



جامعة دمشق
كلية الزراعة
قسم المحاصيل الحقلية

تقييم استجابة بعض طرز الفول (*Vicia faba* L.) للإجهاد المائي خلال مراحل النمو المختلفة

Evaluating the Response of Some Broad Bean (*Vicia faba* L.) Genotypes to Water Stress During Different Growth Stages

رسالة أُعدت لنيل درجة الماجستير في علوم المحاصيل الحقلية

(قسم المحاصيل الحقلية)

إعداد

ولاء محمد عمار

إشراف

د. علا مصطفى

أ. د. أيمن الشحاذاة العودة

باحثة في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية

أستاذ بيئة وفيزيولوجية المحاصيل الحقلية

كلية الزراعة - جامعة دمشق

(مشرفاً مشاركاً)

(مشرفاً رئيساً)

الملخص العربي

تُنفَّذت الدراسة الحقلية في محطة بحوث قرحتا، التابعة للهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، إدارة بحوث المحاصيل، خلال الموسم الزراعي 2017-2018، لتقييم أداء بعض الطرز الوراثية من الفول تحت ظروف الإجهاد المائي المطبَّق خلال مراحل الإزهار، وتشكل القرون، والنضج الفيزيولوجي (امتلاء البذور)، اعتماداً على بعض الصفات الشكلية والفيزيولوجية والبيوكيميائية المرتبطة وراثياً بالغلَّة البذرية ومكوناتها، والخصائص النوعية للبذور، بهدف تحديد الصفات المفتاحية المرتبطة وراثياً بتحسين تحمل الجفاف، لاعتمادها كمعايير انتخاب في برامج التربية والتحسين الوراثي لمحصول الفول، وتحديد الطرز الوراثية الأكثر تكيفاً وإنتاجية في البيئات المُجهدة تحت ظروف الزراعة المطرية. تَمَّت الدراسة على ثمانية طرز وراثية من الفول، تضمَّنت صنفين معتمدين (حماة²، حماة³)، وسلالاتٍ مباشرة (HBP/SOD/2008، HBP/SOD/2007، HBP/SOE/2008، ع04/52، ع04/56، ع04/57). وضعت التجربة وفق تصميم القطاعات الكاملة العشوائية، بترتيب القطع المنشقة، بواقع ثلاثة مكررات لكلٍ من المعاملات والشاهد.

سبَّب الإجهاد المائي تراجعاً معنوياً في جميع الصفات المدروسة، عدا صفات محتوى البرولين، وتركيز المألوندي ألدهيد، ونسبة الذائبات المتسربة، التي ازدادت تحت ظروف الإجهاد المائي خلال مختلف المراحل التطورية المدروسة. وتباينت استجابة الطرز الوراثية المدروسة للإجهاد المائي باختلاف المرحلة من حياة النبات التي تعرَّضت للإجهاد المائي. كان متوسط نسبة الانخفاض في صفة ارتفاع النبات تحت ظروف الإجهاد المائي بالمقارنة مع الشاهد قرابة 14.67%. وكان متوسط ارتفاع النبات الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 عند معاملة الشاهد خلال مراحل النضج الفيزيولوجي وتشكل القرون والإزهار وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (83.50 سم لكلٍ منها)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي ع04/56 (38.20 سم). وسبَّب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط عدد الأوراق على النبات مقداره 11.64%. وكان متوسط عدد الأوراق على النبات الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي ع04/57 عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (102.0 ورقة.نبات⁻¹)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي

خلال مرحلة الإزهار لدى الصنف حماة³ (59.60 ورقة.نبات⁻¹). وكان متوسط عدد الأفرع في النبات الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOE/2008، وع 04/52 خلال مراحل النمو الثلاث، وعند معاملة الإجهاد خلال مرحلتي الإزهار وتشكل القرون لدى الطراز الوراثي حماة² (3.000، 3.000، 3.000، 2.833، 2.833، 2.833، 3.067، 2.700 فرعاً.نبات⁻¹ على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع 04/56 (1.700 فرعاً.نبات⁻¹). كان متوسط عدد الأيام حتى الإزهار الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 عند معاملتي الإجهاد المائي، والشاهد خلال كافة مراحل النمو وبدون فروقات معنوية بينها (78.00، 77.67، 77.67، 77.67، 77.67، 77.67 يوماً على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الطراز حماة² عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلتي تشكل القرون، والنضج الفيزيولوجي، وعند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث وبدون فروقات معنوية بينها (75.67 يوماً لكل منها على التوالي). وكان متوسط عدد الأيام حتى النضج الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو كافة لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (153.0 يوماً لكل منها)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع 04/57 (144.7 يوماً). وكان متوسط عدد القرون في النبات الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل تشكل القرون، والإزهار، والنضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 وبدون فروقات معنوية بينها (16.00 قرن.نبات⁻¹ لكل منها)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطرازين HBP/SOD/2008، وحماة³ وبدون فروقات معنوية بينهما (2.00 قرن.نبات⁻¹ لكل منهما). وكان متوسط عدد البذور في المتر المربع الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النضج الفيزيولوجي، وتشكل القرون، والإزهار لدى الطراز الوراثي ع 04/52 (499.5، 499.5، 499.3 بذرة.م⁻²)، وبدون فروقات معنوية بينها، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي ع 04/52 (41.00 بذرة.م⁻²). وكان متوسط عدد البذور في القرن الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو التطورية الثلاث لدى الطرازين ع 04/52، ع 04/57 (3.400، 3.400، 3.400، 3.067، 3.067، 3.067 بذرة.قرن⁻¹ على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة

الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (1.000 بذرة.قرن⁻¹). وكان متوسط وزن المائة بذرة الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث لدى الطراز ع04/52 (184.6 غ لكل منها)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطرازين الوراثيين ع04/56، و ع04/57 وبدون فروقات معنوية بينهما (94.34، 95.24 غ على التوالي). وسبب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط الغلة البذرية مقداره 46.87 %، ما يُشير إلى أهمية توافر المياه بكميات كافية خلال مختلف مراحل النمو لبلوغ الطاقة الإنتاجية الفعلية ضمن المعطيات المناخية السائدة في منطقة الزراعة، وحزمة الممارسات الزراعية المطبقة. وكان متوسط الغلة البذرية الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث لدى الطرازين الوراثيين حماة²، و HBP/SOD/2007 (443.5 غ.م⁻² لكل منها، 443.0 غ.م⁻² لكل منها على التوالي)، وبدون فروقات معنوية بينهما، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (119.2 غ.م⁻²). وكان متوسط الغلة الحيوية الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث لدى الطرازين الوراثيين ع04/52 و HBP/SOD/2007 (885.0 غ.م⁻² لكل منها، 877.5 غ.م⁻² لكل منها على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي ع04/57 (354.3 غ.م⁻²). وكان متوسط دليل الحصاد الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث لدى الطراز الوراثي حماة² (53.76 % لكل منها)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الصنف حماة³، وخلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/57 (25.39، 28.21 % على التوالي). وكان متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطرز الوراثية HBP/SOD/2007، و HBP/SOE/2008، وع04/52، وع04/57 خلال مرحلة الإزهار، ولدى الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2007، وع04/52 خلال مرحلة تشكل القرون (87.92، 86.58، 84.78، 83.91، 86.29، 84.67 % على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/57 (31.04 %). وسبب الإجهاد المائي زيادةً في تركيز البرولين مقدارها 38.92 % بالمقارنة مع الشاهد.

وكان متوسط محتوى البرولين في الأوراق كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز HBP/SOD/2007 (26.15 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطرازين الوراثيين حماة³، وع04/57، وخلال النضج الفيزيولوجي لدى الطراز ع04/56 (4.027، 4.474، 4.726 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء على التوالي). وازدادت أيضاً نسبة الذائبات المتسربة بتأثير الإجهاد المائي بنحو 5.37%، وكانت نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الصنف حماة³ (86.46%)، في حين كانت الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين الوراثيين ع04/52، و HBP/SOD/2007، وخلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز ع04/52 (64.48، 65.25، 65.54% على التوالي). وكان تركيز المألوندي ألدهيد الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز ع04/56، وع04/52، و HBP/SOD/2007، وحماة³ بدون فروقات معنوية بينها (65.70، 65.52، 62.92، 62.41 نانومول.MDA.غ⁻¹ وزن رطب على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين HBP/SOD/2007، و HBP/SOE/2008 بدون فروقات معنوية بينهما (15.74، 16.18 نانومول.MDA.غ⁻¹ وزن رطب على التوالي). وكان متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث لدى الطرازين الوراثيين ع04/57، ع04/52، والصنف حماة²، وعند معاملة الإجهاد خلال مرحلتي الإزهار والنضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/57 (23.85، 23.85، 23.85، 23.38، 23.38، 23.38، 23.32، 23.32، 23.32، 23.01، 23.38% على التوالي)، وبدون فروقات معنوية بينها، في حين كان الأدنى معنوياً معاملة الإجهاد خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (18.73%). وكان الطرازان الوراثيان حماة²، و HBP/SOD/2007 الأفضل من الناحية التكيفية والاقتصادية، بسبب تفوقهما في صفة الغلة البذرية. وكان الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 الأكثر تكيفاً مع ظروف تراجع محتوى التربة المائي خلال مراحل النمو المختلفة مع الاحتفاظ بكفاءته في إعطاء غلة بذرية معنوياً أكبر بالمقارنة مع باقي الطرز المدروسة، وتفق معنوياً على الأصناف المعتمدة محلياً مثل حماة²، وحماة³، لأنه امتلك مجموعة من الصفات المرتبطة

بتحسين الغلّة البذرية، مثل عدد القرون في النبات، وعدد البذور في المتر المربع، التي تُعدّ من الصفات المفتاحية في عمليات التحسين الوراثي وانتخاب الطرز الأكثر تحملاً للإجهاد مع المحافظة على كفاءة المحصول الإنتاجية. عموماً، تختلف الصفات المرتبطة بتحسين الغلّة البذرية ومستوى التحمل للإجهاد المائي في الفول باختلاف الطرز الوراثية، والمرحلة من حياة النباتات التي تتعرّض فيها للجفاف. وتُعدّ صفة عدد القرون في النبات، وعدد البذور في وحدة المساحة من الأرض، ومتوسط وزن المائة بذرة من أهم مكونات الغلّة البذرية العددية في محصول الفول تحت ظروف الزراعة المناسبة. وتُعدّ صفة المحافظة على ثباتية الأغشية السيتوبلاسمية من الصفات الفيزيولوجية المحددة لمكونات غلّة محصول الفول العددية (عدد البذور في المتر المربع، ومتوسط وزن المائة بذرة). وتُعدّ المحافظة على قيم مرتفعة من محتوى الماء النسبي في الأوراق من أهم الصفات الفيزيولوجية المحددة لسلامة الأغشية السيتوبلاسمية في البيئات المجهدّة مائياً. ويُعدّ تراكم مركب المألوندي ألدهيد من المؤشرات الدالة على مقدار الضرر في الأغشية السيتوبلاسمية جرّاء تخريب المواد الدهنية المفسفرة. وتُعدّ صفة المحافظة على سلامة الأغشية السيتوبلاسمية من الصفات الفيزيولوجية المرتبطة بتحسين تحمّل الجفاف خلال مختلف مراحل النمو مع المحافظة على كفاءة محصول الفول الإنتاجية.

المقدمة Introduction

يُعدّ الفول من المحاصيل البقولية الغذائية Food legumes المهمة في الكثير من دول العالم. وتُعدّ بذور الفول ذات قيمة غذائية مرتفعة، نظراً لارتفاع محتواها من البروتين Protein (26-29%)، وتُستعمل بشكل رئيس في تغذية الإنسان (Avola وزملاؤه، 2009)، حيث تُستهلك بذوره الجافة في تحضير الفول المدمس، وتُستعمل القرون الخضراء في الطهي وتحضير العديد من الأطباق (البلقيني، 2007). وإنّ لمحصول الفول، مثل كل المحاصيل البقولية أهمية كبيرة في الدورة الزراعية Crop rotation، حيث يتميز بقدرته على تثبيت الآزوت الجوي حيوياً في التربة بواسطة بكتيريا العقد الجذرية *Rhizobium leguminosarum*، ما يسهم في تحسين خصوبة التربة Soil fertility، وتقليل الاعتماد على الأسمدة المعدنية، الأمر الذي يقلل من تكاليف الإنتاج الزراعي ويُحسن من دخل المزارع ومستوى معيشته.

يأتي الفول في المركز الرابع بين المحاصيل البقولية من حيث المساحة Area والإنتاج Production في العالم. وأشارت إحصائيات منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) لعام 2017 إلى أنّ الصين تصدر الدول المنتجة للفول الجاف، وتحتل الجمهورية العربية السورية المركز السابع عشر في الإنتاج الكلي، والمركز العشرين في المساحة المحصودة، والمركز الحادي والثلاثين في الإنتاجية على مستوى العالم. يُزرع الفول تحت ظروف الزراعة المطرية في العديد من الدول العربية، حيث بلغت المساحة المزروعة بمحصول الفول عربياً قرابة 296.82 ألف هكتاراً، والإنتاج 434.79 ألف طنناً من البذور الجافة، ومتوسط الإنتاجية Productivity نحو 1464.84 كغ.هكتار⁻¹ (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، 2017). وبلغت المساحة المزروعة في سورية عام 2017 المخصصة للحصول على القرون الخضراء قرابة 6295 هكتاراً، في حين بلغت المساحة المزروعة لإنتاج بذور الفول نحو 19087 هكتاراً. وبلغ متوسط المساحة المروية المزروعة بمحصول الفول في القطر العربي السوري خلال عام 2017 المخصصة لإنتاج بذور الفول قرابة 16921 هكتاراً، بمتوسط إنتاجية 1721 كغ.هكتار⁻¹، في حين بلغ متوسط المساحة المزروعة بعللاً (الزراعة المطرية)، قرابة 2166 هكتاراً، بمتوسط إنتاجية قرابة 1070 كغ.هكتار⁻¹ (المجموعة الإحصائية الزراعية السورية السنوية، 2017).

يُزرع محصول الفول تحت ظروف الزراعة المطرية في محافظات درعا، وحمص، والقنيطرة، وحماة، وادلب، وطرطوس، والغاب، والحسكة في مناطق الاستقرار الأولى والثانية التي يزيد فيها معدل الهطول المطري السنوي عن 300 ملم سنوياً مع مراعاة وجود توزيع جيد للأمطار (المصدر، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية). ويُلاحظ بالمقارنة بين متوسط الإنتاجية تحت ظروف الزراعتين المطرية والمروية أنّ نسبة الانخفاض في الإنتاجية تحت ظروف الزراعة المطرية تُقدّر بنحو 61.23%، ويُعزى ذلك إلى حقيقة أنّ محصول الفول من الأنواع النباتية الحساسة للجفاف (Khan وزملاؤه، 2007؛ Ammar وزملاؤه، 2014). وتختلف نسبة الانخفاض في الإنتاجية باختلاف المرحلة من حياة النبات التي تتعرض للإجهاد المائي، ومعدل الهطول المطري السنوي، وطبيعة توزيع الهطولات المطرية خلال موسم الزراعة، إضافةً إلى قوام التربة ومقدرتها على الاحتفاظ بالمياه، والعوامل الجوية السائدة خلال موسم النمو. ولا يمكن في بيئات حوض المتوسط التنبؤ بمعدّلات الهطول المطري، التي تنجم عن ظروف بيئية غير مستقرة، وأقلّ ملاءمةً لنمو نباتات المحاصيل الشتوية التي تُزرع تحت ظروف الزراعة المطرية (الحبوب، والبقوليات)، وبخاصةً في حال انحباس الأمطار خلال المراحل المتقدمة الحرجة من دورة حياة المحصول (Richards وزملاؤه، 2002). وعادةً ما يكون التفاعل بين العوامل الوراثية والعوامل البيئية Genotype by environment interactions مرتفعاً، والذي يُعرّف بأنه التباين في الأداء النسبي للطرز الوراثية ضمن مواقع بيئية مختلفة (Cooper و Byth، 1996)، الأمر الذي يجعل عملية اختبار أداء الطرز الوراثية وانتخاب الطرز المتفوقة Superior genotypes عملية معقّدة، ما يُقلّل من تحقيق التقدم الوراثي Genetic progress المطلوب (Fox و Romagosa، 1993).

لا يمكن في بيئات حوض المتوسط التنبؤ بمعدّلات الهطول المطري Rainfall is unpredictable التي تنجم عن ظروف بيئية غير مستقرة، وأقلّ ملاءمةً لنمو نباتات المحاصيل الشتوية التي تُزرع تحت ظروف الزراعة المطرية (الحبوب الصغيرة، والبقوليات)، وبخاصةً في حال انحباس الأمطار المتزامن مع ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط خلال المراحل المتقدمة الحرجة (الإزهار Anthesis، وامتلاء الحبوب/البذور Grain/seed filling) من دورة حياة المحصول، الأمر الذي يؤدي عادةً إلى تراجع غلة الأنواع المحصولية الاقتصادية، وتباين نسبة

الانخفاض حسب شدة الإجهاد المائي، ومدته، والمرحلة التطورية التي تتعرض خلالها النباتات لظروف الجفاف.

يُعدّ كل من إجهادي الجفاف Drought والملوحة Salinity من أهم العوامل البيئية المحددة لنمو نباتات محصول الفول وإنتاجيته (Khan وزملاؤه، 2007). ويُعدّ الجفاف بشكل خاص من العوامل البيئية الرئيسة المحددة لنمو نباتات الفول وتطورها وإنتاجيتها في العديد من دول العالم (Passioura، 2007). وقد بيّن Reynolds وزملاؤه (2005) أنّ الجفاف ظاهرة بيئية معقدة جداً يمكن أن تحدث خلال فتراتٍ مختلفة أثناء نمو المحصول Intermittent water stress، وعادةً ما يحدث، في بيئات حوض المتوسط عامةً، وسورية خاصةً خلال المراحل المتقدمة الحرجة من حياة النبات Terminal water stress، ويمكن أن يتكرر أكثر من مرةً ولفتراتٍ مختلفة في طولها خلال كامل موسم النمو (Ceccarelli، 1991). ويتوقف مقدار الضرر الناجم عن الإجهاد المائي على شدته Drought intensity، ومدته Duration، والمرحلة التطورية Developmental stage التي يتعرّض خلالها النبات للإجهاد المائي (Germ وزملاؤه، 2005). وحتى تتمكن النباتات من المحافظة على استمرار نموها وإعطاء إنتاجية جيدة، لا بدّ من أن تتكيف مع الظروف البيئية غير الملائمة، عن طريق إحداث تبدلات تكيفية شكلية وفيزيولوجية، وبيوكيميائية، وجزيئية، مرتبطة بالمحافظة على ميزان العلاقات المائية داخل خلايا الأجزاء النباتية المختلفة، والمحافظة على محتوى التربة المائي لأطول فترة زمنية ممكنة، لضمان استمرار سير العديد من العمليات الحيوية المرتبطة بزيادة معدّل تصنيع المادة الجافة وتراكمها وبخاصةً عمليتي التمثيل الضوئي Photosynthesis، والتنفس Respiration (R)، ويمكن تحقيق ذلك من خلال زيادة معدّل امتصاص المياه، أو من خلال تقليل معدّل فقد المياه بالنتح Transpiration (Hasegawa وزملاؤه، 1984). وتُعدّ عملية فهم آليات استجابة نباتات الفول للإجهاد المائي خلال مختلف مراحل النمو، والصفات الشكلية والفيزيولوجية والبيوكيميائية المرتبطة وراثياً بتحسين تحمل الإجهاد المائي خلال كل مرحلة من القضايا البحثية المهمة، بهدف تحديد الطرز الوراثية الأكثر تكيفاً مع ظروف الزراعة الجافة (المطرية) مع المحافظة على الكفاءة الإنتاجية، إضافةً إلى أهمية توصيف المادة الوراثية المدروسة بما يخدم برامج التربية والتحسين الوراثي، ويُسهّل عمل مربّي النبات في اختيار الآباء المناسبة حسب الأهداف الموضوعية لكل برنامج تربية.

مبررات البحث Research justifications

تتجلى أهمية هذا البحث في تقييم أداء بعض طرز الفول استجابةً لظروف الإجهاد المائي خلال مراحل النمو المختلفة على مستوى النبات الكامل تحت ظروف الزراعة الحقلية، بهدف تحديد الطرز الوراثية الأكثر تكيفاً مع ظروف العجز المائي، والصفات المرتبطة بتحمل الجفاف مع المحافظة على كفاءة المحصول المدروس الإنتاجية، والمرحلة/المراحل من دورة حياة المحصول الأكثر حساسيةً لظروف العجز المائي، وستتم عملية التقييم لهذه الطرز الوراثية، اعتماداً على مجموعة من الصفات التي لم يسبق دراستها محلياً، لضمان تقديم هوية وراثية واضحة لكل طراز وراثي، لتسهيل عمل مربّي النبات في اختيار الآباء المناسبة في برنامج التربية والتحسين الوراثي، والانتخاب على أسس فيزيولوجية وبيوكيميائية تضمن تحقيق تقدم وراثي حقيقي خلال الأجيال الانعزالية المبكرة. ويصب هذا العمل ضمن التوجيهات الاحترازية والخطوات الاستباقية التي يجب أن تقوم بها الهيئات البحثية والمؤسسات الأكاديمية، تحسباً للتغيرات المناخية، للحد من تدهور الإنتاجية أو المحافظة على ثباتية غلة الأنواع المحصولية الغذائية الحبية والبقولية، بما يضمن استمرار تأمين الاحتياجات الثانية الغذائية المتزايدة.

أهداف البحث Research objectives

- 1- تقييم أداء بعض طرز الفول استجابةً للإجهاد المائي المطبق خلال مراحل مختلفة من دورة حياة المحصول [الإزهار، وتشكل القرون، وامتلاء البذور (النضج الفيزيولوجي)]، اعتماداً على بعض الصفات الشكلية، والفيزيولوجية، والبيوكيميائية، والإنتاجية، والنوعية.
- 2- تحديد المراحل الحرجة من حياة النبات لنقص المياه اعتماداً على مفهوم الانخفاض النسبي في الغلة البذرية.
- 3- تحديد الصفات المفتاحية المرتبطة بتحسين تجنب الجفاف وتحمله تحت نظم الزراعة الجافة، لتسهيل عمل مربّي النبات في اختيار الآباء المناسبة، لضمان تحقيق كسب وراثي حقيقي في برامج التربية والتحسين الوراثي التقليدية.

الدراسة المرجعية Literature review

يتبع الفول Broad bean (*Vicia faba* L.) للجنس *Vicia* وتحت العائلة *Faboideae* والعائلة البقولية *Fabaceae*، ويتبعه العديد من الأنواع البرية والمزروعة المنتشرة على نطاق واسع في معظم دول شرق حوض المتوسط Mediterranean basin (كف الغزال وزملاؤه، 1982).

يُعدّ الجفاف Drought واحداً من أهم الإجهادات اللاأحيائية Abiotic stresses، التي تحد من الإنتاج النباتي في معظم أنحاء العالم (Hasan و Tacettin، 2010). عالمياً، يُفقد أكثر من 50% من متوسط غلة معظم المحاصيل الرئيسة بسبب الجفاف (Zlatev و Lidon، 2012). ويؤثر الجفاف تقريباً في جميع وظائف النبات (Anjum، 2011). ويؤثر الجفاف سلباً في إنتاج العديد من الأنواع المحصولية، نتيجة تعرّض مساحات واسعة من بقاع الأرض سنوياً لموجات قصيرة أو طويلة من الجفاف المتزامن مع الحرارة المرتفعة Heat stress (Boyer، 1982؛ Ludlow و Muchow، 1990). ويمكن أن يفوق الفاقد في الغلة المحصولية بسبب الجفاف إجمالي الفاقد جرّاء العوامل الأخرى مجتمعةً (Kramer، 1980). وأدّت التغيرات المناخية Climate changes إلى اتساع رقعة الأراضي الممتلحة والقاحلة، بسبب تراجع معدّلات الهطولات المطرية السنوية وسوء توزيعها خلال موسم النمو، إضافةً إلى ارتفاع معدّلات فقد المياه بالتبخر Evaporation والنتح Transpiration، الأمر الذي أثر سلباً في حجم الموارد المائية العذبة السطحية والجوفية، وأدّى إلى زيادة وتيرة تكرار دورات الجفاف Drought frequency (Parameshwarappa و Salimath، 2008). وتقدّر مساحة الأراضي التي تخرج سنوياً من نطاق الاستثمار الزراعي بسبب التصحر Desertification والتملح الثانوي بنحو 10% من الأراضي الصالحة للزراعة، التي ستؤدي إلى انخفاض في متوسط الإنتاجية للمحاصيل الحبية والبقولية الغذائية الرئيسة بنحو أكثر من 50% (Wang وزملاؤه، 2009؛ Li وزملاؤه، 2010). ويُعدّ الجفاف المتزامن مع الحرارة المرتفعة من الإجهادات اللاأحيائية الأكثر تأثيراً في نمو نباتات الأنواع المحصولية وتطورها وإنتاجيتها، كما تُعدّ إتاحة المياه أحد أهم العوامل المحددة لإنتاجية المحاصيل الحقلية المختلفة (Reddy وزملاؤه، 2004).

