ثلاثيّة الكربون، إلاّ أنّ التباين الوراثي في صفة كفاءة استعمال المياه بين الطرز الوراثية التابعة للنوع النباتي نفسه لا يزال موضع جدل كبير.

لوحظ أنّ الاستجابة المباشرة التي تُبديها نباتات الذرة البيضاء لدى تعرضها للإجهاد المائي تتمثل في تراكم البرولين Proline (Hause وزملاؤه، 1997)، الذي يحدث عند انخفاض الجهد المائي في الأوراق عن قيمةٍ حديّة معيّنة. ولوحظ ازدياداً في تراكم البرولين الناتج عن الإجهاد المائي خلال مرحلتي بدء تشكل العثكول وانبثاق العثكول في الهجن وآبائها في الذرة البيضاء (Khidse وزملاؤه، 1982). ويُسهم البرولين في عملية التعديل الحلولي Osmotic adjustment والتكيف للإجهادات اللاأحيائية، حيث صنّعت أصناف الذرة البيضاء المتحمّلة كميّةٍ أكبر من البرولين تحت ظروف الإجهاد الحلولي، عند نقل البادرات إلى محلول PEG مدّة 12 ساعة. عموماً، تُراكم النباتات رباعيّة الكربون C_4 plants (الذرة البيضاء، والذرة الصفراء، وقصب السكر) كميّة أقل من البرولين بالمقارنة مع النباتات ثلاثية الكربون C_3 plants (القمح، والشعير، والشوندر السكري)، لكن أكثر من النباتات المتكيفة مع البيئات الصحراوية Crassulacean Acid Metabolism (CAM) (Wang وزملاؤه، 1989). ولوحظ تراكم معنوي للبرولين خلال مرحلتي تشكل العثكول، ومرحلة النضج الشمعي Hard dough، كما لوحظ وجود ارتباط معنوي بين تراكم البرولين وتثبيط النُّمو Growth inhibition في بادرات الذرة البيضاء (Pavlovskaya و Kharamov، 1990). وقد كان تركيز البرولين في نباتات

الذرة البيضاء المجهدة أعلى من جميع الذائبات الأخرى، وراكمت النباتات المتحملة للجفاف كميّة أكبر من البرولين من نباتات السلالات الحسّاسة (Premchandra، 1995). واستطاعت بعض الأصناف المتحملة للجفاف أن تُعطي غلّة حبيّة مرتفعة إلى جانب تركيز مرتفع من البرولين والسّكريّات الذوّابة التي أسهمت في التعديل الحلولي، وزادت من مقدرة النباتات على تحمل ظروف الإجهاد المائي (Pawar و Chetti، 1997). وأظهرت الدراسات وجود تباين وراثي في تركيز البرولين الحر Free proline بين الأنماط الوراثيّة المختلفة من محصول الذرة البيضاء، وخلال كل مراحل النمو، ويزداد محتوى البرولين مع تقدّم النبات في النّمو. واقترح Blum وEbercon (1976) أنّ لتراكم البرولين العديد من الأدوار إضافةً إلى التّعديل الحلولي، حيث يُعد مصدراً للكربون والنتروجين (الآزوت)، ويُسهم في تقليل التأثير السمي للأمونيا Detoxification of NH_3، وحمايّة البروتينات في الأنسجة التي تعرّضت للجفاف من التخريب بتأثير التجفاف، ووقاية الأغشية الحيوية في الخلايا النباتية، الأمر الذي يُسهم في المحافظة على سير العديد من الوظائف الخلويّة.

يُسبب ازدياد العجز المائي في أوراق الذرة البيضاء مكتملة الاستطالة ازدياداً في تركيز الغلوكوز، والسكروز، والفركتوز، ولكن تعود المساهمة الأعلى نسبياً في التعديل الحلولي إلى سكر الغلوكوز، يليه السكروز، فالفركتوز (Jones وزملاؤه، 1980). لوحظ أنّ تركيز السكروز كان أعلى بشكلٍ معنوي في صنف الذرة البيضاء الحسّاس Callus في البيئات المجهدة مائياً، ويُعزى ذلك إلى دوره في التّعديل الحلولي، أو نتيجة تراجع نمو النبات خلال فترة الإجهاد المائي Water deficit (Newton وزملاؤه، 1986). وقد اقترحت هذه الخاصية كمعيار انتخاب مهم لتحمل الجفاف في الذرة البيضاء (Yadav وزملاؤه، 1991؛ Maiti و Ross، 1990).

يُسهم التعديل الحلولي في المحافظة على التوازن المائي في خلايا النبات تحت ظروف الإجهاد، وذلك من خلال خفض الجهد الحلولي (زيادة تركيز الذائبات) (تقليل الجهد المائي) داخل النبات، وزيادة فرق التدرج في الجهد المائي لضمان استمرار امتصاص المياه من قبل النبات. تتراكم تحت ظروف الإجهاد المائي في النباتات العديد من الذائبات التي تُسهم في خفض الجهد الحلولي مثل الأيونات (K^+, Na^+, Cl^-)، أو المركبات العضوية التوافقية مثل، البرولين، والجلايسين بيتين، والسكريات الكحولية Sugar alchohols (Tamura وزملاؤه، 2003). وتتراكم هذه المركبات للحفاظ على سلامة الأغشية الخلوية والبروتينات من التخريب تحت ظروف نقص المياه، وتؤدي الذائبات الحلولية دوراً مهماً في زيادة المقدرة على التعديل الحلولي (Pinhero وزملاؤه، 2001). ويُعد التعديل الحلولي أحد أهم الاستجابات الرئيسة في النبات تحت ظروف الإجهاد المائي على المستوى الخلوي، وقد تمت ملاحظة تأثيره في الغلة الحبية تحت تأثير الجفاف (Blum، 2005). وتأتي أهمية آلية التعديل الحلولي من خلال المحافظة

على إنتاجية النبات تحت ظروف الجفاف، وذلك من خلال المحافظة على ضغط الامتلاء داخل الخلايا النباتية (Martinez وزملاؤه، 2004)، واستمرار انفتاح المسامات (Sellin، 2001). كما يُحسّن من مقدرة الجذور على امتصاص المياه (Chimenti وزملاؤه، 2006). ويُسهم في حماية الأغشية السيتوبلاسمية، وثباتية الغشاء الخلوي (البروتينات، الليبيدات) من الضرر الحاصل بفعل الإجهاد (Martinez وزملاؤه، 2004). كما تُسهم المقدرة على التعديل الحلولي باستمرار عملية التمثيل الضوئي، وتسهيل الاستجابات الفسيولوجية، مثل انفتاح المسامات (Munns، 2002؛ Serraj و Sinclair، 2002). وترتبط المقدرة على التعديل الحلولي بشكلٍ كبير بزيادة كفاءة النباتات على استخلاص كمية أكبر من مياه التربة (Morgan و Condon، 1986). وتُعد عملية التعديل الحلولي Osmoregulation في بعض المحاصيل الحبية أحد أهم الآليات الفسيولوجية الفعّالة في تحمل النبات لنقص المياه (Blum، 1988). ولُوحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين التعديل الحلولي والمساحة الورقية Leaf area (LA)، التي تُعد مؤشراً أساسياً لمعدّل نمو المحصول تحت ظروف الإجهاد المائي (Subbarao وزملاؤه، 2000). ووجد في محاصيل الحبوب الصغيرة (القمح، والشعير) المزروعة أنَّ آلية التعديل الحلولي من أكثر الآليات الفسيولوجية فعّاليةً في تحسين تحمّل النباتات لظروف العجز المائي (Zhu وزملاؤه، 1997). ويؤدي بالمقابل امتلاك النباتات المقدرة على التعديل الحلولي (تصنيع الذائبات العضوية التوافقية، مثل السكريات Sugars والحموض الأمينية Amino acids وبشكلٍ خاص البرولين (Farouk، 2005) إلى زيادة حدة التدرج في الجهد المائي بين التربة وخلايا المجموعة الجذرية Water potential gradient (WPG)، ما يؤدي إلى زيادة معدّل تدفق المياه وامتصاصها (Rontein وزملاؤه، 2002؛ Farouk، 2011). وتُعد صفة المقدرة على التعديل الحلولي من الصفات المهمة في تحسين غلة العديد من الأنواع المحصولية في البيئات ذات المصادر المائية المحدودة بسبب ارتباطها مع الغلة الحبية ومكوناتها في محصول القمح Wheat (*Triticum spp*.) (Moustafa وزملاؤه، 1996)، والذرة البيضاء Sorghum (Santamaria وزملاؤه، 1990). وقد وجد Blum وزملاؤه (1999) علاقة ارتباط موجبة بين الغلة الحبية والمقدرة على التعديل الحلولي تحت ظروف الجفاف.

تُعد السكريات الذوَّابة بالكحول أحد الذائبات العضوية التي تُسهم في المحافظة على الحالة المائية للورقة، وتُعد مهمة في زيادة المقدرة على التعديل الحلولي تحت ظروف الإجهاد المائي، وتُسهم في المحافظة على ثباتية الأغشية السيتوبلاسمية (Farouk، 2011). وتأتي أهمية السكريات من خلال تحفيز تراكم البرولين تحت ظروف الإجهاد .

بيّنت نتائج تجربة تقييم أداء بعض التراكيب الوراثية من الشعير تحت ظروف الزراعة المطرية، في منطقتين متباينتين بيئياً في محافظتي درعا والسويداء. أنَّ متوسط محتوى الأوراق من البرولين كان الأعلى معنوياً في موقع حوط الأقل هطولاً (15.25 ميكروغرام. غ$^{-1}$ مادة خضراء) بالمقارنة مع موقع إزرع الأكثر هطولاً (12.45 ميكروغرام. غ$^{-1}$ مادة خضراء). وكان متوسط محتوى البرولين الأعلى معنوياً لدى الأصول البرية درعا$_1$، والحسكة$_1$، ودرعا$_2$ (18.20، 16.94، 16.02 ميكروغرام. غ$^{-1}$ مادة خضراء على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى السلالة المحلية السويداء$_1$، والأصل البري السويداء$_3$ (2.97، 3.18 ميكروغرام. غ$^{-1}$ مادة خضراء على التوالي) (التمو، 2007). وفي دراسةٍ لتقييم أداء بعض طرز القمح القاسي والطري السورية والليبية تحت ظروف الزراعتين المطرية والمروية. بيّنت النتائج أنَّ متوسط محتوى الأوراق من البرولين كان الأعلى معنوياً تحت ظروف الزراعة المطرية، في حين كان الأدنى معنوياً تحت ظروف الزراعة المروية (التومي، 2012).

يُؤثّر الإجهاد المائي في سلامة الأغشية الخلوية، ويُغير نفاذيتها من خلال تخريب البروتينات الداخلة في تركيبها، ما يؤدي إلى فقدان الخاصية الاصطفائية للأغشية Membrane selectivity. وبشكلٍ عام، فإنَّ الطرز الوراثية الأقدر على المحافظة على سلامة الأغشية واستقرارها تحت ظروف الإجهاد المائي ستكون أكثر تحملاً للجفاف، وأكثر مقدرة على استعادة النمو بعد زوال الجفاف. وتُحسب سلامة الأغشية الخلوية Membrane integrity استناداً إلى نسبة الذائبات المتسربة (Leoplod، 1981). تُساعد آلية التعديل الحلولي في حماية الأغشية السيتوبلاسمية من حدوث الاضطرابات التركيبية أو الوظيفية نتيجة الإجهاد المائي (Martinez وزملاؤه، 2004)، فتضمن بذلك سلامة الخلية النباتية خلال فترة الإجهاد المائي. وتُعد عملية قياس الذائبات المتسربة من الأنسجة النباتية كطريقةٍ مهمة في تحديد مقدار الضرر الحاصل في الأغشية السيتوبلاسمية استجابةً للإجهادات اللاأحيائية. وتُعد درجة ثبات أغشية الخلية النباتية السيتوبلاسمية أحد أهم المعايير الفسيولوجية المرتبطة بتحمل الجفاف Drought tolerance (Bajji وزملاؤه، 2002؛ Bandurska، 2000)، حيث يؤدي الإجهاد المائي عادةً إلى تخريب الأغشية السيتوبلاسمية، ما يؤدي إلى زيادة نفاذيتها، وفقدان خاصيتها الاصطفائية ومن ثمَّ تسرب الذائبات المعدنية والعضوية المفيدة لحياة الخلية النباتية، ما يؤدي إلى موتها (Dhanda و Sethi، 2002)، لذلك ترتبط حياة الخلية النباتية، ومن ثمَّ المقدرة على استعادة النمو Recovery growth بكفاءة النوع/النمط الوراثي في المحافظة على سلامة الأغشية السيتوبلاسمية (Blum و Ebercon، 1981)، لذلك تُعد عملية تطوير أنماط وراثية تمتاز

بكفاءتها في المحافظة على استقرار الأغشية السيتوبلاسمية من أهم سبل تحسين التحمل للإجهادات اللاأحيائية المختلفة (Vasquez-Tello، 1990).

وأظهرت نتائج دراسة لتقييم أداء بعض طرز القمح الطري السورية والليبية (شام$_6$، شام$_4$، دوما$_2$، بحوث$_{208}$، صفيت$_1$، صفيت$_7$)، وبعض طرز القمح القاسي السورية والليبية (شام$_3$، شام$_5$، أكساد$_{65}$ بركة، كريم) وذلك لموسمين زراعيين، وتحت ظروف الزراعتين البعلية والمروية. أنَّ متوسط محتوى المياه النسبي في الأوراق، كان الأعلى معنوياً خلال الموسم الزراعي الأول الأكثر جفافاً بالمقارنة مع الموسم الزراعي الثاني الأكثر رطوبة. وكان محتوى المياه النسبي في الأوراق الأعلى معنوياً لدى الأصناف شام$_5$، والمختار، وشام$_3$ (91.57، 88.74، 86.80% على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى نباتات الصنف أكساد$_{65}$. وبيّنت النتائج أنَّ نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية كانت الأدنى معنوياً خلال الموسم الزراعي الأول الأكثر هطولاً لدى الأصناف المختار، وشام$_4$، ودوما$_2$ (9.47، 9.48، 9.85 % على التوالي)، في حين كانت الأعلى معنوياً خلال الموسم الزراعي الثاني الأقل هطولاً لدى الأصناف أكساد$_{65}$، وشام$_5$، ودوما$_2$ (43.44، 42.36، 39.25 % على التوالي) (التومي، 2012).

مواد البحث وطرائقه Materials and methods

المادة النباتية Plant material: تمّ تقييم استجابة بعض طرز الذرة البيضاء لتحمل الإجهاد الحلولي (مخبرياً) بطور البادرة الفتية، والإجهاد المائي (الأصص الزراعية) على مستوى النبات الكامل (خلال مرحلة النمو الخضري). تمّ الحصول على بذار طرز الذرة البيضاء الحبية من البنك الوراثي في الهيئة العامة للتقانة الحيوية، دمشق، سورية (الجدول، 1).

الجدول رقم (1): نَسَب الطرز الوراثية المستخدمة في الدراسة.

المسلسل	اسم الصنف	طريقة التربية	الآباء
1	ICSSH 30	النسب	ICSA 724 × SSV 74
2	39ICSSH	–	-
3	ICSSH 29	النسب	ICSA 675 × SSV 74
4	ICSV 25274	النسب	(DSV4× SSV84)-2-5-1-3
5	ICSV 25274	–	-
6	CSH22SS	–	-
7	ICSV 25280	النسب	(ICSV93046× SSV84)-7-2-1-3
8	SSV 84	النسب	IS 23568 SEL
9	ICSB 324	النسب	1-2-1-[{(IS18417×ICSB11)×ICSB45}×ICSB30]1
10	ICSB 479	النسب	[(ICSB70 × ICSV700)×PS19349B]5-4-1-2-2
11	ICSB 675	النسب	(E 36-1× ICSB 17)12-2
12	NTJ2	–	-
13	الرزينية	التجميع	-

موقع التنفيذ Site of experiment: نُفذت الدراسة المخبرية (الغربلة الأولية) في مخابر قسم المحاصيل الحقلية، خلال الموسم الزراعي 2017 – 2018، ونُفذت تجربة تقييم أداء الطرز الوراثية المدروسة بالاعتماد على صفة كفاءة استعمال

المياه والمؤشرات الفسيولوجية والبيوكيميائية الأخرى بالطريقة الوزنية، خلال صيف 2018، في مزرعة أبي جرش، كلية الزراعة بجامعة دمشق.

التجارب Experiments

التجربة المخبرية Laboratory experiment

أولاً- سبر التباين في استجابة طرز الذرة البيضاء لتحمُّل الإجهاد الحلولي باستعمال سكر الغليكول عديد الإيثيلين 6000 (PEG6000):

1-1- تحديد المستوي الحلولي المميت الأمثل Identification of the optimum osmotic lethal level

يُعَرَّف المستوي الحلولي المميت الأمثل بأنّه المعاملة الحلولية التي تُسبب موتاً مقداره 50% في البادرات، أو تخفيضاً في النمو بنحو50% بالمقارنة مع الشاهد المطلق في البادرات غير المحرّضة في نهاية فترة استعادة النمو.

عُرضت بادرات الذرة البيضاء المتجانسة والسليمة (خليط متجانس من بذار جميع الطرز الوراثية المدروسة) (بعمر أربعة أيام من تاريخ الإنبات) (بطول 2.5 سم) ضمن أطباق بتري وبواقع عشرة بادرات في كل طبق، وثلاثة مكررات لكل معاملة، إلى مستوياتٍ مميتة من الإجهاد الحلولي Osmotic stress، المُصطنع مخبرياً باستعمال سكر البولي إثيلين جلايكول6000 (PEG-6000)، (- 0.6، - 0.8، - 1.0، - 1.2، - 1.4، - 1.6، - 1.8، - 2.0 Mpa) مدّة 48 ساعة، ثمَّ نُقلت البادرات إلى أطباق بتري أخرى تحتوي ماء مقطر فقط لتستعيد نموها مدّة 72 ساعة. وتُركت في الوقت نفسه بادرات الذرة البيضاء في أطباق بتري تحتوي ماء مقطر فقط من بداية التجربة وحتى نهايتها، واعتمدت كشاهدٍ مطلق تُحسب على أساسه نسبة الانخفاض في المؤشرات المدروسة. تمّ في نهاية فترة استعادة النمو حساب نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات بالمقارنة مع الشاهد المطلق وفق المعادلة الرياضية الآتية (AL-Ouda، 1999):

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

عموماً، تُعد المعاملة التي كانت عندها نسبة الانخفاض في طول الجذور/البادرات قرابة 50% بمنزلة المستوي الحلولي المميت الأمثل.

1-2- تحديد المستوي الحلولي المحرّض الأمثل Identification of optimum osmotic sub-lethal level

يُعَرف المستوى الحلولي المحرّض الأمثل بأنّه المعاملة الحلولية التي تكون عندها نسبة الانخفاض في طول الجذور أو البادرات في نهاية فترة استعادة النمو الأدنى معنوياً.

عُرّضت بادرات الذرة البيضاء (بعمر أربعة أيام من تاريخ الإنبات) إلى مستوياتٍ محرّضة مختلفة من الإجهاد الحلولي (0.0، -0.1، - 0.2، -0.3، - 0.4، -0.5، - 0.6 Mpa) مدّة 16 ساعة، ثمُّ نُقلت البادرات المُحرّضة من كل معاملة على حدة إلى المستوى الحلولي المميت الأمثل المحدد من التجربة السابقة، وتُركت مدّة 48 ساعة، ثمُّ سُمح للبادرات باستعادة نموها في المياه المقطر مدّة 72ساعة. وتمّ في نهاية فترة استعادة النمو حساب نسبة الانخفاض في طول الجذور/البادرات بالمقارنة مع الشاهد المطلق، وفق المعادلة الرياضيّة الآنفة الذكر. واعتمدت المعاملة التي كانت عندها نسبة الانخفاض في طول الجذور/البادرات أقل ما يمكن بالمقارنة مع الشاهد بمنزلة المستوى الحلولي المحرّض الأمثل.

1-3- غربلة طرز الذرة البيضاء استجابةً للإجهاد الحلولي عند مستوي البادرة الفتية:

تمّ تعريض بادرات الذرة البيضاء (بعمر أربعة أيام) من كل طراز وراثي مدروس على حدة للمستوى الحلولي المحرّض الأمثل مدّة 16 ساعة، ثمُّ نُقلت البادرات المحرّضة إلى المستوى المميت الأمثل من الإجهاد الحلولي وتُركت مدّة 48 ساعة، ثمُّ سُمح للبادرات باستعادة نموها في المياه المقطر مدّة 72 ساعة. وسُجلت في نهاية فترة استعادة النمو القراءات المتعلقة بطول الجذور والبادرات. وحُسبت نسبة الانخفاض في طول كلٍ من الجذور والبادرات بالمقارنة مع الشاهد المطلق. وتمّ تقييم استجابة طرز الذرة البيضاء المدروسة للإجهاد الحلولي باستعمال التحليل الإحصائي المسمّىZ-distribution analysis بالاعتماد على مؤشرات متوسط الطول الكلي للجذور والبادرات ونسبة الانخفاض فيهما بالمقارنة مع الشاهد. وقُسّمت الطرز المدروسة وفقاً لذلك إلى المجموعات الآتية:

الطرز عالية التحمّل: وهي الطرز التي أبدت أدنى نسبة انخفاض في طول الجذور والبادرات وأعلى متوسط طول كلي لهما.

الطرز عالية الحساسية: وهي الطرز التي أبدت أعلى نسبة انخفاض في طول الجذور والبادرات وأدنى متوسط طول كلي لهما.

الطرز متوسطة الاستجابة.

1-4- تقييم تأثير التحريض Evaluating the impact of induction stress:

عُرّضت بادرات الذرة البيضاء المدروسة (بعمر أربعة ايام) إلى المستوى الحلولي المحرِّض الأمثل مدّة 16 ساعة، ثمَّ نُقلت البادرات المحرَّضة إلى المستوى الحلولي المميت الأمثل مدّة 48 ساعة، ونُقلت في الوقت نفسه مجموعة أخرى من البادرات غير المحرَّضة بشكلٍ مباشرٍ إلى المستوى الحلولي المميت الأمثل، وتُركت البادرات المُحرّضة وغير المُحرّضة في المستوى الحلولي المميت الأمثل مدّة 48 ساعة، ثمَّ سُمح للبادرات باستعادة نموها في المياه المقطر مدّة 72 ساعة. وحُسبت عند مختلف المعاملات المدروسة نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات بالمقارنة مع الشاهد في نهاية فترة استعادة النمو. وتمّ استناداً إلى ذلك تقييم أهميّة التحريض في تحسين تحمل البادرات للمستويات المميتة من الإجهاد الحلولي.

ثانياً- تجربة تقييم أداء طرز الذرة البيضاء استجابةً لظروف الإجهاد المائي على مستوى النبات الكامل (مرحلة النمو الخضري) ضمن الأصص الزراعية، اعتماداً على صفة كفاء استعمال المياه (WUE)، وبعض الصفات الفسيولوجية والبيوكيميائية:

تُعرّف كفاءة استعمال المياه (WUE) في المحصول الحقلي بأنَّها نسبة الغلة الحبية إلى كمية المياه المستعملة من قبل المحصول (Hatfield وزملاؤه، 2001). ويُعبر عن المياه المستعملة بشكلٍ عام بمفهوم كمية المياه الكلية المُضافة (أمطار، ومياه ري أو كمية المياه المنتوحة، وكمية المياه المفقودة بالتبخر Evaporation). ويمكن أن تُعرّف كفاءة استعمال المياه بأنَّها نسبة الربح من الكربون إلى الفقد من المياه. تسمح الطريقة الوزنية بحساب قيمة كفاءة استعمال المياه خلال مرحلة محددة من حياة النبات (مرحلة النمو الخضري).

مُلئت الأصص الزراعية (ارتفاع 80 سم، بقطر 30 سم) بالتراب (تمّ الحصول على التربة من مزرعة أبي جرش في كلية الزراعة بجامعة دمشق)، وزُرعت بذور الطرز الوراثية المدروسة (2019/4/20) بمعدّل خمس بذار في كل أصيص، بواقع ثلاثة مكررات من كل طراز وراثي، ومعاملة (إجهاد مائي: 50% من السعة الحقلية). وتمّت عملية التفريد والإبقاء على نباتين فقط في كل أصيص بعد مرور عشرة أيام على الإنبات واسترساء البادرات، حيث تمّ الإبقاء على النباتات القوية والسليمة والمتجانسة بالنمو. ورويت الأصص بشكلٍ يومي للمحافظة على محتوى التربة المائي عند 100% من السعة الحقلية Field capacity. واستمرت عملية الري بهذه الطريقة إلى حين بدء المرحلة التي ستدرس خلالها قيمة كفاءة استعمال المياه (15 يوماً من تاريخ اكتمال استرساء البادرات)، حيث رُويت قبل يوم واحد من بدء القياس جميع الأصص

بالمياه إلى حدّ الإشباع، وحُسب محتوى التربة المائي عند السعة الحقلية 100% (بعد نفاد كامل ماء الجاذبية)، حيث يمكن بسهولة معرفة كمية المياه (كغ) في التربة من خلال طرح الوزن الكلي للأصيص من جميع مكونات الأصيص الأخرى (الأصيص الفارغ + التربة الجافة + القطع البلاستيكية + الأنبوب). وتُركت بدون ري مدّة 4 أيام مع مراعاة إجراء وزن الأصص يومياً، حيث كانت هذه الفترة الزمنية كافية لوصول محتوى التربة المائي إلى قرابة 50% من السعة الحقلية (مستوى الإجهاد المائي المدروس)، وُسجل الوزن للأصص الزراعية عند السعة الحقلية 50%، ثمّ تمّ عندئذٍ سد الثقب Hole الموجود في أسفل أو قاعدة الأصيص بواسطة الأسمنت. وتمّت تغطية سطح التربة بقطعٍ صغيرة من البلاستيك لتقليل مساحة الأرض المعرّضة بشكلٍ مباشر لأشعة الشمس، للحد ما أمكن من فقد المياه بالتبخر. وتمّ تسجيل وزن كل أصيص على حدة متضمناً التربة عند السعة الحقلية 50%، والنبات، والقطع البلاستيكية المستعملة لتغطية سطح التربة باستعمال ميزان الكتروني. وغُرس في تربة كل أصيص زراعي وعلى عمق 30 سم أنبوب بلاستيكي بطول 50 سم، وبقطر 50 مم، يحتوي ثقوباً على طوله بفاصل 7.5 سم بين الثقب والآخر، حيث يُستعمل هذا الأنبوب لإضافة المياه من خلاله مباشرةً، لضمان وصول كامل كمية المياه المُضافة إلى منطقة انتشار الجذور دون فقد أي كمية منها بالتبخر.