يؤثر الجفاف في نمو النباتات وغلّة البذور ونوعيتها، ويُسبب تغيرات شكلية، وفيزيولوجية، وبيوكيميائية، وجزيئية في النباتات، يمكن أن تُحسن من مقدرة النباتات التكيفية Adaptive capacity في البيئات المُجهدة مائياً (Zarafshar وزملاؤه، 2014). وذكر Ghassemi-Golezani وزملاؤه (2009) أنّ الإجهاد المائي خلال أية مرحلة تطورية يُقلل من غلة الفول البذرية. وأكّد Al-Hamadany (2005) أنّ مرحلتَي تطور القرون وامتلاء البذور هي أكثر المراحل حساسيةً للجفاف في محصول الفول.

يؤدي الجفاف الناجم عن انحباس الأمطار تحت ظروف الزراعة المطرية Rainfed conditions إلى تراجع محتوى التربة المائي، وتقليل كمية المياه المتاحة في منطقة انتشار الجذور، ما يُقلّل من فرق التدرج في الجهد المائي (WPG) Water potential gradient بين التربة وخلايا المجموعة الجذرية، الأمر الذي يؤثر سلباً في كفاءة النباتات في امتصاص كمية كافية من المياه لتعويض المياه المفقودة بالنتح، ما يؤدي إلى تراجع جهد الامتلاء Turgor potential (Ψ_p) داخل خلايا الأجزاء الهوائية، وتوقف النمو، نتيجة تثبيط استطالة الخلايا النباتية Plant cell expansion (Ritchie، 1983؛ Cossgrave، 1989). ويمكن أن يؤدي استمرار فقد المياه بالتبخر - نتح، وتراجع معدّل تدفق المياه وامتصاصه من قبل المجموعة الجذرية، وبخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة إلى موت النباتات بفعل التجفاف Desiccation (Levitt، 1980).

يؤدي تعريض النباتات للإجهاد المائي إلى انخفاض البروتينات فيها، حيث يؤثر الإجهاد المائي Water stress في تصنيع البروتينات اللازمة لتشكيل خلايا نباتية جديدة، من خلال تثبيط نشاط الأنزيمات المسؤولة عن تصنيع البروتينات، مثل Nitrate Reductase، وانخفاض محتوى الحمض النووي الريبي الرسول (m-RNA) الضروري لتخليق البروتينات، فضلاً عن تثبيطه للعديد من العمليات الأيضية في الخلية المعتمدة على ضغط الامتلاء Turgor-dependent processes، وتثبيط نشاط الأنزيمات المسؤولة عن تلك العمليات، وبخاصة عمليتي التمثيل الضوئي، والتنفس، ما يؤدي إلى تثبيط النمو والتطور (Munns، 2002).

يُعدّ مؤشر محتوى الماء النسبي في الأوراق Relative leaf water content (RWC%)، بشكل خاص، واحداً من أسهل المؤشرات الزراعية التي يمكن استخدامها لغرلة

النباتات المتحملة للجفاف (Boutraa وزملاؤه، 2010). ويُمكن أن يُساعد تقدير محتوى الماء النسبي في الأوراق (LRWC%) في إعطاء فكرة غير مباشرة عن حجم المجموعة الجذرية، أو المقدرة على التعديل الحولي Osmotic adjustment (OA)، حيث تُساعد هاتين الآليتين في استخلاص وامتصاص كمية أكبر من المياه من التربة لتعويض الماء المفقود بالنتح، ما يُساعد في المحافظة على محتوى الأوراق المائي (Reynolds وزملاؤه، 2000).

وتُعدّ درجة ثباتية أغشية الخلية النباتية السيتوبلاسمية membrane stability أحد المعايير الفيزيولوجية المهمة المرتبطة بتحمل الجفاف Drought tolerance (Bandurska، 2000). ويؤدي الإجهاد المائي إلى تخريب الأغشية السيتوبلاسمية (Levitt، 1980)، ما يؤدي إلى زيادة نفاذيتها، وفقدان خاصيتها الانتقائية Selectivity، ومن ثمّ تسرب الذائبات المعدنية والعضوية المفيدة لحياة الخلية النباتية، مؤديةً إلى موتها، لذلك ترتبط حياة الخلية النباتية، ومن ثمّ القدرة على استعادة النمو Recovery growth بكفاءة النوع أو الطراز الوراثي في المحافظة على سلامة الأغشية السيتوبلاسمية Cytoplasmic Membranes (Blum و Ebercon، 1981). وتُساعد آلية التعديل الحولي في حماية الأغشية السيتوبلاسمية من حدوث الاضطرابات التركيبية أو الوظيفية Functional and structural disorders نتيجة الإجهاد المائي، فتضمن سلامة الخلية النباتية وبقاءها على قيد الحياة خلال فترة الإجهاد المائي (Blum وزملاؤه، 1986). وغالباً ما تؤدي الإجهادات البيئية المختلفة، بما في ذلك الجفاف Drought، إلى تشكيل جذور الأكسجين الحرة النشطة Reactive oxygen species (ROS) في الخلايا النباتية، التي تُخرب المواد الدهنية المفسفرة Lipid peroxidation الداخلة في تركيب الأغشية السيتوبلاسمية، وتثبط اصطناع البروتينات، وتنتفك الأحماض النووية (DNA، RNA)، ما يؤدي في النهاية إلى موت الخلايا النباتية (Sharma وزملاؤه، 2012). ويُعدّ البرولين Proline من الذائبات العضوية التوافقية Compatible organic solutes، التي تتراكم في سيتوبلازم الخلايا النباتية، وتعمل على خفض قيمة الجهد المائي (Ψ_w) Water potential داخلها، وتوليد تدرج في الجهد المائي بين الخلايا النباتية والوسط المحيط (التربة)، ما يسمح بانتقال المياه من الوسط المحيط إلى داخل النبات (Bohnert و Jensen، 1996). وذكر Khalafallah وزملاؤه (2008) أنّ الإجهاد الناتج عن الجفاف قد أدّى إلى تراكم كبير للبرولين الحر في أوراق أصناف الفول، وكانت نسبة

الزيادة في معدل تراكم البرولين الحر أعلى في الأصناف المحتملة بالمقارنة مع الأصناف الحساسة للإجهاد. عموماً، يؤدي تعرض النباتات للإجهاد المائي إلى حدوث العديد من الاستجابات التي تؤدي إلى تجفاف الخلايا النباتية Cellular dehydration المترافق مع حدوث تبدلات حلولية Osmotic changes تتمثل بإزالة المياه من السيتوبلازم إلى الفراغات بين الخلوية، ما يؤدي إلى تراجع حجم البروتوبلازم والفجوات Vacuoles، ويمكن أن يؤدي ذلك في نهاية المطاف إلى تراجع ماء الترطيب Hydration water ومن ثم تخریب البروتوبلازم وموت الخلايا النباتية، إضافةً إلى تشكيل جذور الأوكسجين الحرة، التي عادةً ما يكون لها تأثير تأكسدي ضار في تركيب الخلايا النباتية والعمليات الأيضية المختلفة (Wang وزملاؤه، 2009).

ونظراً لكون الفول من أكثر الأنواع حساسيةً للجفاف (Amede وزملاؤه، 2008؛ Torres وزملاؤه، 2010)، فإن أي فترة من الجفاف خلال دورة حياة المحصول قد تُقلّل إلى حدٍ كبير من غلّته البذرية (Mwanamwenge وزملاؤه، 1999؛ Khan وزملاؤه، 2010). لذلك، كان من الضروري تطوير طرز وراثية من الفول تتحمّل الجفاف لتحسين استقرار غلّتها في ظروف عجز المياه، وبخاصةً تحت ظروف الزراعة المطرية في بيئات حوض البحر الأبيض المتوسط (Khan وزملاؤه، 2010).

يُساعد انتخاب الطرز الوراثية المتكيفة مع ظروف الإجهاد البيئي في تحسين التكيف والتحمّل للإجهاد المائي في الأصناف (Lopes وزملاؤه، 2012). وتُعدّ الصفات التي تُساعد في تحسين إنتاجية الفول في البيئات محدودة المياه هدفاً لمربي النبات بسبب تعقيد سمة تحمّل الجفاف وتوريثها المنخفض (Annicchiarico و Iannucci، 2008؛ Khan وزملاؤه، 2010). وفي هذا الصدد، قد يؤدي استخدام صفات النبات الثانوية، المرتبطة بشكلٍ مباشر بتحسين غلّة البذور تحت ظروف الجفاف، إلى استكمال عملية الانتخاب المظهري (Lafitte وزملاؤه، 2003؛ Farooq وزملاؤه، 2009؛ Khan وزملاؤه، 2010).

يُعدّ القياس المباشر للعمليات الفيزيولوجية المتضمنة استجابة النباتات للجفاف خياراً مفيداً وعملياً لغريلة عددٍ كبيرٍ من الطرز الوراثية (Wery وزملاؤه، 1994؛ Stoddard وزملاؤه، 2006؛ Alderfasi و Alghamdi، 2010). ومع ذلك، هناك حاجة إلى وجود اختلاف وراثي كبير لتحسين التحمّل للجفاف من خلال تحديد أولاً الصفات المفتاحية المرتبطة

وراثياً بتحسين التحمل مع المحافظة على كفاءة النوع المحصولي الإنتاجية، من خلال عمليات التهجين، والانتخاب لتلك الصفات في برامج التربية والتحسين الوراثي، بهدف تطوير أصناف تمتلك مجموعة من الصفات التكيفية، بما يتناسب مع مستوى الإجهاد فقط للمحافظة على كفاءة النوع النباتي الإنتاجية (Farooq وزملاؤه، 2009؛ Khan وزملاؤه، 2010). ويمكن الاستفادة من التغيرات الشكلية والفيزيولوجية والبيوكيميائية المرتبطة بالاستجابة للجفاف في المساعدة في تحديد الطرز الوراثية المحتملة، أو تطوير طرز وراثية جديدة ذات إنتاجية أعلى وخصائص نوعية أفضل في البيئات المجعدة مائياً (Nam وزملاؤه، 2001).

بيّنت نتائج البحوث خلال خمسة مواسم زراعية متتالية في استراليا أنّ صنف الفول المُسمّى Fiord يمكن أن يعطي غلة بذرية تصل إلى 4 طن.هكتار⁻¹ حتى في المناطق التي يكون فيها معدل الهطول المطري منخفضاً (متوسط الهطول المطري أقل من 350 مم)، ولكن عادةً ما تنخفض الإنتاجية بشكلٍ كبير إذا ما تأخر هطول الأمطار أو تراجع معدل الهطول المطري، أو كان توزيع الهطولات المطرية غير منتظم خلال موسم النمو. ويُعدّ الفول عموماً من الأنواع النباتية الحساسة للجفاف (Grasshoff و Verkerke، 1991). وتوجد العديد من التقارير والدراسات التي تشير إلى حساسية محصول الفول لظروف العجز المائي Water deficit خلال مختلف مراحل النمو والتطور. وبيّنت الدراسات في الصين أنّ غلة محصول الفول البذرية لم تتأثر بشكلٍ معنوي عندما تعرّضت النباتات للإجهاد المائي في بداية الإزهار فقط Floral initiation، في حين انخفضت الغلة البذرية بنحو 45% عندما تعرّضت النباتات للإجهاد المائي من بداية تطور القرون حتى اكتمال عملية عقد القرون Full pod set، وسبّب بالمقابل الجفاف المطبق خلال مرحلة ما بعد الإزهار After flowering تراجعاً معنوياً في عدد القرون وعدد البذور في النبات، وصل إلى قرابة 38% (Xia، 1994).

بيّنت نتائج دراسة حديثة لتقييم أداء عشرة طرز وراثية متباينة من الفول تحت ظروف الزراعة الحقلية في جنوب غرب أستراليا خلال موسمين زراعيين متباينين في العوامل البيئية، اعتماداً على الصفات التطورية ومؤشرات النمو وتوزيع المادة الجافة بين أجزاء النبات المختلفة والغلة البذرية Seed yield وكفاءة استعمال المياه (Water Use Efficiency (WUE، ازدياد الغلة البذرية في الطرز الوراثية المبكرة في الإزهار Early genotypes، وكانت الغلة

البذرية الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي ACC286 الذي كان في الترتيب الأول من حيث الباكورية في الإزهار، وساعد التطور السريع للمساحة الورقية في الطراز الوراثي نفسه في زيادة كمية الأشعة الضوئية الفعالة في عملية التمثيل الضوئي الممتصة Photo-synthetically (PAR) Active Radiation، ما أدى إلى زيادة كمية المادة الجافة الكلية المصنعة، ومن ثم كمية المادة الجافة المخصصة لمرحلة النمو الثمري Reproductive stage، ما أدى إلى تفوق هذا الطراز الوراثي في الغلة البذرية نتيجة زيادة كل من عدد القرون المتشكلة في النبات، وعدد البذور في القرن، ومتوسط وزن المائة بذرة. ولوحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين الغلة الحيوية الكلية Total biological yield والغلة البذرية seed yield ($r=0.89^*$)، وارتبطت أيضاً الغلة البذرية بشكل موجب ومعنوي مع صفة دليل الحصاد Harvest Index (HI)، واستعمال المياه خلال مرحلة ما بعد الإزهار ($r=0.75^*$, $r=0.71^*$) على التوالي (Mwanamwenge وزملاؤه، 1998). عموماً، تُساعد صفة الباكورية في الهروب Escape من الجفاف المتزامن مع الحرارة المرتفعة، التي عادةً ما تحدث تحت ظروف الزراعة المطرية في بيئات حوض البحر الأبيض المتوسط. وسبب الإجهاد المائي تراجعاً معنوياً في معدل نمو الأجزاء الهوائية واستطالة الأوراق Leaf expansion، ما أدى إلى تشكل أوراق ذات مساحة نوعية صغيرة Smaller specific leaf area، وازدياداً في نسبة الأوراق المتساقطة، وتراجعاً في معدل تصنيع المادة الجافة، وازدياداً في الوزن الجاف للجذور (Hussain وزملاؤه، 1990).

وبيّنت نتائج تجربة ضمن البيت الزجاجي في الصين على محصول الفول تراجعاً معنوياً في المساحة الورقية الخضراء الفعالة في عملية التمثيل الضوئي Green leaf area، ومعدل التمثيل الضوئي Assimilation rate (A) والناقلية المسامية Stomatal conductance (g_s)، وكمية المادة الجافة المصنعة والغلة البذرية لنباتات الفول المعرضة لظروف العجز المائي خلال مختلف مراحل النمو (Xia، 1994). وأكد الباحث El Nadi (1969) أنّ مرحلة الإزهار في محصول الفول العادي أكثر حساسية للإجهاد المائي من مرحلة النمو الخضري. ويُعدّ الانخفاض في الوزنين الرطب والجاف للنبات، وفي المساحة الورقية، والنضج المبكر، من الاستجابات الرئيسة للتخفيف من تأثير الجفاف في النباتات (Farooq وزملاؤه، 2009).

وجد El-Dakroury (2008) أن زيادة معاملة الريّ من 60% إلى 100% من السعة الحقلية (FC) Field capacity أدّى إلى زيادة ملحوظة في معايير نمو نبات الفول مثل ارتفاع النبات، وعدد الفروع، وعدد الأوراق، وعدد القرون في النبات، والمساحة الورقية، والوزن الجاف للساق والنبات.

وذكر Ammar وزملاؤه (2015) في دراسة تتألف من تجربتين مستقلتين، أُجريتاً لمقارنة أداء بعض أصناف الفول البلدي، وهي الجيزة بلانكا، جوف¹، الحساوي¹، الحساوي² والجزيرة² في ظروف البيئات محدودة المياه اعتماداً على بعض الصفات الفسيولوجية والغلة. أُجريت التجربة الأولى في مخبر غرفة النمو، تحت إجهاد حلولي بقيم -0.78، -0.96، -1.19، -1.65 ميجا باسكال باستخدام البولي إيثيلين جلايكول (PEG-6000) مدّة 4 أسابيع. وأُجريت التجربة الثانية في حقل مفتوح لموسمي نمو متتالين، حيث طبقت معاملات العجز المائي بعد 3 أسابيع من الزراعة، حيث تمّ تطبيق الريّ عندما بلغت كمية المياه المتبخرة نحو 50 ملم (ريّ جيد)، 100 ملم (جفاف معتدل)، و150 ملم (جفاف شديد). أدّت ظروف العجز المائي إلى انخفاض طول الجذر والقمة النامية، والمحتوى المائي في الورقة، ومحتوى الكلوروفيل الكلي Total chlorophyll، وكفاءة النظام الضوئي الثاني، وارتفاع النبات، والغلة البذرية في الفول. كما أدّت إلى زيادة محتوى الورقة من البرولين الحر، والبروتينات القابلة للذوبان، والمركبات العضوية في الورقة، في أصناف الفول المدروسة. ولوحظ اختلافات وراثية كبيرة في أداء الأصناف المدروسة.

يؤثر الجفاف في إنتاج الكتلة الحيوية للنبات (Shao وزملاؤه، 2008). ويُسبب الجفاف تبدلات شكلية/مورفولوجية تتمثل بتقليل ارتفاع النبات، والمساحة الورقية، وعدد الأوراق، وبالتالي إنتاج الكتلة الحيوية للنبات، بالإضافة إلى تأثيره في مكونات غلة محصول الفول، مثل انخفاض عدد البذور في القرن/النبات وحجمها (Jaleel وزملاؤه، 2009). ويُسبب عجز المياه في الفول انخفاضاً كبيراً في طول السلاميات، وعدد الأوراق ومساحتها، والمادة الجافة للمجموع الخضري، وعدد القرون في النبات وإنتاجية البذور (Mwanamwenge وزملاؤه، 1999؛ Mohamad Zabawi و Dennett، 2010).

أظهرت النتائج التي حصل عليها Singer وزملاؤه (2001) على صنفين مبكرين من الفول (جيزة³، برونكو) أنّ صفات طول النبات، وعدد الأوراق، ومحتوى الكلوروفيل، وعدد الأزهار تأثرت بشكلٍ معنويّ بسبب الإجهاد المائي. وخلصوا إلى أنّ الريّ الأفضل هو بتحقيق سعة حقلية قدرها 75 % و 100 % للصنفين برونكو وجيزة³ على التوالي.

وجد Nanda وزملاؤه (1988) فروقاتٍ غير معنويّة في وزن المادة الجافة، وعدد الأيام حتّى النضج، وعدد الأفرع الجانبية عند 25 طرازاً وراثياً من الفول زرعت تحت ظروف الإجهاد المائي (زراعة مطريّة) وزراعة مروية (بدون إجهاد مائي). وأشار Bianco ورفاقه (1981) إلى زيادة معنويّة في غلة البذور ودليل الحصاد لبعض طرز الفول عند زراعتها تحت ظروف مماثلة من الري بالمقارنة مع ظروف العجز المائي. ووجد Younise (2002) أنّ الإجهاد المائي خلال مرحلة النمو الخضري قلّل من عدد الأيام حتى الإزهار، في حين قلّل الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون وامتلائها من عدد الأيام حتى النضج.

أظهر Brown وزملاؤه (1985) أنّ الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار، أو تشكّل القرون يُقلّل غلّة الفول البذرية بشكلٍ معنوي. وبينّ Theib وزملاؤه (2005) في تجربة حقلية على نبات الفول في المناطق الجافة في سورية أنّه كلّما ازدادت طول الفترة التي يكون فيها معدّل فقد بالمياه بالنتج عالٍ (شدة ضوئية وحرارة مرتفعة) بالتزامن مع تراجع محتوى التربة المائي، وبخاصّةٍ خلال مرحلة الإزهار والإخصاب، سيؤدّي إلى تراجع غلّة الفول البذرية. ويُسهم الريّ التكميلي في المحافظة على استقرار الإنتاجية. ودرس Salih (1985) تأثير فترتين مختلفتين من الري في محصول الفول، ولاحظ انخفاضاً في إنتاجية البذور، وعدد القرون في النبات، وعدد البذور في القرن باستخدام فاصل زمني للري 14 يوماً بالمقارنة مع فاصل زمني مدّته 7 أيام. وقد لاحظ Farah (1981) انخفاض في عدد البذور في القرن، وغلّة البذور في النبات، وعدد القرون في النبات ووزن البذرة، بسبب تأثير فترات الجفاف. وذكر Mohamed (1989) أنّ الري بفواصل زمني 10 أيام خلال الإزهار وامتلاء القرون أدّى للحصول على أعلى غلة من البذور، بينما أعطى الري بفواصل زمني 14 يوماً خلال الإزهار أدنى غلة من البذور. كما تمّ تسجيل نتائج مماثلة للغة، ووزن 1000 بذرة، ودليل الحصاد، وعدد القرون في النبات، وعدد البذور في القرن.

وجد Negeswara Rao وزملاؤه (1985) أنّ الجفاف خلال مرحلة تشكل القرون يخفض من غلّة البذور في محصول الفول. وأشار Ageeb (1981) إلى أنّ مرحلة النمو الثمري من بين المراحل المختلفة لتطور النبات، كانت الأكثر تأثراً بالإجهاد المائي، وكانت نهاية مرحلة الإزهار وبداية تطور القرون الأكثر حساسية للإجهاد المائي. ودرس Ageeb (1982) تأثير ثلاث فترات ري (7، 14، 21 يوماً) تمّ تطبيقها خلال مراحل مختلفة من النمو المتبادل بين مراحل النمو الخضري والثمري، وخلص إلى أنّ الإجهاد المائي خلال مرحلة النمو الخضري كان له تأثير صغير في الغلّة البذرية، في حين كانت المرحلة الثانية من التطور، وهي مرحلة النمو الثمري، أكثر حساسية للإجهاد المائي.

وقد ذكر Mwanawenge وزملاؤه (1999)، الذين قاموا بدراسة تأثير الإجهاد المائي من خلال إيقاف الري عند بداية الإزهار، و 50% من الإزهار، و 50% من تشكل القرون على ثلاثة طرز وراثية مختلفة من الفول، أنّ مرحلة تشكل القرون كانت الأكثر حساسية للإجهاد المائي. وقد تجلّى ذلك في انخفاض في دليل الحصاد والغلّة من البذور بنحو 50 % في جميع الطرز الوراثية. وكذلك، أظهرت الطرز الوراثية مقدرة أفضل على استعادة النمو من الإجهاد المطبق عند بداية الإزهار بالمقارنة مع الإجهاد المطبق خلال مرحلة تشكل القرون. وقد ذكر Kramer و Boyer (1995) أنّ العوامل الجوية مثل ارتفاع درجة الحرارة، وانخفاض الرطوبة النسبية الجوية (RH%)، والرياح قد تزيد من التأثيرات الضارة للجفاف من خلال زيادة معدّل النتج.

وجد Abdelmula (1999) اختلافاً معنوياً كبيراً بين الطرز الوراثية من الفول في غلّة البذور في النبات، والكتلة الحيوية في النبات، ودليل الحصاد، وعدد البذور في النبات، ووزن 100 بذرة، وارتفاع النبات، وموعد بداية الإزهار ونهايته، وموعد النضج. وذكر Ouji وزملاؤه (2017) في دراسة لتأثير الري التكميلي في الغلّة ومكوناتها في تونس، لأربعة طرز وراثية من الفول التونسي (Bachar، Badii، Chahbi، و Locale). حيث تمّ تطبيق ريتين تكميليتين خلال مرحلتَي الإزهار وتشكل القرون، وأظهرت النتائج تأثيراً معنوياً للري التكميلي في الغلّة الحيوية، وعدد البذور في النبات، ووزن 100 بذرة، وغلّة البذور، ودليل الحصاد، وعدد الأيام حتى النضج، وتباينت غلّة البذور تحت الري التكميلي من 83.9

إلى 208.7 غ.م⁻²، وتراوح من 18.6 إلى 65.8 غ.م⁻² تحت ظروف الجفاف، بلغ متوسط الزيادة في وزن 100 بذرة تحت ظروف الري التكميلي 52.8% بالمقارنة مع الزراعة المطرية، وسجل الطراز الوراثي Bachaar أدنى عدد من الأيام حتى النضج (134.3 يوماً). وتراوح قيم دليل الحساسية للجفاف (DSI) لإنتاجية البذور من 0.8 إلى 1.13، وكان الطراز الوراثي Chahbi متحملاً للجفاف نسبياً، حيث كانت قيم دليل الحساسية للجفاف أدنى من الواحد. وأعطى هذا الطراز الوراثي غلة بذرية مرتفعة وكان أكثر تحملاً لظروف العجز المائي، لذلك يمكن إدخاله في برنامج التربية لتحمل الإجهاد من أجل تطوير طرز من الفول متحملة للجفاف. وفي دراسة أعدّها Emam وزملاؤه (2010) لتحديد استجابة صنفين من الفاصولياء (*Phaseolus vulgaris* L.) لظروف الإجهاد المائي بأربع مستويات (25، 50، 75، 100%) من السعة الحقلية. أظهرت النتائج فروقات معنوية في مؤشرات النمو والوزن الجاف لكلا الصنفين، حيث انخفض ارتفاع الساق والمساحة الورقية والوزن الجاف عند المستويين 25، و50% من السعة الحقلية، وحصل فشل في تشكيل القرون بشكل كامل. وساعدت بعض الممارسات الزراعية مثل الري التكميلي Supplementary irrigation (SI) أن تسهم في زيادة الغلة البذرية.