سُجل وبشكلٍ يومي وزن الأصص الزراعية خلال فترة الصباح (8 - 10 صباحاً) لحساب كمية المياه المفقودة يومياً بالنتح عن طريق النباتات خلال كامل فترة التجربة (فترة التجربة 45 يوماً). وبعد الانتهاء من عملية الوزن يُضاف إلى كل أصيص كمية المياه اللازمة لإعادة التربة إلى 50% من السعة الحقلية.

كمية المياه اللازمة لتأمين 50% من السعة الحقلية:

$$\mathbf{W_{50} = A + B + Q_{50}}$$

W_{50}: وزن الأصيص عند 50% سعة حقلية.

A: وزن التربة الجافة مع وزن الأصيص.

B: وزن القطع البلاستيكية الموزعة فوق سطح التربة، مع وزن الأنبوب المغموس في التربة.

Q_{50}: كمية المياه الموجودة عند سعة حقلية 50%.

$$Q_{50} = W_{50} - (A + B)$$

حساب كمية المياه الواجب إضافتها يومياً للأصص (50% سعة حقلية) سيكون على النحو الآتي:

$$RQ_{50} = W_{50} - X_{50}$$

X_{50}: يمثل وزن الأصيص للمعاملة.

ولحساب كمية المياه المفقودة بالتبخر تُركت مجموعة من الأصص الزراعية، التي اتسمت بكل مواصفات الأصص السابقة المزروعة، إلا أنّها خالية من النباتات. ورويت هذه الأصص بشكلٍ يومي أيضاً. ويمثل الفرق بين وزن هذه الأصص عند سعة حقلية 50% والوزن اليومي، كمية المياه المفقودة بالتبخر.

وحُسبت خلال سير التجربة المؤشرات الآتية:

كمية المياه المنتوحة التراكمية Cumulative Water Transpired (CWT): وتمَّثل حاصل كمية المياه الكلية المفقودة بالتبخر–نتح (CWA) مطروحاً منها كمية المياه المفقودة بالتبخر فقط (*CWA) (AL-Ouda، 1999).

$$CWT = CWA - CWA^* \text{ (كغ. أصيص}^{-1}\text{)}$$

حيث:

CWT: كمية المياه الكلية المنتوحة (المفقودة عن طريق النباتات) خلال كامل فترة التجربة.

CWA: كمية المياه الكلية المضافة إلى الأصيص.

*CWA: كمية المياه المفقودة بالتبخر فقط.

وحُسبت المساحة الورقية (باستعمال جهاز قياس المساحة الورقية الحقلي)، والوزن الجاف للنباتات (حيث وضعت الأجزاء الهوائية للنبات من كل طراز وراثي على حدة ولكل مكرر ضمن أكياس ورقية في مجففٍ مسخن بشكلٍ مسبق على درجة حرارة 105 مْ، مدّة نصف ساعة لقتل الأنسجة النباتية وإيقاف عملية فقد المادة الجافة بالتنفس، ثمّ ضبطت درجة حرارة المجفف عند 80 مْ،

وتركت العينات إلى حين الوزن إلى الوزن الجاف الثابت) في بداية التجربة (L_1،W_1) على التوالي عند الزمن t_1، والمساحة الورقية والوزن الجاف النباتات في نهاية التجربة (L_2،W_2) على التوالي عند الزمن t_2 لكلٍ مكرر. وحُسبت استناداً إلى تلك المؤشرات الصفات الآتية:

كفاءة استعمال المياه Water Use Efficiency(WUE) وفق المعادلة الرياضية الآتية (AL-Ouda، 1999):

$$\mathbf{WUE = TDM / CWT}\ (\text{غ مادة جافة. كغ}^{-1}\ \text{ماء})$$

حيث:

TDM: كمية المادة الجافة الكلية المصنّعة خلال فترة التجربة (W_2-W_1).

CWT: كمية المياه الكلية المنتوحة خلال الفترة نفسها.

المساحة الورقية الفعّالة في عملية التمَّثيل الضوئي Leaf Area Duration (LAD): وتمَّثل الفترة الزمنية التي تبقى فيها أوراق النبات خضراء وفعّالة في عملية التمَّثيل الضوئي وحُسبت وفق المعادلة الرياضية الآتية (Watson، 1947):

$$\mathbf{LAD}\ (\text{دسم}^2\text{. يوم}^{-1}) = \frac{L_1 + L_2}{2} \times (t_2 - t_1)$$

معدّل فقد المياه بالتبخر–النتح Mean of Transpiration Rate (MTR): ويمثل نسبة كمية المياه المنتوحة التراكمية (CWT) على المساحة الورقية الفعّالة في عملية التمَّثيل الضوئي (LAD)، وحُسب وفق العلاقة الرياضية الآتية (AL-Ouda، 1999):

$$\mathbf{MTR = CWT / LAD}\ (\text{غ. دسم}^{-2}\text{. يوم}^{-1})$$

حجم المجموعة الجذرية (سم^3): تمَّ بعد قطع الأجزاء الهوائية للنبات عند مستوى سطح التربة قلب الأصيص من كل مكرر وطراز وراثي على حده فوق غربال ذي ثقوب دقيقة جداً لمنع فقد أي جزء من الجذور، وسُلّط على الكتلة الترابية المتضمنة المجموع الجذري تياراً من المياه إلى حين التخلص من جميع التراب العالق بالجذور. وتمّ بعدئذٍ غمر المجموع الجذري في وعاءٍ مدرّج

(سعة 1000 سم^3) يحتوي على حجم معروف من المياه، ويُعبّر عن حجم المجموعة الجذرية بحجم المياه المزاحة من الوعاء. وتمّ بعدئذٍ أخذ الوزن الرطب Fresh weight للمجموعة الجذرية بعد إزالة المياه الزائدة العالقة على الجذور بواسطة ورق تجفيف بلطف. ثمّ وضع في كيسٍ من الورق ونُقل إلى مجفف مُسخّن بشكلٍ مسبق على درجة حرارة 105 مْ مدّة نصف ساعة لقتل الأنسجة النباتية وإيقاف عملية فقد المادة الجافة بالتنفس، ثمّ تمّ تخفيض درجة حرارة المجفف إلى 80 مْ وتُركت العينات في المجفف مدّة ثلاثة أيام، أو إلى حين الوصول إلى الوزن الجاف الثابت، وتمّ بعدئذٍ أخذ الوزن الجاف Dry weight للمجموعة الجذرية (AL-Ouda، 1999).

نسبة المجموعة الجذرية إلى المجموعة الهوائية (%): ويُعبر هذا المؤشر عن كفاءة النوع المحصولي أو الطراز الوراثي في تشكيل مجموع جذري متعمق ومتشعب، حيث تُعد زيادة نسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية من الصفات الفيزيولوجية المهمة المرتبطة بتحمل الجفاف من خلال زيادة كفاءة النبات على استخلاص كمية أكبر من المياه من طبقات التربة العميقة الرطبة. وحُسب وفق المعادلة الرياضية الآتية (AL-Ouda، 1999):

$$\text{نسبة المجموعة الجذرية إلى المجموعة الهوائية (\%)} = \frac{\text{الوزن الجاف للمجموعة الجذرية (غ)}}{\text{الوزن الجاف للمجموعة الهوائية (غ)}} \times 100$$

سلامة الأغشية الخلوية Membrane integrity: تمّ أخذ عيِّنات أقراص ورقيّة من الورقتين الثانية والثالثة كاملتي الاستطالة من كل طراز وراثي ومكرر على حده، وذلك في نهاية فترة النمو الخضري النَّشط، ووضع عدد محدد من الأقراص الورقية (15 قرصاً) في عبوة تحتوي على 10 مل من المياه المقطر، وتُركت العبوات على هزاز مدّة 3 ساعات، ثمّ تمّ قياس الامتصاص الأولي للمحلول عند طول موجة 273 نانو متر باستعمال جهاز قياس الطيف الضوئي Spectro photometer، ثمّ نُقلت المحاليل من كل عبوة على حدة إلى أنابيب اختبار مزودة بسدادة ووضعت في حمام مائي (درجة الغليان) مدّة 30 دقيقة، ثمّ تمّ قياس الامتصاص النهائي للمحلول عند طول الموجة السابقة نفسها (Leoplod، 1981). وحُسبت استناداً إلى ما سبق نسبة تسرب الذائبات وفق المعادلة الرياضية الآتية:

$$\text{نسبة تسرب الذائبات (\%)} = \frac{\text{الامتصاص الأولي}}{\text{الامتصاص النهائي}} \times 100$$

محتوى البرولين في الأوراق Proline content (مغ. غ$^{-1}$وزن رطب): تمّ أخذ من المجموع الهوائي (الأوراق العلوية مكتملة النمو والاستطالة) عينات ورقية بوزن 100 مغ من كل طراز ومكرر على حده، ووضعت في هاون وأُضيف إليها قليلاً من المحلول المائي لحمض سلفوساليسيليك (3%)، وسُحقت العينات بمساعدة كمية قليلة من الرمل المخبري النقي، ثمّ فُصل المستخلص بواسطة جهاز الطرد المركزي (3000 دورة/ دقيقة) مدّة عشر دقائق، ثمّ جُمع محلول الاستخلاص وأُكمل حجمه إلى 5 مل باستعمال حمض سلفوساليسيليك (3%)، وأُخذ من المستخلص 2 مل وأُضيف إليه 2 مل من محلول النينهيدرين لتنشيط التفاعل (يتألف المحلول المنشط للتفاعل من 1.25غ نينهيدرين+ 30 مل حمض الخل الثلجي + 20 مل حمض N6 أورثوفوسفوريك)، و2 مل من حمض الخل الثلجي. تمّ وضع الأنابيب في حمامٍ مائي عند درجة الغليان مدّة ساعة واحدة، ثمّ تمّ رفع الأنابيب وتبريدها بشكلٍ مفاجئ وذلك بوضعها في وعاءٍ يحتوي على المياه المثلج. أُضيف فيما بعد 4 مل من التولوين على كل أنبوب اختبار وتمّ رج الأنابيب مدّة عشرة ثوانٍ، وتمّ قياس درجة الامتصاص عند طول موجة 520 نانو متر. ولتحديد كمية البرولين في العينة النباتية تمّ تحضير منحنى معياري حاسوبياً وذلك باستعمال كمياتٍ معروفة من البرولين (Bates وزملاؤه، 1973).

محتوى الأوراق من السكريات الذوابة بالكحول (ميكرو غرام. غ$^{-1}$ مادة خضراء): تمّ أخذ 100 مغ من الأوراق العلوية المكتملة الاستطالة من كلٍ من الطرز والمكررات، ووضعت في هاون زجاجي وأُضيف إليها قليل من الكحول الإيتيلي (تركيز 80%)، ثمّ تمّ سحق العينة النباتية بالهاون وفُصل محلول الاستخلاص باستعمال جهاز الطرد المركزي مدّة 10 دقائق، وكررت هذه العملية ثلاث مرات. ثمّ تمّ جمع محلول الاستخلاص، وأُكمل حجمه إلى 25 مل باستعمال الكحول الإيتيلي 80%. وأُخذ 0.5 مل من المستخلص السابق في أنبوبة اختبار وجُفف في فرن على درجة حرارة 70 م^{o}، وقدرت كمية السكريات الذوّابة باستعمال منشط التفاعل الأنثرون، حيث أُضيف 1 مل من المياه المقطر إلى المادة الجافة بالأنبوب، ثمّ أُضيف 5 مل من منشط تفاعل الأنثرون حديث التحضير (يُحضر هذا المنشط بإذابة 2 غ أنثرون في 1 ليتر من حمض الكبريت H_2SO_4 المركز). ووضعت الأنابيب في ماءٍ مغلي في حمام مائي مدّة 10 دقائق، ثمّ برّدت. وتمّ قياس الامتصاص الضوئي عند طول موجة 620 nm باستعمال مقياس الطيف

الضوئي. وتمّ تقدير محتوى الأوراق من السكريات الذوّابة بالكحول اعتماداً على منحنى معياري تمّ تحضيره حاسوبياً باستعمال كمياتٍ محددة من سكر الجلوكوز.

تصميم التجارب الزراعية والتحليل الإحصائي: وضعت التجربة المخبرية وفق التصميم العشوائي التام (CRD)، في حين وضعت تجربة الأصص الزراعية وفق تصميم القطاعات الكاملة العشوائية (RCBD)، بمعدّل ثلاثة مكررات لكل طراز. وتمّ تبويب النتائج المتحصل عليها، وحُللت التجارب المخبرية وتجربة الأصص إحصائياً باستعمال برنامج التحليل الإحصائي MSTAT-C (Russell، 1991) لحساب قيم أقل فرق معنوي (L.S.D) عند مستوى معنوية 1% بالنسبة إلى التجربة المخبرية، و5% بالنسبة لتجربة الأصص، بين المتغيرات المدروسة والتفاعلات المتبادلة بينها، ومعامل الاختلاف (CV%)، لكل صفة من الصفات المدروسة. وحُسبت أيضاً قيم علاقات الارتباط البسيط بين الصفات المدروسة باستعمال برنامج التحليل الإحصائي SPSS.

النتائج والمناقشة Results and discussion

أولاً- تحديد تقانة الغربلة المناسبة للإجهاد الحلولي

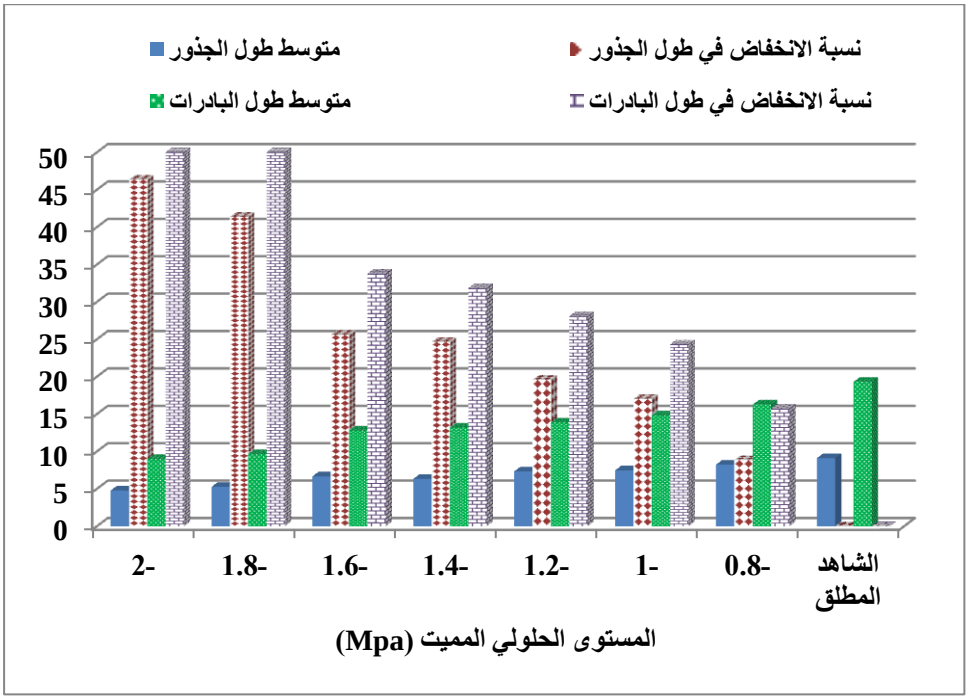
1 ǂ **تحديد المستوى الحلولي المميت الأمثل:** يُلاحظ من الجدول (2)، وجود فروقاتٍ معنوية ($P\leq0.01$) بين المستويات الحلولية المميتة المختلفة، حيث سبّب ازدياد تركيز سكر البولي إيثلين جلايكول (PEG-6000) ازدياداً مضطرداً في الجهد الحلولي Osmotic potential لمحلول النمو، وتراجعاً موازٍ في الجهد المائي، ما أثّر سلباً في معدّل استطالة الجذور ونموها، بسبب تراجع كمية المياه الحر المتاح. وأدّى ازدياد الجهد الحلولي في وسط النمو إلى تراجع طردي في متوسط طول الجذور، حيث كان متوسط طول الجذور الأعلى معنوياً في المعاملة الشاهد، والمستويين الحلوليين -0.8 و-1.0 ميغاباسكال وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (9.10، 8.23، 7.47 سم على التوالي)، وتراجع بشكلٍ طردي ومعنوي بازدياد مستوى الإجهاد الحلولي في وسط النمو، فكان الأدنى معنوياً عند المستوى الحلولي الأعلى (-2.0 ميغاباسكال) (4.78 سم). وسبّب أيضاً ازدياد مستوى الإجهاد الحلولي ازدياداً في نسبة الانخفاض في طول الجذور بالمقارنة مع الشاهد. وكانت نسبة الإنخفاض في طول الجذور الأعلى معنوياً (46.35%) عند المستوى الحلولي المميت الأعلى (Mpa -2.0)، في حين كانت الأدنى معنوياً (8.84%) عند المستوى الحلولي المميت الأدنى (Mpa 0.8-). وسبّب أيضاً ازدياد الجهد الحلولي في محلول النمو تراجعاً معنوياً في متوسط طول السويقة الجنينية والبادرات (السويقة + الجذور)، حيث كان متوسط طول السويقة الجنينية والبادرات الأعلى معنوياً عند المعاملة الشاهد (10.21، 19.31 سم على التوالي)، وتراجعت هاتين الصفتين طرداً ومعنوياً مع ازدياد شدّة الإجهاد الحلولي في وسط النمو، حيث كان متوسط طول السويقة الجنينية والبادرة الأدنى معنوياً عند المستويين الحلوليين-2.0 و-1.8 ميغاباسكال وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (4.21، 4.37 سم على التوالي بالنسبة للسويقة الجنينية؛ 8.99، 9.63 سم على التوالي بالنسبة للبادرة). وازدادت نسبة الانخفاض في طول كلٍ من السويقة الجنينية والبادرات بشكلٍ طردي ومعنوي مع ازدياد تركيز الذائبات الحلولية (PEG-6000) في محلول النمو بالمقارنة مع الشاهد. وسبّب المستوى الحلولي المميت (Mpa -1.8) انخفاضاً مقداره 57.09 و50.03% في طول السويقة الجنينية والبادرات على التوالي بالمقارنة مع الشاهد، ويُعد تبعاً لذلك المستوى الحلولي -1.8 ميغاباسكال بمنزلة المستوى الحلولي المميت الأمثل، لأنّه سبّب انخفاضاً مقداره تقريباً 50% في متوسط طول البادرات (الشكل، 1). وهذا يتوافق مع تعريف المستوى الحلولي المميت الأمثل. وسيُعتمد هذا المستوى كمستوىً حلولي مميت خلال جميع التجارب اللاحقة.

يُعزى التراجع في متوسط طول كلٍ من الجذور Roots والبادرات Seedlings 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، ما يؤثر سلباً في معدّل امتصاص المياه من قبل المجموعة الجذرية، وتُصبح كمية المياه الممتصة غير كافية لتعويض المياه المفقود بالنتح Transpiration عن طريق الأجزاء الهوائية، ما يؤدي إلى تراجع جهد الامتلاء Turgor potential (p) داخل خلايا الأوراق وتثبيط استطالتها Leaf expansion، حيث تُعد المحافظة على جهد الامتلاء داخل الخلايا النباتية من العوامل المهمة المحددة لاستطالة الخلايا النباتية ونموها (Cossgrove، 1989؛ Tais و Zeiger، 2006)، الأمر الذي يؤدي إلى تراجع حجم المسطح الورقي الأخضر الفعَّال في عملية التمثيل الضوئي، ومن ثمّ تراجع كمية المادة الجافة المُصنّعة والمُسخّرة لنمو المجموعة الجذرية وتطورها (الجدول، 2). وقد لُوحظ أنَّ نسبة الانخفاض في طول الجذور كانت أعلى معنوياً بالمقارنة مع نسبة الانخفاض في طول البادرات. تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه كلٍ من التومي (2012)، وجنود (2007) في محصول القمح، والعودة وزملاؤه (2006) في محصول الشعير، والتمو (2007) في محصول الشعير، حيث لُوحظ حدوث تراجع في متوسط طول كلٍ من جذور وبادرات الشعير عند جميع المستويات الحلولية المميتة بالمقارنة مع الشاهد المطلق. وكانت نسبة الانخفاض في طول كلٍ من الجذور والبادرات الأعلى معنوياً (66.32، 60.87% على التوالي) عند المستوى الحلولي المميت الأعلى (-1.8Mpa)، في حين كانت الأدنى معنوياً (21.32، 17.84% على التوالي) عند المستوى الحلولي المميت الأدنى (-0.8Mpa). ولكن كانت معاملة المستوى الحلولي المميت (-1.6Mpa) بمنزلة المستوى الحلولي المميت الأمثل، لأنَّها سبّبت انخفاضاً في متوسط طول كلٍ من الجذور والبادرات بنحو 54.11، 49.81% على التوالي بالمقارنة مع باقي المستويات الحلولية الأخرى.

الجدول رقم (2): تأثير مستويات حلولية مميتة مختلفة في نمو بادرات الذرة البيضاء.

المعاملات (PEG-6000) (ميغاباسكال)	متوسط طول الجذور (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول السويقة (سم)	نسبة الانخفاض في طول السويقة (%)	متوسط طول البادرات (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرات (%)
الشاهد المطلق	9.10^{a}	0.00	10.21^{a}	0.00	19.31^{a}	0.00
-0.8	8.23^{ab}	8.84^{cd}	8.033^{b}	21.34^{bc}	16.27^{b}	15.72^{c}
-1.0	7.47^{ab}	17.02^{cd}	7.37^{bc}	27.68^{b}	14.83^{bc}	24.31^{bc}
-1.2	7.33^{b}	19.58^{cd}	6.63^{bc}	35.07^{b}	13.87^{bc}	28.06^{bc}
-1.4	6.33^{bc}	24.63^{bc}	6.33^{bc}	37.77^{b}	13.17^{c}	31.83^{b}
-1.6	6.67^{bc}	25.58^{abc}	6.33^{c}	39.96^{b}	12.80^{c}	33.77^{b}
-1.8	5.27^{cd}	41.38^{ab}	4.37^{d}	57.09^{a}	9.63^{d}	50.03^{a}
-2.0	4.78^{d}	46.35^{a}	4.21^{d}	58.74^{a}	8.99^{d}	53.35^{a}
L.S.D (0.01)	1.80	20.88	1.75	16.94	2.82	14.64
C.V%	10.66	17.48	10.83	20.09	8.51	20.38

* تشير الأحرف المتماثلة على مستوى العمود الواحد إلى عدم وجود فروقات معنوية بين المعاملات عند مستوى المعنوية 0.01.



الشكل رقم (1): تأثير مستويات حلولية مميتة مختلفة في متوسط طول الجذور والبادرات (سم) ونسبة الانخفاض (%) فيهما بالمقارنة مع الشاهد لدى محصول الذرة البيضاء.

2 1 - تحديد المستوى الحلولي المحرض الأمثل: يُلاحظ من الجدول (3)، وجود فروقات معنوية ($P\leq0.01$) بين المستويات الحلولية المحرّضة المختلفة المدروسة. ويُلاحظ أنّ نسبة الانخفاض في طول كلٍ من الجذور والسويقة الجنينية، والبادرات كانت الأدنى معنوياً (7.77، 8.60، 8.46% على التوالي) عند المستوى الحلولي المُحرّض (Mpa -0.4) بالمقارنة مع باقي المستويات الحلولية المُحرّضة. ويُعد المستوى الحلولي المحرّض (Mpa -0.4) بمنزلة المستوى الحلولي المحرّض الأمثل، وسيعتمد في جميع التجارب اللاحقة. تُعبّر نسبة الانخفاض في طول كل من الجذور والبادرات عن كفاءة البادرات في استعادة النمو في نهاية فترة استعادة النمو. وترتبط المقدرة على استعادة النمو بنسبة الخلايا النباتية التي بقيت حية في نهاية فترة التعريض للمستوى الحلولي المميت الأمثل (Mpa -1.8) (الجدول، 3؛ الشكل، 2). عموماً، تتحدد نسبة الخلايا النباتية التي تبقى حية في نهاية فترة الإجهاد الحلولي المميت بكمية الوسائل الدفاعية المختلفة المصنّعة استجابةً لإشارة التحذير المتمثلة بالمستوى المُحرّض (غير المميت) من الإجهاد الحلولي. وتتوقف كمية الوسائل

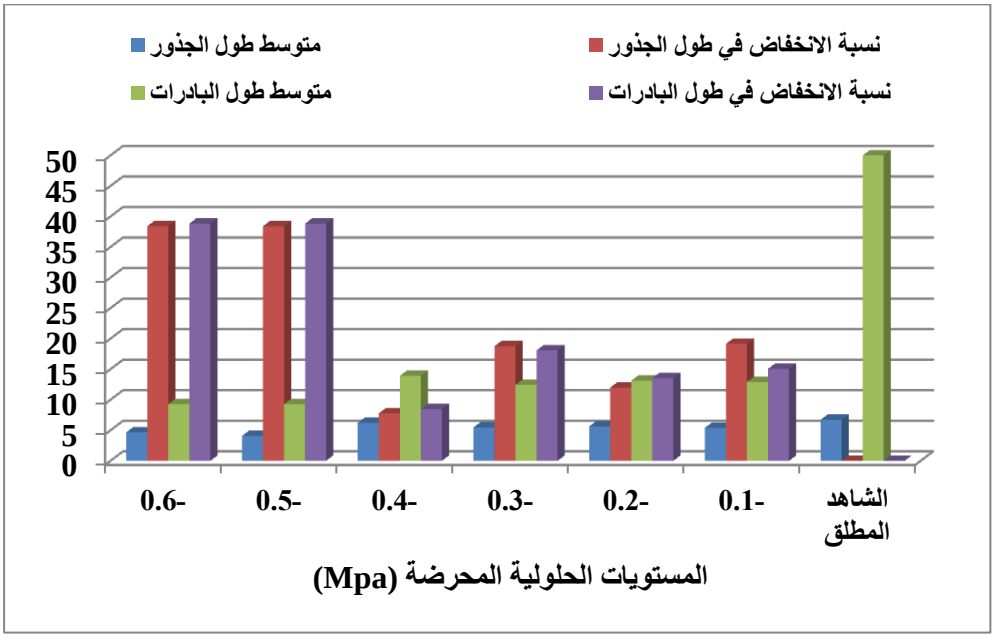
الدفاعية المصنّعة على مدى توافق المستوى الحلولي المحرّض مع المورثات المسؤولة عن تصنيع الوسائل الدفاعية المختلفة. ويُلاحظ مما تقدم، أنّ المستوى المُحِّرض (Mpa -0.4) كان كافياً لدفع المورثات للتعبير عن كامل طاقتها الوراثية، ما أدّى إلى تصنيع كمية أكبر من الوسائل الدفاعية التي ساعدت بدورها في وقاية المكتنفات الخلوية الحسّاسة والإبقاء على حياة نسبة أكبر من الخلايا النباتية، لذلك اعتمد كمستوىً حلولي محرّض أمثل. تُعزز هذه النتائج أهمية التعريض المسبق للنباتات إلى مستوياتٍ غير مميتة من الإجهاد، حيث يسمح ذلك بتنبيه النباتات للخطر المحدق (الجفاف الشديد) ويدفع النباتات إلى الاستعداد المتمثل بحشد كل الوسائل الدفاعية المتاحة لمواجهة المستوى المميت من الجفاف، والبقاء على قيد الحياة، ريثما يزول العامل البيئي المحدد للنمو، عندها تستطيع فقط النباتات التي حافظت على حياة خلاياها أن تستعيد نموها، في حين يُسبب تعرّض البادرات بشكلٍ مباشر ومفاجئ لمستوى مميت من الإجهاد الحلولي صدمةً لتلك البادرات، نتيجة عدم توافر الوقت الكافي لتصنيع الوسائل الدفاعية ومن ثمّ يُمكن أن تموت البادرات حتى في الأنماط الوراثية عالية التحمل للجفاف.

تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه العودة وزملاؤه (2005) في محصول القمح، والعودة وزملاؤه (2006) في محصول الشعير. وتنسجم هذه النتائج أيضاً مع ما توصل إليه AL-Ouda (1999)، و Ganesh Kumar (1999)، في محصول زهرة الشمس، والتمو في محصول الشعير (2007)، ولكن كانت المعاملة (-0.6Mpa) بمنزلة المستوى الحلولي المُحرّض الأمثل، حيث كانت نسبة الانخفاض في طول كلٍ من الجذور والبادرات في نهاية فترة استعادة النمو عند هذه المعاملة الأدنى معنوياً (27.18، 19.09% على التوالي) بالمقارنة مع بقية المعاملات.

الجدول رقم (3): تأثير مستويات حلولية محرّضة مختلفة في نمو بادرات الذرة البيضاء.

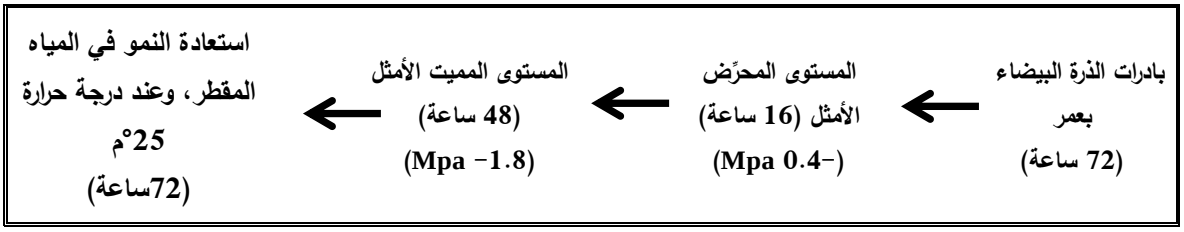
المعاملات (PEG-6000) (ميغاباسكال)	متوسط طول الجذور (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول السويقة (سم)	نسبة الانخفاض في طول السويقة (%)	متوسط طول البادرات (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرات (%)
الشاهد المطلق	6.73^{a}	0.00	8.43^{a}	0.00	15.21^{a}	0.00
0.1-	5.40^{abc}	19.15^{abc}	7.267^{ab}	13.84^{bc}	12.900^{b}	15.07^{b}
0.2-	5.63^{abc}	11.99^{bc}	6.500^{bc}	22.83^{ab}	13.13^{b}	13.54^{b}
0.3-	5.47^{abc}	18.77^{c}	6.967^{b}	17.46^{b}	12.43^{b}	18.08^{b}
0.4-	6.22^{ab}	7.77^{c}	7.693^{ab}	8.60^{bc}	13.91^{ab}	8.46^{bc}
0.5-	4.07^{c}	38.42^{a}	5.200^{c}	38.33^{a}	9.27^{c}	38.84^{a}
0.6-	4.66^{bc}	30.82^{ab}	5.467^{c}	34.95^{a}	10.13^{c}	33.58^{a}
L.S.D (0.01)	1.61	22.27	1.38	16.42	2.05	13.26
C.V%	11.81	12.24	8.16	33.89	6.61	29.18

* تشير الأحرف المتماثلة على مستوى العمود الواحد إلى عدم وجود فروقات معنوية بين المعاملات عند مستوى المعنوية 0.01.



الشكل رقم (2): تاثير مستويات حلولية محرضة مختلفة في متوسط طول الجذور والبادرات (سم) ونسبة الانخفاض (%) فيهما بالمقارنة مع الشاهد في محصول الذرة البيضاء.

استناداً لما تقدم، تتلخص تقانة الغربلة Screening technique لتحمل الإجهاد الحلولي خلال طور البادرة الفتية في محصول الذرة البيضاءعلى النحو الآتي:

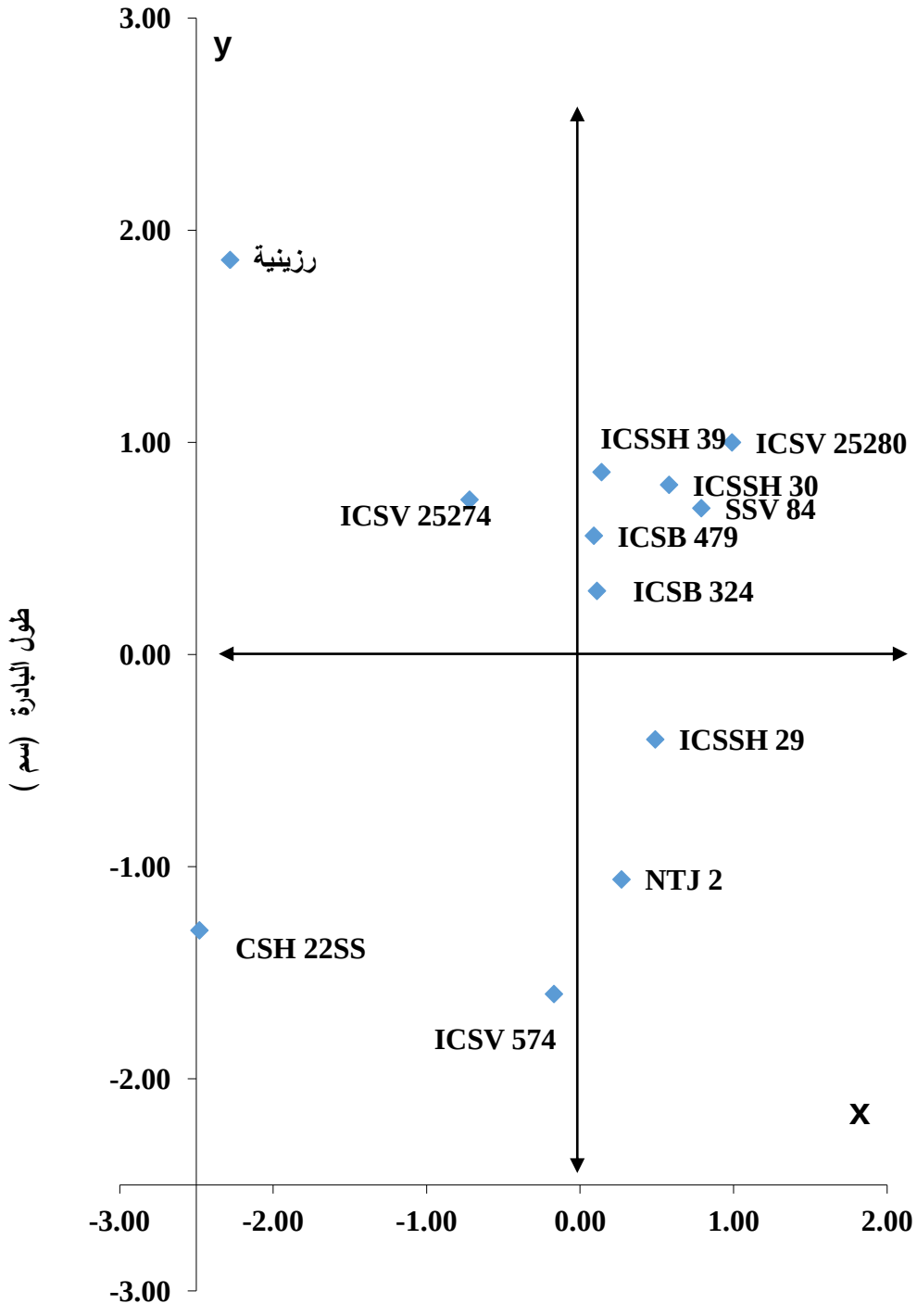


ثانياً- غربلة طرز الذرة البيضاء لتحمل الإجهاد الحلولي في طور البادرة الفتية: بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P\leq0.01$) في استجابة طرز الذرة البيضاء لتحمل الإجهاد الحلولي في طور البادرة الفتية (الجدول، 4). ولوحظ استناداً إلى صفة طول البادرات ونسبة الانخفاض فيها أنَّ طرز الذرة البيضاء الرزينية، والطراز ICSV25274 تُصنّف كطرز وراثية عالية التحمل للإجهاد الحلولي، لأنّها أبدت أدنى نسبة انخفاض في طول البادرات (15.49، 25.40% على التوالي) بالمقارنة مع باقي الطرز الوراثية المدروسة، وأعلى طول مطلق لها (19.26، 16.36 سم على التوالي) (الجدول، 4؛ الشكل، 3a)، في حين تُصنّف طرز الذرة البيضاء ICSSH29، وICSV574، و NTJ 2 كطرز مفرطة الحساسية للإجهاد الحلولي، لأنّها أبدت أدنى طول كلي للبادرات (13.47، 10.39، 11.76 سم على التوالي)، وأعلى نسبة انخفاض فيها (33.04، 28.86، 31.65% على التوالي) (الجدول، 4؛ الشكل، 3a). وتُعد الطرز الوراثية CSH 22SS، ICSV25280، ICSSH39، ICSSH30، SSV84، ICSB479، وICSB324 كطرزٍ متوسطة الحساسية للإجهاد الحلولي استناداً إلى نسبة الانخفاض في طول البادرات والطول الكلي لها (الشكل، 3a). عموماً، الطرز الوراثية التي تكون فيها نسبة الانخفاض في طول البادرات في نهاية فترة استعادة النمو – بعد تعرّضها للمستوى الحلولي المميت الأمثل- الأدنى معنوياً، والطول المطلق للبادرات الأعلى معنوياً هي الأكثر تحملاً لظروف الإجهاد الحلولي خلال مرحلة البادرة الفتية بالمقارنة مع باقي الطرز الوراثية، في حين تُصنّف الطرز الوراثية التي كانت فيها نسبة الانخفاض في طول البادرات الأعلى معنوياً

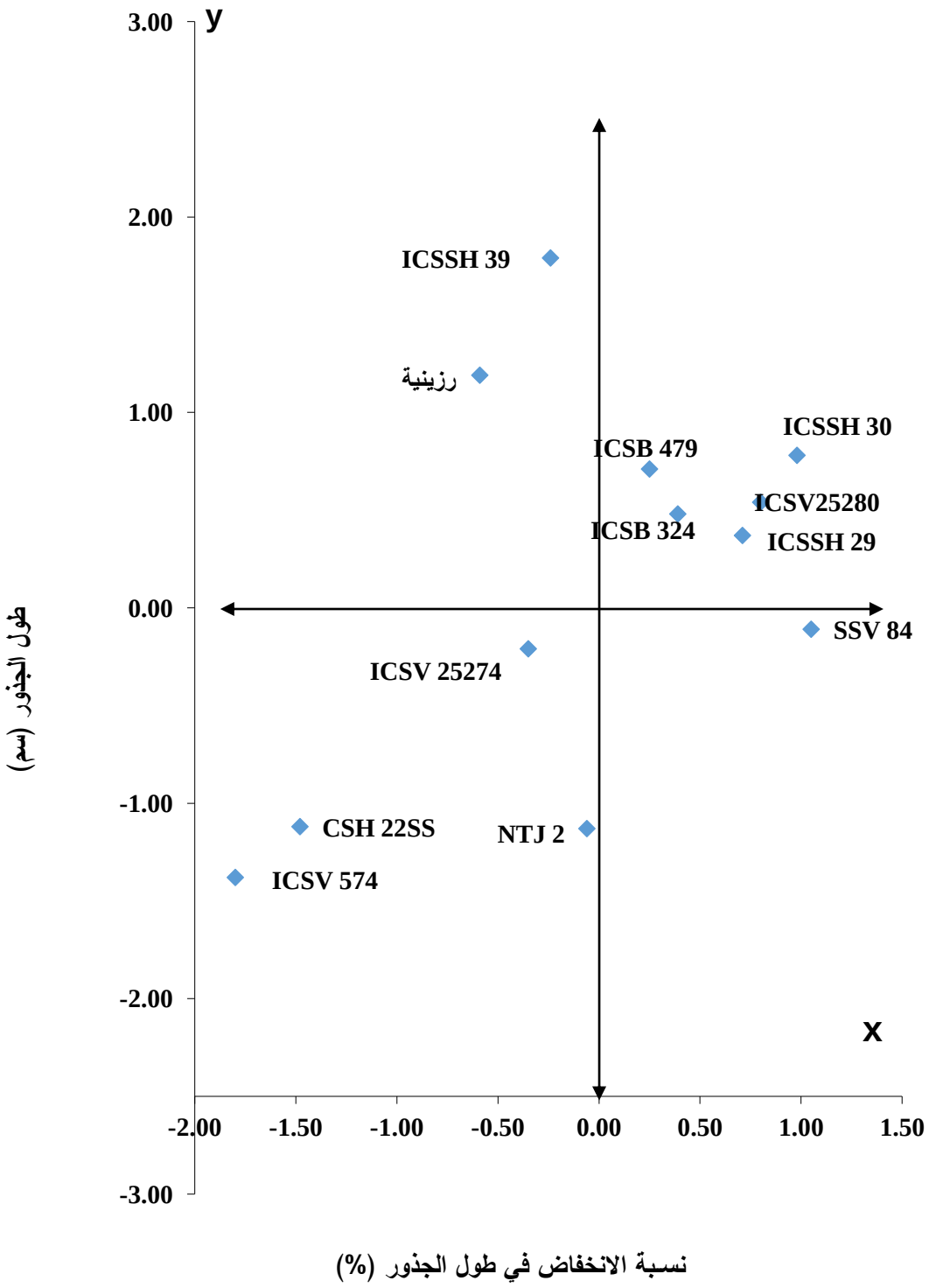
كطرزٍ مفرطة الحساسية لظروف الإجهاد الحلولي. وتتجلى أهمية مثل هذه الغربلة المخبرية في تحديد الطرز الوراثية المتباينة الاستجابة للإجهاد الحلولي فقط، ولا بُدّ من دراسة أدائها على مستوى النبات الكامل تحت ظروف الزراعة الحقلية، وتحديد الصفات الفيزيولوجية والبيوكيميائية والجزيئية المرتبطة بتحسين تحمل الجفاف، وذلك عندما تظهر تلك الصفات في الطرز المتحملة وتغيب في الطرز الحسّاسة، أي أنّ تقانة الغربلة تختصر عدد المدخلات/الطرز الوراثية Genotypes المدروسة، وبخاصةٍ في حال وجود عدد كبير جداً من الطرز الوراثية المجهولة الاستجابة لإجهادٍ ما، الأمر الذي يجعل عملية تقييم كم كبير من الطرز الوراثية على مستوى النبات الكامل في الحقل اعتماداً على العديد من الصفات الشكلية والفيزيولوجية ضرباً من المُحال. ولوحظ استناداً إلى صفة طول الجذور ونسبة الانخفاض فيها أنَّ طرز الذرة البيضاء الرزينية، والطراز ICSSH39 تُصنّف كطرز وراثية عالية التحمل للإجهاد الحلولي، لأنّها أبدت أدنى نسبة انخفاض في طول الجذور (28.07%، 32.92% على التوالي) بالمقارنة مع باقي الطرز الوراثية المدروسة، وأعلى طول مطلق لها (6.78، 7.55 سم على التوالي) (الجدول، 4؛ الشكل، 3b)، في حين يُصنّف طراز الذرة البيضاء SSV84 كطراز حسّاس جداً للإجهاد الحلولي، لأنّه أبدى أدنى طول مطلق للجذور (5.10 سم)، وأعلى نسبة انخفاض فيها (50.82%) (الجدول، 4؛ الشكل، 3a). وتُعد باقي الطرز الوراثية متوسطة الحساسية للإجهاد الحلولي استناداً إلى نسبة الانخفاض في طول البادرات والطول الكلي لها (الشكل، 3b). ولكن للتحقق من مصداقية تقانة الغربلة المقترحة خلال مرحلة البادرة الفتية، لابدّ من تقويم استجابة الطرز الوراثية المدروسة للإجهاد المائي تحت ظروف الزراعة الحقلية، وإيجاد قيمة علاقة الارتباط بين أداء طرز الذرة البيضاء خلال مرحلة البادرة الفتية، والنبات الكامل في الحقل.

الجدول رقم (4): التباين الوراثي في استجابة أصناف الذرة البيضاء للإجهاد الحلولي.

الطرز الوراثية		متوسط طول الجذور (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول البادرات (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرات (%)
ICSSH 39	الشاهد	11.25	32.92	24.15	30.85
	المعاملة	7.55		16.70	
ICSSH 30	الشاهد	11.29	47.36	24.89	33.59
	المعاملة	5.94		16.53	
ICSSH 29	الشاهد	10.60	46.04	20.12	33.04
	المعاملة	5.72		13.47	
CSH 22SS	الشاهد	4.50	15.70	13.01	14.22
	المعاملة	3.79		11.16	
ICSV 574	الشاهد	6.60	11.36	14.60	28.86
	المعاملة	5.85		10.39	
NTJ 2	الشاهد	3.78	35.38	17.20	31.65
	المعاملة	7.24		11.76	
ICSV 25274	الشاهد	4.97	31.31	21.93	25.40
	المعاملة	3.46		16.36	
ICSV 25280	الشاهد	12.45	49.77	26.71	36.18
	المعاملة	6.25		17.05	
SSV 84	الشاهد	10.37	50.82	25.01	34.96
	المعاملة	5.10		16.27	
ICSB 324	الشاهد	10.04	41.60	21.99	30.65
	المعاملة	5.86		15.25	
ICSB 479	الشاهد	10.22	39.73	22.92	30.54
	المعاملة	6.16		15.92	
الرزينية	الشاهد	9.43	28.07	22.79	15.49
	المعاملة	6.78		19.26	



الشكل رقم (3a): يبين توزع طرز الذرة البيضاء المدروسة إلى طرزٍ متحملة، وطرزٍ حساسة، حسب التحليل الإحصائي Z- distribution.



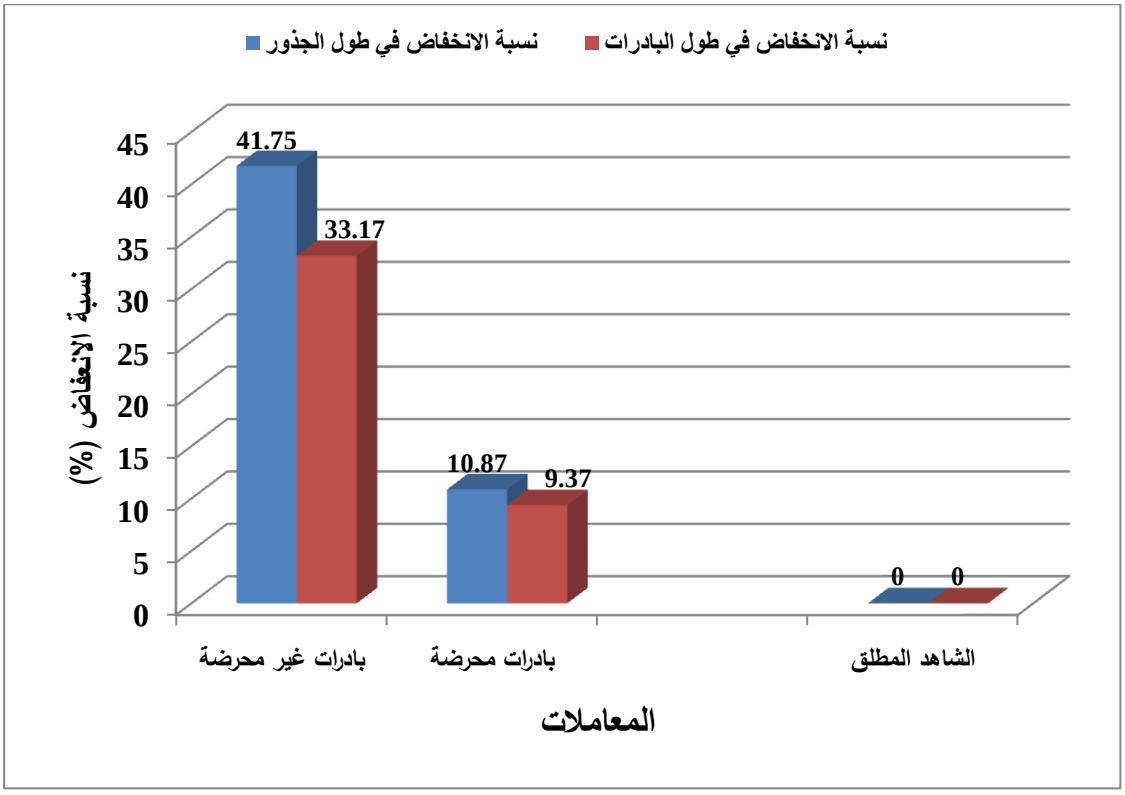
الشكل رقم (3b): يبين توزع الطرز الوراثية إلى طرزٍ متحملة، وطرزٍ حساسة، حسب التحليل الإحصائي Z-distribution.

ثالثاً- تقويم أهمية التحريض الحلولي: يُلاحظ من الجدول (5)، والشكل (4) وجود فروقات معنوية ($P\leq0.01$) بين المعاملات المعتمدة للوقوف على أهمية التحريض في تحسين تحمل البادرات للمستوى المميت من الإجهاد الحلولي. ويُلاحظ أنّ متوسط نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات كان الأدنى معنوياً في البادرات المُحرّضة (10.87، 9.37 سم على التوالي)، في حين كان متوسط نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات الأعلى معنوياً لدى البادرات غير المحرّضة (41.75، 33.17 سم على التوالي)، ما يُشير إلى أهمية التحريض في تحسين كفاءة بادرات الذرة البيضاء على تحمل المستويات الحلولية المميتة. ويُعزى ارتفاع نسبة الانخفاض في طول الجذور والبادرات لدى البادرات غير المُحرّضة إلى تعرّضها لصدمةٍ حلولية Osmotic shock، لذلك يعتمد نجاح أسلوب الغربلة على النقل المرحلي Stepwise transfer للبادرات من المستويات المجهدة غير المميتة إلى المستويات المميتة من الإجهاد، بحيث تتمكن البادرات خلال فترة الإجهاد غير المميت من حشد وسائلها الدفاعية، وذلك حسب الطاقة الوراثية الكامنة لكل طراز، والتهيؤ لمواجهة المستوى المميت، في حين يؤدي التعريض المباشر للمستويات المميتة إلى قتل جميع بادرات الطرز الحسّاسة والمتحملة على حدٍ سواء، لأنّها لم تعط الزمن الكافي والفرصة للتعبير عن طاقتها الوراثية الكامنة. تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه العودة وزملاؤه (2005)، والتومي (2012) في محصول القمح، والعودة وزملاؤه (2006)، والتمو (2007) في محصول الشعير، حيث بيّنت التمو أنّ متوسط طول الجذور والبادرات في الشعير كان الأعلى معنوياً في البادرات المُحرَّضة (4.77، 11.33 سم على التوالي)، في حين كان متوسط طول الجذور والبادرات الأدنى معنوياً لدى البادرات غير المحرَّضة التي نُقلت مباشرةً إلى المستوى الحلولي المميت الأمثل (2.33، 6.83 سم على التوالي). وكانت نسبة الانخفاض في طول كلٍ من الجذور والبادرات الأعلى معنوياً لدى البادرات غير المحرَّضة (74.03، 65.54 % على التوالي) بالمقارنة مع البادرات المحرَّضة (47.13، 42.46 % على التوالي)، ما يُشير إلى أهمية التحريض الحلولي في تحسين كفاءة البادرات على تحمل المستويات الحلولية المميتة.

الجدول رقم (5): أهمية التحريض في تحسين تحمل بادرات الذرة البيضاء للمستوى المميت من الإجهاد الحلولي.

المعاملات (PEG-6000) (ميغاباسكال)	متوسط طول الجذور (سم)	نسبة الانخفاض في طول الجذور (%)	متوسط طول البادرات (سم)	نسبة الانخفاض في طول البادرات (%)
الشاهد المطلق	9.10	0.00	19.31	0.00
بادراتُ محرّضة	8.11	10.87[b]	17.50	9.37[b]
بادرات غيرُ محرّضة	5.30	41.75[a]	12.90	33.17[a]
L.S.D (0.01)	–	30.65	4.116	4.116
C.V%	–	14.35	2.41	2.41

* تشير الأحرف المتماثلة ضمن العمود الواحد إلى عدم وجود فروقات معنوية بين المعاملات عند مستوى معنوية 0.01.



الشكل رقم (4): تأثير التحريض في تحسين مقدرة بادرات الذرة البيضاء على تحمل المستوى الحلولي المميت.

ثانياً– الدراسة ضمن الأصص الزراعية

تقييم التباين الوراثي في صفة كفاءة استعمال المياه (WUE) في النباتات المزروعة في أصص زراعية تحت ظروف الإجهاد المائي (50% من السعة الحقلية) (الطريقة الوزنية):

2-1- كمية المياه المنتوحة التراكمية (CWT) (كغ. أصيص$^{-1}$): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة كمية المياه المنتوحة التراكمية بين الطرز الوراثية المدروسة تحت ظروف الإجهاد المائي (الجدول، 6). كان متوسط كمية المياه المنتوحة التراكمية الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي ICSV35274 (156.50 كغ. أصيص$^{-1}$)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطراز الوراثي SSV84 (135.40 كغ. أصيص$^{-1}$)، ثمّ الطرازين الوراثيين ICSSH30، ICSSH29 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (111.50، 100.90 كغ. أصيص$^{-1}$ على التوالي)، تلاهما وبفروقاتٍ معنوية الطرازين الوراثيين ICSV 25280، ICSB479 وبدون فروقاتٍ معنوية بين الأخيرين (88.76،84.94 كغ. أصيص$^{-1}$ على التوالي)، في حين كان متوسط كمية المياه المنتوحة التراكمية الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين الرزينية، وICSB675 وبدون فروقات معنوية بينهما (47.85، 49.36 كغ. أصيص$^{-1}$ على التوالي) (الجدول، 6؛ الشكل، 5).