تتمثل الخطوة الأولى في أية عملية لتحسين كفاءة الأنواع المحصولية لتحمل البيئات المجهد مائياً، في تحديد الصفات الشكلية (المورفولوجية)، والتطورية (الفينولوجية) والوظيفية (الفيزيولوجية)، التي تسهم في تحسين المقدرة التكيفية Adaptive capacity للمحصول، وذلك بهدف المحافظة على كفاءته الإنتاجية في البيئات المجهد مائياً، حيث يساعد تحديد الصفات المفتاحية Key traits (EL-Bawab، 2002) في زيادة كفاءة الانتخاب Selection efficiency، وتحقيق كسب وراثي Genetic gain في برامج التربية والتحسين الوراثي. عموماً، يتطلب المحافظة على استقرار الإنتاجية Yield stability وزيادتها في البيئات المجهد مائياً، ضرورة تطوير طرز وراثية Genotypes تتسم بمجموعة من الصفات التكيفية المرتبطة وراثياً بتحسين تحمل الإجهاد المائي والحرارة المرتفعة، بما يتناسب مع شدة الإجهاد المائي وتوقيت حدوثه Timing، أي يجب أن يتناسب سقف التحسين الوراثي مع مستوى الإجهاد في البيئة المستهدفة، بسبب وجود علاقة ارتباط عكسية بين مستوى التحمل وكفاءة المحصول الإنتاجية (Guttieri وزملاؤه، 2001).

مواد البحث وطرائقه Materials and methods

المادة النباتية Plant material: تمت دراسة تأثير الإجهاد المائي خلال مراحل مختلفة من حياة محصول الفول [الإزهار، تشكل القرون، وامتلاء البذور (النضج الفيزيولوجي)] لدى بعض طرز الفول، التي تتضمن السلالات المبشرة (HBP/SOD/2008، HBP/SOD/2007، HBP/SOE/2008، ع04/52، ع04/56، ع04/57)، والأصناف المعتمدة كشواهد (حمأة²، حمأة³). تم الحصول على البذار للطرز الوراثية المدروسة من قسم البقوليات في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، التابعة لوزارة الزراعة والإصلاح الزراعي في الجمهورية العربية السورية. ويبين الجدول (1) توصيف المادة الوراثية المدروسة.

الجدول رقم (1): توصيف المادة النباتية المدروسة.

السلالة	عدد الأيام للإزهار (يوم)	عدد الأيام للنضج (يوم)	ارتفاع النبات (سم)	متوسط عدد الأفرع في النبات (فرع.نبات ⁻¹)	متوسط عدد البذور في القرن (بذرة.قرن ⁻¹)	الغلة (كغ.هكتار ⁻¹)
HBP/SOD/2008	88	155.5	105	5.3	4	4073.3
HBP/SOD/2007	86	154.5	102.5	5.3	3.8	3643.3
HBP/SOE/2008	87.5	156	102.5	5.4	3.9	3639.2
ع 04/52	86	155	110	4.7	3.2	4288
ع 04/56	86	154	115	4.1	3.3	4182
ع 04/57	86	154	105	5.2	3.5	4325
حمأة ²	86	154	100	4.5	4	3660
حمأة ³	86	153	110	4.8	3.5	4057

المصدر: الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية. الأصناف حمأة² وحمأة³ عبارة عن شواهد اعتمدت في سنة 2014.

المعاملات Treatments: تتضمن التجربة أربع معاملات على النحو الآتي:

- 1- شاهد مروي: تم ري النباتات خلال كامل موسم النمو بكميات كافية من المياه حسب الاحتياجات المائية لكل مرحلة تطورية، بمعدل ست ريات.
- 2- إجهاد مائي خلال مرحلة الإزهار: تم إيقاف عملية الري للقطع التجريبية الخاصة بهذه المرحلة عندما تفتحت على الأقل زهرة واحدة في 50% من النباتات من كل طراز (1) (First open flower 203 (Knott، 1990). المرحلة التطورية السادسة: الإزهار (60-69) حسب مقياس (Weber و Bleiholder، 1990)، ثم رويت هذه القطع التجريبية من نهاية فترة الإجهاد وحتى نهاية موسم النمو.

3- إجهاد مائي خلال مرحلة تشكل القرون: تم إيقاف عملية الري للقطع التجريبية الخاصة بهذه المرحلة عندما تشكل قرن واحد مرئي بطول 2 سم في 50% من النباتات (Pod set 204 (1) (Knott, 1990). المرحلة التطورية السابعة: تشكل القرون وتطورها (70-79) حسب مقياس (Weber و Bleiholder، 1990)، ثم رويت هذه القطع التجريبية من نهاية فترة الإجهاد وحتى نهاية موسم النمو.

4- إجهاد مائي خلال مرحلة امتلاء البذور (النضج الفيزيولوجي): تم إيقاف عملية الري للقطع التجريبية الخاصة بهذه المرحلة (من اكتمال تشكل جميع القرون في النبات وحتى اكتمال عملية امتلاء البذور). المرحلة التطورية الثامنة: النضج (80-89) حسب مقياس (Weber و Bleiholder، 1990).

موقع تنفيذ التجربة: نُفذت التجربة تحت ظروف الزراعة الحقلية، في محطة بحوث قرحتا التابعة للهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية. تقع المحطة إلى الجنوب الشرقي من مدينة دمشق وتبعد عنها نحو 30 كم في منطقة شبه جافة، يُقدّر معدل أمطارها السنوية بنحو 159 مم. ويبلغ ارتفاعها عن سطح البحر قرابة 633 م. وبلغ متوسط الهطول المطري خلال موسم الزراعة نحو 133.50 مم، ومتوسط درجة الحرارة العظمى نحو 20.97 م°، والصغرى قرابة 5.20 م°، حيث يُلاحظ انخفاض كبير في معدل الهطول المطري خلال مراحل النمو المدروسة (الجدول، 2).

الجدول رقم (2): المعطيات المناخية في مكان تنفيذ التجربة الحقلية.

الهطول المطري (مم)	الموسم الزراعي 2018/2017		الشهر
	متوسط درجات الحرارة (م°)		
	الصغرى	العظمى	
21.3	3.8	20.3	تشرين الثاني 2017
26.0	1.2	14.2	كانون الأول 2017
29.3	0.5	12.4	كانون ثاني 2018
24.0	1.5	14.8	شباط 2018
26.4	3.6	18.7	آذار 2018
2.2	7.0	24.1	نيسان 2018
3.7	10.1	29.4	أيار 2018
0.6	13.9	33.9	حزيران 2018
المجموع = 133.50	5.20	20.97	المتوسط

المصدر: الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية - محطة بحوث قرحتا.

وتتسم التربة في محطة بحوث قرحتا بأنها رملية لومية، غير متملحة، وذات درجة حموضة مائلة قليلاً للقلوية، وذات محتوى قليل من المادة العضوية (الجدول، 3).

الجدول رقم (3): نتائج تحليل التربة في موقع التجربة بمحطة بحوث قرحتا.

التحليل الميكانيكي (%)			التحليل الكيميائي						
طين	سلت	رمل	P المتاح (mg kg ⁻¹)	K المتاح (mg kg ⁻¹)	N الكلي (%)	كربونات الكالسيوم (%)	المادة العضوية (%)	pH	EC _e (dS m ⁻¹)
38	20	42	19.92	313.7	0.01	31.15	1.27	8.3	1.5

طريقة الزراعة والعمليات الزراعية المنفذة: تم تجهيز الأرض قبل الزراعة، حيث تمت فلاحتها فلاحتين متعامدتين بعمق 20 – 25 م باستعمال المحاريث القرصية، ثم تم تكسير الكتل الترابية وتنعيمها وتسويتها بواسطة الكالتيفاتور، وتمت إضافة الأسمدة المعدنية وفق المعدلات الموصى بها من قبل وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي في سورية، في المنطقة البيئية المستهدفة (قرحتا)، حيث تمت إضافة كامل الأسمدة الفوسفاتية (سوبر فوسفات ثلاثي 46%)، بمعدل 50 كغ.هكتار⁻¹، وقرابة 30 كغ.هكتار⁻¹ من الأسمدة الآزوتية (يوريا 46% N)، كجرعة تحفيزية Starter dose لتأمين احتياجات البادرات من عنصر الآزوت خلال الشهر الأول من نموها وتطورها ريثما تتشكل العقد الجذرية Nodules الفعالة في تثبيت الآزوت الجوي حيوياً. وتركزت مسافات فاصلة كافية (2 م) بين القطع التجريبية المروية والمجعدة مائياً خلال مختلف مراحل النمو، لمنع رشح المياه إلى القطع التجريبية التي طبّق فيها الإجهاد المائي. وتم توزيع الطرز الوراثية المدروسة بشكل عشوائي ضمن القطع التجريبية (المكررات) لكل معاملة. وتمت زراعة بذور الفول – غير المعاملة بالملقح البكتيري، لكون الأرض كانت مزروعة سابقاً بمحصولي العدس والفول – من مختلف الطرز الوراثية المدروسة خلال الأسبوع الأول من شهر كانون الأول، بمعدل أربعة سطور في كل قطعة تجريبية، بطول 4 م للسطر الواحد، لكل معاملة، بفاصل 50 سم بين السطر والآخر، و20 سم بين النبات والآخر ضمن السطر نفسه. وتم تسجيل القراءات المطلوبة من النباتات الموجودة في السطور الوسطى لكل طراز وراثي ومعاملة ومكرر.

مخطط التجربة Experiment layout

R1			R2			R3		
W	1	HBP/SOD/2008	SP	64	ع 04/52	W	65	ع 04/52
	2	ع 04/56		63	حمأة 2		66	HBP/SOE/2008
	3	HBP/SOD/2007		62	حمأة 3		67	حمأة 3
	4	حمأة 3		61	HBP/SOE/2008		68	ع 04/57
	5	ع 04/57		60	ع 04/57		69	حمأة 2
	6	HBP/SOE/2008		59	HBP/SOD/2007		70	HBP/SOD/2007
	7	حمأة 2		58	ع 04/56		71	HBP/SOD/2008
	8	ع 04/52		57	HBP/SOD/2008		72	ع 04/56
SM	9	ع 04/57	W	56	HBP/SOE/2008	SF	73	ع 04/57
	10	HBP/SOD/2007		55	حمأة 3		74	HBP/SOD/2007
	11	HBP/SOE/2008		54	HBP/SOD/2007		75	ع 04/52
	12	حمأة 2		53	ع 04/56		76	HBP/SOE/2008
	13	ع 04/56		52	حمأة 2		77	HBP/SOD/2008
	14	ع 04/52		51	ع 04/52		78	حمأة 2
	15	HBP/SOD/2008		50	ع 04/57		79	ع 04/56
	16	حمأة 3		49	HBP/SOD/2008		80	حمأة 3
SP	17	حمأة 2	SF	48	ع 04/56	SM	81	HBP/SOD/2007
	18	HBP/SOD/2008		47	حمأة 2		82	HBP/SOD/2008
	19	HBP/SOE/2008		46	HBP/SOD/2007		83	HBP/SOE/2008
	20	ع 04/57		45	ع 04/52		84	ع 04/56
	21	حمأة 3		44	HBP/SOD/2008		85	حمأة 2
	22	HBP/SOD/2007		43	HBP/SOE/2008		86	ع 04/57
	23	ع 04/52		42	حمأة 3		87	حمأة 3
	24	ع 04/56		41	ع 04/57		88	ع 04/52
SF	25	HBP/SOD/2007	SM	40	حمأة 3	SP	89	HBP/SOE/2008
	26	ع 04/56		39	HBP/SOD/2007		90	ع 04/52
	27	HBP/SOD/2008		38	ع 04/52		91	حمأة 3
	28	ع 04/57		37	HBP/SOD/2008		92	ع 04/56
	29	HBP/SOE/2008		36	ع 04/56		93	HBP/SOD/2007
	30	ع 04/52		35	HBP/SOE/2008		94	HBP/SOD/2008
	31	حمأة 3		34	ع 04/57		95	ع 04/57
	32	حمأة 2		33	حمأة 2		96	حمأة 2

حيث: W: شاهد مروي، SF: إجهاد مائي خلال مرحلة الإزهار، SP: إجهاد مائي خلال مرحلة تشكل القرون، SM: إجهاد مائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي.

الصفات المدروسة Investigated traits

الصفات الشكلية Morphological traits

ارتفاع النبات Plant height (سم): تمّ قياس ارتفاع النبات وقت الإزهار، بواسطة المسطرة من سطح التربة وحتى قمة النبات في الساق الرئيس، وذلك في 5 نباتات من كل طراز وراثي ومعاملة ومكرر.

متوسط عدد الأوراق على النبات Number of leaves per plant (ورقة.نبات⁻¹): تمّ تسجيل عدد الأوراق في النبات في 5 نباتات وقت الإزهار (اكتمال النمو الخضري)، من كل طراز وراثي، ومعاملة ومكرر.

عدد الأفرع في النبات (فرع.نبات⁻¹): تمّ تسجيل عدد الأفرع المتشكلة في النبات على الساق الرئيس بعد مضي قرابة 77 يوماً من تاريخ الزراعة.

الصفات التطورية Phenological traits

موعد الإزهار Anthesis date (يوم): وهو عدد الأيام من تاريخ الزراعة (تاريخ أول رية كافية لإنبات البذور) وحتى ظهور الأزهار في 50% من النباتات (ICARDA، 2015).

موعد النضج التام Maturity date (يوم): وهو عدد الأيام من تاريخ الزراعة وحتى نضج 90% من النباتات في القطعة التجريبية، بحيث تصبح القرون مكتملة النضج وجاهزة للحصاد (ICARDA، 2015). Ready for harvesting

الصفات المرتبطة بالغلة البذرية Seed yield related traits

متوسط عدد القرون في النبات Number of pods per plant (قرن.نبات⁻¹): ويمثل عدد القرون في النبات (أخذ متوسط 5 نباتات عند الحصاد) من كل مكرر ومعاملة (شاهد مروي، وإجهاد مائي) وطراز وراثي.

متوسط عدد البذور في المتر المربع Number of seeds per square meter (بذرة.م⁻²): تمّ حساب عدد البذور في النبات وضرب الناتج بعدد النباتات في المتر المربع، لكل طراز وراثي، ومعاملة ومكرر.

متوسط عدد البذور في القرن Number of seeds per pod (بذرة.قرن⁻¹): تمّ حساب متوسط عدد البذور في القرن من خلال حساب عدد البذور في النبات وتقسيم العدد على عدد القرون في النبات، لكل طراز وراثي، ومعاملة ومكرر.

متوسط وزن المائة البذرة (غ) 100-seed weight: تمّ فرط القرون، ومن ثمّ عدّ Counting 100 بذرة عشوائياً، ووزنت بواسطة ميزان إلكتروني حسّاس، وكُثرت العملية على الأقل خمس مرات لكل طراز وراثي ومعاملة ومكرر، وتمّ حساب متوسط وزن المائة بذرة.

متوسط الغلّة الحيوية (غ.م⁻²) Biological yield: حُصدت النباتات الموجودة ضمن مساحة 1 م² من الأرض عند النضج التام، وتمّ تسجيل الوزن الجاف الكلي للنباتات (قش + قرون) في المتر المربع من كل طراز وراثي، ومعاملة ومكرر.

متوسط الغلّة البذرية (غ.م⁻²) Seed yield: عند وصول القرون إلى مرحلة النضج التام، حُصدت النباتات، ثمّ فصلت القرون وفرطت للحصول على البذور، ثمّ وزنت البذور المفروطة من مساحة 1 متر مربع، بواسطة ميزان إلكتروني حسّاس.

دليل الحصاد (HI) Harvest Index (%): يُعبر عن النسبة المئوية بين الغلّة الاقتصادية (وزن البذور) والغلّة الحيوية عند النضج (وزن القش + القرون). ويُستعمل كمؤشر في تحسين غلة المحاصيل تحت ظروف الزراعة المطرية، لأنّ زيادة قيمة معامل الحصاد مرتبطة بشكلٍ طردي بزيادة الغلّة الاقتصادية (البذور) (Donald، 1962). وتمّ حسابه وفق المعادلة الآتية:

$$\text{دليل الحصاد (\%)} = \frac{\text{الغلّة من البذور}}{\text{الغلّة الحيوية (قش + قرون)}} \times 100$$

الصفات الفيزيولوجية والبيوكيميائية Physiological and biochemical traits

محتوى الماء النسبي في الأوراق (RWC %): أُخذت عينات بشكل أقراص (بقطر 1 سم) من الورقتين العلويتين الثانية أو الثالثة المكتملة الاستطالة بوزن (1 غ تقريباً)، في نهاية فترة الإجهاد المائي، حسب المعاملة، وتم تقدير الوزن الرطب لها مباشرة، ثم وضعت الأقراص الورقية مباشرة بعد أخذ وزنها الرطب في أطباق بترية بلاستيكية تحتوي على الماء المقطر، وتركّت مغمورة في الماء مدّة 12 ساعة، ثم أُخرجت الأقراص الورقية وأزيلت جزيئات الماء العالقة على سطوحها بلطف بواسطة ورق الترشيح، ووزنت للحصول على الوزن الرطب المشبع، ثم وضعت في أكياس من الورق، ووضعت في المجفف على درجة حرارة 105م مدّة نصف ساعة لقتل الأنسجة النباتية وإيقاف عملية فقد المادة الجافة بالتنفس Respiration، ثم تم ضبط درجة حرارة المجفف على 80 م وتركّت العينات النباتية مدّة 48 ساعة، للحصول على الوزن الجاف الثابت. وتم حساب محتوى الماء النسبي في الأوراق حسب المعادلة الآتية (Weatherley و Barrs، 1962):

$$\text{محتوى الماء النسبي (\%)} = \frac{\text{الوزن الرطب - الوزن الجاف}}{\text{الوزن الرطب المشبع - الوزن الجاف}} \times 100$$

محتوى البرولين في الأوراق (ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء): أُخذت عينات ورقية بوزن 100 مغ من كل طراز وراثي ومعاملة، ومكرر، (في نهاية فترة الإجهاد المائي، حسب المعاملة) ووضعت كلاً على حدة في هاون، وأضيف إليها قليلاً من المحلول المائي لحمض سلفوساليسيليك (3%)، ثم سحقت العينات النباتية بمساعدة كمية قليلة من الرمل المخبري النقي، ثم تم فصل المستخلص بواسطة جهاز الطرد المركزي (3000 دورة/دقيقة) مدّة عشرة دقائق، ثم جُمع محلول الاستخلاص وتمّ إكمال حجمه إلى 5 مل باستعمال حمض سلفوساليسيليك (3 %)، وأُخذ من المستخلص 2 مل وأضيف إليه 2 مل من محلول النينهيدرين لتنشيط التفاعل (يتألف المحلول المنشط للتفاعل من 1.25 غ نينهيدرين + 30 مل حمض الخل الثلجي + 20 مل حمض N6 أورثوفوسفوريك)، و2 مل من حمض الخل الثلجي، ثم وضعت الأنابيب في حمام مائي عند درجة الغليان مدّة ساعة واحدة، ثم رُفعت الأنابيب وبُرِدَت بشكلٍ مفاجئ وذلك بوضعها في وعاءٍ

يحتوي على الماء المتلج. وأضيف فيما بعد 4 مل من التولوين لكل أنبوب اختبار، وتم رج الأنابيب مدة عشرة ثوان، ثم تم قياس درجة الامتصاص عند طول موجة 520 نانومتر. ولتحديد كمية البرولين في العينة النباتية تم تحضير منحني معياري وذلك باستعمال كميات معروفة من البرولين (Bates وزملاؤه، 1973).

سلامة الأغشية الخلوية (نسبة الذائبات المتسربة) Solutes leakage (%): تم أخذ عينات أقراص ورقية من الورقتين الثانية والثالثة كاملتي الاستطالة من كل طراز وراثي، ومعاملة، ومكرر على حدة في نهاية فترة تطبيق الإجهاد المائي لكل مرحلة من المراحل المدروسة، ووضع عدد محدد وموحد من الأقراص الورقية (20) في عبوة بلاستيكية تحتوي على 10 مل من الماء المقطر، ثم تركت العبوات على هزاز مدة 3 ساعات، ثم تم قياس الامتصاص الأولي للمحلول عند طول موجة 273 نانومتر باستعمال جهاز قياس الطيف الضوئي Spectrophotometer، ثم نُقلت المحاليل من كل عبوة على حدة إلى أنابيب اختبار مزودة بسدادة، وتم وضعها في حمام مائي (درجة الغليان) مدة 30 دقيقة، ثم تم قياس الامتصاص النهائي للمحلول عند طول الموجة السابقة نفسها. وحُسبت استناداً إلى ما سبق نسبة تسرب الذائبات وفق المعادلة الرياضية الآتية (Leopold، 1981):

الامتصاص الأولي

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

الامتصاص النهائي

تُعبّر نسبة الذائبات المتسربة عن حجم الضرر في الأغشية السيتوبلاسمية بتأثير الإجهاد المائي، وكلما كانت نسبة الذائبات المتسربة أقل كان حجم الضرر أقل، والطراز الوراثي أقدر على المحافظة على سلامة الأغشية السيتوبلاسمية.

تركيز المالوندي أدهيد بدلالة تخريب المواد الدهنية (نانومول MDA. غ⁻¹ وزن رطب): تم في نهاية فترة الإجهاد المائي في كل مرحلة، تقدير مستوى التخریب الحاصل في المواد الدهنية بتأثير الإجهاد المائي في أوراق طرز الفول المدروسة، باعتماد طريقة تقدير المالوندي أدهيد (MDA) malondialdehyde content، بواسطة تفاعل 2-thiobarbituric acid (TBA). تم طحن الأوراق مكتملة الاستطالة من كل طراز وراثي، ومعاملة ومكرر على حدة بواسطة 0.3% TBA في محلول 10% Trichloroacetic acid (TCA) عند درجة حرارة

4 م، وتمّ حساب تركيز المألوندي ألدهيد من الفرق بين الامتصاص عند طول موجة 532 نانومتر وطول موجة 600 نانومتر باستعمال معامل extinction coefficient يقدر بنحو 155 ميللي مول⁻¹ سم⁻¹، ويُعبّر عنه بوحدة نانومول MDA. غ⁻¹ وزن رطب (Ouzounidou وزملاؤه، 2013).

الصفات النوعية Quality traits

نسبة البروتين في البذور الجافة (Percentage of protein in dry seeds (%): تمّ تقدير محتوى البذور من الآزوت الكلي باستعمال طريقة كداهل (Micro-kjeldhal) (AOAC، 1975). ثمّ تمّ حساب نسبة البروتين في البذور باستعمال المعادلة الآتية:

$$\text{نسبة البروتين (\%)} = \text{الأزوت الكلي} \times 6.25$$

تصميم التجربة والتحليل الإحصائي Experiment design and statistical analysis

وضعت التجربة وفق تصميم القطاعات الكاملة العشوائية Randomized Complete Block Design بترتيب القطع المنشقة Split-Plot arrangement، حيث شغلت معاملات الإجهاد المائي القطع الرئيسة، في حين شغلت الطرز الوراثية القطع المنشقة، وتمّ تبويب البيانات وتحليلها إحصائياً باستعمال برنامج MSTAT-C لحساب قيم أقل فرق معنوي (L.S.D.) عند مستوى معنويّة 5% لكل صفة مدروسة بين الطرز الوراثية، ومعاملات الإجهاد المائي خلال مختلف مراحل النمو، والتفاعل المتبادل بينهما، وحساب قيم معامل التباين (C.V %) (Russell، 1991). وتمّ أيضاً حساب قيم علاقات الارتباط البسيط Simple correlation بين الصفات المدروسة لكل معاملة على حدة، وتحديد الأهمية النسبية لكل صفة.