يُعزى التباين في صفة متوسط كمية المياه المنتوحة التراكمية إلى التباين في معدّل فقد المياه بالنتح، حيث يُلاحظ أنّ الطرز الوراثية التي كان فيها معدّل فقد المياه بالنتح الأدنى معنوياً كانت فيها كمية المياه الكلية المنتوحة خلال كامل فترة التجربة أيضاً الأدنى معنوياً، كما هو الحال لدى الطرز الوراثية الرزينية، و ICSB 675 (0.9853، 2.068 غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$ على التوالي وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما). ويُلاحظ بالمقابل أنّ الطرز الوراثية التي أبدت معنوياً أعلى معدّل فقد للمياه بالنتح كان فيها أيضاً متوسط كمية المياه الكلية المنتوحة الأعلى معنوياً، كما هو الحال لدى الطراز الوراثي ICSV 25274 (8.852غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$). ويُلاحظ بالنسبة إلى الطرازين الوراثيين ICSB479، وICSV25280 أنّهما بالرغم من امتلاكهما أعلى متوسط معدّل فقد للمياه بالنتح (7.668، 11.240 غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$ على التوالي)، إلاّ أنّ كمية المياه المنتوحة الكلية فيهما لم تكن الأعلى معنوياً، ويُعزى ذلك إلى انخفاض نسبة الأجزاء الجذرية إلى الأجزاء الهوائية، كما هو الحال لدى الطراز الوراثي ICSV 25280، الذي أبدى معنوياً أدنى قيمة لنسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية (2.49 %)، الأمر الذي قلّل من كلٍ من كمية المياه

الممتصة والمنتوحة، أمّا بالنسبة إلى الطراز الوراثي ICSB479، الذي امتلك قيمةً مرتفعةً معنوياً، فيمكن أن يُعزى التراجع نسبياً في كمية المياه المنتوحة التراكمية إمّا إلى انخفاض الناقلية المسامية Stomatal conductance (gs)، أو التكرار المسامي Stomatal frequency. وقد يُعزى التباين في كمية المياه الكلية المنتوحة، ومتوسط كمية المياه المنتوحة في وحدة المساحة الورقية إلى التباين في المساحة الورقية الخضراء ، حيث تؤدي زيادة المساحة الورقية واستمرار اخضرار الأوراق لفترةٍ زمنيةٍ أطول إلى زيادة كمية المياه الكلية المنتوحة، ومعدّل فقد المياه بالنتح، نتيجة زيادة كمية الأشعة الشمسية المستقبلة والممتصة، ما يؤدي إلى زيادة فرق التدرج في ضغط بخار المياه بين الأوراق والوسط المحيط Leaf to air vapor pressure difference (VPD)، الذي يُعد بمنزلة القوة الرئيسة المحركة لفقد المياه على هيئة بخار ماء من الأوراق إلى الوسط المحيط. ويمكن أن يُعزى أيضاً التباين في الناقلية المسامية (g_s)، ومن ثمّ كمية المياه المنتوحة الكلية إلى التباين في العوامل المناخية، حيث تؤدي درجة الحرارة المرتفعة، والرطوبة النسبية الجوية المنخفضة، وزيادة سرعة الرياح، إلى زيادة فرق التدرج في ضغط بخار المياه بين الأوراق والوسط المحيط (VPD)، ما يؤدي إلى زيادة معدّل فقد المياه بالنتح Transpiration (Grantz، 1990). ويمكن أن تُعزى الفروقات بين الطرز الوراثية إلى التباين في الناقلية المسامية (g_s) Stomatal conductance استجابةً للعوامل الجوية المختلفة. ويمكن أن يُعزى التباين في درجة انفتاح المسامات بدوره إلى التباين في معدّل تصنيع حمض الأبسيسيك (ABA) في الجذور، والتباين في سرعة نقل هذه الإشارة الكيميائية مع تيار المياه من الجذور إلى الأوراق Root to shoot chemical signal، أو التباين في حساسية المجسّات Sensors المرتبطة بأغشية الخلايا الحارسة السيتوبلاسمية Tonoplast لحمض الأبسيسيك (ABA)، أو التباين في كمية حمض الأبسيسيك المخزنة في أنسجة الأوراق، التي تتحرر نتيجة التبدلات الحاصلة في درجة الحموضة استجابةً لظروف الجفاف، الذي يحث المسامات Stomata على الانغلاق (Kang و Zhang، 2004؛ Assmann وزملاؤه، 2000). ويؤدي حمض الأبسيسيك (ABA) دوراً مهماً في تحسين تحمل الجفاف من خلال زيادة المقاومة المسامية Stomatal resistance (r_s) لتدفق المياه عبر المسامات خلال عملية التبادل الغازي (Shinozaki و Yamaguchi-Shinozaki، 1999). عموماً، يُساعد تراجع الناقلية المسامية استجابةً لظروف العجز المائي في تقليل معدّل فقد المياه بالنتح، وتُعد صفة ضبط الناقلية

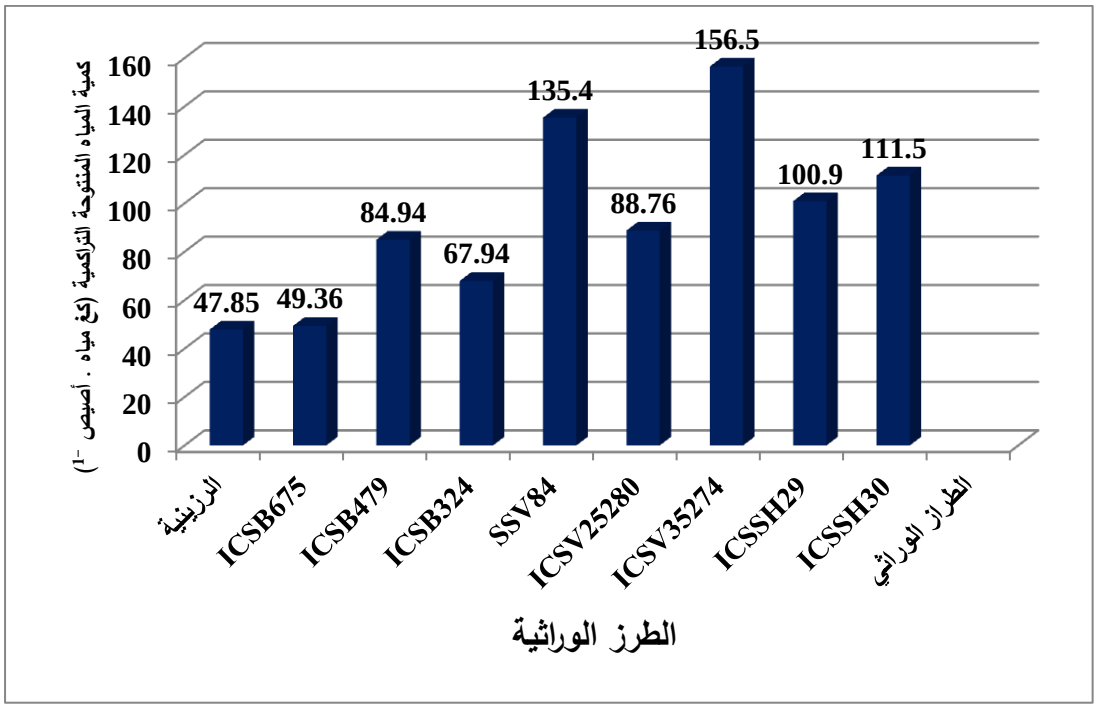
المسامية من الصفات الفيزيولوجية المهمة المرتبطة بتجنب ظروف العجز المائي، وتُعد بمنزلة خط الدفاع الفيزيولوجي الأول في النبات تحت ظروف شح المياه. ويمكن أن يؤدي تراجع الناقلية المسامية إلى تحسين صفة كفاءة استعمال المياه شريطة أن يكون انغلاق المسامات جزئياً وليس تاماً، وبخاصةٍ في الطرز الوراثية التي تتسم بمعدّلات تمثيل ضوئي مرتفعة، لأنّ الانغلاق التام أو الكامل للمسامات يؤدي إلى تعطيل التأثير المبرد Cooling effect لعملية فقد المياه بالنتح، ما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأوراق واحتراقها Leaf firing وشيخوختها بشكلٍ مبكر، بالإضافة إلى تراجع معدّل صافي انتشار غاز الفحم CO_2 diffusion، فتتراجع كفاءة النبات التمثيلية، نتيجة تراجع تركيز CO_2 الداخلي (Ci) Intercellular CO_2 concentration (Blum، 2005). وقد لُوحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين محتوى النبات المائي، وضغط الامتلاء وتراجع الناقلية المسامية (Reddy وزملاؤه، 2004). توافقت هذه النتائج مع ما توصلت إليه التمو (2007) في محصول الشعير، حيث بيّنت وجود تباين وراثي بين طرز الشعير المدروسة في كمية المياه المنتوحة التراكمية، وكان متوسط كمية المياه المنتوحة التراكمية الأعلى معنوياً لدى الصنف أكساد$_{176}$، والأصول البرية عمان، والسويداء، ودرعا (4.42، 4.06، 3.95، 3.87 كغ. أصيص$^{-1}$ على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها، في حين كان متوسط كمية المياه المنتوحة التراكمية الأدنى معنوياً لدى السلالات أكساد$_{1420}$، وأكساد$_{1602}$، وأكساد$_{1182}$ (2.39، 2.67، 2.79 كغ. أصيص$^{-1}$ على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها.

الجدول رقم (6): متوسط كمية المياه المنتوحة التراكمية (كغ. أصيص$^{-1}$) لدى بعض طرز الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	كمية المياه المنتوحة التراكمية (كغ. أصيص$^{-1}$)
ICSSH30	111.5^{c}
ICSSH29	100.9^{c}
ICSV35274	156.5^{a}
ICSV25280	88.76^{d}
SSV84	135.4^{b}
ICSB324	67.94^{e}
ICSB479	84.94^{e}
ICSB675	49.36^{f}
الرزينية	47.85^{f}
المتوسط	93.681

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	11.37
CV (%)	7.01



الشكل رقم (5): كمية المياه المنتوحة التراكمية (كغ مياه . أصيص$^{-1}$) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

معدّل فقد المياه بالنتح (MTR) (غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة معدّل فقد المياه بالنتح بين الطرز الوراثية المدروسة (الجدول، 7؛ الشكل، 6). كان متوسط معدّل فقد المياه بالنتح الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي ICSV25280 (11.240 غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$)، تلاه الطرازين الوراثيين (ICSV25274، وICSB479وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (8.852، 7.668 غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$ على التوالي)، ثمّ الطرز الوراثية ICSSH30، ICSSH29، SSV84، ICSB324 (6.250، 6.181، 5.980، 5.795 غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$ على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها، في حين كان متوسط معدّل فقد المياه بالنتح الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين الرزينية، ICSB675 (0.9853،2.068 غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$ على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما. يُعزى التباين الوراثي بين الطرز الوراثية في صفة معدّل فقد المياه بالنتح إلى التباين في نسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية عامةً، والتباين في حجم المسطح الورقي الأخضر Source size (الأجزاء الهوائية) خاصةً، حيث كانت نسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثيICSV25280، الذي أبدى معنوياً أعلى متوسط لمعدّل فقد المياه بالنتح. ويُلاحظ بالمقابل أنّ متوسط معدّل فقد المياه بالنتح (MTR) كان الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين الرزينية وICSB675, اللذين امتلكا معنوياً أعلى متوسط لنسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية (14.27، 11.73% على التوالي)، ما يُشير بشكل واضح إلى أن التباين في متوسط معدّل فقد المياه بالنتح يعود بشكلٍ رئيس إلى التباين في حجم الأجزاء الهوائية المعرّضة بشكلٍ مباشر لأشعة الشمس، وليس إلى التباين في حجم الأجزاء الأرضية، فلو كان حجم المسطح الورقي الأخضر كبيراً لدى الطرازين الوراثيين ICSB675، والرزينية لكان متوسط معدّل فقد المياه بالنتح أيضاً كبيراً بسبب امتلاكهما مجموعاً جذرياً أكبر نسبياً، حيث تستطيع بفضل المجموع الجذري الكبير أن تمتص كمية أكبر من المياه لتعويض المياه المفقود بالنتح عن طريق الأجزاء الهوائية، ولكن ما حدّ من ذلك هو امتلاكهما مسطح ورقي أصغر نسبياً بالمقارنة مع باقي الطرز الوراثية، الأمر الذي حدَ من معدّل فقد المياه بالنتح ومن ثمّ سيحد من كمية المياه الكلية التراكمية المنتوحة. ويُلاحظ بالنسبة إلى الطراز الوراثي ICSB479، الذي كانت فيه نسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية مرتفعة معنوياً (12.36 %)، إلاّ أنّه أيضاً أبدى قيماً مرتفعةً من

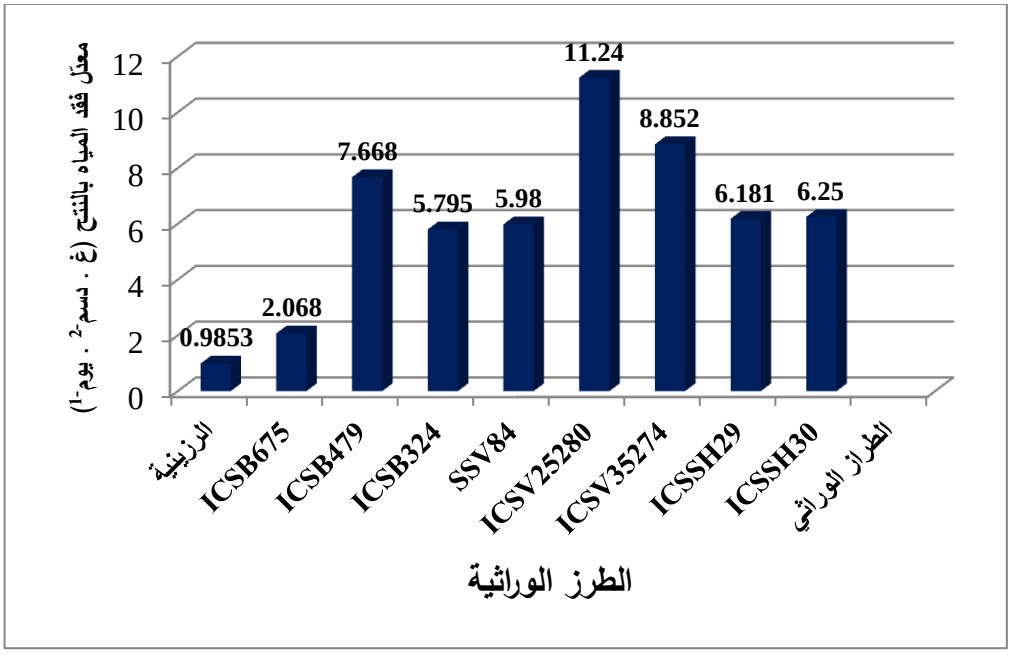
معدّل فقد المياه بالنتح (MTR) (7.66 غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$)، ما يُشير إلى امتلاكه مجموعاً خضرياً وجذرياً كبيرين ومتوازنين إلى حدٍ ما.

الجدول رقم (7): متوسط معدّل فقد المياه بالنتح (غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$) لدى بعض طرز الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	معدل فقد المياه بالنتح (غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$)
ICSSH30	6.250cd
ICSSH29	6.181cd
ICSV35274	8.852b
ICSV25280	11.240a
SSV84	5.980d
ICSB324	5.795d
ICSB479	7.668bc
ICSB675	2.068e
الرزينية	0.9853e
المتوسط	6.113

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	1.553
CV (%)	14.68



الشكل رقم (6): معدّل فقد المياه بالنتح (غ. دسم$^{-2}$. يوم$^{-1}$) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

كمية المادة الجافة الكلية Total dry matter (TDM) (غ. نبات$^{-1}$): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة متوسط كمية المادة الجافة الكلية بين الطرز الوراثية المدروسة (الجدول، 8). كان متوسط المادة الجافة الكلية الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي ICSV25280 (1844 غ)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطراز الوراثي ICSSH29 (1708 غ)، ثمّ الطرازان الوراثيان ICSSH30، وICSV25274 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (1473،1397 غ على التوالي)، ثمّ الطراز الوراثي SSV84 ، ولكن بدون فروقات معنوية مع الطراز الوراثي ICSV25274 (1397 غ)، في حين كان متوسط كمية المادة الجافة الكلية الأدنى معنوياً لدى الطرز الوراثية الرزينية،ICSB675، ICSB479 وبدون فروقات معنوية بينها (469.30، 505.30، 570.00 غ على التوالي) (الجدول، 8؛ الشكل، 7). يُعزى التباين في كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة بين الأنماط الوراثية إلى التباين في معدّل فقد المياه بالنتح، ومن ثمّ كمية المياه الكلية المنتوحة، حيث يُلاحظ أنَّ الطرز الوراثية التي صنّعت كمية أكبر معنوياً من المادة الجافة هي الأنماط نفسها التي كانت فيها كمية المياه الكلية المنتوحة معنوياً أعلى (ICSV25280، ICSSH29، ICSSH30، ICSV 25274)، والعكس صحيح (الرزينية، ICSB675، ICSB479)، نتيجة وجود علاقة ارتباط خطية بين معدّل فقد المياه بالنتح ومعدّل التمثيل الضوئي، حيث تفقد النباتات المياه عن طريق المسامات أثناء عملية التبادل الغازي كضريبةٍ للحصول على غاز الفحم (CO_2) اللازم لعملية التمثيل الضوئي، وتصنيع المركبات العضوية (المادة الجافة)، حيث يزداد معدّل انتثار CO_2 ومن ثمّ تركيزه في مراكز التثبيت CO_2-fixation sites (الستروما Stroma) ضمن الصّانعات الخضراء بازدياد معدّل فقد المياه بالنتح (الناقلية المسامية)، ولكن بالمقابل لا يتحدد معدّل التمثيل الضوئي بتركيز غاز الفحم الداخلي (Ci) وإنّما بكفاءة خلايا النسيج المتوسط التمثيلية Photosynthetic mesophyll efficiency (gm)، أي كفاءة النبات في تحويل الكربون المعدني إلى كربون عضوي، ويتوقف الأخير على كمية الأنزيم Rubisco وفعّاليته (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2015). توافقت هذه النتائج مع ما توصلت إليه التمو في محصول الشعير (2007).

ويُعزى أيضاً التباين بين الطرز الوراثية في كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة إلى التباين في حجم المصدر Source size (المساحة الورقية الخضراء الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي

LAD)، حيث لُوحظ أنَّ متوسط المساحة الورقية الخضراء الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي كان الأعلى معنوياً لدى بعض الطرز الوراثية التي كان لديها متوسط كمية المادة الجافة الكلية الأعلى معنوياً، مثل ICSSH29، ICSSH30، ICSV25274 (15.63، 20.39، 17.74 م^2 على التوالي)، في حين أن الطرز الوراثية التي صنّعت معنوياً كمية أقل من المادة الجافة الكلية، مثل الرزينية، وICSB479 كان فيها المساحة الوقية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي الأدنى معنوياً (4.93، 10.71 م^2)، ما يؤكد على أهمية المحافظة على حجم المصدر واستدامة اخضرار الأوراق لزيادة كفاءة النبات التمثيلية من خلال زيادة كمية الطاقة الضوئية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي المعترضة Intercepted light energy (I)، والممتصة Absorbed، حيث تُساعد الطاقة الضوئية المحرضة الممتصة Absorbed excited energyعلى أكسدة المياه ضوئياً بفضل المعقد الأنزيمي المؤكسد للماء Water Oxidizing Enzyme (WOE)، لتحرير الإلكترونات والبروتونات المسؤولة عن توليد القوة المحرضة البروتونية Proton motive force الناجمة عن التدرج في الجهد الكهروكيميائي على جانبي غشاء الصّانعة الخضراء الداخلي Thylakoid membrane، الذي يُسهم في تصنيع المركبات الغنية بالطاقة (NADPH, ATP) خلال تفاعلات الضوء، التي تُستعمل لاحقاً خلال تفاعلات الظلام لتصنيع المادة الجافة (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2015). ولكن يمكن أن تؤدي زيادة حجم المصدر بشكلٍ كبير، كما هو الحال لدى الطرازين الوراثيين ICSB675 و SSV84 (23.02، 22.69 م^2)، إلى تراجع كمية المادة الجافة الكلية المصنّعة (505.30، 1328.00 غ)، ويُعزى ذلك وبخاصةٍ تحت ظروف الإجهاد المائي إلى زيادة كمية المياه الكلية المنتوحة، ويمكن أن تُصبح كمية المياه المفقودة بالنتح أكبر بكثير من كمية المياه الممتصة عن طريق المجموعة الجذرية، ما يدفع النباتات إلى تقليل درجة انفتاح المسامات بشكلٍ كبير إلى حد الانغلاق التام للمسامات، الأمر الذي يؤدي إلى تعطيل التأثير المبرد لعملية فقد المياه بالنتح Cooling effect، فترتفع درجة حرارة الأوراق تدريجياً وصولاً إلى التحميل الحراري الزائد، ما يؤدي إلى الشيخوخة المبكرة لعددٍ كبيرٍ من الأوراق، وبخاصةٍ الأوراق السفلية، الأمر الذي يؤثر سلباً في حجم المسطح الورقي الأخضر الفعّال في عملية التمثيل الضوئي. ويمكن أيضاً أن تؤدي زيادة دليل المساحة الورقية (المساحة الورقية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي) بشكلٍ كبير مع غياب الهندسة الورقية المناسبة إلى حدوث التظليل المتبادل بين الأوراق، ما يحول دون وصول كمية كافية من الأشعة

الضوئية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي إلى جميع أوراق النبات، وبخاصةٍ الأوراق السفلية، فتقل كمية المادة الجافة الكلية المصنّعة، ويمكن أن تنخفض قيمة كفاءة استعمال المياه، حيث كانت قيمة كفاءة استعمال المياه في مثل هذين الطرازين منخفضة نسبياً (13.12، 9.81 غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء على التوالي).

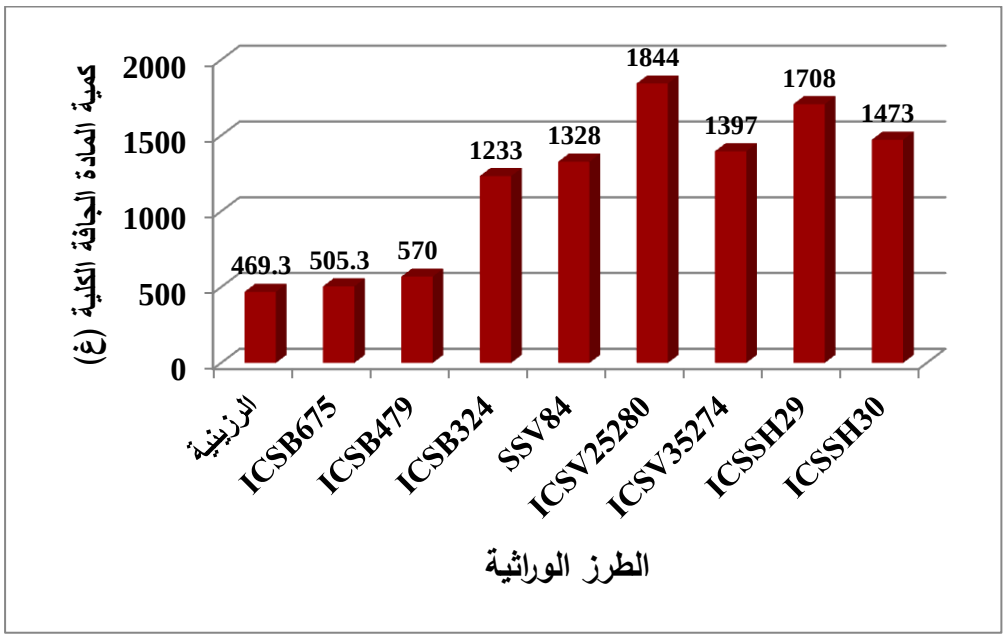
توافقت هذه النتائج إلى حدٍ كبير مع ما توصلت إليه التمو في محصول الشعير (2007)، حث بيّنت أنّ التباين في كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة بين طرز الشعير الوراثية المدروسة إنّماُ عزى إلى التباين في معدّل فقد المياه بالنتح، ومن ثمّ كمية المياه الكلية المنتوحة، حيث لاحظت أنَّ الأنماط الوراثية التي صنّعت كمية أكبر معنوياً من المادة الجافة هي الأنماط نفسها التي كانت فيها كمية المياه الكلية المنتوحة معنوياً أعلى (الصنف أكساد$_{176}$، والأصول البرية عمان، والسويداء، ودرعا)، والعكس صحيح (السلالات أكساد$_{1602}$، وأكساد$_{1182}$ وأكساد$_{1614}$). وعزت أيضاً التباين بين الأنماط الوراثية في كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة إلى التباين في حجم المصدر Source size (المساحة الورقية الخضراء الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي LAD)، حيث لُوحظ أنَّ متوسط المساحة الورقية الخضراء الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي كان الأعلى معنوياً لدى الأصول البرية السويداء، والحسكة، ودرعا، وعمان (2.23، 2.13، 2.12، 1.89 دسم^{2}. يوم$^{-1}$ على التوالي)، والصنف أكساد$_{176}$ (1.81 دسم^{2}. يوم$^{-1}$)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى السلالات أكساد$_{1602}$، وأكساد$_{1182}$، وأكساد$_{1614}$ (1.11، 1.22، 1.47 دسم^{2}. يوم$^{-1}$ على التوالي). وكان متوسط المساحة الورقية الخضراء الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي الأعلى معنوياً خلال الموسم الزراعي الثاني (2.04 دسم^{2}. يوم$^{-1}$) بالمقارنة مع الموسم الزراعي الأول (1.42 دسم^{2}. يوم$^{-1}$).

الجدول رقم (8): متوسط كمية المادة الجافة الكلية في النبات (غ . نبات$^{-1}$) لدى بعض الطرز الوراثية من الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	كمية المادة الجافة الكلية (غ)
ICSSH30	1473c
ICSSH29	1708b
ICSV35274	1397cd
ICSV25280	1844a
SSV84	1328de
ICSB324	1233e
ICSB479	570.0f
ICSB675	505.3f
الرزينية	469.3f
المتوسط	1169.667

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	102.2
CV (%)	5.05



الشكل رقم (7): كمية المادة الجافة الكلية (غ) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

كفاءة استعمال المياه (WUE) (غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة كفاءة استعمال المياه (WUE) بين الطرز الوراثية المدروسة. كان متوسط كفاءة استعمال المياه الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثيICSV25280 (20.20 غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطرازين الوراثيين ICSB324، ICSSH29 (17.93، 17.66 غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء على التوالي) وبدون فروقات معنوية بينهما، ثمّ الطرازيين الوراثيين ICSSH 30، ICSB 675 (14.07، 13.12 غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء على التوالي)، وبدون فروقاتٍ معنوية بين الأخيرين، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثي ICSB479 (7.35 غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء) (الجدول، 9؛ الشكل، 8). عموماً، يُعزى التباين الوراثي في قيمة كفاءة استعمال المياه (WUE = TDM / CWT) إمّا إلى التباين في كمية المادة الجافة الكلية (TDM) المُصنّعة بعملية الضوئي في نهاية فترة التجربة أو إلى التباين في كمية المياه المنتوحة التراكمية (CWT)، حيث تزداد قيمة كفاءة استعمال المياه بزيادة الأولى أو انخفاض الثانية. ويُعزى ارتفاع قيمة كفاءة استعمال المياه لدى الطراز الوراثي ICSV25280 إلى ارتفاع قيمة كمية المادة الجافة الكلية (1844 غ) وانخفاض نسبياً كمية المياه المنتوحة التراكمية (88.76 كغ. أصيص$^{-1}$)، وكذلك الحال بالنسبة إلى الطرازين الوراثيين ICSB324، وICSSH29 الذين سجلا أعلى قيمة للوزن الجاف الكلي (1233، 1708 غ على التوالي). وكانت فيهما أيضاً كمية المياه المنتوحة التراكمية منخفضة نسبياً (67.94، 100.90 كغ. أصيص$^{-1}$ على التوالي) (الجدول، 8). ويُعزى انخفاض قيمة كفاءة استعمال المياه لدى الطراز الوراثي ICSB479 (7.35 غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ مياه) إلى تدني كفاءته التمثيلية Photosynthetic capacity، حيث كانت كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة بعملية التمثيل الضوئي منخفضة جداً (570 غ)، وكان بالمقابل متوسط كمية المياه المنتوحة التراكمية مرتفع نسبياً (84.94 كغ. أصيص$^{-1}$). ويُعزى انخفاض قيمة كفاءة استعمال المياه لدى الطرازين الوراثيين ICSV35274، SSV84 بالرغم من تصنيعهما نسبياً كمية كبيرة من المادة الجافة بالمقارنة مع بعض الطرز الوراثية الأخرى (1397، 1328 غ على التوالي) إلى أنّ متوسط كمية المياه المنتوحة التراكمية فيهما كان الأعلى معنوياً (156.50، 135.40 كغ. أصيص$^{-1}$). عموماً، تُصنّف الطرز الوراثية ICSV25280، ICSSH29، ICSB324 ضمن الطرز الوراثية الكفوءة Capacity Types، لأنّها صنّعت كمية أكبر من المادة الجافة باستهلاك كميةٍ أقل من المياه، في حين يُصنّف الطرازان الوراثيان SSV84، ICSV35274 ضمن الطرز الوراثية من النوع

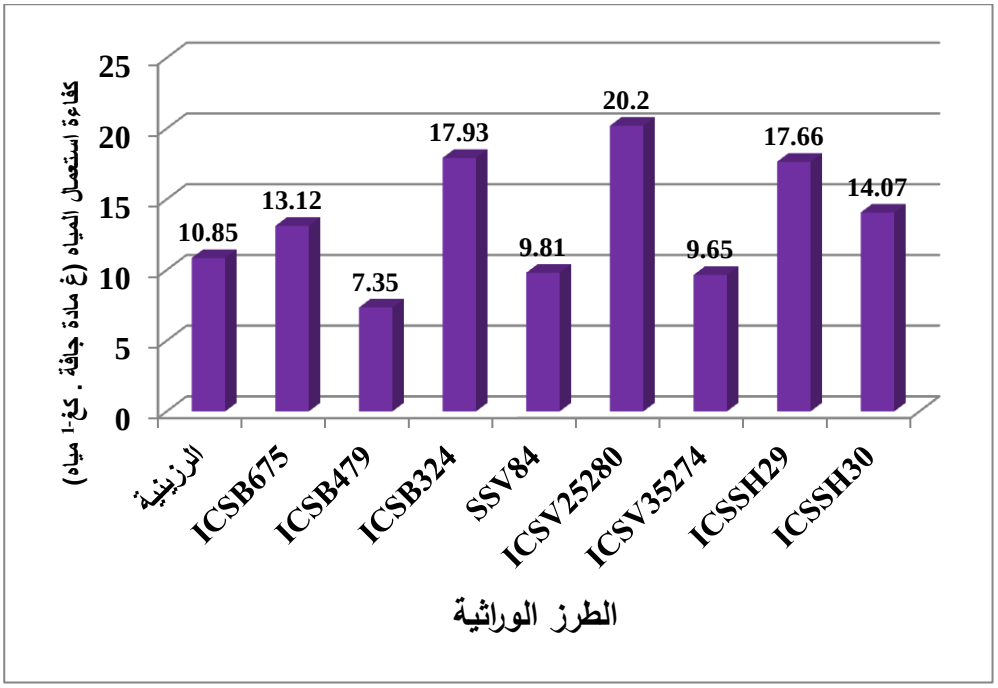
غير الكفوءة في استعمال المياه Conductance Types، ولكن ارتبطت فيها أيضاً زيادة معدّل فقد المياه بالنتح بزيادة معدّل التمثيل الضوئي، ومن ثمّ كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة، فهي أيضاً ذات كفاءة إنتاجية مرتفعة ولكن لا يُنصح بزراعتها في البيئات ذات الموارد المائية المحدودة بالمقارنة مع الطراز ICSV25280. توافقت هذه النتائج مع ما توصلت إليه التمو (2007) في محصول الشعير، حيث بيّنت وجود تباين وراثي في صفة كفاءة استعمال المياه بين طرز الشعير المدروسة، وكان متوسط كفاءة استعمال المياه الأعلى معنوياً لدى السلالة أكساد$_{1420}$، والصنف أكساد$_{60}$ (2.67، 2.15 غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها، في حين كان الأدنى معنوياً لدى باقي الأنماط الوراثية وبدون فروقاتٍ معنوية بين الأخيرة. وعزت التمو انخفاض قيمة كفاءة استعمال المياه لدى الصنف أكساد$_{176}$، والأصول البرية السويداء، وعمان، ودرعا رغم تصنيعها معنوياً كمية أكبر من المادة الجافة إلى فقدها بالمقابل كمية أكبر من المياه، حيث كانت كمية المياه الكلية المنتوحة الأعلى معنوياً لدى هذه الأنماط الوراثية، وكانت كمية المياه المنتوحة أكبر بكثير من كمية المادة الجافة المُصنّعة، الأمر الذي أدّى إلى تراجع قيمة كفاءة استعمال المياه. وعزت تفوق السلالة أكساد$_{1420}$ والصنف أكساد$_{60}$ في متوسط قيمة كفاءة استعمال المياه بالمقارنة مع باقي الأنماط الوراثية (2.67، 2.15 غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء على التوالي) إلى تدني قيمة كمية المياه الكلية المنتوحة لدى هذين النمطين الوراثيين (2.39، 2.58 كغ. أصيص$^{-1}$ على التوالي)، الأمر الذي زاد من قيمة كفاءة استعمال المياه، حيث تحددت قيمة كفاءة استعمال المياه في مثل هذين النمطين الوراثيين بالعوامل المسامية Stomatal factors وأطلقت عليهما اصطلاحاً Conductance types، وغالباً ما تُعطي مثل هذه الأنماط الوراثية غلة حبية معنوياً أدنى بالمقارنة مع الأنماط الوراثية التي تزداد فيها قيمة كفاءة استعمال المياه بازدياد كمية المادة الجافة المُصنّعة عند أي مستوى من معدّل فقد المياه بالنتح، أو تلك التي يترافق فيها تراجع الناقلية المسامية ومن ثمّ معدّل فقد المياه بالنتح مع ازدياد معدّل التمثيل الضوئي، أو على الأقل المحافظة على معدّل التمثيل الضوئي، مثل السلالات أكساد$_{1182}$، وأكساد$_{1602}$، وأكساد$_{1614}$، التي أسمتها اصطلاحاً بالأنماط الكفوءة Capacity types، كما هو الحال لدى الصنف أكساد$_{176}$ الذي صنّع كمية أكبر معنوياً من المادة الجافة (7.29 غ. نبات$^{-1}$) بالمقارنة مع باقي الأنماط الوراثية، ولكن كانت بالمقابل كمية المياه الكلية المنتوحة (CWT) الأعلى معنوياً (4.42 كغ. أصيص$^{-1}$)، الأمر الذي أثّر سلباً في قيمة كفاءة استعمال المياه.

الجدول رقم (9): متوسط كفاءة استعمال المياه (غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ مياه) لدى بعض طرز الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	كفاءة استعمال المياه المياه (غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ ماء)
ICSSH30	14.07^{c}
ICSSH29	17.66^{b}
ICSV35274	9.65^{d}
ICSV25280	20.20^{a}
SSV84	9.81^{d}
ICSB324	17.93^{b}
ICSB479	7.35^{e}
ICSB675	13.12^{c}
الرزينية	10.85^{d}
المتوسط	13.404

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	1.440
CV (%)	6.21



الشكل رقم (8): كفاءة استعمال المياه (غ مادة جافة. كغ$^{-1}$ مياه) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

المساحة الورقية الخضراء الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي Leaf Area Duration(LAD) (م^2): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة متوسط المساحة الورقية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي بين الطرز الوراثية المدروسة. كان متوسط المساحة الورقية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي الأعلى معنوياً لدى الطرز الوراثية ICSSH30، SSV84، ICSB675 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (20.39، 22.69، 23.02 م^2 على التوالي)، تلاه الطرازان الوراثيان ICSV25274، ICSSH29 وبدون فروقات معنوية بينها (17.74، 15.63 م^2 على التوالي)، ثمّ الطرازان الوراثيان ICSB324، ICSB479 وبدون فروقات معنوية بينها (11.77،10.71 م^2 على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثي الرزينية (4.93 م^2) (الجدول، 10؛ الشكل، 9). يُعزى التباين في كفاءة الطرز الوراثية المدروسة في المحافظة على استدامة اخضرار الأوراق إلى التباين في حجم المجموعة الجذرية، حيث بيّنت الدراسة أنّ الطرز الوراثية التي كان متوسط المساحة الورقية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي الأعلى معنوياً، مثلICSB675، SSV84، ICSV35274 (23.02،22.69،20.39، 17.74 م^2 على التوالي) كان فيها حجم المجموعة الجذرية الأعلى معنوياً (82.33، 101.00، 71.00 سم^3 على التوالي)، ما يؤكد على أهمية المقدرة على تشكيل مجموع جذري متعمق ومتشعب في زيادة كفاءة النبات في استخلاص كمية أكبر من المياه من طبقات التربة العميقة الرطبة، لتعويض المياه المنتوحة والمحافظة على جهد الامتلاء الضروري لاستمرار استطالة الخلايا النباتية، ومن ثمّ نمو الأوراق. وتؤدي بالمقابل الزيادة الكبيرة في نسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية، كما هو الحال لدى الطرازين الوراثيين الرزينية، وICSB479 (14.27، 12.36%) إلى تراجع المساحة الورقية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي (4.931، 10.71 م^2 على التوالي)، حيث يُعزى ذلك إلى تسخير كمية أكبر من المادة الجافة باتجاه الجذور على حساب كمية المادة الجافة المسخرة لنمو الأجزاء الهوائية وتطورها. ويمكن أن يُعزى التباين في المساحة الورقية الخضراء الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي إلى التباين في درجة انفتاح المسامات (الناقلية المسامية) استجابةً لظروف العجز المائي، حيث تتمكن الطرز الوراثية التي يكون فيها انغلاق المسامات جزئياً من الحد من فقد المياه بالنتح، والمحافظة على جهد الامتلاء داخل الخلايا النباتية مع استمرار التأثير المبرد لعملية فقد المياه بالنتح ، دون أن يؤثر ذلك سلباً في معدّل التمثيل الضوئي، الأمر الذي يسمح في استمرار تبريد

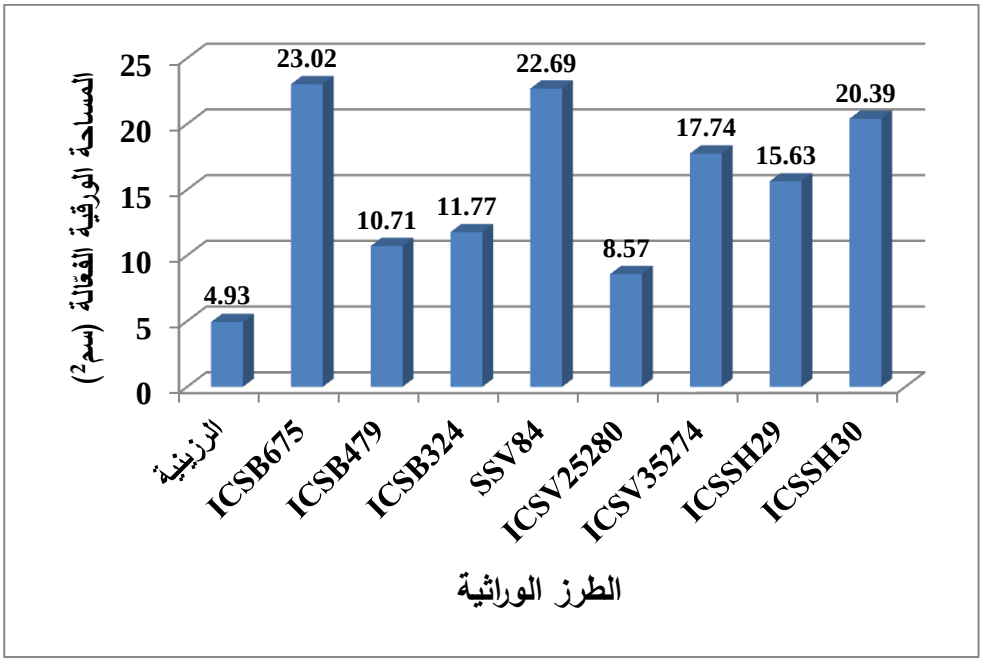
أجزاء النبات الهوائية، وعدم حدوث الشيخوخة المبكرة للأوراق، واستمرار تصنيع المادة الجافة وتراكمها، في حين يؤدي انغلاق المسامات بشكلٍ كامل إلى تعطيل التأثير المبرد لعملية النتح، ما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأوراق بشكلٍ زائد (التحميل الحراري الزائد)، الأمر الذي يؤدي إلى احتراق الأوراق وشيخوختها بشكلٍ مبكر، ما يؤثر سلباً في كمية الطاقة الضوئية الممتصة ومعدل انتثار غاز الفحم (CO_2)، ومن ثمّ كمية غاز الفحم المتاحة في مراكز التثبيت ضمن الصّانعات الخضراء (Stroma)، فتتراجع كفاءة النباتات التمثيلية Photosynthetic efficiency، وكمية المادة الجافة المصنّعة والمتاحة لنمو أجزاء النبات المختلفة (Chaves وزملاؤه، 2002). وتُعد عملية تقليص حجم المسطح الورقي الأخضر من الآليات المهمة في الحد من تأثير الجفاف من خلال ضبط فقد المياه بالتبخر– نتح، ولكن يؤثر تراجع المسطح الورقي الأخضر الفعّال في عملية التمثيل الضوئي سلباً في كمية الطاقة الضوئية المأسورة/الممتصة والمحولة إلى طاقة كيمائية مخزونة في روابط المركبات العضوية المصنّعة (الكربوهيدرات)، ما ينعكس سلباً على كفاءة النبات التمثيلية، وكمية المادة الجافة المُصنّعة، فيتراجع مُعدّل نمو نباتات المحصول وتطورها وغلتها الحبية (Tardieu وزملاؤه، 2004). ويؤكد هذا الكلام تراجع كمية المادة الجافة الكلية المتشكلة لدى الأنماط الوراثية التي تميزت بتراجع متوسط المساحة الورقية الخضراء الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي، مثل الرزينية، ICSB479 (570.00، 469.30 غ على التوالي). كما تميزت هذه الأنماط بالمقابل بتراجع كمية المياه المنتوحة التراكمية (47.85، 49.36 كغ. أصيص $^{-1}$ على التوالي).

الجدول رقم (10): متوسط المساحة الورقية الفعالة ($م^2$) لدى بعض الطرز الوراثية من الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	متوسط المساحة الورقية الفعالة ($م^2$)
ICSSH30	20.39ab
ICSSH29	15.63c
ICSV35274	17.74bc
ICSV25280	8.57e
SSV84	22.69a
ICSB324	11.77d
ICSB479	10.71de
ICSB675	23.02a
الرزينية	4.93f
المتوسط	15.052

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	3.042
CV (%)	11.67



الشكل رقم (9): المساحة الورقية الفعّالة (سم^2) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

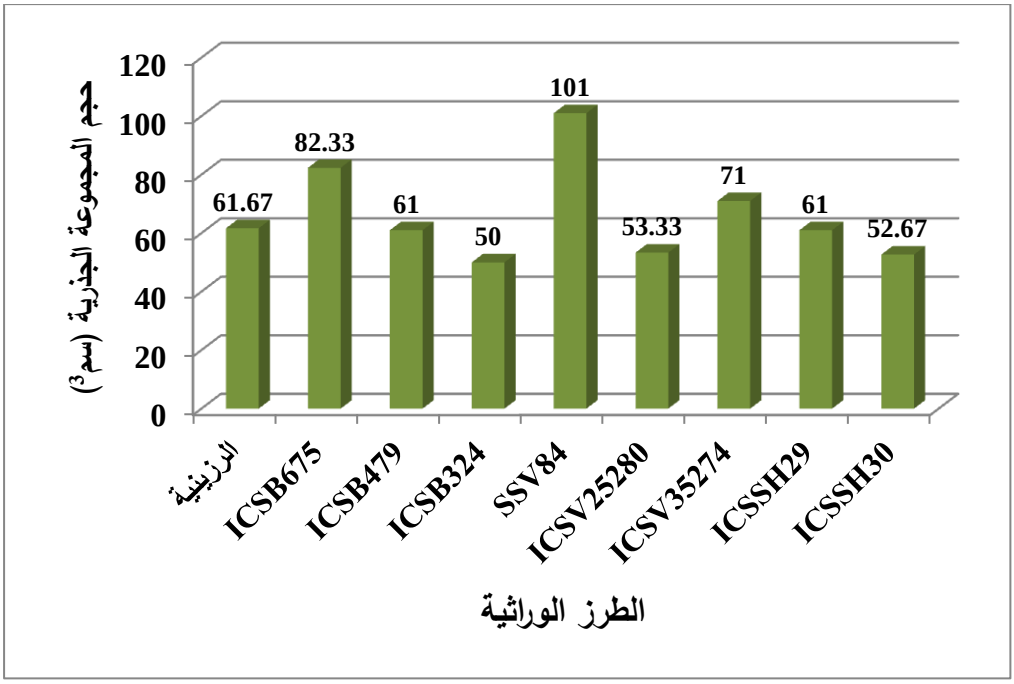
حجم المجموعة الجذرية Root volume (سم^3): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة متوسط حجم الجذور بين الطرز الوراثية المدروسة. كان متوسط حجم الجذور الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي SSV84 (101.0 سم^3)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطراز الوراثي ICSB675 (82.33 سم^3)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية الطراز الوراثي ICSV35274 (71.00 سم^3)، ثمّ الطرز الوراثية الرزينية، ICSSH 29، ICSB 479 وبدون فروقات معنوية بينها (61.67، 61.00، 61.00 سم^3 على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين ICSB324، ICSSH30 وبدون فروقات معنوية بينها (50.00، 52.67 سم^3 على التوالي)، تلاه الطراز الوراثي ICSV25280، وبفروقاتٍ معنوية فقط مع الطراز الوراثي ICSB324 (53.33 سم^3) (الجدول، 11؛ الشكل، 10).

الجدول رقم (11): متوسط حجم المجموعة الجذرية (سم^3) لدى بعض طرز الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	حجم المجموعة الجذرية (سم^3)
ICSSH30	52.67^{ef}
ICSSH29	61.00^{d}
ICSV35274	71.00^{c}
ICSV25280	53.33^{e}
SSV84	101.0^{a}
ICSB324	50.00^{f}
ICSB479	61.00^{d}
ICSB675	82.33^{b}
الرزينية	61.67^{d}
المتوسط	66.000

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	2.870
CV (%)	2.51



الشكل رقم (10): متوسط حجم المجموعة الجذرية (سم^3) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

الوزن الجاف للمجموعة الهوائية Shoot dry weight (غ. نبات$^{-1}$): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة متوسط الوزن الجاف للأجزاء الهوائية بين الطرز الوراثية المدروسة. كان متوسط الوزن الجاف للأجزاء الهوائية الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي ICSV25280 (1793.0غ . نبات$^{-1}$)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطراز الوراثي ICSSH29 (1626.0 غ . نبات$^{-1}$)، تلاه الطرازان الوراثيان ICSSH30،ICSV35274 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما(1388.0، 1326.0 غ . نبات$^{-1}$ على التوالي)، ثمّ الطرازان الوراثيان SSV84، ICSB324 وبدون فروقات معنوية بينهما (1222.0، 1173.0 غ . نبات$^{-1}$ على التوالي)، في حين كان متوسط الوزن الجاف للأجزاء الهوائية الأدنى معنوياً لدى الطرز الوراثية الرزينية، ICSB675، ICSB479 وبدون فروقات معنوية بينها(416.3،447.3،510.7 غ . نبات$^{-1}$ على التوالي) (الجدول، 12؛ الشكل، 11). يُعزى التباين الوراثي في الوزن الجاف للأجزاء الهوائية إلى التباين في كفاءة الطرز الوراثية في المحافظة على حجم المصدر (المساحة الورقية الخضراء الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي)، وكفاءة النباتات التمثيلة، ومن ثمّ كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة، حيث تُشير النتائج إلى أنَّ متوسط المساحة الورقية الخضراء الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي كان الأعلى معنوياً لدى ICSSH30، SSV84 (22.69، 20.39 م^2 على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرز الوراثية الرزينية، وICSB479 (4.93، 10.71 م^2 على التوالي)، ما يُشير إلى أهمية المحافظة على المسطح الورقي الأخضر الفعّال في عملية التمثيل الضوئي، وكفاءة النبات التمثيلة لزيادة الكتلة الحية للأجزاء الهوائية. ويُمكن أن يُعزى التباين في الوزن الجاف للأجزاء الهوائية إلى التباين في كمية المادة الجافة المسخّرة للجذور، حيث يُلاحظ أنَّ الطرز الوراثية التي كان فيها متوسط الوزن الجاف للجذور الأعلى معنوياً، مثل SSV84، ICSSH30، ICSSH29، ICSV35274 (105.30، 85.00، 81.33، 71.33 غ. نبات$^{-1}$ على التوالي)، كان متوسط الوزن الجاف للأجواء الهوائية الأعلى معنوياً أيضاً (1222.0، 1388.0، 1626.0، 1326.0 غ. نبات$^{-1}$ على التوالي)، وبالمقابل فإنّ الطرز الوراثية التي كان فيها متوسط الوزن الجاف للجذور الأدنى معنوياً، مثل ICSB675، الرزينية (49.00، 53.00 غ. نبات$^{-1}$ على التوالي)، قد أبدت معنوياً أدنى متوسط وزن جاف للأجزاء الهوائية (447.30، 416.30 غ. نبات$^{-1}$ على التوالي)، باستثناء الطراز الوراثي ICSV25280 (1793.0غ . نبات$^{-1}$)، الذي كان

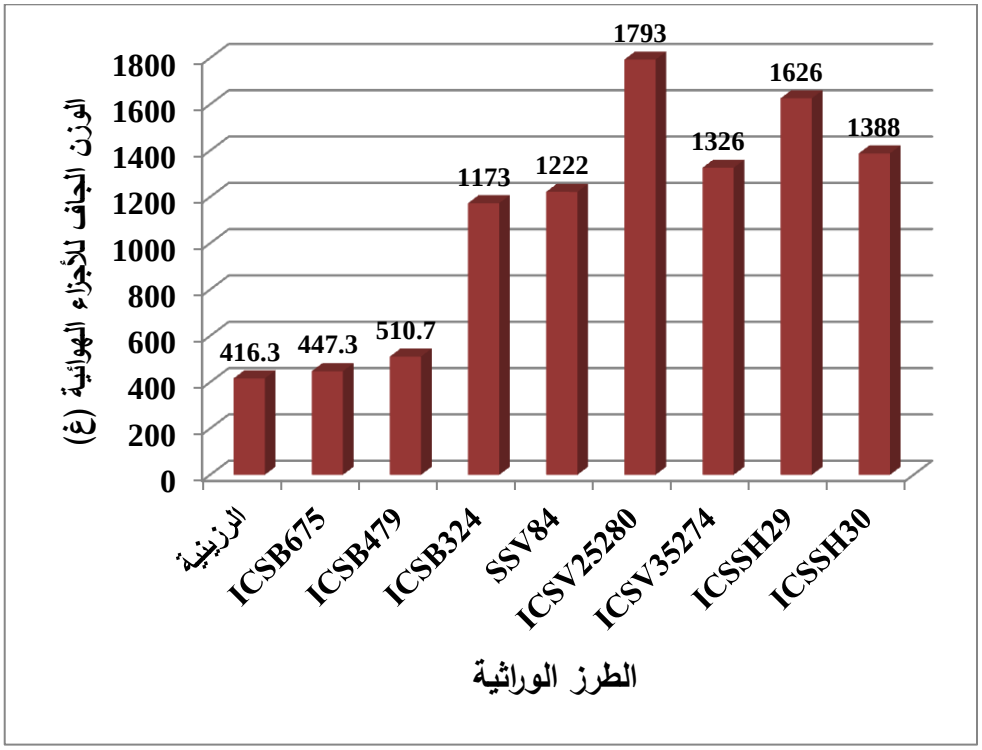
فيه متوسط الوزن الجاف للأجزاء الهوائية الأعلى معنوياً، ولكن كان فيه متوسط الوزن الجاف للجذور الأدنى معنوياً (50.67 غ. نبات$^{-1}$). عموماً، تؤدي زيادة حجم ووزن الأجزاء الأرضية إلى زيادة مساحة سطوح الامتصاص، ما يؤدي إلى امتصاص كمية أكبر من المياه والعناصر المعدنية المغذية الداخلة مع تيار المياه، والواصلة إلى الأجزاء الهوائية، ما يؤدي إلى زيادة معدّل نموها وتطورها. تتزافق هذه النتائج مه ما توصلت إليه التمو في محصول الشعير، حيث لاحظت وجود فروقاتٍ معنوية ($P\leq0.05$) في صفة متوسط الوزن الجاف للمجموعة الهوائية بين الأنماط الوراثية، وكان متوسط الوزن الجاف للمجموعة الهوائية الأعلى معنوياً لدى الأصول البرية عمان، والسويداء، ودرعا (7.95، 7.76، 7.50 غ. نبات$^{-1}$ على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها، في حين كان متوسط الوزن الجاف للمجموعة الهوائية الأدنى معنوياً لدى السلالة أكساد$_{1602}$، والصنف أكساد$_{176}$ (4.75، 5.21 غ. نبات$^{-1}$ على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما.