النتائج والمناقشة Results and discussion

الصفات الشكلية Morphological traits

ارتفاع النبات Plant height (سم): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة متوسط ارتفاع النبات بين المعاملات (الشاهد المروي، والإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار، ومرحلة تشكل القرون، ومرحلة النضج الفيزيولوجي كل على حدة)، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان متوسط ارتفاع النبات الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد (72.79 سم) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي خلال مختلف مراحل النمو المدروسة (62.11 سم) (الجدول، 4). وسبب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط ارتفاع النبات مقداره 14.67%، ما يُشير إلى أهمية إتاحة المياه للمحافظة على ارتفاع النبات ضمن الحدود المثلى الخاصة بكل طراز وراثي (الطاقة الوراثية الكامنة) (الجدول، 4). وكان متوسط ارتفاع النبات الأعلى معنوياً خلال مرحلتي تشكل القرون والنضج الفيزيولوجي وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (71.47، 70.78 سم على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة الإزهار (60.09 سم). تُشير هذه النتائج إلى أهمية تأمين كامل احتياجات النبات المائية، وبخاصةٍ خلال مرحلة استطالة الساق Stem elongation لبلوغ الارتفاع الأعظمي للنبات. وتُشير أيضاً إلى دور الماء في تحديد الطول النهائي للنبات، حيث يتأثر ارتفاع النبات سلباً بتراجع محتوى التربة المائي نتيجة تطبيق الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار، وبالرغم من اكتمال النمو الخضري، ومن ثمّ الارتفاع النهائي الأعظمي للنباتات مع بداية الإزهار (الأنواع محدودة النمو Determinate types)، ولكن حقيقة هذا التراجع في متوسط ارتفاع النبات عند تطبيق الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار إنّما يُعزى إلى بدء تطبيق الإجهاد قبل الإزهار بنحو أسبوع واحد لضمان تعرض النباتات خلال مرحلة الإزهار إلى مستوى كافٍ من الإجهاد المائي، بسبب قصر طول مرحلة الإزهار، الأمر الذي أثار سلباً في استطالة الساق، في حين لم تبد نتائج التحليل الإحصائي فروقاتٍ معنوية في متوسط ارتفاع النبات بين مرحلتي تشكل القرون والنضج الفيزيولوجي (امتلاء الحبوب)، بسبب اكتمال النمو الخضري عند بداية الإزهار. وكان متوسط ارتفاع النبات الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث تباعاً حسب تسلسلها التطوري (الإزهار، تشكل القرون، والنضج الفيزيولوجي)

(72.79 سم لكل منها)، تلاها معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلتي تشكل القرون والنضج الفيزيولوجي وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (70.15، 68.78 سم على التوالي)، في حين كان متوسط ارتفاع النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (47.39 سم) (الجدول، 3). وكان متوسط ارتفاع النبات الأعلى معنوياً لدى نباتات الطراز HBP/SOE/2008 (73.79 سم)، تلاه الطرز الوراثة ع04/57، وحماة₃، وع04/52 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (68.51، 68.41، 68.32 سم على التوالي)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية الطرز الوراثة HBP/SOD/2007، و HBP/SOD/2008، و ع04/56 وبدون فروقاتٍ معنوية فيما بينها (66.57، 65.99، 65.70 سم على التوالي)، في حين كان متوسط ارتفاع النبات الأدنى معنوياً لدى الصنف حماة₂ (62.29 سم). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثة، أنّ متوسط ارتفاع النبات كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثة HBP/SOE/2008 (83.50 سم)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثة ع04/52 (76.59 سم)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثة حماة₃ (74.61 سم)، في حين كان متوسط ارتفاع النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطرز الوراثة HBP/SOD/2008، و ع04/56، و ع04/52 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (59.48، 59.90، 60.04 سم على التوالي)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي لدى الطرز الوراثة حماة₂، وحماة₃، و HBP/SOD/2007، و HBP/SOE/2008، ومعاملة الشاهد لدى الصنف حماة₂ وبدون فروقاتٍ معنوية فيما بينها (62.07، 62.22، 62.31، 64.07، 62.50 سم على التوالي)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز الوراثة ع04/57 (66.78 سم). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثة، أنّ متوسط ارتفاع النبات كان الأعلى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون لدى نباتات الطراز الوراثة HBP/SOE/2008 (79.13 سم)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثة ع04/52، ومرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثة HBP/SOE/2008 وبدون فروقاتٍ معنوية فيما بينهما (75.38، 73.92 سم على التوالي)، في حين كان متوسط ارتفاع النبات الأدنى معنوياً خلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين الوراثة ع04/56، وحماة₂ وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (54.85، 54.95 سم على التوالي)، تلاهما وبفروقاتٍ معنوية خلال مرحلة الإزهار لدى الطرز الوراثة HBP/SOD/2007، وع04/52،

و HBP/SOD/2008، وع 04/57 (58.05، 59.19، 59.88، 61.46 سم على التوالي). ويلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أن متوسط ارتفاع النبات كان الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 عند معاملة الشاهد خلال مراحل النضج الفيزيولوجي وتشكل القرون والإزهار وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (83.50 سم لكل منها)، في حين كان متوسط ارتفاع النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي ع 04/56 (38.20 سم)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي ع 04/52 (41.80 سم)، ثم وبفروقاتٍ معنوية عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار لدى الطرز الوراثية HBP/SOD/2007، HBP/SOD/2008، وحماة² وبدون فروقاتٍ معنوية فيما بينها (45.27، 47.27، 47.40 سم على التوالي). تشير هذه النتائج إلى أن صفة ارتفاع النبات تتحدد بدرجة أكبر خلال مرحلة الإزهار، في حين لا يؤثر نقص المياه Water shortage خلال مرحلتَي تشكل القرون والنضج الفيزيولوجي بشكلٍ كبير في متوسط ارتفاع النبات بسبب اكتمال استطالة الساق الرئيس. وتشير هذه النتائج إلى أهمية توافر المياه، وبخاصة خلال مرحلة الإزهار لبلوغ الارتفاع الأمثل للنبات. ويُعزى تراجع صفة ارتفاع النبات لدى جميع الطرز الوراثية تحت ظروف الإجهاد المائي بالمقارنة مع الشاهد إلى تراجع جهد الامتلاء داخل خلايا الساقية، الأمر الذي يؤثر سلباً في معدل استطالتها (Cossegrove، 1989)، رغم حقيقة أن الجفاف لم يؤثر سلباً في عدد الساقية المتشكلة (بناءً على المشاهدات الحقلية). عموماً، يؤدي تراجع محتوى التربة المائي نتيجة تطبيق الإجهاد المائي إلى انخفاض كمية المياه المتاحة في منطقة انتشار الجذور، ما يؤدي إلى خفض قيمة الجهد المائي (ψ_w) Water potential (يصبح أكثر سلباً)، فيقل بذلك فرق التدرج في الجهد المائي Water Potential Gradient (WPG) بين الوسط المحيط بالجذور وخلايا المجموعة الجذرية، الأمر الذي يؤثر سلباً في معدل تدفق الماء وامتصاصه من قبل الشعيرات الجذرية، فتصبح كمية المياه الممتصة أقل بكثير من كمية المياه المفقودة بالنتج أثناء عملية التبادل الغازي عن طريق المسامات Stomata في الأوراق، ما يؤدي إلى تراجع جهد الامتلاء داخل خلايا الساقية، وبخاصة الساقية الطرفية، كونها الوحيدة التي يمكن أن تتعرض لظروف الإجهاد المائي المطبق قبل أسبوع من بداية الإزهار، في حين تكون كمية المياه المتاحة خلال المرحلة السابقة من استطالة الساق كافية، فتتعرض الخلايا النباتية في

السلامية الطرفية إلى العجز المائي Water deficit. وهذا ما يُفسر انخفاض متوسط ارتفاع النبات تحت ظروف الإجهاد المائي، وبخاصة خلال مرحلة الإزهار بالمقارنة مع الزراعة المروية. وحقيقةً، تُعد عملية استطالة خلايا الأجزاء الهوائية من أكثر العمليات الفيزيولوجية حساسيةً لظروف الإجهاد المائي. ويحد بالمقابل تراجع محتوى التربة المائي من حركة العديد من العناصر المعدنية المغذية، ما يؤدي إلى تثبيط امتصاص العديد من الشوارد المعدنية الموجبة والسالبة المفيدة للنبات (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , NO_3^-)، مسببةً بذلك اضطراباً في التغذية المعدنية Nutrient disorder، حيث يؤثر اختلال التغذية المعدنية وتراجع جهد الامتلاء سلباً في معدل انقسام Division خلايا الأجزاء الهوائية واستطالتها Elongation، ما يؤدي إلى تراجع معدل نمو الساق، وهذا ما يُفسر الانخفاض المعنوي في متوسط ارتفاع النبات، تحت ظروف الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار. عموماً، يؤثر الجفاف سلباً في معدل نمو السلاقيات دون أن يؤثر ذلك في عدد السلاقيات المتشكلة، ما يؤدي إلى تقليل المسافة بين الطوابق الورقية، دون أن يُسبب تراجعاً في عدد الأوراق المتشكلة. وقد يأخذ النبات عند المستويات الشديدة من الإجهاد المائي شكل الوردة Rosette type، ما يؤثر سلباً في كفاءة توزيع الطاقة الضوئية Light distribution efficiency بين أجزاء النبات الهوائية المختلفة، وقد لا تتمكن الأوراق في الطوابق السفلية من الحصول على كمية كافية من الطاقة الضوئية لإقلاع عملية التمثيل الضوئي، فتتراجع كفاءتها التمثيلية Photosynthetic capacity، في حين تستمر في الوقت نفسه بعملية فقد المياه بالنتج، الأمر الذي يؤدي إلى تراجع كفاءة استعمال الماء Water use efficiency (WUE) (Blum و Pnuel، 1990). ويمكن أن يُعزى التباين الوراثي بين الطرز الوراثية في المحافظة على معدل استطالة خلايا العقد الساقية، ومن ثم ارتفاع النبات إلى التباين في كفاءتها في تشكيل مجموع جذري متعمق ومتشعب، أو تفعيل آلية التعديل الحلولي Osmoregulation، أو الاختلاف في مطاطية Elasticity أو مرونة جدران الخلايا النباتية (Savin و Slafer، 1994) Cell wall extensibility، أو التباين في كمية الإشارة الكيميائية (حمض الأبسيسيك) (ABA) المُصنَّعة في الجذور والواصلة مع تيار الماء إلى الأوراق، أو التباين في حساسية الخلايا الحارسة بالانغلاق استجابةً لظروف شح المياه نتيجة التباين في حساسية المجسات Sensors المرتبطة بأغشية الخلايا الحارسة لحمض الأبسيسيك (ABA) (Bressan وزملاؤه، 1990). ويمكن أن يُعزى التباين الوراثي في كفاءة الطرز

الوراثية في المحافظة على متوسط ارتفاع النبات ضمن الحدود المثلى تحت ظروف الجفاف، إمّا إلى التباين في كفاءتها في المحافظة على جهد الامتلاء من خلال امتصاص كمية أكبر من المياه بفضل امتلاك مجموع جذري متعمق ومتشعب، أو امتلاك آلية التعديل الحلولي Osmotic adjustment، أو من خلال ضبط الناقلية المسامية Stomatal conductance (gs)، والحد من فقد المياه بالتبخر النتح (TE) Evapo-transpiration، أو نتيجة التباين في الفواقد النتحية الناجمة بشكل رئيس عن التباين في حجم المسطح الورقي الأخضر المعرض بشكل مباشر لأشعة الشمس. عموماً، يمكن أن تُساعد صفة تراجع ارتفاع النبات، ومن ثم عدد الأوراق الكلية المتشكلة، في تقليل كمية المياه الكلية المفقودة بالنتح، ما يُحسن من مقدرة النباتات التكيفية في البيئات المجردة مائياً، على ألا يكون التراجع على حساب مساحة المسطح الورقي الأخضر الفعّال في عملية التمثيل الضوئي، ما قد يؤدي إلى تقليل كمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة والمُسَخَّرَة لنمو أجزاء النبات المختلفة، والمتاحة خلال مرحلة النمو الثمري، الأمر الذي يؤثر سلباً في كفاءة المحصول الإنتاجية. توافقت هذه النتائج مع نتائج El-Dakrouy (2008)، ونتائج Ammar وزملاؤه (2015)، ونتائج Jaleel وزملاؤه (2009)، و Singer وزملاؤه (2001) في محصول الفول، وأيضاً مع ما توصل إليه Emam وزملاؤه (2010) في محصول الفاصولياء.

الجدول رقم (4): متوسط ارتفاع النبات (سم) لدى طرز الفول تحت ظروف الإجهاد المائي بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
65.99 ^c	69.00	65.50	72.50	69.09	65.67	72.50	59.88	47.27	72.50	HBP/SOD/2008
66.57 ^c	70.00	69.17	70.83	71.67	72.50	70.83	58.05	45.27	70.83	HBP/SOD/2007
73.79 ^a	73.92	64.33	83.50	79.13	74.75	83.50	68.32	53.13	83.50	HBP/SOE/2008
68.32 ^b	70.38	64.17	76.59	75.38	74.17	76.59	59.19	41.80	76.59	ع 04/52
65.70 ^c	72.50	73.50	71.50	69.75	68.00	71.50	54.85	38.20	71.50	ع 04/56
68.51 ^b	72.88	75.50	70.25	71.21	72.17	70.25	61.46	52.67	70.25	ع 04/57
62.29 ^d	67.63	72.75	62.50	64.29	66.07	62.50	54.95	47.40	62.50	حمأة ₂
68.41 ^b	69.97	65.33	74.61	71.27	67.92	74.61	64.01	53.40	74.61	حمأة ₃
-		68.78	72.79		70.15	72.79		47.39	72.79	المتوسط
	70.78 ^a			71.47 ^a			60.09 ^b			متوسط المرحلة
62.11 ^b (إجهاد مائي)					72.79 ^a (شاهد)					متوسط المعاملات

تُشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	3.688	1.106	1.565	1.387	1.962	2.403	3.399
CV (%)	3.10						

متوسط عدد الأوراق على النبات **Number of leaves per plant** (ورقة.نبات⁻¹): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة متوسط عدد الأوراق على النبات بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان متوسط عدد الأوراق على النبات الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد (88.46 ورقة.نبات⁻¹) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي (78.16 ورقة.نبات⁻¹). وسبب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط عدد الأوراق على النبات مقداره 11.64%. وكان متوسط عدد الأوراق على النبات الأعلى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون (88.43 ورقة.نبات⁻¹)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (84.76 ورقة.نبات⁻¹)، في حين كان متوسط عدد الأوراق على النبات الأدنى معنوياً خلال مرحلة الإزهار (76.74 ورقة.نبات⁻¹)، حيث يؤدي تعرّض النباتات لظروف الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (مرحلة الطلب الأعظمي على المياه)، إلى انغلاق المسامات بشكلٍ كامل للحد من عملية فقد المياه بالنتح، بهدف المحافظة على قيم مرتفعة من جهد الامتلاء داخل خلايا الأوراق (ميزان العلاقات المائية)، ما يؤدي إلى تعطيل التأثير المبرد لعملية النتح Cooling effect، فترتفع درجة حرارة الأوراق بشكلٍ تدريجي وصولاً إلى التحميل الحراري الزائد، ما يؤدي إلى احتراق جزء كبير من الأوراق وبخاصة الأوراق السفلية (الشيخوخة المبكرة للأوراق)، ما يؤدي إلى تراجع متوسط عدد الأوراق إذا ما تعرّضت النباتات للجفاف خلال مرحلة الإزهار بالمقارنة مع مرحلتَي تشكل القرون والنضج الفيزيولوجي، حيث تقل بشكلٍ كبير احتياجات النباتات المائية خلال المراحل التطورية الأخيرة. وكان متوسط عدد الأوراق على النبات الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل الإزهار، والنضج الفيزيولوجي، وتشكل القرون (88.46 ورقة.نبات⁻¹ لكلٍ منها)، ومعاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (88.39 ورقة.نبات⁻¹) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها، في حين كان متوسط عدد الأوراق على النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (65.01 ورقة.نبات⁻¹)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (امتلاء البذور) (81.06 ورقة.نبات⁻¹). وكان متوسط عدد الأوراق على النبات الأعلى معنوياً لدى نباتات الصنف حمّاة² (89.67 ورقة.نبات⁻¹)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطراز الوراثي ع04/57 (85.75 ورقة.نبات⁻¹)، تلاه الطرز الوراثية ع04/52، وHBP/SOD/2007، وحمّاة³ وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (84.35، 84.02، 83.54 ورقة.نبات⁻¹ على التوالي)، تلاها

وبفروقاتٍ معنوية الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2008، و HBP/SOE/2008 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (80.82، 79.87 ورقة.نبات⁻¹ على التوالي)، في حين كان متوسط عدد الأوراق على النبات الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثي ع04/56 (78.44 ورقة.نبات⁻¹). عموماً، يُعزى التباين في متوسط عدد الأوراق في النبات بشكلٍ عام إلى التباين في عدد الأفرع في النبات، حيث كان عدد الأوراق الأعلى معنوياً في الطرز الوراثية التي امتلكت معنوياً عدداً أكبر من الأفرع في النبات. وكان متوسط عدد الأفرع في النبات الأعلى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOE/2008، و ع04/52 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (2.694، 2.544 فرعاً. نبات⁻¹ على التوالي)، تلاهما وبفروقاتٍ معنوية الطرازين الوراثيين حماية²، وحماة³ وبدون فروقاتٍ معنوية بين الأخيرين (2.461، 2.400 فرعاً. نبات⁻¹ على التوالي)، في حين كان متوسط عدد الأفرع في النبات الأدنى معنوياً لدى الطرز الوراثية HBP/SOD/2008، و ع04/57، و ع04/56 (2.136، 2.244، 2.289 فرعاً. نبات⁻¹). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية، أنَّ متوسط عدد الأوراق على النبات كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد المروي لدى الصنف حماة² (97.51 ورقة.نبات⁻¹)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد المروي لدى الصنف حماة³ (94.95 ورقة.نبات⁻¹)، ثمَّ وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد المروي لدى الطراز الوراثي ع04/52 (91.30 ورقة.نبات⁻¹)، في حين كان متوسط عدد الأوراق على النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الصنف حماة³ (72.13 ورقة.نبات⁻¹). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية، أنَّ متوسط عدد الأوراق على النبات كان الأعلى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون لدى الصنف حماة² (97.96 ورقة.نبات⁻¹)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي ع04/57 (93.91 ورقة.نبات⁻¹)، في حين كان متوسط عدد الأوراق على النبات الأدنى معنوياً خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي ع04/56 (71.24 ورقة.نبات⁻¹)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي لدى الصنف حماة³ (75.70 ورقة.نبات⁻¹). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنَّ متوسط عدد الأوراق على النبات كان الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي ع04/57 عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (102.0 ورقة.نبات⁻¹)، في حين كان متوسط عدد الأوراق على النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار لدى الصنف حماة³ (59.60 ورقة.نبات⁻¹)، تلاها معاملة الإجهاد المائي خلال

مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي ع 04/56 (61.67 ورقة.نبات⁻¹) (الجدول، 5). توافقت هذه النتائج مع نتائج El-Dakroury (2008)، ونتائج Jaleel وزملاؤه (2009)، ومع ما توصل إليه Mwanamwenge وزملاؤه (1999)، و Mohamad Zabawi و Dennett (2010)، و Singer وزملاؤه (2001) في محصول الفول.

الجدول رقم (5): متوسط عدد الأوراق على النبات (ورقة.نبات⁻¹) لدى طرز الفول تحت ظروف الإجهاد المائي بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
80.82 ^d	79.98	73.25	86.70	86.15	85.60	86.70	76.35	66.00	86.70	HBP/SOD/2008
84.02 ^c	84.70	84.80	84.60	91.67	98.73	84.60	75.70	66.80	84.60	HBP/SOD/2007
79.87 ^{de}	83.90	81.80	86.00	78.00	70.00	86.00	77.70	69.40	86.00	HBP/SOE/2008
84.35 ^c	90.65	90.00	91.30	83.85	76.40	91.30	78.55	65.80	91.30	ع 04/52
78.44 ^e	77.28	73.73	80.82	86.81	92.80	80.82	71.24	61.67	80.82	ع 04/56
85.75 ^b	87.05	88.27	85.82	93.91	102.0	85.82	76.31	66.80	85.82	ع 04/57
89.67 ^a	90.29	83.07	97.51	97.96	98.40	97.51	80.76	64.00	97.51	حمأة ₂
83.54 ^c	84.28	73.60	94.95	89.08	83.20	94.95	77.28	59.60	94.95	حمأة ₃
-		81.06	88.46		88.39	88.46		65.01	88.46	المتوسط
	84.76 ^b			88.43 ^a			76.74 ^c			متوسط المرحلة
	78.16 ^b (إجهاد مائي)				88.46 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات	

تشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	2.866	0.4360	0.6166	1.428	2.019	2.473	3.498
CV (%)	2.58						

عدد الأفرع في النبات (فرع⁻¹ . نبات⁻¹): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة عدد الأفرع في النبات بين مراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينهما. ولم تشر نتائج التحليل الإحصائي إلى وجود فروقات معنوية بين معاملتي الإجهاد المائي والشاهد المروي. كان متوسط عدد الأفرع في النبات الأعلى معنوياً خلال مرحلتي الإزهار، وتشكل القرون وبدون فروقات معنوية بينهما (2.461، 2.433 فرعاً.نبات⁻¹ على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (2.265 فرعاً.نبات⁻¹) (الجدول، 6). وكان متوسط عدد الأفرع في النبات الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث تباعاً حسب تسلسلها التطوري (الإزهار، تشكل القرون، النضج الفيزيولوجي)، وعند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلتي الإزهار، وتشكل القرون وبدون فروقات معنوية بينهما (2.475، 2.475، 2.448، 2.392 فرعاً.نبات⁻¹ على التوالي)، في حين كان متوسط عدد الأفرع في النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (2.054 فرعاً.نبات⁻¹). وكان متوسط عدد الأفرع في النبات الأعلى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOE/2008، وع04/52 وبدون فروقات معنوية بينهما (2.694، 2.544 فرعاً.نبات⁻¹ على التوالي)، تلاهما وبفروقات معنوية الصنفين حماة²، وحماة³ وبدون فروقات معنوية بين الأخيرين (2.461، 2.400 فرعاً.نبات⁻¹ على التوالي)، في حين كان متوسط عدد الأفرع في النبات الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (2.136 فرعاً.نبات⁻¹). (الجدول، 6). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط عدد الأفرع في النبات كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطرازين HBP/SOE/2008، وع04/52 (3.000، 2.833 فرعاً.نبات⁻¹ على التوالي)، تلاها معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز الوراثي حماة²، ومعاملة الشاهد لدى الصنف حماة³ (2.656، 2.600 فرعاً.نبات⁻¹ على التوالي)، ثمّ معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي ع04/56 (2.467 فرعاً.نبات⁻¹)، في حين كان متوسط عدد الأفرع في النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (1.933 فرعاً.نبات⁻¹). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط عدد الأفرع في النبات كان الأعلى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOE/2008، وع04/52 خلال مراحل النمو الثلاث، والصنف حماة² خلال مرحلتي الإزهار وتشكل القرون، والصنف حماة³ خلال مرحلة الإزهار

(2.767، 2.700، 2.617، 2.567، 2.550، 2.517، 2.667، 2.483، 2.583 فرعاً. نبات¹ على التوالي)، في حين كان متوسط عدد الأفرع في النبات الأدنى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز HBP/SOD/2008 (1.967 فرعاً. نبات¹). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنَّ متوسط عدد الأفرع في النبات كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOE/2008، وع 04/52 خلال مراحل النمو الثالث، وعند معاملة الإجهاد خلال مرحلتَي الإزهار وتشكل القرون لدى الطراز الوراثي حماة² (3.000، 3.000، 3.000، 2.833، 2.833، 2.833، 3.067، 2.700 فرعاً. نبات¹ على التوالي)، تلاها معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثالث لدى الصنف حماة³ (2.600 فرعاً. نبات¹ لكلٍ منها)، في حين كان متوسط عدد الأفرع في النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع 04/56 (1.700 فرعاً. نبات¹). يُعزى التباين في عدد الأفرع المتشكلة في النبات بين الطرز الوراثية جزئياً إلى التباين في مواعدي الإزهار والنضج حيث يُلاحظ أنَّ الطرز الوراثية التي كان فيها مواعدي الإزهار والنضج الأعلى معنوياً، مثل HBP/SOE/2008، HBP/SOD/2007، ع 04/52، ع 04/56، والصنف حماة³ (77.72، 151.3؛ 76.06، 151.9؛ 76.72، 150.2؛ 76.72، 149.9؛ 76.06، 151.5 يوماً على التوالي لكل من موعد الإزهار والنضج لكل طراز وراثي) كان لديها متوسط عدد الأفرع في النبات الأعلى معنوياً (2.694، 2.322، 2.544، 2.289، 2.400 فرعاً. نبات¹ على التوالي)، حيث يؤدي تأخر الإزهار إلى زيادة طول مرحلة النمو الخضري، الأمر الذي يزيد من متوسط عدد الأفرع المتشكلة في النبات. ويؤكد ذلك وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين صفة متوسط عدد الأفرع في النبات وموعدَي الإزهار والنضج تحت ظروف الري الكامل ($r=0.513^*$ ، $r=0.632^*$ على التوالي). ولكن يؤدي تطبيق الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار فقط إلى تراجع متوسط عدد الأفرع في النبات، ويؤكد ذلك وجود علاقة ارتباط سالبة ولكنها غير معنوية بين صفة متوسط عدد الأفرع في النبات وموعد الإزهار ($r=-0.703$). توافقت هذه النتائج مع نتائج El-Dakroury (2008)، ونتائج Nanda وزملاؤه (1988) في محصول الفول.