الجدول رقم (12): متوسط الوزن الجاف للأجزاء الهوائية (غ) لدى بعض الطرز الوراثية من الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	الوزن الجاف للأجزاء الهوائية (غ)
ICSSH30	1388.0c
ICSSH29	1626.0b
ICSV35274	1326.0c
ICSV25280	1793.0a
SSV84	1222.0d
ICSB324	1173.0d
ICSB479	510.7e
ICSB675	447.3e
الرزينية	416.3e
المتوسط	1100.370

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	97.05
CV (%)	5.10



الشكل رقم (11): الوزن الجاف للأجزاء الهوائية (غ) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

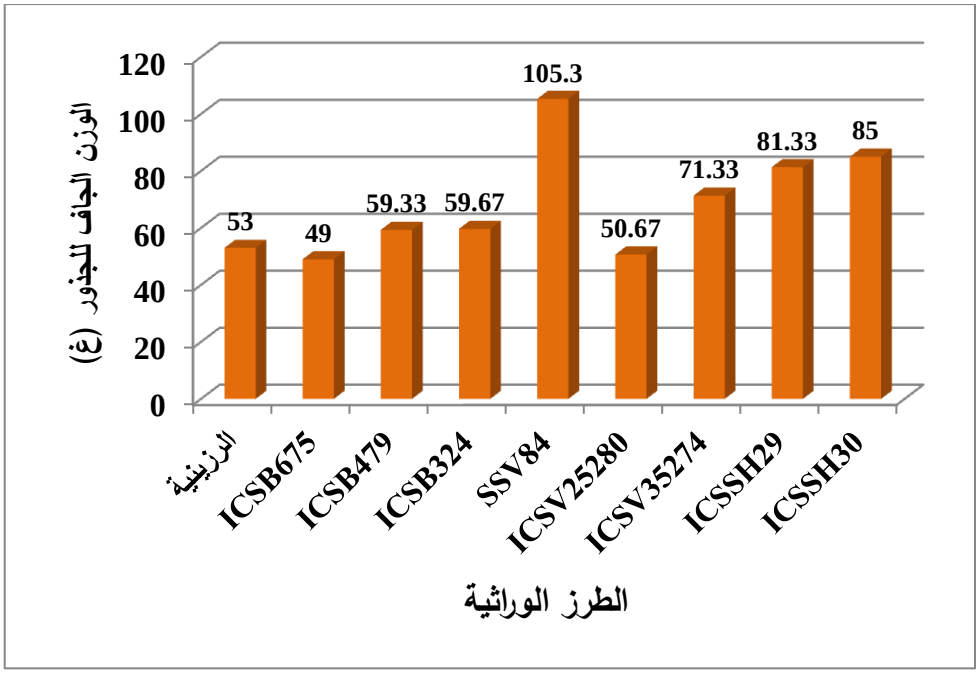
الوزن الجاف للمجموعة الجذرية (غ. نبات$^{-1}$): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة متوسط الوزن الجاف للجذور بين الطرز الوراثية المدروسة. كان متوسط الوزن الجاف للجذور الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي SSV84 (105.3 غ)، تلاه وبفروقات معنوية الطرز الوراثية ICSSH30، ICSSH29 ، ICSV35274 وبدون فروقات معنوية فيما بينها(85.00،81.33،71.33 غ على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرز الوراثية ICSB 675، ICSV 25280، الرزينية،ICSB 479، ICSB 324 وبدون فروقات معنوية بينها (49.00، 50.67، 53.00، 59.33، 59.67 غ ،بات$^{-1}$ على التوالي) (الجدول، 13؛ الشكل، 12). عموماً، يمكن أن يُعزى التباين الوراثي بين الأنماط الوراثية المدروسة في الوزن الجاف للأجزاء الأرضية إلى التباين في المقدرة الوراثية على تشكيل مجموع جذري متعمق ومتشعب، من خلال تسخير كمية أكبر من نواتج التمثيل الضوئي لزيادة معدّل نمو الجذور وتطورها، وبخاصةٍ أنّ هذه الدراسة تمّت تحت ظروف الإجهاد المائي (50% من السعة الحقلية)، أو إلى التباين في كفاءة توزيع Partitioning efficiency نواتج التمثيل الضوئي بين أجزاء النبات المختلفة، بحيث تُسخّر كمية أكبر للأجزاء الأرضية، الأمر الذي يُسهم في زيادة كفاءة النباتات على امتصاص كميةٍ أكبر من المياه والعناصر المعدنية المغذية الداخلة مع تيار المياه، ما يؤدي إلى زيادة معدّل نمو الأجزاء الهوائية وتطورها، وبخاصةٍ في البيئات غير المجهدة مائياً، ويسمح بامتصاص كمية من المياه كافية لتعويض المياه المفقودة بالنتح، والمحافظة على ميزان العلاقات المائية داخل الخلايا النباتية. توافقت هذه النتائج مع ما توصلت إليه التمو في محصول الشعير (2007)، حيث لاحظت وجود فروقاتٍ معنوية ($P\leq0.05$) في صفة الوزن الجاف للمجموعة الجذرية بين الأنماط الوراثية. وكان متوسط الوزن الجاف للمجموعة الجذرية الأعلى معنوياً لدى السلالة أكساد$_{1614}$ والأصل البري عمان، والسلالة أكساد$_{1420}$ (3.69، 3.10، 2.35 غ. نبات$^{-1}$ على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها، في حين كان متوسط الوزن الجاف للمجموعة الجذرية الأدنى معنوياً لدى السلالة أكساد$_{1602}$ والصنف أكساد$_{176}$، والسلالة أكساد$_{1182}$ (1.19، 1.58، 1.67 غ. نبات$^{-1}$ على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما.

الجدول رقم (13): متوسط الوزن الجاف للمجموعة الجذرية (غ) لدى بعض الطرز الوراثية من الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	متوسط الوزن الجاف للجذور (غ)
ICSSH30	85.00b
ICSSH29	81.33b
ICSV35274	71.33bc
ICSV25280	50.67d
SSV84	105.3a
ICSB324	59.67cd
ICSB479	59.33cd
ICSB675	49.00d
الرزينية	53.00d
المتوسط	68.296

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	13.80
CV (%)	11.67



الشكل رقم (12): الوزن الجاف للجذور (غ) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

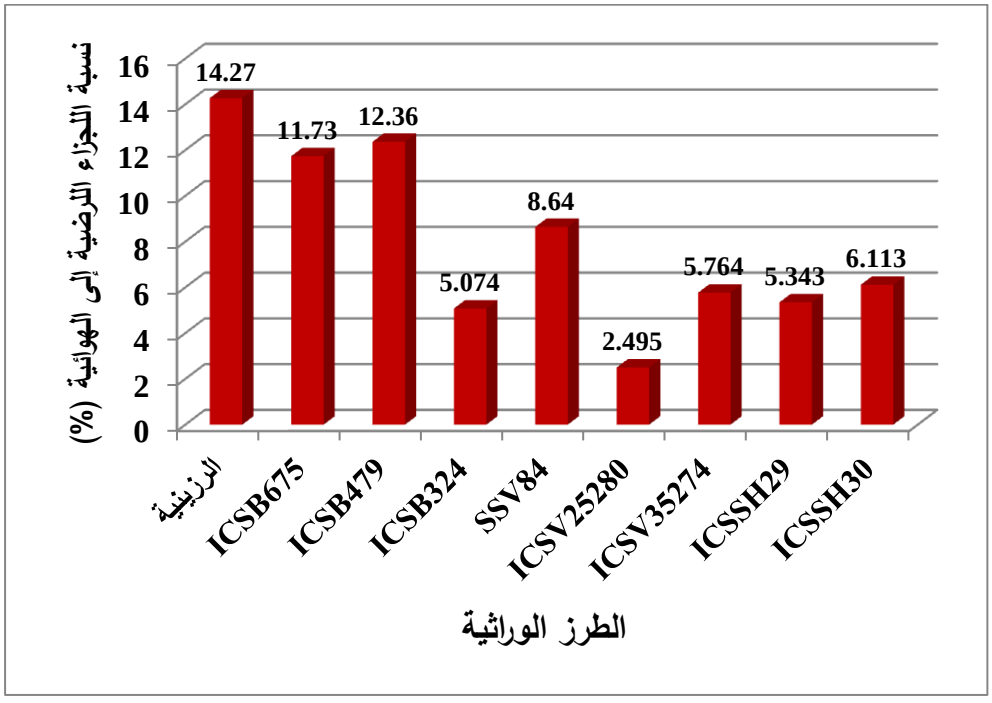
نسبة المجموعة الجذرية إلى المجموعة الهوائية (%): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة نسبة المجموعة الجذرية إلى المجموعة الهوائية بين طرز الذرة البيضاء المدروسة. كان متوسط نسبة المجموعة الجذرية إلى المجموعة الهوائية الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي الرزينية (14.27%)، تلاه الطرازان الوراثيان ICSB 479، ICSB 675 (12.36%، 11.73% على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما، ثمّ الطراز الوراثي SSV84 (8.64%)، في حين كان متوسط نسبة المجموعة الجذرية إلى المجموعة الهوائية الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثي ICSV25280 (2.49%) (الجدول، 14؛ الشكل، 13). عموماً، تُعد صفة المقدرة الوراثية على تشكيل مجموع جذري متعمق ومتشعب، وزيادة نسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية من الصفات التكيفية المهمة المرتبطة بتجنب الجفاف، من خلال امتصاص كمية من المياه كافية إلى حدٍ ما لتعويض المياه المفقودة بالنتح، بسبب تغلغلها ووصولها إلى طبقات التربة العميقة الأكثر رطوبةً، بالإضافة إلى زيادة نقاط التماس بين الشعيرات الجذرية وحبيبات التربة، ما يُساعد في استخلاص كمية أكبر من المياه، وبالتالي تكون كمية المياه الممتصة من قبل الجذور كافيةً لتعويض المياه المنتوحة عبر المسامات في الأوراق، ما يُسهم في المحافظة على جهد الامتلاء داخل خلايا الأوراق، وتستمر مثل هذه النباتات في المحافظة على ناقلية مسامية (gs) أعلى، أي استمرار عملية فقد المياه بالنتح وتبريد أجزاء النبات الهوائية، واستمرار انتثار غاز الفحم (CO_2)، ومن ثمّ استمرار عملية التمثيل الضوئي وتصنيع المادة الجافة اللازمة لنمو أجزاء النبات المختلفة وتطورها (Sharp و LeNoble، 2002). كما تُعد صفة المقدرة على تشكيل مجموع جذري متعمق ومتشعب بمنزلة خط الدفاع المورفولوجي الأول، خاصةً في البيئات المجهدة مائياً، وتُصنّف الأنماط الوراثية التي تمتلك المقدرة على تشكيل مجموع جذري متعمق ومتشعب ضمن فئة منفقات المياه Water spenders، وهي أهم من وجهة نظر إنتاجية من مدخرات المياه Water savers، حيث يرتبط استمرار فقد المياه بالنتح مع المحافظة على استدامة اخضرار الأوراق، وكفاءة النبات التمثيلية. ولكن تحت ظروف الزراعة الجافة، يمكن أن تؤثر زيادة نسبة الأجزاء الأرضية إلى الهوائية سلباً في حجم المسطح الورقي الأخضر الفعّال في عملية التمثيل الضوئي، ومن ثمّ كمية المادة الجافة المُصنّعة والمتاحة خلال مراحل النمو المختلفة.

الجدول رقم (14): متوسط نسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية (%) لدى بعض طرز الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	نسبة الأجزاء الأرضية إلى الهوائية (%)
ICSSH30	6.113[d]
ICSSH29	5.343[d]
ICSV35274	5.764[d]
ICSV25280	2.495[e]
SSV84	8.640[c]
ICSB324	5.074[d]
ICSB479	12.36[b]
ICSB675	11.73[b]
الرزينية	14.27[a]
المتوسط	7.977

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	1.082
CV (%)	7.84



الشكل رقم (13): نسبة الأجزاء الأرضية إلى الهوائية (%) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

سلامة الأغشية الخلوية (نسبة الذائبات المتسربة %) Solutes leackage: بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية بين الطرز الوراثية المدروسة. كان متوسط نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأعلى معنوياً لدى الطرز الوراثية ICSB479، ICSB324، ICSV25280، والرزينية (.5923، 70.47، 76.77، 84.87 على التوالي) وبدون فروقات معنوية بينها، تلاها الطرز الوراثية ICSSH29، ICSSH30، ICSB675 (46.93، 47.20، 55.30 على التوالي) وبدون فروقات معنوية بين الأخيرة، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين SSV84، CSV35274 (40.97،41.57 % على التوالي) وبدون فروقات معنوية بينها (الجدول، 15؛ الشكل، 14).

تُعبّر نسبة الذائبات المتسربة عن مقدار الضرر الحاصل في الأغشية الحيوية بفعل الإجهاد المائي، حيث يؤدي الجفاف إلى استبدال وتخريب البروتينات الداخلة في تركيب الأغشية السيتوبلاسمية، وأكسدة المواد الدهنية المفسفرة بفعل الجذور الحرة المتشكلة Lipid peroxidation (Smirnoff، 1998)، ما يؤدي إلى تكوين غشاء سيتوبلاسمي غني بالفجوات، وتفقد الأغشية السيتوبلاسمية خاصيتها الاصطفائية Selectivity، ويؤدي ذلك إلى خروج العديد من الذائبات المعدنية والعضوية (K^+، أحماض عضوية، أحماض أمينية، أحماض نووية فيتامينات ..الخ) المفيدة لحياة الخلية النباتية، ويمكن بالمقابل أن تدخل بعض المواد السامة، ما يؤدي إلى موت الخلية النباتية. عموماً، يتوقف مقدار الضرر في الأغشية السيتوبلاسمية على شدة الإجهاد المائي ومدتهِ، وترتبط حياة الخلية النباتية بكفاءة النمط الوراثي في المحافظة على سلامة الأغشية السيتوبلاسمية Membrane integrity ضمن ظروف الإجهاد المائي. وتتحدد بالمقابل مقدرة نباتات النمط الوراثي المجهدة مائياً على استعادة النمو Recovery بعد زوال العامل البيئي المحدد للنمو (الجفاف) بنسبة الخلايا النباتية التي تبقى حية في نهاية فترة الإجهاد. إذاً ترتبط المقدرة على استعادة النمو، ومن ثمَّ درجة تحمل النمط الوراثي لظروف الإجهاد المائي، وإمكانية إعطاء غلة حبية أعلى بكفاءته في المحافظة على استقرار أغشية خلاياه السيتوبلاسمية. ويؤدي الإجهاد المائي (تراجع محتوى المياه النسبي في الأوراق) إلى تخريب الأغشية السيتوبلاسمية بشكلٍ غير مباشر من خلال تقليل معدّل التمثيل الضوئي، أو معدّل تثبيت الكربون

خلال تفاعلات الظلام في حلقة إرجاع الكربون الثلاثية (C_3PCR)، ما يؤدي إلى تراجع معدّل استهلاك المركبات الغنية بالطاقة المصنَّعة (ATP، NADPH)، الأمر الذي يؤدي إلى تعطيل إعادة توليد المستقبل النهائي للإلكترونات (المركب $NADP^+$) الذي يُعد بمنزلة المستقبل النهائي للإلكترونات في سلسلة انتقال الإلكترونات خلال تفاعلات الضوء، عندئذٍ يعمد الأوكسجين الجزيئي إلى تلقف هذه الإلكترونات ويتفاعل معها ليشكل جذر السوبر أوكسيد الحر ($O_2^{\cdot-}$)، الذي ما إن يتفاعل مع جذر الماء الأوكسجيني (H_2O_2) حتى يُشكل جذر الماءات الحر (OH^-)، الذي يُعد ذو مقدرة تفاعلية كبيرة جداً، حيث يُهاجم المواد الدهنية الداخلة في تركيب الأغشية السيتوبلاسمية ويعمل على تخريبها (Smirnoff، 1998؛ Dahse وزملاؤه، 1990).

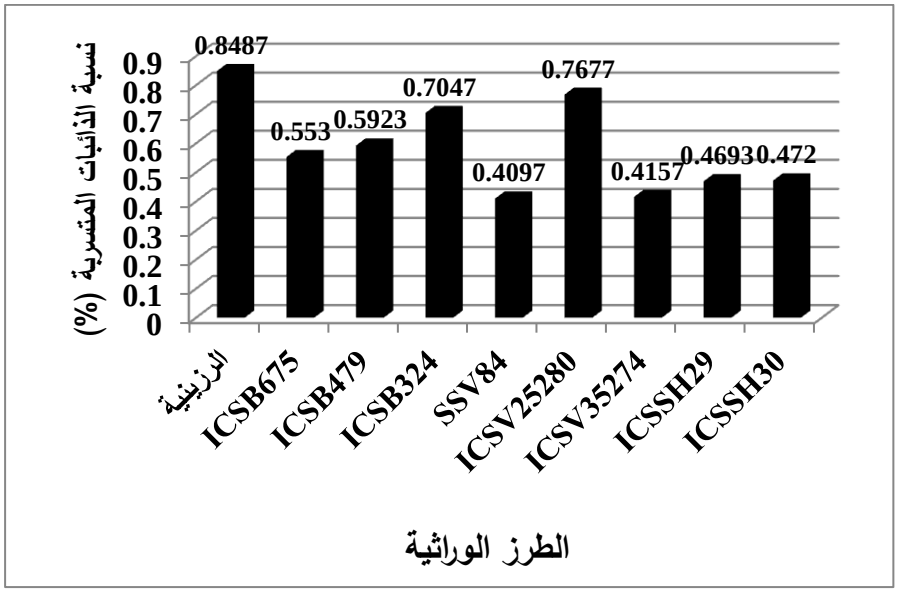
يمكن أن يُعزى التباين الوراثي في نسبة الذائبات المتسربة بين الطرز الوراثية إلى التباين في معدّل تصنيع وتجميع البرولين الحر ضمن سيتوبلاسم الخلية النباتية. حيث يقي البرولين الأغشية السيتوبلاسمية من الضرر الذي يمكن أن ينجم عن الجفاف من خلال المحافظة على ترطيب البروتوبلاسم ومحتوى الخلايا النباتية المائي، حيث يُلاحظ أنَّ الطرز الوراثية التي صنعت كمية أكبر نسبياً من البرولين مثل: SSV84، ICSSH30، ICSV25274، (4.895، 4.255، 4.085 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب على التوالي)، كانت فيها نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأدنى معنوياً، في حين كانت نسبة الذائبات المتسربة الأعلى معنوياً لدى الطرز الوراثية التي صنعت معنوياً أدنى كمية من البرولين، مثل: الرزينية، ICSB675، ICSV25280، (1.704، 1.483، 1.521 مغ . غ$^{-1}$وزن رطب على التوالي) كانت فيها نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأعلى معنوياً(0.8487، 0.5530، 0.7677 % على التوالي). ويُؤكد ذلك وجود علاقة ارتباط سالبة ومعنوية بين صفة سلامة الأغشية السيتوبلاسمية (نسبة الذائبات المتسربة) ومحتوى الأوراق من البرولين (*0.592- =r).

الجدول رقم (15): متوسط سلامة الأغشية الخلوية (%) لدى بعض طرز الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	نسبة الذائبات المتسربة (%)
ICSSH30	47.20^{cd}
ICSSH29	46.93^{cd}
ICSV35274	41.57^{d}
ICSV25280	76.77^{ab}
SSV84	40.97^{d}
ICSB324	70.47^{abc}
ICSB479	59.23^{abcd}
ICSB675	55.30^{bcd}
الرزينية	84.87^{a}
المتوسط	58.14

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	0.2791
CV (%)	0.82



الشكل رقم (14): نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية (%) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

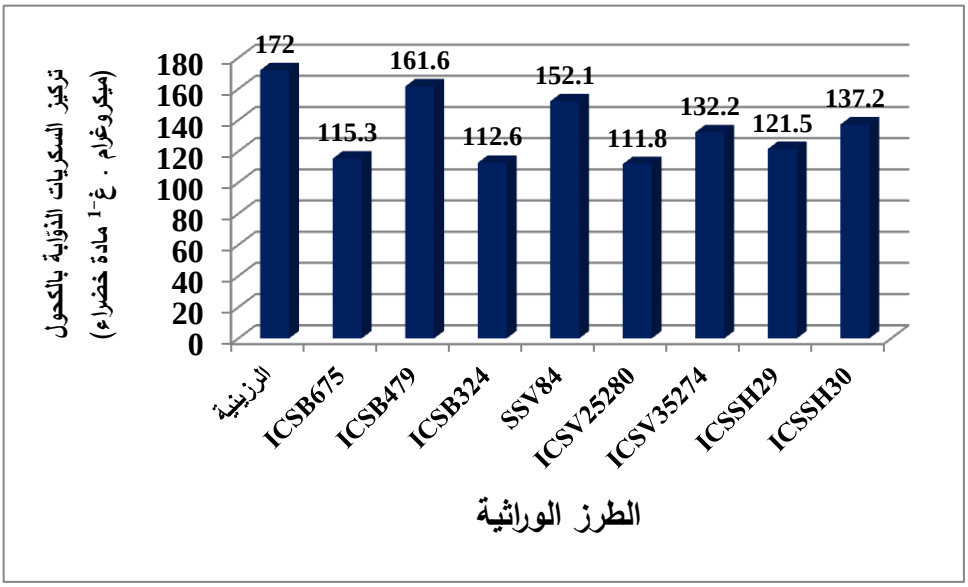
محتوى الأوراق من السكريات الذوَّابة بالكحول (ميكرو غرام. غ$^{-1}$ مادة خضراء): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة متوسط محتوى السكريات الذوّابة في الكحول بين الطرز الوراثية المدروسة. كان متوسط محتوى السكريات الذوّابة في الكحول الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي الرزينية (172.0 ميكرو غرام. غ$^{-1}$ مادة خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطراز الوراثي ICSB479 (161.6 ميكرو غرام. غ$^{-1}$)، ثمّ الطراز الوراثي SSV84 (152.1 ميكرو غرام. غ$^{-1}$)، فالطراز الوراثي ICSSH30 (137.2 ميكرو غرام. غ$^{-1}$)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين ICSV25280، ICSB 324 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (111.8، 112.6 ميكرو غرام. غ$^{-1}$ على التوالي) (الجدول، 16؛ الشكل، 15). عموماً، تُصنّع الذائبات العضوية التوافقية استجابةً لظروف الجفاف، ويزداد معدّل تصنيعها بازدياد شدة الإجهاد المائي، ومدّته، وذلك في الطرز الوراثية التي تمتلك المقدرة الوراثية على التعديل الحلولي.

الجدول رقم (16): متوسط محتوى السكريات الذوّابة بالكحول (ميكرو غرام. غ$^{-1}$ مادة خضراء) لدى بعض طرز الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	محتوى السكريات الذوّابة في الكحول (ميكرو غرام. غ$^{-1}$ مادة خضراء)
ICSSH30	137.2^{d}
ICSSH29	121.5^{f}
ICSV35274	132.2^{e}
ICSV25280	111.8^{h}
SSV84	152.1^{c}
ICSB324	112.6^{h}
ICSB479	161.6^{b}
ICSB675	115.3^{g}
الرزينية	172.0^{a}
المتوسط	135.166

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	1.864
CV (%)	0.80



الشكل رقم (15): تركيز السكريات الذوّابة بالكحول (ميكروغرام . غ$^{-1}$ وزن رطب) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

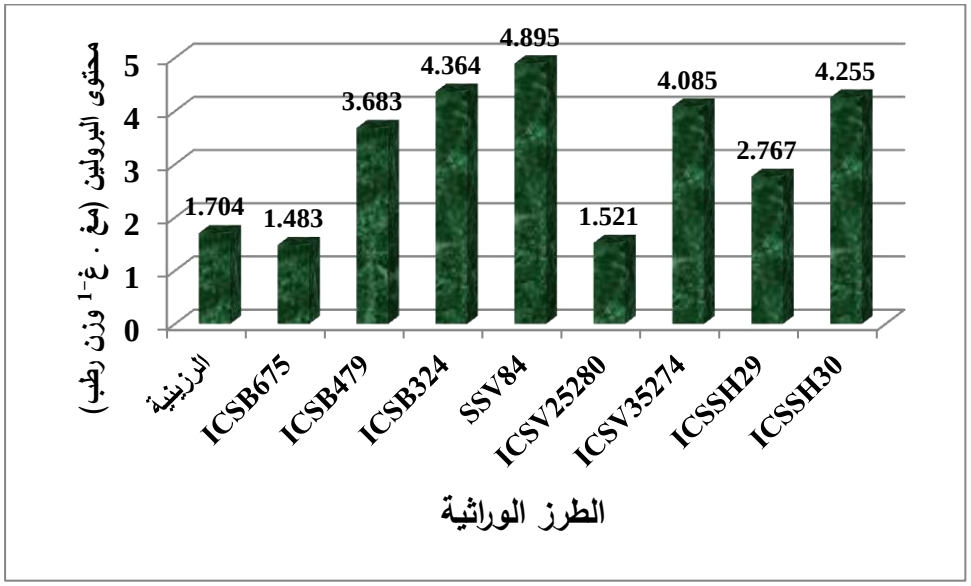
محتوى البرولين في الأوراق (مغ . غ$^{-1}$ مادة خضراء): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P\leq0.05$) في صفة متوسط محتوى الأوراق من البرولين بين الطرز الوراثية المدروسة. كان متوسط محتوى الأوراق من البرولين الأعلى معنوياً لدى الطرز الوراثية SSV84، ICSB324، ICSV25274، ICSSH30 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (4.895، 4.364، 4.255، 4.085 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب على التوالي)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية فقط مع الطراز SSV84، الطراز ICSB479 (3.683 مغ. غ$^{-1}$وزن رطب)، في حين لم تكن الفروقات معنوية بينه وبين الطرز ICSB 324، ICSSH 30، ICSV 25274، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطراز ICSSH29 (2.767 مغ. غ$^{-1}$وزن رطب)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطرز الوراثية ICSB675،ICSV25280، والرزينية وبدون فروقات معنوية بينها (1.483،1.521، 1.704 مغ . غ$^{-1}$وزن رطب على التوالي) (الجدول، 17؛ الشكل، 16). عموماً، تقوم نباتات الذرة البيضاء بتصنيع البرولين، والسكريات الذوَّابة بالكحول تحت ظروف الإجهاد المائي، ويُساعد بشكلٍ عام تراكمها في تحسين تحمل النباتات للإجهاد المائي، حيث يعمل على خفض قيمة الجهد المائي داخل الخلايا النباتية (يصبح الجهد المائي أكثر سلباً) نتيجة شد جزيئات المياه، ما يزيد من فرق التدرج في الجهد المائي بين النبات والوسط المحيط، فيزداد معدّل امتصاص المياه من قبل النبات، ما يُساعد على زيادة كمية المياه الممتصة، وتصبح إلى حدٍ ما كافية لتعويض كمية المياه المنتوحة والمحافظة على جهد الامتلاء داخل الخلايا النباتية الضروري لاستمرار استطالتها، وضمان استمرار الانفتاح الجزئي للمسامات، وانتشار غاز الفحم اللازم لعملية التمثيل الضوئي وتصنيع المادة الجافة. وقد لُوحظ أيضاً أنَّ بعض الطرز الوراثية التي حافظت على سلامة أغشيتها السيتوبلاسمية، أي كانت فيها نسبة تسرب الذائبات الأدنى معنوياً، مثل الطرز الوراثية SSV84، ICSV35274، ICSSH30 التي كان لديها معدّل تراكم البرولين الأعلى معنوياً (4.895، 4.085، 4.255)، ما يُشير إلى أهمية هذه الحافظات الحلولية Osmoprotectants في المحافظة على استقرار الأغشية الخلوية. حقيقةً، ما هو مثبت أنَّ زيادة معدّل تصنيع البرولين تُحدد بشكلٍ كبير كفاءة النمط الوراثي في استعادة النمو، حيث يُشكل البرولين مصدراً مهماً للطاقة والكربون، الذي يمكن أن تستعمله الخلايا النباتية في استعادة نموها عند زوال العامل البيئي (الجفاف) المحدد للنمو. وترتبط تبعاً لذلك المقدرة على استعادة النمو طرداً مع كمية الذائبات الحلولية المصنَّعة خلال فترة الإجهاد المائي (AL-Ouda، 1999). تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه التومي (2012) في محصول القمح، والتمو (2007) في محصول الشعير.