الجدول رقم (6): متوسط عدد الأفرع في النبات (فرع . نبات¹) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
2.136 ^e	1.967	2.000	1.933	2.250	2.567	1.933	2.192	2.450	1.933	HBP/SOD/2008
2.322 ^{cd}	2.133	1.933	2.333	2.383	2.433	2.333	2.450	2.567	2.333	HBP/SOD/2007
2.694 ^a	2.617	2.233	3.000	2.767	2.533	3.000	2.700	2.400	3.000	HBP/SOE/2008
2.544 ^{ab}	2.517	2.200	2.833	2.550	2.267	2.833	2.567	2.300	2.833	ع 04/52
2.289 ^{de}	2.084	1.700	2.467	2.400	2.333	2.467	2.384	2.300	2.467	ع 04/56
2.244 ^{de}	2.250	2.133	2.367	2.150	1.933	2.367	2.334	2.300	2.367	ع 04/57
2.461 ^{bc}	2.234	2.200	2.267	2.667	3.067	2.267	2.483	2.700	2.267	حمأة ₂
2.400 ^{bcd}	2.317	2.033	2.600	2.300	2.000	2.600	2.583	2.567	2.600	حمأة ₃
-		2.054	2.475		2.392	2.475		2.448	2.475	المتوسط
	2.265 ^b			2.433 ^a			2.461 ^a			متوسط المرحلة
	2.298 ^a (إجهاد مائي)				2.475 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات	

تشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	0.5040ns	0.08679	0.1227	0.1651	0.2334	0.2859	0.4043
CV (%)	10.44						

الصفات التطورية Phenological traits

موعد الإزهار Anthesis date (يوم): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة موعد الإزهار بين الطرز الوراثية المدروسة، وتفاعلاتها المتبادلة مع المعاملات والمراحل التطورية المدروسة. كان متوسط عدد الأيام حتى الإزهار الأعلى معنوياً لدى نباتات الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (77.72 يوماً)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطرز الوراثية ع04/57، و HBP/SOD/2008، وع04/52، وع04/56 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (76.72 يوماً لكلٍ منها)، تلاها الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2007، وحماة₃ (76.06 يوماً لكلٍ منهما)، في حين كان متوسط عدد الأيام حتى الإزهار الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثي حماة₂ (75.72 يوماً) (الجدول، 7). ويُعزى التباين بين الطرز الوراثية المدروسة في موعد الإزهار إلى التباين في العوامل الوراثية، حيث تختلف الطرز الوراثية فيما بينها في طول موسم النمو، ومن ثم أطوال المراحل التطورية المختلفة. ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط عدد الأيام حتى الإزهار كان الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 عند معاملي الإجهاد المائي والشاهد وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (77.78، 77.67 يوماً على التوالي)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطرز الوراثية ع04/57، وع04/52، و HBP/SOD/2008، وع04/56 عند معاملي الإجهاد المائي والشاهد وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (76.78 يوماً لكلٍ منها عند معاملة الإجهاد المائي، 76.76 يوماً لكلٍ منها عند معاملة الشاهد على التوالي)، في حين كان متوسط عدد الأيام حتى الإزهار الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الصنف حماة₂ (75.67 يوماً). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط عدد الأيام حتى الإزهار كان الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 خلال مراحل الإزهار، والنضج الفيزيولوجي، وتشكل القرون وبدون فروقاتٍ معنوية فيما بينها (77.83، 77.67، 77.67 يوماً على التوالي)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطرز ع04/52، وع04/56، وع04/57، و HBP/SOD/2008 خلال مراحل الإزهار، وتشكل القرون، والنضج الفيزيولوجي وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (76.83 يوماً لكلٍ منها خلال مرحلة الإزهار، 76.67 يوماً لكلٍ منها خلال مرحلتي تشكل القرون، والنضج الفيزيولوجي على التوالي)، في حين كان متوسط عدد الأيام حتى الإزهار الأدنى معنوياً خلال مرحلتي تشكل

القرون، والنضج الفيزيولوجي لدى الصنف حماة² (75.67 يوماً لكل منها). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنَّ متوسط عدد الأيام حتى الإزهار كان الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 عند معاملتي الإجهاد المائي، والشاهد خلال كافة مراحل النمو وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (78.00، 77.67، 77.67، 77.67، 77.67، 77.67 يوماً على التوالي)، في حين كان متوسط عدد الأيام حتى الإزهار الأدنى معنوياً لدى الطراز حماة² عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلتَي تشكّل القرون، والنضج الفيزيولوجي، وعند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (75.67 يوماً لكل منها على التوالي).

الجدول رقم (7): متوسط عدد الأيام حتى الإزهار (يوم) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
76.72 ^b	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.83	77.00	76.67	HBP/SOD/2008
76.06 ^c	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.17	76.33	76.00	HBP/SOD/2007
77.72 ^a	77.67	77.67	77.67	77.67	77.67	77.67	77.83	78.00	77.67	HBP/SOE/2008
76.72 ^b	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.83	77.00	76.67	ع 04/52
76.72 ^b	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.83	77.00	76.67	ع 04/56
76.72 ^b	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.83	77.00	76.67	ع 04/57
75.72 ^d	75.67	75.67	75.67	75.67	75.67	75.67	75.83	76.00	75.67	حماة ₂
76.06 ^c	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.17	76.33	76.00	حماة ₃
-		76.50	76.50		76.50	76.50		76.83	76.50	المتوسط
	76.50 ^a			76.50 ^a			76.67 ^a			متوسط المرحلة
	76.61 ^a (إجهاد مائي)					76.50 ^a (شاهد)				

تشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	0.4778ns	0.3137ns	0.4436	0.1766	0.2498	0.3059	0.4326
CV (%)	0.35						

موعد النضج التام Maturity date (يوم): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة موعد النضج التام بين المعاملات، وتفاعلها مع المراحل، والطرز الوراثية المدروسة، وتفاعلها مع المعاملات. كان متوسط عدد الأيام حتى النضج الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد (152.4 يوماً) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي (148.8 يوماً). بالرغم من أنّ الإجهاد المائي لم يؤثر في موعد الإزهار إلاّ أنّه قلّل من عدد الأيام اللازمة للنضج، حيث يؤدي إلى تقصير الأطوار الفينولوجية/التطورية، فتنتهي النباتات دورة حياتها بشكلٍ مبكر للهروب من الجفاف المتزامن عادةً مع الحرارة المرتفعة، ويمكن أن يؤثر ذلك سلباً في طول فترة نمو البذور، وطول فترة امتلائها، ما يؤثر سلباً في حجم البذور، ومتوسط وزن البذرة الواحدة، الأمر الذي يؤثر سلباً في غلة المحصول البذرية. وكان متوسط عدد الأيام حتى النضج الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث تبعاً حسب تسلسلها التطوري (الإزهار، تشكل القرون، النضج الفيزيولوجي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (152.4 يوماً لكلٍ منها)، في حين كان متوسط عدد الأيام حتى النضج الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (147.7 يوماً). وكان متوسط عدد الأيام حتى النضج الأعلى معنوياً لدى نباتات الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (151.9 يوماً)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطرز الوراثية حماة³، و HBP/SOE/2008، وحماة² وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (151.5، 151.3، 151.1 يوماً على التوالي)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية الطرازين الوراثيين ع04/52، و ع04/56 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (150.2، 149.9 يوماً على التوالي)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (149.7 يوماً)، في حين كان متوسط عدد الأيام حتى النضج الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثي ع04/57 (149.2 يوماً). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط عدد الأيام حتى النضج كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (153 يوماً)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطرز HBP/SOD/2007، و HBP/SOD/2008، وع04/52، و ع04/56، و ع04/57، وحماة²، وحماة³ وبدون فروقاتٍ معنوية فيما بينها (152.3 يوماً لكلٍ منها)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (151.6 يوماً)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي لدى الصنف حماة³ (150.7 يوماً)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي لدى الطرازين الوراثيين

حمادة²، و HBP/SOE/2008 (149.9، 149.6 يوماً على التوالي)، في حين كان متوسط عدد الأيام حتى النضج الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز الوراثي ع04/57 (146.1 يوماً). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية، أنَّ متوسط عدد الأيام حتى النضج كان الأعلى معنوياً لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 خلال مراحل النمو كافةً، وخلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين الوراثيين حمادة²، و HBP/SOE/2008، وخلال مرحلة تشكل القرون لدى الصنف حمادة³ وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (152.0، 152.2، 151.7، 151.8، 151.7 يوماً على التوالي)، في حين كان متوسط عدد الأيام حتى النضج الأدنى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز ع04/57 (148.5 يوماً)، تلاه خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2008، وخلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي ع04/57 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (148.8، 149.0 يوماً على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنَّ متوسط عدد الأيام حتى النضج كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو كافة لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (153.0 يوماً لكلٍ منها)، في حين كان متوسط عدد الأيام حتى النضج الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/57 (144.7 يوماً)، تلاه معاملة الإجهاد خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (145.3 يوماً). توافقت هذه النتائج مع نتائج Younise (2002)، ونتائج Abdelmula (1999)، و Farooq وزملاؤه (2009)، و Ouji (2017) في محصول الفول.

الجدول رقم (8): متوسط عدد الأيام حتى النضج التام (يوم) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
149.7 ^d	148.8	145.3	152.3	149.3	146.3	152.3	150.8	149.3	152.3	HBP/SOD/2008
151.9 ^a	151.7	151.0	152.3	152.0	151.7	152.3	152.2	152.0	152.3	HBP/SOD/2007
151.3 ^b	150.7	148.7	153.0	151.3	149.7	153.0	151.7	150.3	153.0	HBP/SOE/2008
150.2 ^c	149.5	146.7	152.3	150.0	147.7	152.3	151.2	150.0	152.3	ع 04/52
149.9 ^{cd}	149.3	146.3	152.3	149.8	147.3	152.3	150.7	149.0	152.3	ع 04/56
149.2 ^e	148.5	144.7	152.3	149.0	145.7	152.3	150.2	148.0	152.3	ع 04/57
151.1 ^b	150.5	148.7	152.3	151.0	149.7	152.3	151.8	151.3	152.3	حماة ₂
151.5 ^b	151.3	150.3	152.3	151.8	151.3	152.3	151.3	150.3	152.3	حماة ₃
-		147.7	152.4		148.7	152.4		150.0	152.4	المتوسط
	150.1 ^a			150.5 ^a			151.2 ^a			متوسط المرحلة
	148.8 ^b (إجهاد مائي)					152.4 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات

تُشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

ABC	BC	AC	الطرز (C)	AB	المراحل (B)	المعاملات (A)	المتغير
1.009	0.7133	0.5824	0.4118	1.774	1.254ns	3.182	LSD (0.05)
0.41							CV (%)

الصفات المرتبطة بالغلة البذرية Seed yield related traits

متوسط عدد القرون في النبات (قرن⁻¹ . نبات⁻¹): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة متوسط عدد القرون في النبات بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان متوسط عدد القرون في النبات الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد (10.46 قرن.نبات⁻¹) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي (5.111 قرن.نبات⁻¹). وسبب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط عدد القرون في النبات مقداره 51.14%، ما يؤكد على أهمية الري بكمياتٍ كافية من المياه العذبة خلال مختلف مراحل النمو للحصول على أكبر عدد ممكن من القرون، التي تُعد من الصفات المهمة المحددة لغلة محصول الفول البذرية. وكان متوسط عدد القرون في النبات الأعلى معنوياً عندما تعرّضت النباتات للإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (8.854 قرن.نبات⁻¹)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية مرحلة النضج الفيزيولوجي (7.938 قرن.نبات⁻¹)، في حين كان الأدنى معنوياً عندما تعرّضت النباتات للإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (6.563 قرن.نبات⁻¹). وكان متوسط عدد القرون في النبات الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث تباعاً حسب تسلسلها التطوري (الإزهار، تشكل القرون، النضج الفيزيولوجي) (10.46 قرن.نبات⁻¹ لكلٍ منها)، تلاها معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (7.25 قرن.نبات⁻¹)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (5.417 قرن.نبات⁻¹)، في حين كان متوسط عدد القرون في النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (2.667 قرن.نبات⁻¹). وكان متوسط عدد القرون في النبات الأعلى معنوياً لدى نباتات الطراز HBP/SOD/2007 (10.69 قرن.نبات⁻¹)، تلاه لدى نباتات الطراز الوراثي ع04/52 (9.083 قرن.نبات⁻¹)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية الطرز الوراثية ع04/57، وحماة²، و HBP/SOE/2008 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (7.861، 7.472، 7.389 قرن.نبات⁻¹ على التوالي)، في حين كان متوسط عدد القرون في النبات الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين ع04/56 وحماة³ (6.361، 6.528 قرن.نبات⁻¹ على التوالي)، تلاهما الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (6.889 قرن. نبات⁻¹ على التوالي) (الجدول، 9). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط عدد القرون في النبات كان الأعلى معنوياً عند

معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (16.00 قرن. نبات¹)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي ع04/52 (12.33 قرن. نبات¹)، ثم وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطرز الوراثية ع04/57، وHBP/SOD/2008، وHBP/SOE/2008، وحماة² وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (9.667، 9.667، 9.667، 10.33 قرن. نبات¹ على التوالي)، في حين كان متوسط عدد القرون في النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (4.11 قرن. نبات¹). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط عدد القرون في النبات كان الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2007، وع04/52 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (11.75، 10.92 قرن. نبات¹ على التوالي)، في حين كان متوسط عدد القرون في النبات الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطرازين الوراثيين حماة³، وع04/56 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (5.00، 5.33 قرن. نبات¹ على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنّ متوسط عدد القرون في النبات كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل تشكل القرون، والإزهار، والنضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (16.00 قرن. نبات¹ لكلٍ منها)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد خلال مراحل الإزهار، والنضج الفيزيولوجي، وتشكل القرون لدى الطراز الوراثي ع04/52 (12.33 قرن. نبات¹ لكلٍ منها)، في حين كان متوسط عدد القرون في النبات الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2008، وحماة³ وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (2.00 قرن. نبات¹ لكلٍ منهما). عموماً، يتحدد عدد الأزهار الخصبة المتشكلة ومن ثمّ عدد القرون المتطورة بشكلٍ كامل بحجم المصدر (كمية نواتج التمثيل الضوئي المصنّعة)، وكفاءة النبات في تسخير كمية أكبر من نواتج التمثيل الضوئي Partitioning efficiency خلال مراحل النمو الثمري المختلفة، وبخاصةً مرحلتي الإزهار وتشكل القرون، حيث يؤدي تعرّض النباتات للإجهاد المائي ابتداءً من نهاية مرحلة الإزهار وخلال مرحلة تشكل القرون إلى إجهاض جميع الأزهار المتشكلة بشكلٍ متأخر، وتشتد المنافسة خلال مرحلة تشكل القرون على نواتج التمثيل الضوئي المتاحة بكمياتٍ محدودة نتيجة تراجع كفاءة النبات التمثيلية تحت ظروف الإجهاد المائي، الأمر الذي يؤثر سلباً في نمو القرون حديثة التكوين وتطورها، ما يؤدي إلى ازدياد نسبة القرون الفتية المتساقطة، ومن

ثمّ تراجع متوسط عدد القرون المتشكلة في النبات، ما يؤدي إلى انخفاض غلّة المحصول الاقتصادية. ويُعزى التباين في متوسط عدد القرون في النبات بين الطرز المدروسة إلى التباين في طول فترة الإزهار، ومن ثمّ عدد الأزهار الخصبة المتشكلة في النبات، وكفاءة الطرز الوراثية في المحافظة على قيم مرتفعة من جهد الامتلاء، ومن ثمّ استمرار انفتاح المسامات، ما يؤدي إلى استمرار انتشار غاز الفحم (CO_2) عبر المسامات، وضمان توافر كمية أكبر من غاز الفحم الذي يُعدّ بمنزلة المادة الأولية لعملية التمثيل الضوئي، بالإضافة إلى أهمية استمرار انفتاح المسامات في استمرار تفعيل التأثير المبرد لعملية النتج، والمحافظة على استدامة اخضرار الأوراق Stay green، ومن ثمّ المحافظة على حجم/ مساحة المسطح الورقي الفعّال في عملية التمثيل الضوئي، فتزداد كمية الأشعة الضوئية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي المعترضة والممتصة والمحوّلة إلى طاقة كيميائية مخزونة في روابط المركبات العضوية المُصنّعة (السكريات)، ما يضمن إتاحة كمية أكبر من نواتج التمثيل الضوئي المُسخّرة باتجاه مرحلة النمو الثمري، فيزداد عدد الأزهار الخصبة، ومعدّل تشكل القرون وتطورها. ويُعزى أيضاً التباين في متوسط عدد القرون في النبات إلى التباين في متوسط عدد الفروع في النبات، حيث كان متوسط عدد الأفرع في النبات الأعلى معنوياً لدى الطرز الوراثية HBP/SOE/2008، و ع04/52، وحماة² (2.694، 2.544، 2.461 فرعاً. نبات⁻¹ على التوالي)، التي شكلت معنوياً أعلى متوسط عدد قرون في النبات، في حين كان متوسط عدد الأفرع في النبات الأدنى معنوياً لدى الطراز HBP/SOD/2008 (2.136 فرعاً. نبات⁻¹)، الذي شكّل معنوياً أدنى متوسط عدد قرون في النبات (6.889 قرن. نبات⁻¹)، ما يؤكد على أهمية زيادة عدد الأفرع الثمرية في النبات لضمان زيادة متوسط عدد الأزهار، ومن ثمّ عدد القرون في النبات. ويُعزى أيضاً التباين في متوسط عدد القرون في النبات إلى التباين في محتوى الماء النسبي في الأوراق تحت ظروف الشاهد المروي والإجهاد المائي خلال مرحلتي الإزهار وتشكل القرون، حيث يُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين صفة عدد القرون في النبات وصفة محتوى الماء النسبي في الأوراق عند تطبيق الإجهاد المائي خلال مرحلتي الإزهار وتشكل القرون ($r = 0.508$; $r = 0.647$)، ما يُشير على أهمية المحافظة على محتوى الخلايا النباتية المائي لضمان استمرار انفتاح المسامات ولو جزئياً، ما يُساعد في ضمان استمرار انتشار غاز الفحم، وتفعيل التأثير المبرد لعملية النتج، الأمر الذي يُسهم في زيادة تركيز غاز الفحم المتاح في مراكز التثبيت ضمن الصّانعات الخضراء،

والمحافظة على استدامة اخضرار الأوراق، ما يؤدي إلى زيادة كفاءة النباتات التمثيلية، ومن ثمّ كمية نواتج التمثيل الضوئي المُصنَّعة والمتاحة خلال مرحلتي الإزهار وتشكل القرون، ما يؤدي إلى زيادة عدد القرون المتشكلة في النباتات، وعدد البذور في القرن الواحد. ولوحظ أنّ الطرز الوراثية التي شكّلت معنوياً عدداً أكبر من القرون في النبات، مثل HBP/SOD/2007، وع04/52 (10.69، 9.083 قرن . نبات⁻¹ على التوالي) كان محتوًى الماء النسبي فيها الأعلى معنوياً. وافقت هذه النتائج مع نتائج El-Dakroury (2008)، و Salih (1985)، و Farah (1981)، و Mohamed (1989)، و Brown وزملاؤه (1985) في محصول الفول.

الجدول رقم (9): متوسط عدد القرون في النبات (قرن¹) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
6.889 ^{de}	7.17	4.667	9.667	5.83	2.00	9.667	7.67	5.667	9.667	HBP/SOD/2008
10.690 ^a	10.67	5.333	16.00	9.67	3.333	16.00	11.75	7.50	16.00	HBP/SOD/2007
7.389 ^{cd}	7.33	5.00	9.667	6.33	3.00	9.667	8.50	7.333	9.667	HBP/SOE/2008
9.083 ^b	9.00	5.667	12.33	7.33	2.333	12.33	10.92	9.50	12.33	ع 04/52
6.361 ^e	6.50	5.00	8.00	5.33	2.667	8.00	7.25	6.50	8.00	ع 04/56
7.861 ^c	8.33	6.333	10.33	6.33	2.333	10.33	8.92	7.50	10.33	ع 04/57
7.472 ^c	7.67	5.667	9.667	6.67	3.667	9.667	8.08	6.50	9.667	حماة ₂
6.528 ^e	6.83	5.667	8.00	5.00	2.00	8.00	7.75	7.50	8.00	حماة ₃
-		5.417	10.46		2.667	10.46		7.25	10.46	المتوسط
	7.938 ^b			6.563 ^c			8.854 ^a			متوسط المرحلة
	5.111 ^b (إجهاد مائي)				10.46 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات	

تُشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

ABC	BC	AC	الطرز (C)	AB	المراحل (B)	المعاملات (A)	المتغير
1.293	0.9142	0.7464	0.5278	0.3014	0.2131	0.2151	LSD (0.05)
10.23							CV (%)

متوسط عدد البذور في المتر المربع **Number of seeds per square meter**: بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة متوسط عدد البذور في المتر المربع بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان متوسط عدد البذور في المتر المربع الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد المروي (379.9 بذرة.م⁻²) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي (134.8 بذرة.م⁻²)، حيث سبّب الإجهاد المائي انخفاضاً مقداره 64.52% في متوسط عدد البذور في المتر المربع. وكان متوسط عدد البذور في المتر المربع الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار (310.4 بذرة.م⁻²)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (235.9 بذرة.م⁻²)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون (225.7 بذرة.م⁻²) (الجدول، 10). وكان متوسط عدد البذور في المتر المربع الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث تبعاً حسب تسلسلها التطوري (الإزهار، تشكل القرون، النضج الفيزيولوجي) (379.9 بذرة.م⁻² لكلٍ منها)، تلاها معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (241.0 بذرة.م⁻²)، ثمّ بفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (91.90 بذرة.م⁻²)، في حين كان متوسط عدد البذور في المتر المربع الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (71.57 بذرة.م⁻²). وكان متوسط عدد البذور في المتر المربع الأعلى معنوياً لدى نباتات الطراز ع04/52 (335.0 بذرة.م⁻²)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2007، وحماة² (306.5، 299.0 بذرة.م⁻² على التوالي)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية الطراز ع04/57 (253.2 بذرة.م⁻²)، في حين كان متوسط عدد البذور في المتر المربع الأدنى معنوياً لدى الصنف حماة³ (209.2 بذرة.م⁻²)، تلاه الطرز الوراثية ع04/56، و HBP/SOD/2008، و HBP/SOE/2008 (214.8، 219.1، 222.2 بذرة.م⁻² على التوالي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها. ويلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط عدد البذور في المتر المربع كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطراز ع04/52 (499.4 بذرة.م⁻²)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2007، وحماة² وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (464.3، 462.3 بذرة.م⁻² على التوالي)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي ع04/57 (373.5 بذرة.م⁻²)، في حين كان متوسط عدد البذور في المتر المربع الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز الوراثي

HBP/SOE/2008 (106.9 بذرة.م⁻²). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية، أن متوسط عدد البذور في المتر المربع كان الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي ع04/52 (413.0 بذرة.م⁻²)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (364.8 بذرة.م⁻²)، ثم وبفروقاتٍ معنوية خلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين الوراثيين حماة²، وع04/57، ومرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/52 (330.9، 316.9، 321.8 بذرة.م⁻² على التوالي)، في حين كان متوسط عدد البذور في المتر المربع الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون لدى الصنف حماة³ (172.5 بذرة.م⁻²). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أن متوسط عدد البذور في المتر المربع كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النضج الفيزيولوجي، وتشكل القرون، والإزهار لدى الطراز الوراثي ع04/52 (499.3 بذرة.م⁻² لكلٍ منها)، وبدون فروقاتٍ معنوية بينها، تلاها عند معاملة الشاهد لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2007، وحماة² خلال مراحل النمو الثلاث (464.3 بذرة.م⁻² لكلٍ منها، 462.3 بذرة.م⁻² لكلٍ منها على التوالي)، في حين كان متوسط عدد البذور في المتر المربع الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي ع04/52 (41.00 بذرة.م⁻²). عموماً، يُعزى التباين في متوسط عدد البذور في وحدة المساحة من الأرض إلى التباين في متوسط عدد القرون في النبات، ومتوسط عدد البذور في القرن الواحد، وما يؤكد ذلك أن الطرز الوراثية التي شكلت معنوياً عدداً أكبر من القرون، مثل HBP/SOD/2007، ع04/52، ع04/57، وحماة² (10.69، 9.083، 7.861، 7.472 قرن.نبات⁻¹ على التوالي) قد امتلكت معنوياً أعلى متوسط عدد بذور في وحدة المساحة من الأرض، في حين كان متوسط عدد البذور في المتر المربع الأدنى معنوياً لدى الطرز التي شكلت معنوياً عدداً أقل من القرون في النبات الواحد، مثل ع04/56، وحماة³، و HBP/SOD/2008 (6.361، 6.528، 6.889 قرن.نبات⁻¹ على التوالي). ويؤكد ذلك أيضاً وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً بين صفة عدد البذور في المتر المربع وكلٍ من متوسط عدد البذور في القرن، وعدد القرون في النبات ($r=0.736^{**}$ ، $r=0.593^{**}$ على التوالي) تحت ظروف الري الكامل. وأيضاً تحت ظروف الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار ($r=0.694^{**}$ ، $r=0.661^{**}$ على التوالي). وترتبط صفة متوسط عدد البذور في المتر المربع بشكلٍ موجب ومعنوي مع صفة عدد القرون في النبات فقط

عندما تتعرض النباتات لظروف الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون ($r=0.861^{**}$)، ولكنها ارتبطت بشكلٍ سلبي وغير معنوي مع صفة عدد البذور في القرن ($r=-0.437$)، لأنّ الجفاف خلال تلك المرحلة يؤثر سلباً في معدل نمو البذور ضمن القرن الواحد، ما يؤدي إلى انخفاض متوسط عدد البذور الناضجة المتكونة في القرن. توافقت هذه النتائج مع نتائج Jaleel وزملاؤه (2009)، و Brown وزملاؤه (1985) في محصول الفول.