الجدول رقم (17): متوسط محتوى البرولين (مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب) لدى بعض طرز الذرة البيضاء.

الطراز الوراثي	محتوى البرولين (مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب)
ICSSH30	4.255^{ab}
ICSSH29	2.767^{c}
ICSV35274	4.085^{ab}
ICSV25280	1.521^{d}
SSV84	4.895^{a}
ICSB324	4.364^{ab}
ICSB479	3.683^{b}
ICSB675	1.483^{d}
الرزينية	1.704^{d}
المتوسط	3.195

يُشير اختلاف الأحرف أمام المتوسطات ضمن العمود إلى وجود فروقاتٍ معنوية عند مستوى المعنوية 0.05.

المتغير الإحصائي	الطرز الوراثية
LSD (0.05)	0.9093
CV (%)	16.45



الشكل رقم (16): تركيز البرولين في الأوراق (مغ . غ$^{-1}$ وزن رطب) لدى بعض طرز الذرة البيضاء تحت ظروف الإجهاد المائي في الأصص الزراعية.

علاقات الارتباط البسيط Simple correlations

يُلاحظ من الجدول (18) وجود علاقة ارتباط سالبة ومعنوية بين صفة كمية المياه المنتوحة التراكمية ونسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية (r = -0.754*)، حيث تؤدي زيادة كمية المياه الكلية المفقودة بالنتح تحت ظروف الإجهاد المائي (50% من السعة الحقلية) إلى تعرّض خلايا الأوراق للعجز المائي، حيث تُصبح كمية المياه الممتصة عن طريق المجموعة الجذرية غير كافية لتعويض المياه المفقودة بالنتح، وبخاصةٍ لدى الطرز الوراثية التي لا تمتلك مجموعاً جذرياً كبيراً، وتفتقر لآلية التعديل الحلولي، فتستجيب النباتات بتقليل الناقلية المسامية إلى حدّ الإنغلاق التام للمسامات، حسب شدّة الإجهاد المائي ومدّته، الأمر الذي يؤثر سلباً في معدّل انتثار غاز الفحم عبر المسامات، ومن ثمّ تركيز CO_2 المتاح في مراكز التثبيت ضمن الصّانعات الخضراء، فيتراجع معدّل تثبيت الكربون في حلقة إرجاع الكربون التمثيلية (تفاعلات الظلام)، أي يتراجع معدّل استهلاك المركبات الغنية بالطاقة (ATP، NADPH)، ما يحول دون إعادة تشكيل المستقبل النهائي للالكترونات المركب $NADP^+$، فيقوم الأوكسجين الجزيئي (O_2) بتلقف الإلكترونات وتشكيل جذر السوبر أوكسيد الحر ($O_2^{\cdot-}$)، الذي ما إنْ يتفاعل مع جذر الماء الأوكسجيني (H_2O_2)، حتى يُشكل جذر الماءات الحر ($OH^{\cdot-}$) ذي المقدرة التفاعلية الكبيرة الذي يُهاجم المواد الدهنية المفسفرة الداخلة في تركيب الأغشية ويعمل على تخريبها، فتفقد الأغشية الخلوية خاصتها الاصطفائية، ما يؤدي إلى زيادة نسبة الذائبات المعدنية والعضوية المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين كمية المادة الجافة الكلية ومعدّل فقد المياه بالنتح (r= 0.716*)، لأنّ زيادة معدّل فقد المياه بالنتح تؤدي إلى زيادة معدّل انتثار غاز الفحم ، ومن ثمّ كمية CO_2 الواصلة إلى مراكز التثبيت ضمن الصّانعات الخضراء (الستروما stroma)، الذي يُعد بمنزلة المادة الأولية لعملية التمثيل الضوئي وتصنيع المادة الجافة. وتؤدي أيضاً زيادة معدّل فقد المياه بالنتح إلى تبريد أجزاء النبات الهوائية، والمحافظة على المساحة الورقية الخضراء الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي، ما يؤدي إلى زيادة كمية الأشعة الضوئية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي المعترضة والممتصة، فيزداد معدّل الفسفرة الضوئية، أي وتيرة انتقال الإلكترونات في سلسلة نقل الإلكترونات، ومن ثمّ تصنيع المركبات الغنية بالطاقة خلال تفاعلات الضوء، التي تُستعمل لاحقاً خلال تفاعلات الظلام لتحويل الكربون المعدني مع الماء أنزيمياً إلى مركبات عضوية (السكريات). ويُلاحظ وجود علاقة

ارتباط سالبة ومعنوية جداً بين صفة كمية المادة الجافة الكلية وصفة نسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية (r= -0.942**)، حيث تؤدي زيادة نسبة الأجزاء الأرضية إلى الهوائية إلى تسخير كميةٍ أكبر من نواتج التمثيل الضوئي بإتجاه الأجزاء الأرضية لزيادة معدّل نمو الجذور وتطورها على حساب كمية المادة الجافة المُسخّرة بإتجاه الأجزاء الهوائية، الأمر الذي يحد من معدّل نمو الأجزاء الهوائية (الساق، والأوراق)، ما يؤثر سلباً في حجم المسطح الورقي الأخضر الفعّال في عملية التمثيل الضوئي، فتتراجع كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة (الجدول، 18). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سالبة ومعنوية بين صفة كفاءة استعمال المياه ومحتوى الأوراق من السكريات الذوّابة بالكحول (r= - 0.782*)، حيث تؤدي زيادة معدّل تصنيع السكريات الذوّابة بالكحول إلى تقليل كمية المادة الجافة المُصنّعة بعملية التمثيل الضوئي كونها المادة الأولية لتصنيع جميع المركبات العضوية الأخرى، ما يؤدي إلى تقليل كمية المادة الجافة، وبما أنّ كفاءة استعمال المياه هي نسبة المادة الجافة المُصنّعة بعملية التمثيل الضوئي إلى كمية المياه الكلية المنتوحة، فسوف تنخفض قيمة كفاءة استعمال المياه بازدياد معدّل تراكم الذائبات العضوية التوافقية عامةً والسكريات الذوّابة بالكحول خاصةً ويؤكد ذلك الاستنتاج وجود علاقة ارتباط سالبة ولكنّها غير معنوية (r= - 0.322). ويُلاحظ أيضاً وجود علاقة ارتباط سالبة ومعنوية بين صفة كفاءة استعمال المياه ونسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية (r= -0.716*)، حيث تؤدي زيادة نسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية إلى زيادة معدّل فقد المياه بالنتح، ومن ثمّ كمية المياه الكلية المنتوحة خلال فترة التجربة، ما يؤدي تبعاً لتعريف صفة كفاءة استعمال المياه (WUE) إلى تراجع قيمة كفاءة استعمال المياه. ويؤكد مثل هذا الاستنتاج وجود علاقة ارتباط سالبة ومعنوية بين نسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية ومعدّل فقد المياه بالنتح (MTR) (r= -0.742*). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سالبة ومعنوية بين صفة المساحة الورقية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي (LAD) ونسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية (r= - 0.851*). عموماً تؤدي زيادة حجم المسطح الورقي الأخضر إلى زيادة حجم المسطح الورقي القابل للنتح، بسبب زيادة المسطح الورقي المعرّض بشكلٍ مباشر للأشعة الشمسية، ما يؤدي إلى زيادة درجة حرارة الأوراق، ومن ثمّ فرق التدرج بين درجة حرارة الأوراق والوسط المحيط (VPD)، فيزداد معدّل فقد المياه بالنتح، ولكن في ظل ظروف العجز المائي (50% من السعة الحقلية) ستصبح كمية المياه المفقودة بالنتح أكبر من كمية المياه الممتصة عن طريق المجموعة

الجذرية، فتعمد النباتات إلى تقليل الناقلية المسامية للحد من عملية فقد المياه بالنتح ، ولكن للأسف يؤدي تراجع الناقلية المسامية (gs) بشكلٍ كبير إلى تراجع انتشار، ومن ثمّ تركيز غاز الفحم المتاح ضمن مراكز التثبيت في الصّانعات الخضراء CO_2-fixation sites، ما يؤدي إلى تراجع معدّل التمثيل الضوئي، وتتشكل جذور الأوكسجين الحرة النشطة (ROS)، التي تُهاجم البروتينات والمواد الدهنية المفسفرة الداخلة في تركيب الأغشية السيتوبلاسمية وتعمل على تخريبها، وتفقد جرّاء ذلك خاصيتها الإصطفائية، فتخرج العديد من الذائبات المعدنية والعضوية. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين صفة نسبة الأجزاء الأرضية للأجزاء الهوائية ومحتوى الأوراق من السكريات الذوّابة في الكحول (r= - 0.725*)، حيث تؤدي زيادة معدّل تصنيع السكريات الذوّابة وتراكمها في الخلايا النباتية إلى خفض قيمة الجهد المائي (Ψ_w) ضمن خلايا الجذور، فيزداد فرق التدرج في الجهد المائي، ما يؤدي إلى زيادة معدّل تدفق المياه وامتصاصها فترتفع قيمة جهد الامتلاء ضمن خلايا الجذور، فيستمر نموها، لأنّ جهد الامتلاء (Ψ_p) يُعد بمنزلة القوة الفيزيائية التي تدفع جدر الخلايا النباتية على الاستطالة Expansion (Cossegrove، 1989).

جدول رقم (18): قيم معامل الارتباط بين الصفات المدروسة.

Trait	CWT	TDM	WUE	LAD	MTR	R/S	Rv	Prol.	SS	MI
CWT	1									
TDM	.593	1								
WUE	-.239	.623	1							
LAD	.448	.132	-.178	1						
MTR	.596	.716*	.260	-.075	1					
R/S	-.472	-.942**	-.716*	-.098	-.742*	1				
Rv	.307	-.208	-.509	.631	-.252	.339	1			
Prol.	.655	.246	-.322	.390	.257	-.223	.171	1		
SS	.017	-.536	-.782*	-.257	-.340	.725*	.224	.161	1	
MI	-.754*	-.298	.315	-.851**	-.194	.196	-.514	-.592*	.086	1

***. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).**

****. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).**

CWT: كمياة المياه المنتوحة التراكمية، TDM: المادة الجافة الكلية، WUE: كفاءة استعمال المياه، LAD: المساحة الورقية الفعّالة، MTR: متوسط معدّل النتح، R/S: نسبة الأجزاء الأرضية إلى الهوائية، Rv: حجم الجذور، Prol.: محتوى الأوراق من البرولين، SS: السكريات الذوّابة في الكحول، MI: سلامة الأغشية السيتوبلاسمية.

جدول رقم (19): يبين الفروقات بين الذرة البيضاء الوراثية من حيث تفوقها في الصفات المدروسة.

الصفة	الأعلى معنوياً ←								الأدنى معنوياً
المساحة الورقية الفعّالة	8	5	1	3	2	6	7	4	9
كمية المادة الجافة الكلية	3	2	4	1	5	6	7	8	9
معدّل فقد المياه بالنتح	4	5	2	1	6	7	3	8	9
كمية المياه المنتوحة التراكمية	3	4	1	5	2	7	6	8	9
كفاءة استعمال المياه	4	6	2	1	8	9	5	3	7
حجم المجموعة الجذرية	8	5	3	7	1	9	6	2	4
نسبة المجموعة الجذرية إلى الهوائية	5	7	6	9	4	8	2	3	1
محتوى البرولين في الأوراق	3	6	4	8	1	2	5	9	7
السكريات الذوّابة في الكحول	4	6	5	9	3	8	2	7	1
سلامة الأغشية السيتوبلاسمية (نسبة تسرب الذائبات)	6	7	8	2	9	3	4	5	1

الرقم المقابل	1	2	3	4	5	6	7	8	9
الطراز الوراثي	ICSSH30	ICSSH29	ICSV35274	ICSV25280	SSV84	ICSB324	ICSB479	ICSB675	الرزينية

يُعد هذا الجدول بمنزلة هوية لكل طراز وراثي مدروس، يُمكّن مربي النبات من معرفة الصفات المرتبطة بتحسين قيمة كفاءة استعمال المياه، وكفاءة النبات التمثيلية (كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة)، التي يتسم بها كل طراز وراثي، وهذا يُسهل عملية اختيار الآباء بما يتناسب مع أهداف برنامج التربية والتحسين الوراثي.

الاستنتاجات Conclusions

1. يُعد المستوى الحلولي (Mpa -1.8) بمنزلة المستوى الحلولي المميت الأمثل، ويُعد المستوى الحلولي المُحرّض (Mpa -0.4) بمنزلة المستوى الحلولي المُحرّض الأمثل. ويعتمد نجاح أسلوب الغربلة على النقل المرحلي Stepwise transfer للبادرات من المستويات المجهدة غير المميتة إلى المستويات المميتة من الإجهاد، كمحاكاة للظروف البيئية الطبيعية.
2. يُسهم تحريض البادرات في تحسين مقدرتها على تحمل المستويات المميتة من الإجهاد الحلولي.
3. تُصنّف طرز الذرة البيضاء الرزينية، والطراز ICSV 25274 كطرزٍ وراثية عالية التحمل للإجهاد الحلولي، في حين تُصنف طرز الذرة البيضاء ICSSH 29، وICSV574، و NTJ 2 كطرزٍ مفرطة الحساسية للإجهاد الحلولي.
4. تباينت طرز الذرة البيضاء المدروسة في متوسط كمية المياه المنتوحة التراكمية، ويُعزى التباين إلى الاختلاف في معدّل فقد المياه بالنتح بين تلك الطرز، إلى التباين في نسبة الأجزاء الأرضية إلى الأجزاء الهوائية.
5. تباينت طرز الذرة البيضاء في متوسط معدّل فقد المياه بالنتح، ويُعزى ذلك إلى أنّ التباين في متوسط معدّل فقد المياه بالنتح يعود بشكلٍ رئيس إلى التباين في حجم الأجزاء الهوائية المعرّضة بشكلٍ مباشر لأشعة الشمس، وليس إلى التباين في حجم الأجزاء الأرضية.
6. تفوقت الطرز الوراثية ICSV25280، ICSB 324، وICSSH29 في قيمة كفاءة استعمال المياه، ويُعزى ذلك إلى تفوقهما في كمية المادة الجافة الكلية المصنّعة.
7. تُصنّف الطرز الوراثية ICSV25280، ICSSH29، ICSB324 ضمن الطرز الوراثية الكفوءة Capacity types، في حين يُصنّف الطرازان الوراثيان SSV84، ICSV35274 ضمن الطرز الوراثية غير الكفوءة في استعمال المياه Conductance types .
8. لا يُنصح بزراعة الطراز ICSV25280 في البيئات ذات الموارد المائية المحدودة حيث ارتبطت فيه زيادة معدّل التمثيل الضوئي، ومن ثمّ كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة بزيادة معدّل فقد المياه بالنتح، فهو أيضاً ذا كفاءة إنتاجية مرتفعة ولكن تحا ظروف إتاحة مياه الري (الزراعة المروية).
9. ترتبط سلامة الأغشية السيتوبلاسمية في طرز الذرة البيضاء المدروسة بمعدّل تراكم البرولين، فجميع الطرز الوراثية التي حافظت على سلامة أغشيتها السيتوبلاسمية (نسبة

تسرب الذائبات الأدنى معنوياً)، مثل (SSV84، ICSV35274، ICSSH30) كان لديها معدّل تراكم البرولين الأعلى معنوياً (4.895، 4.085، 4.255)، ما يُشير إلى أهمية هذه الحافظات الحلولية Osmoprotectants في المحافظة على استقرار الأغشية الخلوية وسلامتها.

10. تُحدد زيادة معدّل تصنيع البرولين كفاءة الطراز الوراثي في استعادة النمو، حيث يُشكل البرولين مصدراً مهماً للطاقة والكربون، الذي يمكن أن تستعمله الخلايا النباتية في استعادة نموها عند زوال العامل البيئي (الجفاف) المحدد للنمو.

11. تؤثر زيادة معدّل تصنيع الذائبات العضوية التوافقية (البرولين، والسكريات الذوّابة في الكحول) سلباً في قيمة كفاءة استعمال المياه، بسبب استهلاك جزء كبير من نواتج التمثيل الضوئي لتصنيع كميةٍ أكبر منها.

12. بالرغم من أهمية تشكيل مجموع جذري متعمق ومشعب (حجم مجموع جذري أكبر، ونسبة الأجزاء الأرضية إلى الهوائية أكبر) في تحسين المقدرة التكيفية في البيئات المجهدة مائياً، إلاّ أنّه يُقلل من قيمة كفاءة استعمال المياه، نتيجة زيادة كمية المياه الكلية المنتوحة، بسبب استمرار انفتاح المسامات بشكلٍ كبير.

13. ترتبط سلامة الأغشية السيتوبلاسمية ومن ثمّ حياة الخلايا النباتية، ومعدّل الفسفرة الضوئية في أغشية الصّانعة الخضراء الداخلية بشكلٍ أكبر بمحتوى الأوراق من البرولين بالمقارنة مع محتواها من السكريات الذوّابة في الكحول.

14. يتحدد معدّل فقد المياه بالنتح ومن ثمّ كمية المياه الكلية المنتوحة بمدى التوازن بين الأجزاء الأرضية Roots والأجزاء الهوائية Shoots، حيث تسبب الزيادة الكبيرة في نسبة الأجزاء الأرضية إلى تراجع حجم المسطح الورقي القابل للنتح، كما هو الحال لدى الطراز الوراثي رزينية.

15. يؤثر التراجع الكبير في حجم المسطح الورقي الأخضر الفعّال في عملية التمثيل الضوئي سلباً في كفاءة الطرز الوراثية في تصنيع الحافظات الحلولية (البرولين)، نتيجة تراجع كفاءة النبات التمثيلية (المادة الجافة اللازمة لتصنيع البرولين)، الأمر الذي يؤثر سلباً في كفاءة الطراز الوراثي في المحافظة على سلامة الأغشية السيتوبلاسمية، كما هو الحال لدى الطراز الوراثي رزينية.

التوصيات Recommendations

1. يُوصى باعتماد تقانة الغربلة المطورة آنفاً لتقييم أداء طرز الذرة البيضاء في طور البادرة الفتية بعد التأكد حقلياً من فعّاليتها، وبخاصةٍ في حال وجود عدد كبير جداً من الطرز الوراثية لتوفير الجهد والوقت والمال، كون هذه التقانة المخبرية سريعة جداً ولا تتطلب تجهيزات مكلفة ومعقدة.
2. يمكن الاستفادة من الطرز الوراثية ICSV25280، ICSSH29، ICSB324 التي تُصنّف ضمن الطرز الوراثية الكفوءة Capacity types، في برامج التربية والتحسين الوراثي لتحسين صفة كفاءى استعمال المياه مع المحافظة على الكفاءة الإنتاجية في البيئات المجهدة مائياً في محصول الذرة البيضاء.

المراجع العربية

العودة، أيمن؛ و صبوح، محمود؛ و جودة، محمد (2005). تقويم استجابة بعض الطرز الوراثية من القمح (*Triticum spp.*) للإجهاد المائي في طور البادرة. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، 21(1): 15-36.

العودة، أيمن، صالح، رفيق، الشيخ علي، رؤى (2006). تقييم استجابة بعض أصناف الشعير المحلية لتحمل الإجهاد الحلولي في مرحلة النمو الأولي. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، المجلد (22)، العدد (1)، الصفحات 15-36.

العودة، أيمن (2005). بعض الرؤى الفيزيولوجية لتحسين غلة محصول القمح الحبية ضمن الظروف البيئية المناسبة. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، المجلد 21، العدد 2، الصفحات 37-50.

الشيخ علي، رؤى (2006). تطوير تقانة غربلة سريعة لتحمل الإجهاد الملحي في القمح. رسالة ماجستير، قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، الجمهورية العربية السورية.

الشحاذة العودة، أيمن، صبوح، محمود (2009). تقويم أولي لأداء بعض طرز الشعير (*Hordeum vulgare* L.) في نظم الزراعة الجافة. المجلة العربية للبيئات الجافة، المجلد (2)، العدد (2)، الصفحات: 26- 36.

الشحاذة العودة، خيتي، مأمون، رباح، ريما (2015). كتاب فيزيولوجيا المحاصيل (الجزء النظري)، منشورات جامعة دمشق.

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.

التومي، عمر (2012). تقويم أهم الآليات التكيفية المورفوفيزيولوجية المحددة لكفاءة محصول القمح (*Triticum spp.*) الإنتاجية في نظم الزراعة الجافة. أطروحة دكتوراه، قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، الجمهورية العربية السورية.

التمو، منور (2007). دراسة خصائص بعض التراكيب الوراثية من الشعير وتقويم أهميتها كمصادر وراثية لتحمل الجفاف. رسالة ماجستير، قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، الجمهورية العربية السورية.

References

Acevedo, E.H.; Silva, P.C.; Silva, H.R. and Solar, B.R. 1999. Wheat production in Mediterranean environments. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), Wheat Ecology and Physiology of Yield Determination. Food Products Press, New York, pp. 295–323.

AL-Ouda, A.S. 1999. Genetic variability in temperature and moisture stress tolerance in sunflower (*Helianthus annus* L.) hybrids: Assessment of some physiological and biochemical traits. Ph.D. Thesis Submitted to Crop Physiology Dept., UAS, Bangalore, India

Alves A.A.C., T.L. Setter2004. Response of cassava leaf area expansion to water deficit: cell proliferation cell expansion and delayed development. Annals of Botany 94: 605-613.

Araus, J. L.; Villegas, D.; Aparicio, N.; Garcia del Moral, L. F.; El Hani, S.; Rharrabti, Y.; Ferrio, J. P and Royo, C. 2002. Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. Crop Sci. 43: 170-180.

Araus, J.L. 2002. Physiological basis of the process determining barley yield under potential and stress conditions: Current research trends on carbon assimilation. In: Slafer, G.A., Molina-Cano, J.L., Savin, R., Araus, J.L., Romagosa, I. (Eds.), Barley Science: Recent Advances from Molecular Biology to Agronomy Yield and Quality. Food Product Press, New York, pp. 269–306.

Assmann, S. M.; Snyder, J. A. and Lee, Y. R. J. 2000. ABA-deficient (aba1) and ABA-insensitive (abi1-1, abi2-1) mutants of Arabidopsis have a wild-type stomatal response to humidity. Plant Cell Environ. 23: 387-395.

Bacon, M. A. 2004. Water use efficiency in plant biology. In: Bacon, M.A. (ed) Water use efficiency in plant biology. Oxford: Blackwell Publishing. P.1-26

Bajji, M.; Kinet, J. M. and Stanley, L. 2002. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance in durum wheat. Plant Growth Regul. 36: 61–70.

Bandurska, H. 2000. Does proline accumulated in leaves of water deficit stressed barley plants confine cell membrane injury?: I. Free proline accumulation and membrane injury index in drought and osmotically-stressed plants. Acta Physiol. Plant. 22: 409–415.

Bates, L. S.; Walgreen, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.

Bennett W.F., B.B. Turker, A.B. Maunder. 1990. Modern grain sorghum production. Iwoa State University Press, Ames.

Bennett, J. 2003. Opportunities for increasing water productivity of CGIAR crops through plant breading and molecular Biology. In: kijne, J.W., Barker**,** R,. Molden , D (Eds.), Water Productivity in Agriculture**:** limits and opportunities for improvement. CAB International, Wallingford, UK, P. 332.

Blum, A. 1983. Breeding programs improving drought resistance to water stress. In C. D. Jr, Raper and P. J. Kramer (eds.), Crop reaction to water and temperature stresses in humid, temperate climates. Westview Press, Boulder, Colorado, USA. P. 263-275.

Blum, A. 1988. Drought resistance. Plant breeding for stress environments. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 43–77.

Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Australian Journal of Agricultural Research. 56: 1159–1168

Blum, A. 2006. Drought adaptation in cereal crops: a prologue. In: Drought Adaptation in Cereals. P. 3–15. Ribaut, J. M., Ed., The Harworth Press, Inc., New York.

Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crop Res. 112: 119-123

Blum, A. and Ebrecon, A., 1976. Genotypic responses in sorghum to drought stress III.Free praline accumulation and drought resistance. Crop Science, 16:425-431.

Blum, A. and Ebercon, A. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sci. 21: 43– 47.

Blum, A.; Zhang, J. and Nguyen, H. T. 1999. Consistent differences among wheat cultivars in osmotic adjustment and their relationship to plant production. Field Crops Research. 64: 287-291.

Borrell, A. K. and Hammer, G. L. 2000. Nitrogen dynamics and the physiological basis of stay-green in sorghum. Crop Science. 40: 1295–1307.

Chaves, M. M.; Maroco, J. P. and Pereira, J. S. 2003. Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. Funct. Plant Biol. 30: 239–264.

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

Chimenti, C. A.; Marcantonio, M. and Hall, A. J. 2006. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. Field Crops Res. 95: 305–315.

Choi, W. J.; Chang, S. X. and Bhatti, J. S. 2007. Drainage affects tree growth and C and N dynamics in a minerotrophic peatland. Ecology. 88: 443–453.

Condon, A. G.; Richards, R. A.; Rebetzke, G. J. and Farquhar, G. D. 2002. Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. Crop Sci. 42: 122-131.