الجدول رقم (10): متوسط عدد البذور في المتر المربع (بذرة م⁻²) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
219.1 ^{de}	188.09	64.17	312	186.74	61.47	312.0	282.4	252.8	312.0	HBP/SOD/2008
306.5 ^b	269.65	75.0	464.3	285.10	105.9	464.3	364.8	265.2	464.3	HBP/SOD/2007
222.2 ^d	193.24	49.17	337.3	206.90	76.5	337.3	266.15	195.0	337.3	HBP/SOE/2008
335.0 ^a	321.8	144.0	499.3	270.15	41.00	499.3	413.0	326.6	499.3	ع 04/52
214.8 ^{de}	209.10	119.2	299.0	181.17	63.33	299.0	253.95	208.9	299.0	ع 04/56
253.2 ^c	220.92	68.33	373.5	221.69	69.87	373.5	316.9	260.3	373.5	ع 04/57
299.0 ^b	284.65	107.0	462.3	281.40	100.5	462.3	330.9	199.5	462.3	حماة ₂
209.2 ^e	199.65	108.3	291.0	172.5	54.0	291.0	255.4	219.8	291.0	حماة ₃
-		91.90	379.9		71.57	379.9		241.0	379.9	المتوسط
	235.9 ^b			225.7 ^c			310.4 ^a			متوسط المرحلة
	134.8 ^b (إجهاد مائي)					379.9 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات

تشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	21.56	3.507	4.960	10.05	14.21	17.41	24.62
CV (%)	5.89						

متوسط عدد البذور في القرن **Number of seeds per pod**: بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة متوسط عدد البذور في القرن بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان متوسط عدد البذور في القرن الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد (2.875 بذرة.قرن⁻¹) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي (1.877 بذرة.قرن⁻¹)، وسبب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط عدد البذور في القرن مقداره 34.71%. وكان متوسط عدد البذور في القرن الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار (2.597 بذرة.قرن⁻¹)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (2.440 بذرة.قرن⁻¹)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون (2.092 بذرة.قرن⁻¹)، لأنّه خلال مرحلة الإزهار يتحدد العدد النهائي للقرون، في حين يتحدد خلال مرحلة تشكل القرون وتطورها العدد النهائي للبذور في القرن، حيث تتم عملية نمو البذور وتطورها خلال مرحلة تشكل القرون، في حين تبدأ عملية امتلاء البذور خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي، التي تُحدد بدورها متوسط وزن المائة بذرة. وكان متوسط عدد البذور في القرن الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث تباعاً حسب تسلسلها التطوري (الإزهار، تشكل القرون، النضج الفيزيولوجي) (2.875 بذرة.قرن⁻¹ لكلٍ منها)، تلاها معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (2.319 بذرة.قرن⁻¹)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (2.004 بذرة.قرن⁻¹)، في حين كان متوسط عدد البذور في القرن الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (1.308 بذرة.قرن⁻¹). وكان متوسط عدد البذور في القرن الأعلى معنوياً لدى نباتات الطراز الوراثي ع04/52 (2.689 بذرة.قرن⁻¹)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطرز الوراثية HBP/SOD/2008، ع04/57، HBP/SOD/2007، وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (2.517، 2.517، 2.411 بذرة.قرن⁻¹ على التوالي)، ثمّ الطرز الوراثية حماة²، وحماة³، وع04/56 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (2.347، 2.336، 2.269 بذرة.قرن⁻¹ على التوالي)، في حين كان متوسط عدد البذور في القرن الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (1.922 بذرة.قرن⁻¹) (الجدول، 11). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية أنّ متوسط عدد البذور في القرن كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي ع04/52 (3.400 بذرة.قرن⁻¹)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية لدى الطرز الوراثية ع04/57، وحماة²، و HBP/SOD/2008،

و HBP/SOD/2007، وحماة³ (3.067، 2.967، 2.933، 2.933، 2.900 بذرة.قرن¹-على التوالي)، في حين كان متوسط عدد البذور في القرن الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (1.611 بذرة.قرن¹-). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط عدد البذور في القرن كان الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي ع 04/52 (2.900 بذرة.قرن¹-)، تلاها خلال مرحلة الإزهار لدى الطرز ع 04/57، و HBP/SOD/2008، و HBP/SOD/2007، وخلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع 04/52 (2.783، 2.767، 2.717، 2.767 بذرة.قرن¹-على التوالي)، في حين كان متوسط عدد البذور في القرن الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (1.617 بذرة.قرن¹-). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنّ متوسط عدد البذور في القرن كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو التطورية الثلاث لدى الطرازين ع 04/52، ع 04/57 (3.400، 3.400، 3.067، 3.067، 3.067 بذرة.قرن¹-على التوالي)، في حين كان متوسط عدد البذور في القرن الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (1.000 بذرة.قرن¹-)، تلاها معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطرز الوراثية HBP/SOD/2007، وع 04/57، وحماة² (1.167، 1.267، 1.300 بذرة.قرن¹-على التوالي). عموماً، يتحدد متوسط عدد البذور المتشكلة في القرن في نباتات محصول الفول خلال مرحلة تشكل القرون، حيث يؤدي تراجع محتوى التربة المائي خلال هذه المرحلة الحرجة من حياة النبات إلى تراجع معدل نمو البذور وتطورها، الأمر الذي يؤثر سلباً في عدد البذور المتشكلة في القرن الواحد، ويمكن أن يؤدي تراجع متوسط عدد البذور المتكونة في القرن إلى زيادة متوسط وزن البذرة الواحدة، إذا توافرت المياه العذبة بكميات كافية خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي. ويُعزى تبعاً لذلك التباين الوراثي بين الطرز الوراثية المدروسة في صفة متوسط عدد البذور في القرن إلى التباين في مقدرتها على امتصاص كمية كافية من المياه، وتصنيع كمية كافية من نواتج التمثيل الضوئي لتأمين احتياجات النمو لجميع البذور المتشكلة في القرون. توافقت هذه النتائج مع نتائج Salih (1985)، و Farah (1981)، و Mohamed (1989)، و Brown وزملاؤه (1985) في محصول الفول.

الجدول رقم (11): متوسط عدد البذور في القرن (بذرة.قرن⁻¹) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
2.517 ^b	2.650	2.367	2.933	2.133	1.333	2.933	2.767	2.600	2.933	HBP/SOD/2008
2.411 ^{bc}	2.467	2.000	2.933	2.050	1.167	2.933	2.717	2.500	2.933	HBP/SOD/2007
1.922 ^d	2.033	1.833	2.233	1.617	1.000	2.233	2.117	2.000	2.233	HBP/SOE/2008
2.689 ^a	2.767	2.133	3.400	2.400	1.400	3.400	2.900	2.400	3.400	ع 04/52
2.269 ^c	2.284	2.000	2.567	2.117	1.667	2.567	2.409	2.250	2.567	ع 04/56
2.517 ^b	2.600	2.133	3.067	2.167	1.267	3.067	2.783	2.500	3.067	ع 04/57
2.347 ^c	2.350	1.733	2.967	2.134	1.300	2.967	2.559	2.150	2.967	حماة ²
2.336 ^c	2.367	1.833	2.900	2.117	1.333	2.900	2.525	2.150	2.900	حماة ³
-		2.004	2.875		1.308	2.875		2.319	2.875	متوسط المعاملة
	2.440 ^b			2.092 ^c			2.597 ^a			متوسط المرحلة
	1.877 ^b (إجهاد مائي)				2.875 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات	

تشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	0.4126	0.1134	0.1603	0.1437	0.2032	0.2489	0.3520
CV (%)	9.17						

متوسط وزن المائة بذرة (غ) 100-seed weight: بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة متوسط وزن المائة بذرة بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان متوسط وزن المائة بذرة الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد (159.7 غ) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي (134.9 غ). سبّب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط وزن المائة بذرة مقداره 15.53%. عموماً، يؤدي تعرّض النباتات لظروف الإجهاد المائي وبخاصةٍ خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (امتلاء البذور) إلى تراجع درجة امتلاء البذور، ومن ثمّ وزن البذرة الواحدة، لأنّ الماء هو الناقل الوحيد لنواتج التمثيل الضوئي من المصدر (الأوراق والسوق) إلى المصب (البذور). وكان متوسط وزن المائة بذرة الأعلى معنوياً خلال مرحلتي الإزهار، وتشكل القرون وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (151.9، 151.2 غ على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (138.7 غ). وكان متوسط وزن المائة بذرة الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث تباعاً حسب تسلسلها التطوري (الإزهار، تشكل القرون، النضج الفيزيولوجي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (159.7 غ لكلٍ منها)، تلاها معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلتي الإزهار، وتشكل القرون وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (144.0، 142.8 غ على التوالي)، في حين كان متوسط وزن المائة بذرة الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (117.8 غ). وكان متوسط وزن المائة بذرة الأعلى معنوياً لدى نباتات الطراز الوراثي ع04/52 (167.7 غ)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية الصنف حماة₂ (156.3 غ)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية الطرز الوراثية HBP/SOD/2008، و HBP/SOE/2008، و HBP/SOD/2007 (151.4، 151.2، 150.8 غ على التوالي)، في حين كان متوسط وزن المائة بذرة الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين ع04/57، و ع04/56 (131.3، 132.4 غ على التوالي)، تلاهما الصنف حماة₃ (137.1 غ). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية أنّ متوسط وزن المائة بذرة كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي ع04/57 (184.6 غ)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (170.2 غ)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطرازين الوراثيين حماة₂، و HBP/SOD/2008 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (165.4، 163.3 غ على التوالي)، في حين كان متوسط وزن المائة بذرة الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز

الوراثي ع04/56 (116.1 غ)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملّة الإجهاد المائي لدى الطرازين الوراثيين ع04/57، وحماة³ (124.6، 126.4 غ على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية أنّ متوسط وزن المائة بذرة كان الأعلى معنوياً خلال مرحلتي الإزهار، وتشكل القرون لدى الطراز الوراثي ع04/52 (171.2، 167.2 غ على التوالي)، في حين كان متوسط وزن المائة بذرة الأدنى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/57 (116.7 غ). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنّ متوسط وزن المائة بذرة كان الأعلى معنوياً عند معاملّة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث لدى الطراز ع04/52 (184.6 غ لكلٍ منها)، في حين كان متوسط وزن المائة بذرة الأدنى معنوياً عند معاملّة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطرازين الوراثيين ع04/56، و ع04/57 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (94.34، 95.24 غ على التوالي) (الجدول، 12). تُشير هذه النتائج بوضوح إلى أهمية توافر المياه خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لزيادة متوسط وزن البذرة الواحدة، ومن ثمّ وزن المائة البذرة، لأنّ الماء هو الناقل الوحيد لنواتج التمثيل الضوئي من المصدر Source (الأوراق والسوق) إلى المصب (البذور) (Fricke وزملاؤه، 2004). وما يؤكد ذلك أنّ الطرز الوراثية التي حافظت على قيم مرتفعة نسبياً من محتوى الماء النسبي في الأوراق، وكانت فيها نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأدنى معنوياً، كان فيها متوسط وزن المائة بذرة الأعلى معنوياً والعكس صحيح. ويتبين مما سبق، أنّ الوزن النهائي للبذور يتحدد بشكلٍ رئيسٍ بمعدّل نمو البذرة وتطورها (حجم المصب) Seed size، وكفاءة النبات في توصيل كمية أكبر من نواتج التمثيل الضوئي إلى البذور (معدّل نقل نواتج التمثيل الضوئي من المصدر إلى المصب)، وطول فترة امتلاء البذور، حيث يؤدي تعرض النباتات للإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي إلى تقصير طول فترة امتلاء البذور، ما يؤثر سلباً في درجة امتلائها ومتوسط وزنها. توافقت هذه النتائج مع نتائج Farah (1981)، و Mohamed (1989)، و Theib وزملاؤه (2005)، و Ouj (2017) في محصول الفول.

الجدول رقم (12): متوسط وزن المائة بذرة (غ) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
151.4 ^c	142.6	121.9	163.3	158.6	153.9	163.3	152.9	142.5	163.3	HBP/SOD/2008
150.8 ^c	151.0	142.6	159.4	147.7	136.1	159.4	153.6	147.9	159.4	HBP/SOD/2007
151.2 ^c	138.5	106.8	170.2	158.2	146.3	170.2	156.9	143.7	170.2	HBP/SOE/2008
167.7 ^a	164.5	144.4	184.6	167.2	149.8	184.6	171.2	157.9	184.6	ع 04/52
132.4 ^e	121.5	94.34	148.7	135.1	121.6	148.7	140.6	132.5	148.7	ع 04/56
131.3 ^e	116.7	95.24	138.1	139.4	140.7	138.1	137.9	137.8	138.1	ع 04/57
156.3 ^b	151.5	137.7	165.4	158.2	151.1	165.4	158.9	152.5	165.4	حملة ₂
137.1 ^d	123.4	99.07	147.8	145.2	142.7	147.8	142.6	137.4	147.8	حملة ₃
-		117.8	159.7		142.8	159.7		144.0	159.7	المتوسط
	138.7 ^b			151.2 ^a			151.9 ^a			متوسط المرحلة
	134.9 ^b (إجهاد مائي)				159.7 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات	

تشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	8.532	1.307	1.848	3.335	4.716	5.776	8.168
CV (%)	3.42						

متوسط الغلة الحيوية (غم⁻²) **Biological yield**: بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة متوسط الغلة الحيوية بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان متوسط الغلة الحيوية الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد (795.1 غم⁻²) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي (523.2 غم⁻²) (الجدول، 13). وسبب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط الغلة الحيوية مقداره 34.20%. وكان متوسط الغلة الحيوية الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار (727.4 غم⁻²)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية مرحلة النضج الفيزيولوجي (650.1 غم⁻²)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون (600.1 غم⁻²) (الجدول، 13). وكان متوسط الغلة الحيوية الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث تباعاً حسب تسلسلها التطوري (الإزهار، تشكل القرون، النضج الفيزيولوجي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (795.1 غم⁻² لكلٍ منها)، تلاها معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (659.6 غم⁻²)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (505.0 غم⁻²)، في حين كان متوسط الغلة الحيوية الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (405.0 غم⁻²) (الجدول، 13). وكان متوسط الغلة الحيوية الأعلى معنوياً لدى نباتات الطرز الوراثية ع04/52 و HBP/SOD/2007، وع04/57، وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (710.6، 717.4، 726.8 غم⁻²)، تلاها الصنف حماة² (694.5 غم⁻²)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية لدى الطرازين HBP/SOD/2008، و HBP/SOE/2008 (645.1، 639.6 غم⁻² على التوالي)، في حين كان متوسط الغلة الحيوية الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين حماة³، وع04/56 (568.7، 570.6 غم⁻² على التوالي) (الجدول، 13). ويلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية أنّ متوسط الغلة الحيوية كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطرازين الوراثيين ع04/52، و HBP/SOD/2007 (885.0، 877.5 غم⁻² على التوالي)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطرز الوراثية حماة²، وع04/57، و HBP/SOD/2008 (825.0، 822.0، 805.0 غم⁻² على التوالي)، في حين كان متوسط الغلة الحيوية الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز ع04/56 (433.7 غم⁻²)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي لدى الطرز الوراثية HBP/SOE/2008، و HBP/SOD/2008، والصنف حماة³ (484.3، 485.2، 493.4 غم⁻² على التوالي).

ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية، أنَّ متوسط الغلّة الحيوية كان الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين ع04/57، وع04/52 (840.3، 814.0 غ.م⁻² على التوالي)، في حين كان متوسط الغلّة الحيوية الأدنى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطرازين الوراثيين ع04/56، وحماة³، وخلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز ع04/56 (541.3، 549.5، 552.8 غ.م⁻² على التوالي) (الجدول، 13). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنَّ متوسط الغلّة الحيوية كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث لدى الطرازين الوراثيين ع04/52 و HBP/SOD/2007 (885.0 غ.م⁻² لكلٍ منها، 877.5 غ.م⁻² لكلٍ منها على التوالي)، في حين كان متوسط الغلّة الحيوية الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي ع04/57 (354.3 غ.م⁻²) (الجدول، 13).

تُشير هذه النتائج إلى أهمية إتاحة المياه خلال مختلف مراحل النمو لزيادة معدّل نمو النباتات ومن ثمّ الكتلة الحية عند النضج. ويؤدي تراجع محتوى التربة المائي خلال مراحل النمو المختلفة إلى تراجع معدّل نمو الأجزاء الخضرية (الساق الرئيس، والأفرع، والأوراق). وتُعدّ مرحلة تشكل القرون أكثر أهمية في تحديد الوزن الجاف الكلي للنبات (الغلّة البيولوجية) بالمقارنة مع باقي مراحل النمو، ويُعزى ذلك إلى تراجع عدد القرون المتشكلة في النبات الواحد، ويعود ذلك إلى حقيقة أنَّ الوزن النوعي للأجزاء الثمرية (قرون، بذور) أكبر من الوزن النوعي للأوراق. ويُعزى التباين بين الطرز المدروسة في متوسط الغلّة الحيوية إلى التباين في متوسط ارتفاع النبات، وعدد الأوراق على النبات، وعدد القرون في النبات، كما هو الحال لدى الطرز الوراثية ع04/52، و HBP/SOD/2007 (68.32، 66.57 سم؛ 84.35، 84.02 ورقة . نبات¹؛ 9.083، 10.69 قرن. نبات¹ على التوالي)، في حين يُعزى تفوق الطراز HBP/SOD/2008 (65.99 سم، 80.82 ورقة . نبات¹)، بينما يُعزى تفوق الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 في صفة الكتلة الحيوية إلى تفوقه في صفاتي ارتفاع النبات، وعدد الأوراق على النبات فقط (73.79 سم، 7.389 فرعاً. نبات¹، 79.87 ورقة. نبات¹ على التوالي)، وبالمقابل يُعزى تدني الكتلة الحيوية لدى الصنف حماة³ إلى تدني عدد القرون في النبات، وعدد الأوراق

في النبات، وعدد الأفرع في النبات (6.528 قرن. نبات⁻¹، 83.54 ورقة. نبات⁻¹، 2.40 فرعاً نبات⁻¹). إذاً، تتباين الصفات المحددة للكتلة الحيوية في محصول الفول باختلاف الطراز الوراثي، ومرحلة النمو التي تتعرض خلالها النباتات لظروف الإجهاد المائي. ويمكن أيضاً أن يُعزى التباين بين الطرز الوراثية في صفة الكتلة الحيوية عند النضج إلى التباين في كفاءتها في توزيع ونقل نواتج التمثيل الضوئي بين أجزاء النبات المختلفة. توافقت هذه النتائج مع نتائج Xia (1994)، و Farooq وزملاؤه (2009)، و Jaleel وزملاؤه (2009)، و Oujj (2017) في محصول الفول، ومع نتائج Emam وزملاؤه (2010) في محصول الفاصولياء.

الجدول رقم (13): متوسط الغلة الحيوية (غم.م⁻²) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
645.1 ^c	661.6	518.3	805.0	602.5	400.0	805.0	671.2	537.3	805.0	HBP/SOD/2008
717.4 ^a	741.7	606.0	877.5	621.7	366.0	877.5	788.7	700.0	877.5	HBP/SOD/2007
639.6 ^c	616.0	437.0	795.0	603.1	411.3	795.0	699.7	604.5	795.0	HBP/SOE/2008
726.8 ^a	728.6	572.3	885.0	637.6	390.3	885.0	814.0	743.0	885.0	ع 04/52
570.6 ^d	541.3	375.0	707.5	552.8	398.0	707.5	617.7	528.0	707.5	ع 04/56
710.6 ^{ab}	653.5	585.0	822.0	538.1	354.3	822.0	840.3	858.5	822.0	ع 04/57
694.5 ^b	658.3	491.7	825.0	629.6	434.3	825.0	795.5	766.0	825.0	حماة ₂
568.7 ^d	549.5	455.0	644.0	564.8	485.7	644.0	591.7	539.5	644.0	حماة ₃
-		505.0	795.1		405.0	795.1		659.6	795.1	المتوسط
	650.1 ^b			600.1 ^c			727.4 ^a			متوسط المرحلة
	523.2 ^b (إجهاد مائي)				795.1 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات	

تُشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	24.76	5.862	8.290	18.90	26.74	32.74	46.31
CV (%)	4.33						

متوسط الغلة البذرية (غ.م⁻²) Seed yield: بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة متوسط الغلة البذرية بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان متوسط الغلة البذرية الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد (368.2 غ.م⁻²) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي (195.6 غ.م⁻²). وسبب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط الغلة البذرية مقداره 46.87 %، ما يُشير إلى أهمية توافر المياه بكمياتٍ كافية خلال مختلف مراحل النمو لبلوغ الطاقة الإنتاجية الفعلية ضمن المعطيات المناخية السائدة في منطقة الزراعة، وحزمة الممارسات الزراعية المطبقة. وكان متوسط الغلة البذرية الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار (318.8 غ.م⁻²)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية مرحلة النضج الفيزيولوجي (275.1 غ.م⁻²)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون (251.8 غ.م⁻²) (الجدول، 14). وكان متوسط الغلة البذرية الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث تباعاً حسب تسلسلها التطوري (الإزهار، تشكل القرون، النضج الفيزيولوجي) وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (368.2 غ.م⁻² لكلٍ منها)، تلاها معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (269.3 غ.م⁻²)، ثم وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (182.1 غ.م⁻²)، في حين كان متوسط الغلة البذرية الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (135.5 غ.م⁻²). وكان متوسط الغلة البذرية الأعلى معنوياً لدى نباتات الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (334.3 غ.م⁻²)، ثم وبفروقاتٍ معنوية لدى نباتات الصنف حماة₂ (323.2 غ.م⁻²)، تلاه الطراز الوراثي ع04/52 (311.8 غ.م⁻²)، تلاه الطراز الوراثي ع04/57 (283.8 غ.م⁻²)، ثم وبفروقاتٍ معنوية لدى نباتات الطراز HBP/SOE/2008 (264.7 غ.م⁻²)، في حين كان متوسط الغلة البذرية الأدنى معنوياً لدى الطرازين الوراثيين ع04/56، وحماة₃ (238.0، 244.4 غ.م⁻² على التوالي)، تلاه الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (255.2 غ.م⁻²). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط الغلة البذرية كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطرازين الوراثيين حماة₂، و HBP/SOD/2007 (443.5، 443.0 غ.م⁻² على التوالي)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي ع04/52 (408.5 غ.م⁻²)، ثم وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (365.5 غ.م⁻²)، في حين كان متوسط الغلة البذرية الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطرز الوراثية HBP/SOE/2008،

وع04/56، وحماة3 (163.9، 173.5، 173.8 غ.م⁻² على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط الغلّة البذرية كان الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (394.0 غ.م⁻²)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية خلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين الوراثيين حماة2، وع04/57 (364.3، 351.8 غ.م⁻² على التوالي)، وبدون فروقات معنوية بينها، في حين كان متوسط الغلّة البذرية الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون لدى الصنف حماة3 (219.2 غ.م⁻² على التوالي) (الجدول، 14).

ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنّ متوسط الغلّة البذرية كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث لدى الطرازين الوراثيين حماة2، و HBP/SOD/2007 (443.5 غ.م⁻² لكلٍ منها، 443.0 غ.م⁻² لكلٍ منها على التوالي)، وبدون فروقات معنوية بينهما، تلاها عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث لدى الطراز الوراثي ع04/52 (408.5 غ.م⁻² لكلٍ منها)، في حين كان متوسط الغلّة البذرية الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (119.2 غ.م⁻²). عموماً، يؤثر الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار سلباً في نسبة الأزهار الخصبة المتشكلة، في حين يؤدي تعرض النباتات للجفاف خلال مرحلة تشكل القرون إلى زيادة معدّل تساقط القرون المتشكلة حديثاً، ما يؤثر سلباً في عدد القرون المتشكلة الكلية في النبات، ويؤدي الجفاف أيضاً إلى تراجع معدّل نمو القرون وتطورها، الأمر الذي يؤثر سلباً في عدد البذور المتشكلة في القرن الواحد/النبات/وحدة المساحة من الأرض، كما يؤثر الجفاف سلباً في معدّل نمو البذرة Seed growth rate وطول فترة نموها Seed growth period، الأمر الذي يؤثر سلباً في حجم البذور المتشكلة، وتقل كفاءتها التخزينية (قوة المصب Sink strength)، فتزداد نسبة البذور الصغيرة والضامرة المتشكلة، ما يؤثر سلباً في متوسط وزن البذرة الواحدة. عموماً، يؤثر تراجع كل تلك المكونات العددية للغة البذرية Numerical yield component سلباً في غلة المحصول من البذور. ويُعزى التباين في الغلّة البذرية بين الطرز الوراثية إلى التباين في عدد الأفرع الثمرية، ومتوسط عدد القرون في النبات، ومتوسط عدد البذور في وحدة المساحة من الأرض، ومتوسط وزن المائة بذرة، حيث يُلاحظ أنّ الطرز الوراثية التي تفوقت في كلٍ من عدد الأفرع في النبات، وعدد القرون في النبات، وعدد البذور في القرن، ومتوسط عدد

البذور في المتر المربع، ووزن المائة بذرة، مثل ع04/52، وحماة² (باستثناء صفتي عدد القرون في النبات، وعدد البذور في القرن بالنسبة إلى حماة²)، والطرارز الوراثي HBP/SOD/2007 (باستثناء صفة عدد الأفرع في النبات)، قد تفوقت أيضاً في الغلة البذرية، في حين يُعزى تفوق الطراز الوراثي ع04/57 في صفة الغلة البذرية إلى تفوقه في صفة عدد البذور في المتر المربع، وعدد البذور في القرن فقط، بينما يُعزى تفوق الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 في صفة الغلة البذرية إلى تفوقه في كل من عدد الأفرع في النبات، ووزن المائة بذرة فقط. إذاً، تتباين الصفات المحددة لغلة محصول الفول البذرية باختلاف الصنف المزروع، والصفات المدروسة لكل صنف. لذلك لابد أن يتوخى مربى النبات الحذر في اختيار الآباء المناسبة تبعاً للصفات المستهدفة في برامج التربية والتحسين الوراثي. ويلاحظ أن غلة البذور كانت الأعلى معنوياً عندما تعرّضت النباتات للإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار، تلاها مرحلة النضج الفيزيولوجي، ويُعزى ذلك إلى كفاءة النباتات في تعويض التراجع الحاصل في عدد القرون المتشكلة من خلال زيادة عدد البذور في القرن، ويتبين من ذلك أن صفة الغلة البذرية في الفول تتحدد بدرجة أكبر بمتوسط عدد البذور في المتر المربع بالمقارنة مع متوسط وزن البذرة الواحد/المائة بذرة، علماً أن كلٍ منهما من أهم مكونات الغلة البذرية العددية. وتُعدّ مرحلة تشكل القرون من أكثر المراحل التطورية حساسيةً لظروف العجز المائي وفقاً لمفهوم الانخفاض النسبي في الغلة البذرية، تليها مرحلة النضج الفيزيولوجي، ثمّ مرحلة الإزهار (63.20، 50.54، 26.86 % على التوالي). تؤكد هذه النتائج على أهمية تأمين كمية كافية من مياه الري خلال مرحلة تشكل القرون ثمّ مرحلة النضج الفيزيولوجي للحد ما أمكن من التراجع الحاصل في الغلة البذرية من خلال تطبيق تقانة الري التكميلي في حال انحباس مياه الأمطار خلال تلك المراحل الحرجة من حياة النبات، للمحافظة على الكفاءة الإنتاجية لمحصول الفول تحت ظروف الزراعة المطرية، وبخاصة في ظل محدودية إتاحة مياه الري العذبة، بحيث تتركز الريات خلال جميع تلك المراحل، وبخاصة مرحلة تشكل القرون وتطورها. توافقت هذه النتائج مع نتائج Ghassemi-Golezani وزملاؤه (2009)، و Khan وزملاؤه (2010)، و Xia (1994)، و Ammar وزملاؤه (2015)، و Bianco ورفاقه (1981)، و Brown وزملاؤه (1985)، و Theib وزملاؤه (2005)، و Salih (1985)، و Farah (1981)، و Abdelmula (1999)، و Ouji (2017) في محصول الفول.

الجدول رقم (14): متوسط الغلة البذرية (غم.م⁻²) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
255.2 ^f	257.5	196.6	318.5	229.9	141.4	318.5	278.0	237.5	318.5	HBP/SOD/2008
334.3 ^a	327.7	212.5	443.0	281.1	119.2	443.0	394.0	345.0	443.0	HBP/SOD/2007
264.7 ^c	255.7	146.0	365.5	246.8	128.1	365.5	291.5	217.5	365.5	HBP/SOE/2008
311.8 ^c	326.7	245.0	408.5	268.3	128.1	408.5	340.3	272.0	408.5	ع 04/52
238.0 ^g	239.5	176.5	302.5	225.7	149.0	302.5	248.7	195.0	302.5	ع 04/56
283.8 ^d	257.0	165.0	349.0	242.7	136.4	349.0	351.8	354.5	349.0	ع 04/57
323.2 ^b	304.2	165.0	443.5	301.0	158.6	443.5	364.3	285.0	443.5	حماة ₂
244.4 ^g	232.5	150.0	315.0	219.2	123.3	315.0	281.5	248.0	315.0	حماة ₃
-		182.1	368.2		135.5	368.2		269.3	368.2	المتوسط
	275.1 ^b			251.8 ^c			318.8 ^a			متوسط المرحلة
	195.6 ^b (إجهاد مائي)				368.2 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات	

تشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	3.345	3.431	4.852	7.549	10.68	13.07	18.49
CV (%)	4.04						

دليل الحصاد (HI) Harvest Index (%): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة دليل الحصاد بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها (الجدول، 15). كان متوسط دليل الحصاد الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد (46.26 %) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي (37.01 %). وسبب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط دليل الحصاد مقداره 20 %. وكان متوسط دليل الحصاد الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار (43.60 %)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية مرحلة النضج الفيزيولوجي (41.32 %)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون (39.99 %)، ما يُشير إلى أنّ الغلّة البذرية ومن ثمّ دليل الحصاد في محصول الفول تتحدد بكمية المياه المتاحة خلال مرحلة تشكل القرون، حيث يؤثر تراجع متوسط عدد القرون في النبات سلباً في متوسط عدد البذور في وحدة المساحة من الأرض، الذي يُعدّ من أهم مكونات الغلّة البذرية العددية. وكان متوسط دليل الحصاد الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث تباعاً حسب تسلسلها التطوري (الإزهار، تشكل القرون، النضج الفيزيولوجي) (46.26 % لكلٍ منها)، تلاها معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (40.93 %)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (36.38 %)، في حين كان متوسط دليل الحصاد الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (33.72 %). وكان متوسط دليل الحصاد الأعلى معنوياً لدى نباتات الطرازين الوراثيين حماة²، و HBP/SOD/2007 (44.76، 44.73 % على التوالي)، تلاهما الطرز الوراثية حماة³، وع 04/52، وع 04/56 (41.84، 41.79، 41.62 % على التوالي)، في حين كان متوسط دليل الحصاد الأدنى معنوياً لدى الطرز HBP/SOE/2008، و HBP/SOD/2008، وع 04/57 (39.74، 39.36، 39.23 % على التوالي). عموماً، يُعزى التباين في صفة دليل الحصاد إلى التباين في كلّ من الغلّة البذرية والغلّة الحيوية، وتُعدّ الطرز الوراثية التي تزداد فيها قيمة دليل الحصاد من خلال زيادة الغلّة البذرية، أكثر أهمية من وجهة نظر الكفاءة الإنتاجية. ويُعدّ تبعاً لذلك الطرازان الوراثيان حماة²، و HBP/SOD/2007 الأفضل من وجهة نظر اقتصادية، لأنّ تفوقهما في صفة دليل الحصاد (44.76، 44.73 % على التوالي)، ناجم عن تفوقهما في الغلّة البذرية (323.2، 334.3 غم² على التوالي)، ولكن تُعد صفة دليل الحصاد مضللة لدى الطرازين الوراثيين حماة³، وع 04/56 لأنّ متوسط الغلّة البذرية فيهما كان الأدنى

معنوياً (244.4، 238.8 غ.م² على التوالي)، حيث كان الانخفاض في الغلة الحيوية بتأثير الجفاف أكبر بالمقارنة مع الغلة البذرية. وكذلك الحال بالنسبة إلى الغلة الحيوية (568.7، 568.7 غ.م² على التوالي). ويُعد الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 الذي تفوق بقيمة دليل الحصاد مثالياً، لأنه تفوق في كل من الغلة البذرية والغلة الحيوية (334.3، 717.4 غ.م² على التوالي)، حيث يُعد مثل هذا الطراز الوراثي ثنائي الغرض. ويُعزى التراجع في قيمة دليل الحصاد لدى الطرازين ع04/57، و HBP/SOE/2008 إلى الانخفاض الكبير في الغلة البذرية (283.8، 264.7 غ.م² على التوالي)، وكانت الغلة الحيوية لدى هذين الطرازين مرتفعة نسبياً (710.6، 639.6 غ.م² على التوالي)، ويمكن تبعاً لذلك اعتمادهما كطرز لإنتاج العلف الأخضر. ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية أن متوسط دليل الحصاد كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الصنف حماة² (53.76 %)، تلاه عند معاملة الشاهد لدى الطرازين HBP/SOD/2007، وحماة³ (50.48، 48.91 % على التوالي)، تلاه وبفروقات معنوية معاملة الشاهد لدى الطرازين HBP/SOE/2008، وع04/52 (45.97، 46.16 % على التوالي)، في حين كان متوسط دليل الحصاد الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز الوراثي HBP/SOE/2008 (33.51 %). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية أن متوسط دليل الحصاد كان الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (49.89 %)، تلاها خلال مرحلة الإزهار لدى الصنفين حماة³، وحماة² وبدون فروقات معنوية بينهما (47.44، 45.48 %)، في حين كان متوسط دليل الحصاد الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثي ع04/57 خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (35.33 %). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أن متوسط دليل الحصاد كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث لدى الطراز الوراثي حماة² (53.76 % لكل منها)، في حين كان متوسط دليل الحصاد الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى الصنف حماة³، وخلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/57 (25.39، 28.21 % على التوالي).

تُشير النتائج إلى أهمية توافر المياه خلال كامل مراحل النمو لزيادة قيمة دليل الحصاد، وذلك من خلال تشكيل كتلة حيوية أكبر وغلة بذرية أعلى. ويُعزى تدني قيم دليل الحصاد في النباتات

التي تعرّضت للإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون إلى تراجع عدد القرون المتشكلة في النبات وعدد البذور في النبات، وحجم البذور، ما يؤدي إلى تراجع غلة البذور بدرجة أكبر من التراجع الحاصل في كتلة أجزاء النبات الهوائية. توافقت هذه النتائج مع ما توصل إليه Bianco وزملاؤه (1981)، و Mohamed (1989)، و Mwanawenge وزملاؤه (1999)، و Ouji (2017) في الفول.

الجدول رقم (15): متوسط دليل الحصاد (%) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
39.36 ^c	38.75	37.93	39.57	37.46	35.35	39.57	41.88	44.20	39.57	HBP/SOD/2008
44.73 ^a	42.78	35.07	50.48	41.53	32.57	50.48	49.89	49.29	50.48	HBP/SOD/2007
39.74 ^c	39.69	33.41	45.97	38.56	31.15	45.97	40.98	35.98	45.97	HBP/SOE/2008
41.79 ^b	44.48	42.81	46.16	39.49	32.82	46.16	41.38	36.61	46.16	ع 04/52
41.62 ^b	44.91	47.07	42.76	40.10	37.44	42.76	39.84	36.93	42.76	ع 04/56
39.23 ^c	35.33	28.21	42.46	40.48	38.50	42.46	41.88	41.29	42.46	ع 04/57
44.76 ^a	43.66	33.56	53.76	45.14	36.52	53.76	45.48	37.21	53.76	حماة ₂
41.84 ^b	40.94	32.97	48.91	37.15	25.39	48.91	47.44	45.97	48.91	حماة ₃
-		36.38	46.26		33.72	46.26		40.93	46.26	المتوسط
	41.32 ^b			39.99 ^c			43.60 ^a			متوسط المرحلة
	37.01 ^b (إجهاد مائي)				46.26 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات	

تشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	1.713	0.4391	0.6209	1.168	1.652	2.023	2.861
CV (%)	4.25						

الصفات الفيزيولوجية والبيوكيميائية Physiological and biochemical traits

محتوى الماء النسبي في الأوراق (%RWC): بينت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقات معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة محتوى الماء النسبي في الأوراق بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد (70.25%) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي (57.40%). وسبب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق مقداره 18.29%. ويُعزى التراجع في محتوى الماء النسبي في الأوراق تحت ظروف الإجهاد المائي إلى تراجع محتوى التربة المائي في منطقة انتشار الجذور، الأمر الذي يؤدي إلى تراجع فرق التدرج في الجهد المائي بين التربة وخلايا المجموعة الجذرية Water potential gradient (WPG)، فيتراجع تبعاً لذلك معدل امتصاص المياه، وتصبح كمية المياه المفقود بالنتح عن طريق المسامات أثناء عملية التبادل الغازي أكبر من كمية المياه الممتصة، ما يؤدي إلى تعرض خلايا الأوراق إلى ظروف العجز المائي، المتمثلة بتراجع جهد الامتلاء أو محتوى الماء النسبي. وكان متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار (74.68%)، ثم وبفروقات معنوية خلال مرحلة تشكل القرون (69.51%)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (47.28%). ويُعزى ذلك إلى ازدياد الاحتياجات المائية مع تقدم مراحل النمو، وارتفاع معدلات فقد المياه بالتبخر والنتح مع تقدم المراحل التطورية بسبب تراجع الهطولات المطرية، وارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط، وانخفاض الرطوبة النسبية الجوية، وازدياد شدة الإشعاع الشمسي، فيزداد تبعاً لذلك معدل فقد المياه بالتبخر (Evaporation (E)، والنتح (Transpiration (T). وكان متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مرحلة الإزهار (80.04%)، تلاه عند معاملة الشاهد خلال مرحلة تشكل القرون (76.73%)، ثم وبفروقات معنوية معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (69.32%)، ثم معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (62.29%)، ثم وبفروقات معنوية معاملة الشاهد خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (53.97%)، في حين كان متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (40.59%). وكان متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق الأعلى معنوياً لدى

نباتات الطراز HBP/SOD/2007 (71.93%)، تلاها الطراز ع04/52 (69.55%)، ثم وبفروقاتٍ معنوية الطرازين الوراثيين حماة²، و HBP/SOE/2008 (65.73، 65.61% على التوالي)، ثم وبفروقاتٍ معنوية الطراز ع04/57 (63.77%)، في حين كان متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق الأدنى معنوياً لدى الطراز ع04/56 (56.90%)، تلاها الطرازين الوراثيين حماة³، و HBP/SOD/2008 (57.75، 59.35% على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية أنّ متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطرز HBP/SOD/2007، و ع04/52، و HBP/SOE/2008 (76.54، 75.42، 74.22% على التوالي)، ثم وبفروقاتٍ معنوية معاملة الشاهد لدى الطرازين الوراثيين ع04/57، وحماة² (70.97، 69.58% على التوالي)، في حين كان متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطرز الوراثية ع04/56، و HBP/SOD/2008، وحماة³ (49.98، 51.25، 51.52% على التوالي)، تلاها الطرازين الوراثيين ع04/57، و HBP/SOE/2008 عند معاملة الإجهاد المائي (56.57، 57.00% على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية أنّ متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2007، و HBP/SOE/2008 (82.56، 79.86% على التوالي)، تلاها الطرازين خلال مرحلة الإزهار ع04/57، و ع04/52، والطراز الوراثي HBP/SOD/2007 خلال مرحلة تشكل القرون (79.40، 78.29، 79.29% على التوالي)، في حين كان متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق الأدنى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/57 (39.15% على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنّ متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطرز الوراثية HBP/SOD/2007، و HBP/SOE/2008، وع04/52، وع04/57 خلال مرحلة الإزهار، ولدى الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2007، وع04/52 خلال مرحلة تشكل القرون (84.78، 86.58، 84.91، 86.29، 84.67% على التوالي)، في حين كان متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/57 (31.04%).

يُعزى تراجع محتوى الماء النسبي بشكل كبير خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي إلى الشيخوخة الطبيعية Natural senescence للأوراق وبياسها، حيث تؤدي شيخوخة الأوراق إلى تصدعها، ما يزيد من معدل فقد المياه بشكل مباشر من الأوراق، وتقل كفاءة استخدامها للمياه، بسبب تراجع كفاءتها التمثيلية. ويُعدّ محتوى الماء النسبي في الأوراق المؤشر المناسب الذي يعكس حالة النبات المائية (Sinclair و Ludlow، 1985). وذلك من خلال العلاقة بين محتوى الماء النسبي، وحجم الخلايا النباتية. كما يعكس التوازن بين الماء الممتص من قبل النبات، ومعدل فقد المياه بالنتح، والمقدرة على التعديل الحلوي (Brown، 1995). ويمكن أن يُعزى التباين الوراثي في كفاءة الطرز الوراثية المدروسة في المحافظة على محتوى الماء النسبي في خلايا الأوراق إما إلى التباين في حجم المجموعة الجذرية Root system، أو التباين في المقدرة على التعديل الحلوي Osmotic adjustment (كمية الذائبات العضوية المصنّعة، مثل البرولين)، حيث لوحظ أنّ معظم الطرز الوراثية التي كان فيها محتوى الماء النسبي في الأوراق الأعلى معنوياً قد صنّعت كمية أكبر من البرولين، مثل HBP/SOD/2007، حماة²، وع 04/52 (17.02، 16.23، 15.62 ميكروغرام. غ⁻¹ وزن رطب على التوالي)، وبالمقابل فإنّ جميع الطرز الوراثية التي كان فيها متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق الأدنى معنوياً قد فشلت في تصنيع وتجميع كمية كبيرة من البرولين، مثل حماة³، وع 04/56، و HBP/SOD/2008، وع 04/57 (9.82، 12.09، 12.19، 8.29 ميكروغرام. غ⁻¹ وزن رطب على التوالي). عموماً، تُعدّ آلية التعديل الحلوي، المتمثلة بتصنيع الذائبات العضوية التوافقية Compatible organic solutes، وبخاصة البرولين Proline أحد أهم الاستجابات الرئيسة في النبات تحت ظروف الإجهاد المائي على المستوى الخلوي، وقد تمّت ملاحظة تأثيره في الغلة الحبية تحت تأثير الجفاف (Blum، 2005). وتكمن أهمية آلية التعديل الحلوي 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 من التربة حتى عند مستويات منخفضة من جهد التربة المائي (Chimenti وزملاؤه، 2006). ويُسهّم في حماية الأغشية السيتوبلاسمية، وثنائية البناء الخلوي (البروتينات، الليبيدات) من الضرر الحاصل بفعل الإجهادات اللاأحيائية (Martinez وزملاؤه، 2004). كما تُسهّم المقدرة على التعديل الحلوي باستمرار عملية التمثيل

الضوئي، وتسهيل الاستجابات الفسيولوجية، مثل انفتاح المسامات (Serraj و Sinclair، 2002؛ Munns، 2002). أو التباين في الناقلية المسامية، ومن ثمّ معدّل فقد المياه بالنتح، ويتوقف ذلك على كفاءة الطراز الوراثي في تصنيع حمض الأبسيسيك (ABA) (الإشارة الكيميائية) في الجذور، وكفاءة نقله إلى الأوراق ليحث المسامات على الانغلاق (Assmann وزملاؤه، 2000). يتبين مما تقدم، أنّ استطالة خلايا الأوراق، ومن ثمّ معدّل نمو الأوراق يرتبط بشكلٍ مباشر بكفاءة الطراز الوراثي في المحافظة على القيم المرتفعة لمحتوى الماء النسبي داخل خلايا الأوراق (جهد الامتلاء)، حيث يُعد ضغط الامتلاء بمنزلة القوة الفيزيائية التي تدفع جدر الخلايا النباتية على الاستطالة. وتعدّ تبعاً لذلك استطالة خلايا الأوراق من أكثر العمليات الفسيولوجية حساسيةً لظروف الإجهاد المائي. تتوافق هذه النتائج مع التومي (2012)، وجنود (2007)، وعلي (2006) في محصول القمح، والتمو (2013) في محصول الشعير.