Condon, A. G.; Richards, R. A.; Rebetzke, G. J. and Farquhar, G. D. 2004. Breeding for high water-use efficiency. Journal of Experimental Botany. 55: 2447-2460.

Cossgrove, D. J. 1989. Linkage of wall extension with water and solute uptake. Physiology of Cell Expansion During Plant Growth (D.J. Cossgrove and D.P. Knievel, ed.), Am. Sci. Plant Physiology, Rockville, Md. P. 88-100.

Craufurd P.Q., D.J. flower, J.M. Peacock. 1993. Effect of heat and drought stress on sorghum. I. panicle development and leaf appearance. Experimental Agriculture 29: 61-76.

Dahse, I.; Willmer, C. M. and Meidner, H. 1990. Tentoxin suppresses stomatal opening by inhibiting photophosphorylation. J. Exp. Bot. 230: 1109-1113.

Dhanda, S. and Sethi, G. 2002. Tolerance to drought stress among selected Indian wheat cultivars. J. Agric. Res. (Cambridge). 139: 319–326.

Doggett,H.1988. Sorghum. Longman Group, U.K. Limited, P: 260-282.

Farouk, S. 2005. Response of *Pisum sativum* L. to some osmoregulators and plant growth substances under salt stress Ph.D Thesis, Faculty of Agriculture, Mansoura University, Egypt.

Farouk, S. 2011. Osmotic adjustment in wheat flag leaf in relation to flag leaf area and grain yield per plant. Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 7(2): 117-138 ISSN 1997-0838

Farquhar, G. D.; Ehleringer, J. R. and Hubick, K. T. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. Ann. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol. 40: 503-537.

Fischer R.A., Turner, **N.C. 1978.** Plant productivity in the arid and semiarid zones. Annual Review of plant Physiology 29:277-317.

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.

Grantz, D. A. 1990. Plant response to atmospheric humidity. Plant Cell Environ. 13: 667-679.

Hammer G.L., G.D. Farquhar, I.J. Broad. 1997. On the extent of genetic variation for transpiration efficiency in sorghum. Australian Journal of Agricultural Research 48:649−655.

Hatfield, J.L.; Sauer, T.J. and Prueger, J.H. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. Agron. J. 93: 271-280.

Hause L.R. Verma, B.N., Ejeta, Rana, B.S., Kapran, 1., Obilana. And Reddy, N. V. S. 1997. Developing countries breeding and potential of hybrid sorghum. Proceeding of International Conference on Genetic Improvement of Sorghum and Pearl Millet, Sept 22-27, lebbock, Texas, USA.

Hubick, K. T.; Farquhar, G. D. and Shorter, R. 1986. Correlation between water use efficiency and carbon isotope discrimination in diverse peanut (Arachis) germplasm. Austral. J. Plant Physiol. 13:803-816.

Jaleel, C. A.; Gopi, R. and Panneerselvam, R. 2008. Growth and photosynthetic pigments responses of two varieties of Catharanthus roseus to triadimefon treatment. Comp. Rend. Biol. 331: 272–277.

Johnson, D. A.; Richards, R. A. and Turner, N. C. 1983. Yield, water and related characteristics in dryland environments, and its relations, gas exchange, and surface reflectance or near- control by minor genes. In: Sakanoto S, ed. Proceedings of isogenic wheat lines differing in glaucousness. Crop Science the 6th International Wheat Genetics Symposium. Kyoto. 23:318–25.

Jones, M. M., Osmond, C. B. and Turner, N. C., 1980. Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficit. Australian Journal of Plant Physiology, 7: 193-205.

Kang, S. and Zhang, J. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency Journal of Experimental Botany. 55(407): 2437–2446

Khidse, S. R., Bhale, N. L. and Borikar, S. T., 1982. Effect of water stress on praline accumulation in sorghum. Journal of Maharashtra Agricultural Universities, 7(2) :195 – 196.

Krieg D.R. 1983. Sorghum. P: 352-388. In T. D. Teare, M.M. Peet (ed.) Crop-water relation. John Wiley and Sons Inc. New York.

Lafitte, H. R.; Yongsheng, G.; Yan, S. and Li, Z. K. 2006. Whole plant responses, key processes, and adaptation to drought stress: the case of rice. Journal of Experimental Botany. 58: 169-175.

Leoplod, A. C.; Musgrave, M. E. and.Williams, K.M. 1981. Solute leakage resulting from leaf desiccation. Plant Physiology,68:1222-1225.

Lorens, G. F., Bennett, J. M. and Loggale, L. B. 1987. Differences in drought resistance between two corn hybrids. I. Water relations and root length density. Agron. J. 79: 802–807.

Ludlow M.M. and Muchow, R.C. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water−limited environments. Advances in Agronomy 43:107−153.

Maiti, R. K., and Ross, F. L. 1990. Variability in biochemical characters of gloss. Sorghum seedlings under irrigated and water stress conditions. Sorghum Newsletter, 31:52.

Mangini, G. A. Calandro, P. Rubino, A. Gadaleta, A. Signorile, and Blanco, A. 2005. Yield componenets and adaptive traits in a sergeant population of wheat under drought conditions. Proceedings of the XLIX Italian Society of Agricultural.

Martinez, J. P.; Lutts, S.; Schanck, A.; Bajji, M. and Kinet, J. M. 2004. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub Atriplex halimus L.? J. Plant Physiol. 161: 1041–1051.

Mishra, B. N. and Shivakumar, B. G. 2000. Barley. In: Techniques and Managements of Field Crop Production. Agrobios. India.

Mkhabela S.M. 1995. Genetic variation, heritability estimates and yield relationship of pre flowering and post flowering drought resistant traits in grain sorghum. Ph.D. dissertation. Texas Tech University, Lubbock, Texas.

Moinuddin, Fischer R. A.; Sayre, K. D. and Reynolds, M. P. 2005. Osmotic adjustment in wheat in relation to grain yield under water deficit environments. Agronomy Journal. 97: 1062-1071.

Morgan, J. M. and Condon, A. G. 1986. Water use, grain yield, and osmoregulation in wheat. Australian Journal of Plant Physiology. 13: 523–532.

Moustafa, M. A.; Boersma, L. and Kronstad, W. E. 1996. Response of four spring wheat cultivars to drought stress. Crop Sci. 36: 982-986.

Munns, M. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25: 230- 250.

Newton, R. J., Bhaskaran, S., Puryer, J. D. and Smith, R. H., 1986. Physiological changes in cultured sorghum cells in response to induced water stress. Plant Physiology, 81(2): 626-629.

Passioura, J. B. 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. J. Aust. Inst. of Agric. Sci. 43: 117–120.

Passioura, J. B. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce from breeding to field management. Agric. Water Manage. 80: 176–196.

Paulsen G.M. 1994. High temperature responses of crop plants. P: 365-389. In K.J. Boote, J.M. Bennet, T.R. Sinclair and G.M. Paulsen (ed.) physiology and determination of yield. ASA, Madison, Wisconsin. 1:301-355**.**

Pavlovskaya, M. M. and Karamov, V. A. 1990. Doklady vesoyunzo ordena I ordena trudovogo kranogo znameni akademii selskokhzaistvemkh Naukin V. I. lamina No. 1: 32-33 (In) Sorghum Abstract 17(5): 773.

Pawar, S. M. And Chetti, M. B., 1997. Genotype differences in osmoregulations and their relationship with biomass and grain yield in Rabi Sorghum, Annals of Plant Physiology, 11(1): 10-14.

Permchandra, G. S., Daniel, T. H., David Rhodes and Robert, J. J. 1995. Leaf water relation and solute accumulation in two grain lines exhibiting contrasting drought tolerance. Journal of experimental Botany, 46(293): 1933-1841.

Pinhero, R. G.; Rao, M. V.; Palyath, G.; Murr, D. P. and Fletcher, R. A. 2001. Changes in the activities of antioxidant enzymes and their relationship to genetic and paclobutrazol-induced chilling tolerance of maize seedlings. Plant Physiol. 114: 695–704.

Polley, H. W. 2002. Implications of atmospheric and climatic change for crop yield and water use efficiency. Crop Sci. 42: 131-140.

Prasad, **P.V.V.;,Ristic, Z. Staggenborg**, **S.A. 2008.** Impact of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth and yield processes of crop plants. Advances in Agriculture Systems Modeling Series

Price, A. H.; Townend, J.; Jones, M. P.; Audebert, A. and Courtois, B. 2002. Mapping QTLs associated with drought avoidance in upland rice grown in the Philippines and West Africa. Plant Molecular Biology. 48: 683-695.

Ramirez, P. and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica. 99: 127-136.

Rebetzke, G. J.; Condon, A. G.; Richards, R. A. and Farquhar, G. J. 2002. Selection for reduced carbon-isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. Crop Sci. 42: 739-745.

Rebetzke, G. J.; Condon, A. G.; Richards, R. A. and Farquhar, G. D. 2003. Gene action for leaf conductance in three wheat crosses. Australian Journal of Agriculture Research. 54**:** 381-387.

Reddy, A. R.; Chaitanya, V. and Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. 161(11): 1189-1202

Reynolds, M. P.; Skovmand, B.; Trethowan, R. and Pfeiffer, W. 2000. Evaluating a conceptual model for drought tolerance. In J.M. Ribaut, and D. Poland (eds.), Molecular Approaches for Genetic Improvement of Cereals for Stable Production in Water-Limited Environments. Mexico D.F.: CIMMYT.

Reynolds, M.; Condon, A. G.; Rebetzke, G. J. and Richards, R. A. 2004. Evidence for excess photosynthetic capacity and sink-limitation to yield and biomass in elite spring wheat. In: New directions for a diverse planet: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress. Fischer, T. et al., Eds. Brisbane.

Richards, R. A. 2006. Physiological traits used in the breeding of new cultivars for water-scarce environments. Agric. Water Manag. 80: 197–211.

Richards, R. A.; Rebetzke, G. J.; Condon, A. G. and van Herwaarden, A. F. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Science. 42: 111–121.

Rontein, D.; Basset, G. and Hanson, A. D. 2002. Metabolic engineering of osmoprotectants accumulation in plants. Metab. Engineer. 4: 49-56.

Rooney, W.L. 2004. Sorghum improvement- integrating traditional and new technology to produce improved genotype. Advances in Agronomy 83, 37-109

Russell, D. F. (1991). MSTAT, Director Crop and Soil Science Department (Version 2. 10), Michigan State Uni. U.S.A.

Ryan, J. G. and Oppen, M. V. 1982. Agrometeorlogy of Sorghum and Millet in the SAT.Patancheru, A. P. 502324,(ICRISAT). India.

Santamaria, J. M.; Ludlow, M. M. and Fukai, S. 1990. Contribution of osmotic adjustment to grain yield in *Sorghum bicolor L. Moench* under water–limited conditions I. Water stress before anthesis. Aust. J. Agric. Res. 41: 51–65.

Sellin, A. 2001. Hydraulic and stomatal adjustment of Norway spruce trees to environmental stress. Tree Physiol. 21: 879–888.

Serraj, R. and Sinclair, T. R. 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? Plant Cell Environ. 25: 333–341.

Sharp, R.E. and LeNoble, M. E. 2002. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. J. Exp. Bot. 53: 7-33

Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K. 1999. Molecular responses to drought stress, Yamaguchi-Shinaozaki, Editor, Molecular responses to cold, drought, heat and salt stress in higher plants, R. G. Landes Company, Austin. P. 11–28.

Sinclair T.R., Muchow, R.C. 2001. System analysis of plant traits to increase grain yieldon limited water supplies. Agronomy Journal 93:263

Singh, A.; Aggarwal, N. and Aulakh, G. S. 2012. Ways to maximize the Water Use Efficiency in Field Crops. Greener Journal of Agriculture Science. 111-123

Smirnoff, N. 1998. Plant resistance to environmental stress, Curr. Opin. Biotechnol. 9: 214–219.

Smith C.W. and Frederiksen, R. A. 2000. Sorghum: Origin, history, technology and production. P. 64

Solomon, K. F. and Labuschagne, M. T. 2004. Inheritance of evapo-transpiration and transpiration efficiencies in the diallel F_1 hybrids of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). Euphytica. 136: 69-79.

Stosko, P. F. 1985. Sorghum. In cereal crops, P.369-385.

Subbarao, G. V.; Nam, N. H.; Chauhan, Y. S. and Johanson, C. 2000. Osmotic adjustment, water relations and carbohydrate remobilization in pigeonpea under water deficits. J. Plant Physiol. 157: 651-659.
Sullivan C.Y. 1972. Mechanisms of heat and drought resistance in grain sorghum and method of measurements. P. 247-264. In N.G. P. Rao, L.R. House. (ed.) Sorghum in the seventies. Oxford and IBH Publications, New Delhi, India.

Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. Plant Physiology, 4th Ed., Sinauer Associates Inc. Publishers. Massachusetts

Tambussi, E. A.; Bort, J. and Araus, J. L. 2007. Water use efficiency in C_3 cereals under Mediterranean conditions: a review of physiological aspects. Ann. Appl. Biol. 150: 307–321.

Tamura, T.; Hara, K.; Yamaguchi, Y.; Koizumi, N. and Sano, H. 2003. Osmotic stress tolerance of transgenic tobacco expressing a gene encoding a membrane-located receptor-like protein from tobacco plants. Plant Physiol. **131**: 454–462

Tanner C.B. and Sinclair, **T.R. 1983.** Efficient water use in crop production: p. 1−27.

Tardieu, F.; Muller, B.; Reymond, M.; Saduk, W. and Simonneay, T. H. 2004. Controls of leaf growth and stomatal conductance under water deficit: Combining genetic and Ecophysiological analyses. CIMMYT/ Drought/ Rockefeller Foundation Workshop 2004.

Taylor, **J. R.N.2001.** Importance of Sorghum in Africa. P. 2

Tuberosa, R.; Giuliani, S.; Parry, M. A. J. and Araus, J. L. 2007. Improving water use efficiency in Mediterranean agriculture: what limits the adoption of new technologies? Ann Appl. Biol. 150: 157-162

Turner, N.C.; G.C. Wright, and Siddique, **K.H.M. 2001.** Adaptation of grain legumes (pulses) to water limited environment. Advances in Agronomy 7:193−2191.

Turner, N. C. and Asseng, S. 2005. Productivity, sustainability, and rainfall-use efficiency in Australian rainfed Mediterranean agricultural systems. Aust. J Agric Res. 56: 1123-1136

Turner, N. C. and Nicolas, M. E. 1987. Drought resistance of wheat for light textured climate. In J. P. Srivastava, E. Proceddu, E. Acevedo, and S. Varma (eds.), Drought tolerance in winter cereals. John Wiley and Sons, New York. P. 203-219.

Van de Geijn S.C.and Goudriaan, **J.1996.** The effects of elevated CO_2 and temperature change on transpiration and crop water use. p. 101−121. In F. Bazzaz,

W.G. Sombroek (ed.) Global climate change and agricultural production. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Wiley, Chichester.

Vasquez-Tello, A. 1990. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in Phaseolus and Vigna species. J. Exp. Bot. 41(228): 827–832.

Wang, B. Huang, J. C. and Wangh, H. 1989. The correlation of proline accumulation and drought resistance in various plants under water stress conditions. Acta Phytophysiologica Sinica, 15 (1): 46-51.

Watson, 1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I: Variation in net assimilation rate and leaf areas between species and varieties. Ann. bot. 11: 41-76.

Xin Z.; Franks, Z.; Payton, P. and Burke, J.J. 2008. A simple method to determine transpiration efficiency in sorghum. Field Crops Research 107:180−183.

Xin, Z.; Aiken, R. and Burke, J. 2009. Genetic diversity of transpiration efficiency in sorghum. Field Crop Research. 1

Yadav, R. B. R, Bhatt, R.K and Katiyar, D.S. 1991. Physiological evaluation of fodder sorghum genotypes for drought tolerance. Sorghum Newsletter, 32: 59

Zhu, J. K.; Hasegawa, P. M. and Bressan, R. A. 1997. Molecular aspects of osmotic stress in plants. Critical Rev. in Plant Sci. 16: 253–277.

Abstract

The study was carried out in the laboratories of Field Crops Department and the General Commission for Biotechnology and Aby Jarash Farm in the Faculty of Agriculture, Damascus University, during the growing season 2016 – 2017, in order to evaluate the response of some sorghum genotypes to osmotic stress at the seedling stage level using a rapid lab. Screening technique, based on the response to osmotic stress induction and studying importance of induction in improving the tolerance of sorghum seedlings to otherwise lethal levels of osmotic stress.

Another experiment was conducted at the level of mature plants in pots, to evaluate the performance of the investigated sorghum genotypes based on water use efficiency (WUE) trait using the gravimetric method, in response to moisture stress conditions, in addition to some other morphological, physiological and biochemical traits, which are genetically- associated with drought tolerance and maintenance of the production capacity. The laboratory experiment was laid according to the Complete Randomized Design (CRD) with three replications.

The length of seedling was significantly higher in the control treatment (19.31 cm), and the mean length of the seedling decreased significantly with the increase in the level of the osmotic stress in the growth medium. The optimum lethal osmotic stress level (Mpa - 1.8) caused a decrease in the seedling length by 50.03% compared to the control, and accordingly is considered as the optimum lethal osmotic level. The decrease in the length of the roots and the seedlings was significant lower (7.77, 8.45% respectively) at the induction osmotic level (Mpa -0.4) compared to the other induced solution levels, which is considered as the optimal induction level. The mean decrease in length of roots and the seedlings was significant lower in the osmotically-induced seedlings (10.87 and 9.37 cm respectively), while it was significantly the highest in non-induced seedlings (41.75 and 33.17 cm respectively), indicating the importance of induction in improving sorghum tolerance to lethal levels of osmotic stress. ICSV 25274 and Rezinia of sorghum genotypes are classified as highly osmotic-stress-tolerant genotypes, while ICSSH 29, ICSV574, and NTJ 2 are classified as highly-sensitive to osmotic stress because they showed the lowest overall seedling length and highest reduction percentage. The pot culture experiment was laid according to the complete randomized block design (RCBD) with three replications for each genotype and treatment.

The average amount of cumulative water transpired was significantly higher in the genotype ICSV35274 (165.50 kg pot^{-1}), followed with significant differences in the genotype SSV84 (135.40 kg

pot^{-1}), While it was significantly the lowest in the genotypes Rezinia and ICSB675 without significant differences between them (49.36 and 47.85 kg pot^{-1} respectively). The variance in the average quantity of accumulative water transpired is due to the variation in the rate of water loss by transpiration, where it is noticed that the genotypes that showed significantly minimum transpiration rate exhibited also the minimum accumulative water transpired during the entire experimental period, such as Reziniz and ICSB675 (0.98 and 2.06 g dcm^{-2} day^{-1} respectively) with no significant differences between them. On the other hand, the genotypes that showed the highest mean loss of water also had significantly higher mean of the accumulative water transpired, such as in the genotype ICSV 25274 (0.66 g dm^{2-} day^{-1} respectively). The mean total dry matter was significantly higher in the genotype ICSV25280 (1844 g), followed with significant differences by the genotype ICSSH29 (1708 g), while it was significant the lowest in the serotypes Rezinia, ICSB675 and ICSB479 without significant differences among them (570.00, 505.30 and 469.30 g respectively). The variation in the amount of total dry matter manufactured between the genotypes is also attributed to the variation in the rate of water loss by transpiration and as a consequence the total amount of water transpired, where it can be noticed that the genotypes that produced significantly larger amount of dry matter are the same which showed significantly higher amount of accumulative water transpired (ICSV25280, ICSSH29, ICSSH30 and ICSV25274), and vice versa (Rezinia, ICSB675 and ICSB479), due to a linear correlation between the rate water loss by transpiration and the assimilation rate. The difference between the genotypes in the total amount of produced dry is also due to variation in source size (leaf area duration: LAD). It was observed that the average leaf area duration was significantly higher in some genotypes which have significantly higher total dry matter, such as ICSSH29, ICSSH30 and ICSV25274 (15.63, 20.39 and 17.74 m ^{2} respectively), whereas the genotypes that produced significantly less total dry matter, such as Rezinia and ICSB479 exhibited significantly lower leaf area duration values (4.39 and 10.71 m^{2}), which confirms the importance of maintaining the source size (assimilating surface) and the stay green to increase the photosynthetic efficiency. However, exacerbated increase in the source size as with the genotypes ICSB675 and SSV84 (23.02 and 22.69 m^{2}), might lead to a remarkable reduction in the total amount of dry matter production and accumulation (505.30 and 1328.00 g) , which might attributed mainly to increase the rate of water loss by transpiration, especially under water stress conditions, which become much larger than the amount of water absorbed by the root system, causes the plants to reduce the stomatal opening to the extent of complete closure of the pores, which leads to the disruption of the cooling

effect of the water loss, causing the premature senescence of the leaves, in particular the lower leaves, which negatively affects on the assimilating surface.

The mean water use efficiency was significantly higher in the genotype ICSV25280 (20.20 g dry matter kg^{-1} water), followed by significant differences in genotypes ICSB324 and ICSSH29 (17.66 and17.93 g dry matter kg^{-1} water respectively) with no significant differences between them, whereas it was significantly lower in genotype ICSB479 (7.35 g dry matter kg^{-1} water). The high value of water use efficiency in the genotype ICSV25280 is due to an increase in the total dry matter quantity (1844 g) and a relatively low amount of cumulative water transpired (88.76 kg pot^{-1}), as well as the genotypes ICSB324 and ICSSH29, which recorded the highest value of total dry weight (1232.66 and 1707.66 g respectively). They also had a relatively low amount of cumulative water transpired (100.90 and 67.94 kg pot^{-1} respectively). The low water use efficiency of the genotype ICSB479 (7.35 g dry matter kg^{-1} water) is due to its low photosynthetic efficiency, where the total amount of dry matter produced by photosynthesis process was very low (570 g). On the other hand the cumulative water transpired was at the same time quite big (84.94 kg). The lower value of the water use efficiency of the two genotypes ICSV25274 and SSV84, although they could produce relatively large amount of dry matter compared with some other genotypes (1327.66 and 1397.33 g respectively), could be attributed to their significantly higher average of cumulative water transpired (135.40, 156.50 kg respectively). The genotypes ICSV25280, ICSSH29 and ICSB324 are generally classified within the capacity types, because they produce more dry matter with less water consumption, while the genotypes SSV84 and ICSV35274 are classified as inefficient genotypes (conductance types), but the increase in water loss in these genotypes was also associated with an increase in photosynthesis and then the total amount of dry matter produced. They are also highly productive genotypes, but they are not recommended for planting in environments with limited water resources compared to ICSV25280. The mean dry weight of the top parts was significantly higher in the genotype ICSV25280 (1793.0 g $plant^{-1}$), followed by the genotype ICSSH29 (1626 g $plant^{-1}$), while the mean dry weight of the aerial parts was significant lower in the genotypes Reziniz, ICSB675 and ICSB479 without significant differences among them (416.3, 447.3 and 510.7 g $plant^{-1}$ respectively). The genetic variation in the dry weight of the aerial parts is due to the variation in efficiency of the genotypes in maintaining the source size and the photosynthetic efficiency. The results indicate that the

average leaf area duration effective in photosynthesis was significantly higher in the genotypes ICSSH30 and SSV84 (20.39 and 22.69 m^2 respectively), while it was significantly the lowest in both Rezinia and ICSB479 (4.931 and 10.71 m^2 respectively), indicating the importance of maintaining the assimilating surface, and the plant photosynthetic efficiency to increase the biomass of above-ground parts.

The variation in the dry weight of the aerial plant parts can be attributed to the variation in the amount of dry matter devoted to the roots. The genotypes that showed significantly higher mean dry weight of the roots, such as SSV84, ICSSH30, ICSSH29 and ICSV25274 (105.39, 85.00, 81.33 and 71.33 g $plant^{-1}$, respectively), exhibited also significantly the highest mean dry weight of aerial parts (1222.0, 1388.0, 1626.0 and 1326.0 g respectively). On the other hand, the genotypes which revealed significantly the lowest mean dry weight of roots, such as ICSB675 and Rezinia (49.00 and 53.00 g $plant^{-1}$ respectively), showed significantly lower average dry weight of shoots, with the exception of genotype ICSV25280 (1793.0 g), where the mean dry weight of the upper plant parts was significant, but the mean dry weight of the roots was significantly lower (50.67 g Plant $^{-1}$). In general, increasing the size and weight of the hidden parts (roots) increases the absorption surface area, leading to the absorption of a larger amount of water and mineral nutrients reaching into the water stream in the xylem sap, and to the plants upper parts, this increases the rate of growth and development. The mean ratio of solutes leakage through the cytoplasmic membranes was significantly higher in the genotypes ICSB479, ICSB324, ICSV25280, and Rezinia (0.59, 0.70 and 0.76.0.84 respectively), with no significant differences among them, while it was significantly the lowest in the two genotypes SSV84, CSV25274 without significant differences between them (0.40 and 0.0.41respectively). The fraction of leached solutes accounts for the amount of damage to the cytoplasmic membranes caused by water stress. Drought causes the formation of porous cytoplasmic membranes which lose their selectivity. The mean content of soluble sugars in alcohol was significantly higher in the Rezinia genotype (172.0 μg g^{-1} fresh weight), while it was significantly lower in the genotypes ICSV25280 and ICSB 324 with no significant differences between the last two (111.8, 112.6 μg g^{-1} fresh weight).

The mean content of the proline in the leaves was significantly higher in the genotypes SSV84, ICSB324, ICSV25274, and ICSSH30 with no significant differences among them (4.895, 4.364, 4.255 and 4.085 mg g^{-1} fresh weight respectively), while it was the lowest was in g the genotypes ICSB675, ICSV25280, and Rezinia with no significant differences among them (1,483, 1,521 and 1.704 mg g $^{-1}$ fresh weight

respectively). In general, sorghum plants produce proline and alcohol-soluble sugars under water stress conditions, and their accumulation generally helps to improve plants' tolerance to water stress by increasing the amount of water absorbed, and to some extent sufficient to compensate for the amount of water available and maintain the intracellular turgor pressure and to ensure the continued partial opening of stomata, and the diffusion CO_2 required for photosynthesis and dry matter manufacturing. It was also observed that some genotypes that maintained the cytoplasmic integrity (SSV84, ICSV35274 and ICSSH30) had a significantly higher proline accumulation rate (4,895, 4.085 and 4.255) indicating the importance of these osmoprotectants in maintaining the stability of cellular membranes.

In general, it is recommended to adopt the screening technique developed to evaluate the performance of the sorghum genotypes at the young seedling stage, after making sure of its effectiveness at the field level, especially in the case of a very large number of genotypes to save, time and money, because this laboratory technology is very fast and does not require expensive and complicated equipment.

The genotypes ICSV25280, ICSSH29, ICSB324 are classified as capacity types, and are desirable from a production point of view, while the SSV84 and ICSV35274 genotypes are classified as conductance types, which are undesirable under water-stressed environments.