الجدول رقم (16): متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق (%) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
59.35 ^e	44.95	33.38	56.51	65.51	57.66	73.35	67.61	62.72	72.50	HBP/SOD/2008
71.93 ^a	53.95	52.50	55.40	79.29	72.29	86.29	82.56	77.21	87.92	HBP/SOD/2007
65.61 ^c	45.25	35.61	54.89	71.73	62.26	81.19	79.86	73.13	86.58	HBP/SOE/2008
69.55 ^b	56.13	55.44	56.81	74.23	63.78	84.67	78.29	71.80	84.78	ع 04/52
56.90 ^f	42.03	31.51	52.55	61.15	55.84	66.46	67.52	62.59	72.44	ع 04/56
63.77 ^d	39.15	31.04	47.26	72.76	63.78	81.74	79.40	74.89	83.91	ع 04/57
65.73 ^c	53.54	51.38	55.69	69.95	65.26	74.63	73.71	69.01	78.41	حمأة ₂
57.75 ^{ef}	43.25	33.87	52.62	61.51	57.48	65.54	68.49	63.22	73.76	حمأة ₃
-		40.59	53.97		62.29	76.73		69.32	80.04	المتوسط
	47.28 ^c			69.51 ^b			74.68 ^a			متوسط المرحلة
	57.40 ^b (إجهاد مائي)					70.25 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات

تشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	2.518	0.7972	1.127	1.683	2.380	2.914	4.121
CV (%)	3.98						

محتوى البرولين في الأوراق (ميكرو غرام.غ⁻¹ مادة خضراء): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة محتوى البرولين في الأوراق بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان متوسط محتوى البرولين في الأوراق الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي (15.67 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء) بالمقارنة مع معاملة الشاهد (9.572 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء). وسبب الإجهاد المائي زيادةً في تركيز البرولين مقدارها 38.92%. وتوافقت هذه النتيجة مع ما توصلت إليه التمو (2013) في محصول الشعير، حيث بيّنت أنّ انخفاض معدل الهطول المطري في الموسم الزراعي الأول قد سبب زيادة في محتوى الأوراق من البرولين بنحو 35.66% بالمقارنة مع الموسم الزراعي الثاني الأكثر هطولاً. وكان متوسط محتوى البرولين في الأوراق الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار (13.70 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، ثم وبفروقاتٍ معنوية خلال مرحلة تشكل القرون (12.49 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (11.67 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء). ويُعزى ذلك إلى حقيقة كون مرحلة الإزهار تمثل مرحلة الطلب الأعظمي للمياه، فلا بدّ من تصنيع كمية أكبر من البرولين كافية لخفض الجهد المائي داخل خلايا الأجزاء النباتية وزيادة فرق التدرج في الجهد المائي، لامتناس أكبر كمية ممكنة من المياه. وكان متوسط محتوى البرولين في الأوراق الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (17.09 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، تلاه عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلتي تشكل القرون، والنضج الفيزيولوجي وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (15.08، 14.85 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، في حين كان متوسط محتوى البرولين في الأوراق الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (8.498 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، تلاه عند معاملة الشاهد خلال مرحلتي تشكل القرون، والإزهار بدون فروقاتٍ معنوية بينها (9.906، 10.31 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء). وكان متوسط محتوى البرولين في الأوراق الأعلى معنوياً لدى نباتات الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (17.02 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية الصنف حماة² (16.23 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، ثم وبفروقاتٍ معنوية الطراز ع04/52 (15.62 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، ثم وبفروقاتٍ معنوية الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2008، وع04/56 (12.19، 12.09 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، في حين كان متوسط محتوى

البرولين في الأوراق الأدنى معنوياً لدى الطراز ع04/57 (8.296 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطرازين HBP/SOE/2008، وحماة³ (9.713، 9.820 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية أنَّ متوسط محتوى البرولين في الأوراق كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطرز حماة²، و HBP/SOD/2007 بدون فروقاتٍ معنوية بينهما (21.78، 21.47 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء على التوالي)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز ع04/52 (20.98 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، في حين كان متوسط محتوى البرولين في الأوراق الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطراز الوراثي ع04/57 (6.497 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية أنَّ متوسط محتوى البرولين في الأوراق كان الأعلى معنوياً خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (20.86 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، تلاه خلال تشكل القرون لدى الطرازين الوراثيين ع04/52، وحماة²، وخلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الصنف حماة² (17.53، 17.95، 17.44 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء على التوالي)، في حين كان متوسط محتوى البرولين في الأوراق الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطرازين الوراثيين حماة³، و ع04/57 (5.523، 6.194 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء على التوالي)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز ع04/56 (7.396 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنَّ متوسط محتوى البرولين في الأوراق كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 (26.15 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء)، ثمَّ وبفروقاتٍ معنوية عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون لدى ع04/52، وحماة²، وخلال النضج الفيزيولوجي لدى حماة² وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (23.85، 23.69، 23.63 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء على التوالي)، ثمَّ وبفروقاتٍ معنوية عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار لدى الطراز ع04/52، ومعاملة الشاهد خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي ع04/56 وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (21.23، 20.39 ميكروغرام.غ⁻¹ مادة خضراء على التوالي)، في حين كان متوسط محتوى البرولين في الأوراق الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطرازين الوراثيين حماة³، وع04/57، وخلال النضج الفيزيولوجي لدى الطراز ع04/56

(4.027، 4.474، 4.726 ميكروغرام. غ⁻¹ مادة خضراء على التوالي). تُشير النتائج إلى أنَّ معدّل تصنيع وتراكم البرولين يزداد بازدياد وطأة الإجهاد المائي، ويُساعد بشكلٍ عام تراكم البرولين في تحسين تحمل النباتات للإجهاد المائي، حيث يعمل على خفض قيمة الجهد المائي داخل الخلايا النباتية (يصبح الجهد المائي أكثر سلباً) نتيجة شد جزيئات الماء، ما يزيد من فرق التدرج في الجهد المائي بين النبات والوسط المحيط، فيزداد معدّل امتصاص الماء من قبل النبات، ما يُساعد على زيادة كمية المياه الممتصة، وتصبح إلى حدٍ ما كافية لتعويض الماء المنتوح، والمحافظة على جهد الامتلاء داخل الخلايا النباتية الضروري لاستمرار استطالتها، وضمان استمرار الانفتاح الجزئي للمسامات، وانتثار غاز الفحم اللازم لعملية التمثيل الضوئي وتصنيع المادة الجافة. وتُشير النتائج إلى أنَّ التباين في معدّل تصنيع وتجميع البرولين هو أحد الأسباب المهمة لتباين الطرز الوراثة في تحمل الإجهاد المائي. ويؤكد ذلك وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً بين محتوى الماء النسبي والبرولين تحت ظروف الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي ($r=0.855^{**}$). ولكن هل يرتبط فعلاً تراكم البرولين بدرجة التحمل أم بمقدار الضرر؟ حقيقةً ما هو مثبت أنَّ زيادة معدّل تصنيع البرولين تحدد بشكلٍ كبير كفاءة الطراز الوراثي في استعادة النمو، حيث يُشكل البرولين مصدراً مهماً للطاقة والكربون، الذي يمكن أن تستخدمه الخلايا النباتية في استعادة نموها عند زوال العامل البيئي (الجفاف) المحدد للنمو. وترتبط تبعاً لذلك القدرة على استعادة النمو طرداً مع كمية الذائبات الحلوية Osmoprotectants المصنّعة خلال فترة الإجهاد (AL-Ouda، 1999). تتوافق هذه النتائج مع ماتوصل إليه Khalafallah وزملاؤه (2008) و Ammar وزملاؤه (2015) في الفول.

الجدول رقم (17): متوسط محتوى البرولين في الأوراق (ميكرو غرام.غ⁻¹ مادة خضراء) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
12.19 ^d	11.26	14.96	7.55	11.17	14.76	7.578	14.15	18.90	9.396	HBP/SOD/2008
17.02 ^a	15.02	19.13	10.91	15.17	19.13	11.21	20.86	26.15	15.58	HBP/SOD/2007
9.713 ^e	8.93	10.43	7.438	9.32	10.51	8.137	10.88	11.97	9.787	HBP/SOE/2008
15.62 ^c	13.17	17.87	8.473	17.95	23.85	12.05	15.73	21.23	10.23	ع 04/52
12.09 ^d	7.396	10.07	4.726	17.09	13.79	20.39	11.80	15.35	8.249	ع 04/56
8.296 ^f	8.47	9.62	7.326	6.194	7.914	4.474	10.22	12.75	7.69	ع 04/57
16.23 ^b	17.44	23.63	11.24	17.53	23.69	11.38	13.72	18.04	9.396	حماة ₂
9.820 ^e	11.71	13.09	10.32	5.523	7.019	4.027	12.23	12.30	12.16	حماة ₃
-		14.85	8.498		15.08	9.906		17.09	10.31	المتوسط
	11.67 ^c			12.49 ^b			13.70 ^a			متوسط المرحلة
	15.67 ^a (إجهاد مائي)				9.572 ^b (شاهد)				متوسط المعاملات	

تشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

ABC	BC	AC	الطرز (C)	AB	المراحل (B)	المعاملات (A)	المتغير
1.101	0.7787	0.6358	0.4496	0.7511	0.5311	0.7552	LSD (0.05)
5.37							CV (%)

سلامة الأغشية الخلوية (نسبة الذائبات المتسربة) (%): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة سلامة الأغشية الخلوية بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كانت نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي (79.49%) بالمقارنة مع معاملة الشاهد (75.22%)، حيث ازدادت نسبة الذائبات المتسربة بتأثير الإجهاد المائي بنحو 5.37%، ما يُشير إلى أهمية إتاحة المياه بكمياتٍ كافيةٍ خلال مختلف مراحل النمو للمحافظة على استقرار الأغشية الحيوية. وكانت نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأعلى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (80.39%)، ثم وبفروقاتٍ معنويةٍ خلال مرحلة تشكل القرون (77.09%)، في حين كانت الأدنى معنوياً خلال مرحلة الإزهار (74.59%) (الجدول، 18). وكانت نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأعلى معنوياً عند معاملي الإجهاد المائي والشاهد خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي، ومعاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (80.74، 80.03، 79.51% على التوالي)، تلاه معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (78.22%)، ثم وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الشاهد خلال مرحلة تشكل القرون (74.67%)، في حين كانت نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مرحلة الإزهار (70.96%) (الجدول، 18). وكانت نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأعلى معنوياً لدى نباتات الطرازين الوراثيين ع04/57، وحماة³ (83.54، 83.36% على التوالي)، تلاها الطراز الوراثي ع04/56 (81.63%)، ثم وبفروقاتٍ معنويةٍ الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (79.19%)، ثم وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنف حماة² (75.57%)، في حين كانت نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأدنى معنوياً لدى الطرز HBP/SOD/2007، وHBP/SOE/2008، وع04/52 (71.74، 71.80، 72.02% على التوالي) (الجدول، 18). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية، أنّ نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية كانت الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطرز حماة³، وع04/57، وع04/56 وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (85.54، 84.94، 83.43% على التوالي)، في حين كانت نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2007، وع04/52 وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (69.62، 69.94%)

على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثة، أنَّ نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية كانت الأعلى معنوياً لدى الطرازين الوراثةين ع04/57، وحماة3 خلال تشكل القرون، وخلال مرحلة النضج الفيزيولوجي وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (85.81، 85.36، 83.06، 85.21% على التوالي)، في حين كانت نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأدنى معنوياً لدى الطرز الوراثة HBP/SOD/2007، و HBP/SOE/2008، و ع04/52 خلال مرحلة الإزهار وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (67.58، 68.01، 68.43 % على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنَّ نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية كانت الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الصنف حماة3 (86.46 %)، في حين كانت نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية السيتوبلاسمية الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين الوراثةين ع04/52، و HBP/SOD/2007، وخلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز ع04/52 (64.48، 65.25، 65.54 % على التوالي).

تُعزى زيادة نسبة الذائبات المتسربة، وحجم الضرر الحاصل في الأغشية السيتوبلاسمية تحت ظروف الإجهاد المائي بالمقارنة مع الشاهد المروي، خلال مختلف مراحل النمو، وبخاصةً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي إلى تراجع كفاءة النبات التمثيلية (Assimilation rate (A)، ما يؤدي إلى تراجع معدل استهلاك المركبات الغنية بالطاقة (ATP, NADPH)، في حلقة تثبيت الكربون الثلاثية (حلقة كالفن)، ومن ثمَّ تراجع إعادة تشكيل المستقبل النهائي للإلكترونات، المركب (NADP⁺) عندئذٍ يقوم الأوكسجين الجزيئي (O₂) بتلقف الإلكترونات ليشكل جذر السوبر أوكسيد الحر (O₂⁻)، الذي ما إن يتفاعل مع جذر الماء الأوكسجيني (H₂O₂) حتى يُشكل جذر الماءات الحر (OH⁺) الذي يتسم بمقدرة تفاعلية كبيرة، حيث يُهاجم المواد الدهنية المفسفرة الداخلة في تركيب الأغشية السيتوبلاسمية، والبروتينات ويعمل على تخريبها Lipid peroxidation، فينشأ غشاء مليء بالفجوات Porous membrane، فتفقد بذلك الأغشية الحيوية خاصيتها الاصطفائية، وتموت جرّاء ذلك الخلايا النباتية (Dahse وزملاؤه، 1990؛ Smirnoff، 1998).

ويعزى التباين في سلامة الأغشية الحيوية بين الطرز الوراثية المدروسة إلى التباين في محتوى الأوراق من البرولين، حيث يُلاحظ أنّ الطرز الوراثية التي كانت فيها نسبة الذائبات المتسربة عبر الأغشية الحيوية الأدنى معنوياً، مثل الطرز HBP/SOD/2007، وع04/52، وحماة² (71.74، 71.80، 72.02% على التوالي)، قد صنّعت أيضاً كمية أكبر من البرولين (17.02، 15.62، 16.23 ميكروغرام.غ⁻¹ على التوالي). ما يُشير إلى أهمية هذه الحافظات الحلوية Osmoprotectants في المحافظة على استقرار الأغشية الخلوية. عموماً، تقوم نباتات الفول بتصنيع البرولين، تحت ظروف الإجهاد المائي، حيث ازدادت كمية البرولين المصنّعة استجابةً لظروف الجفاف بنحو 38.92%. وتُشير النتائج إلى أنّ معدّل تصنيع هذه الذائبات العضوية التوافقية وتراكمها يزداد بازدياد وطأة الإجهاد المائي مع تقدّم مراحل النمو، 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 شدّ جزيئات الماء، ما يزيد من فرق التدرج في الجهد المائي بين النبات والوسط المحيط، فيزداد معدّل امتصاص الماء 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، وانتثار غاز الفحم اللازم لعملية التمثيل الضوئي وتصنيع المادة الجافة. تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه التومي (2012) في محصول القمح، والتمو (2007، 2013) في محصول الشعير.

الجدول رقم (18): نسبة الذائبات المتسرية عبر الأغشية السيتوبلاسمية (%) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
79.19 ^c	80.21	81.91	78.51	78.18	83.32	73.04	79.19	82.54	75.84	HBP/SOD/2008
71.74 ^e	78.17	78.92	77.41	69.46	72.71	66.21	67.58	69.91	65.25	HBP/SOD/2007
71.80 ^e	77.27	74.59	79.94	70.12	74.37	65.87	68.01	70.35	65.67	HBP/SOE/2008
72.02 ^e	78.01	76.21	79.81	69.63	73.72	65.54	68.43	72.38	64.48	ع 04/52
81.63 ^b	82.63	84.41	80.84	82.34	82.15	82.52	79.94	83.72	76.16	ع 04/56
83.54 ^a	83.06	82.89	83.24	85.81	86.4	85.22	81.75	85.54	77.96	ع 04/57
75.57 ^d	78.55	80.53	76.57	75.82	77.26	74.38	72.34	77.37	67.31	حمأة ₂
83.36 ^{ab}	85.21	86.46	83.96	85.36	86.18	84.54	79.53	83.99	75.06	حمأة ₃
-		80.74	80.03		79.51	74.67		78.22	70.96	المتوسط
	80.39 ^a			77.09 ^b			74.59 ^c			متوسط المرحلة
	79.49 ^a (إجهاد مائي)				75.22 ^b (شاهد)				متوسط المعاملات	

تُشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	3.810	1.392	1.969	1.749	2.473	3.029	4.284
CV (%)	3.41						

تركيز المألوندي ألدهيد (تخريب المواد الدهنية) (نانومولMDA.غ¹ وزن رطب): بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة تركيز مركب المألوندي ألدهيد (MDA) بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان تركيز المألوندي ألدهيد الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي (44.66 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب) بالمقارنة مع معاملة الشاهد (32.59 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب). حيث ازداد تركيز المألوندي ألدهيد بنحو 27.03% بالمقارنة مع الشاهد المروي. وكان تركيز المألوندي ألدهيد الأعلى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (54.31 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب)، ثم وبفروقاتٍ معنوية خلال مرحلة تشكل القرون (33.53 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة الإزهار (28.04 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب). وكان تركيز المألوندي ألدهيد الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (58.74 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب)، تلاه عند معاملة الشاهد خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (49.89 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب)، ثم وبفروقاتٍ معنوية عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (40.30 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب)، ثم وبفروقاتٍ معنوية عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (34.95 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب)، تلاه عند معاملة الشاهد خلال مرحلة تشكل القرون (26.75 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب)، في حين كان تركيز المألوندي ألدهيد الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مرحلة الإزهار (21.12 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب). وكان تركيز المألوندي ألدهيد الأعلى معنوياً لدى نباتات الصنف حماة³، والطرز ع04/57 (42.50، 42.00 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب)، ثم وبفروقاتٍ معنوية لدى الطرازين ع04/56، وHBP/SOD/2008 (40.39، 39.00 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب على التوالي)، تلاهما الطراز الوراثي ع04/52 (38.89 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب)، في حين كان تركيز المألوندي ألدهيد الأدنى معنوياً لدى الصنف حماة² (34.36 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية الطرازين HBP/SOE/2008، وHBP/SOD/2007 (36.08، 35.79 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية، أنّ تركيز المألوندي ألدهيد كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز الوراثي حماة³ (51.64 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب)، تلاه معاملة الإجهاد المائي لدى الطرز الوراثية

ع04/57، وHBP/SOD/2008، وع04/56 (46.80، 46.43، 47.34) نانومولMDA.غ¹ وزن رطب على التوالي)، في حين كان تركيز المألوندي ألدهيد الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطرازين الوراثيين حماة²، وHBP/SOD/2007 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (29.74، 29.77 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية، أنّ تركيز المألوندي ألدهيد كان الأعلى معنوياً خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطرازين الوراثيين ع04/52، وع04/56 (59.30، 60.15) نانومولMDA.غ¹ وزن رطب على التوالي)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية لدى الطرز الوراثية HBP/SOD/2007، وHBP/SOE/2008، وحماة³ خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (55.68، 55.56، 53.94 نانومولMDA.غ¹ وزن رطب على التوالي)، في حين كان تركيز المألوندي ألدهيد الأدنى معنوياً خلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOE/2008، وHBP/SOD/2007 وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (21.98، 21.76) نانومولMDA.غ¹ وزن رطب على التوالي). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنّ تركيز المألوندي ألدهيد كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطرز ع04/56، وع04/52، وHBP/SOD/2007، وحماة³ بدون فروقاتٍ معنوية بينها (62.41، 62.92، 65.52، 65.70) نانومولMDA.غ¹ وزن رطب على التوالي)، في حين كان تركيز المألوندي ألدهيد الأدنى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مرحلة الإزهار لدى الطرازين الوراثيين HBP/SOD/2007، وHBP/SOE/2008 بدون فروقاتٍ معنوية بينهما (15.74، 16.18) نانومولMDA.غ¹ وزن رطب على التوالي).

يُعزى ارتفاع تركيز المألوندي ألدهيد إلى تراجع معدّل تثبيت الكربون خلال تفاعلات الظلام في حلقة إرجاع الكربون الثلاثية (PCR)، ما يؤدي إلى تراجع معدّل استهلاك المركبات الغنية بالطاقة، ومن ثمّ تراجع إعادة تشكيل المستقبل النهائي للإلكترونات، المركب (NADP⁺) عندئذٍ يقوم الأوكسجين الجزيئي (O₂) بتلقف الإلكترونات ليشكل جذر السوبر أكسيد الحر (O₂⁻) الذي ما إن يتفاعل مع جذر الماء الأوكسجيني (H₂O₂) حتّى يشكل جذر المئات الحر (OH⁻) الذي يتسم بمقدرة تفاعلية كبيرة، حيث يُهاجم المواد الدهنية المفسفرة الداخلة في تركيب الأغشية السيتوبلاسمية ويعمل على تخريبها Lipid peroxidation، فينشأ غشاء مليء بالفجوات، فيفقد

بذلك خاصيته الاصطفائية، وتموت جزاء ذلك الخلايا النباتية. ويُعبّر تركيز مركب المالوندي ألدهيد عن مقدار التخریب الذي لحق بالمواد الدهنية المفسفرة الداخلة في تركيب الأغشية الحيوية (العودة وزملاؤه، 2015). ويُعزى التباين في تركيز المالوندي ألدهيد بين الطرز الوراثية إلى التباين في كفاءة الطرز الوراثية في تصنيع البرولين، المسؤول عن ترطيب البروتوبلاسم، واستمرار عملية التمثيل الضوئي، ومن ثم استمرار استهلاك المركبات الغنية بالطاقة، ما يحول دون تشكل جذور الأوكسجين الحرة النشطة (ROS) Reactive Oxygen Species. ويؤكد ذلك وجود علاقة ارتباط سالبة ومعنوية بين صفة محتوى الأوراق من البرولين وتركيز مركب المالوندي ألدهيد عندما تعرّضت النباتات للإجهاد المائي خلال مراحل الإزهار، وتشكل القرون ($r = -0.418^*$ ، $r = -0.635^*$ على التوالي)، نتيجة ارتفاع الطلب على المياه خلال هاتين المرحلتين الحرجتين. تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه Sharma وزملاؤه (2012).

الجدول رقم (19): تركيز المألوندي الذهيد (نانومول MDA.غ⁻¹ وزن رطب) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
39.00 ^{bc}	47.74	51.66	43.81	36.24	44.93	27.55	33.03	43.80	22.25	HBP/SOD/2008
36.08 ^d	55.68	62.92	48.43	30.60	36.07	25.13	21.98	28.21	15.74	HBP/SOD/2007
35.79 ^{de}	55.56	55.24	55.87	30.04	35.59	24.49	21.76	27.35	16.18	HBP/SOE/2008
38.89 ^c	60.15	65.52	54.78	31.65	37.64	25.66	24.88	29.83	19.92	ع 04/52
40.39 ^b	59.30	65.70	52.90	35.79	44.24	27.34	26.07	29.36	22.78	ع 04/56
42.00 ^a	52.32	52.46	52.18	37.74	43.61	31.87	35.95	45.94	25.96	ع 04/57
34.36 ^e	49.83	54.00	45.66	30.14	34.99	25.29	23.12	27.97	18.27	حماة ₂
42.50 ^a	53.94	62.41	45.48	36.02	45.33	26.70	37.53	47.17	27.89	حماة ₃
-		58.74	49.89		40.30	26.75		34.95	21.12	المتوسط
	54.31 ^a			33.53 ^b			28.04 ^c			متوسط المرحلة
	44.66 ^a (إجهاد مائي)				32.59 ^b (شاهد)				متوسط المعاملات	

تشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	1.998	1.774	2.509	1.466	2.073	2.538	3.590
CV (%)	5.72						

الصفات النوعية Quality traits

نسبة البروتين في البذور الجافة (%) **Percentage of protein in dry seeds**: بيّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنوية ($P \leq 0.05$) في صفة متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة بين المعاملات، ومراحل النمو، والطرز الوراثية المدروسة، والتفاعلات المتبادلة بينها. كان متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد (22.00%) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي (20.71%). وسبب الإجهاد المائي انخفاضاً في متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة مقداره 5.86%. ويُعزى ذلك إلى تراجع كمية المادة الجافة الكلية المصنّعة والواصلة إلى البذور، وبخاصة إذا ما تعرّضت النباتات لظروف الجفاف خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي، ولم يكن التراجع كبيراً، لأنّ الجفاف يُسرّع من وتيرة انتقال المركبات الآزوتية من المصدر (الأوراق) إلى البذور، ما يؤدي إلى الشيخوخة المبكرة للأوراق. وكان متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة الأعلى معنوياً خلال مرحلتي النضج الفيزيولوجي، والإزهار وبدون فروقاتٍ معنوية بينهما (21.63، 21.45%)، في حين كان الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون (20.99%). وكان متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث تباعاً حسب تسلسلها التطوري (الإزهار، تشكل القرون، النضج الفيزيولوجي) (22.00% لكلٍ منها)، تلاها معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (21.26%)، في حين كان متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون (19.97%)، ثمّ وبفروقاتٍ معنوية معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار (20.90%). وكان متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة الأعلى معنوياً لدى نباتات الطرازين ع04/57، وع04/52، و الصنف حماة² بدون فروقاتٍ معنوية بينها (22.86، 22.42، 22.23% على التوالي)، تلاها وبفروقاتٍ معنوية الطرز الوراثية HBP/SOE/2008، وع04/56، و HBP/SOD/2007، و الصنف حماة³ وبدون فروقاتٍ معنوية بينها (21.08، 21.05، 20.93، 20.46% على التوالي)، في حين كان متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة الأدنى معنوياً لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (19.81%). ويُلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المعاملات مع الطرز الوراثية، أنّ متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد لدى الطرز ع04/57، وع04/52، وحماة² بدون فروقاتٍ معنوية بينها (23.85، 23.38، 23.32% على

التوالي)، في حين كان متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد المائي لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (19.48%).

ويلاحظ بالنسبة إلى تفاعل المراحل التطورية مع الطرز الوراثية أنّ متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة كان الأعلى معنوياً خلال مرحلتي الإزهار والنضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/57، وخلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/52 (23.43، 23.61)، (22.70 % على التوالي)، تلاها خلال مرحلتي الإزهار والنضج الفيزيولوجي لدى الصنف حماة2، وخلال مرحلة الإزهار لدى الطراز الوراثي ع04/52 (22.33، 22.35، 22.34 % على التوالي)، في حين كان متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (19.44%).

ويلاحظ بالنسبة إلى تفاعل جميع المتغيرات بعضها ببعض، أنّ متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة كان الأعلى معنوياً عند معاملة الشاهد خلال مراحل النمو الثلاث لدى الطرازين الوراثيين ع04/57، ع04/52، والصنف حماة2، وعند معاملة الإجهاد خلال مرحلتي الإزهار والنضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/57 (23.38، 23.38، 23.85، 23.85، 23.85)، (23.32، 23.32، 23.32، 23.01، 23.38 % على التوالي)، تلاها معاملة الإجهاد خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي لدى الطراز الوراثي ع04/52 (22.02%)، في حين كان متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة الأدنى معنوياً معاملة الإجهاد خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي HBP/SOD/2008 (18.73%)، تلاها معاملة الإجهاد خلال مرحلة تشكل القرون لدى الطراز الوراثي ع04/57 (19.22%).

يُلاحظ بشكلٍ عام أنّ تراجع محتوى التربة المائي قد أثر سلباً في محتوى بذور الفول من البروتين، ما يشير إلى أهمية توافر الماء لزيادة محتوى البذور منه. ويُعزى تراجع محتوى البذور من البروتين تحت ظروف الإجهاد المائي إلى تراجع كمية نواتج التمثيل الضوئي الواصلة إلى البذور خلال فترة امتلاء البذور التي تُعد بمنزلة المادة الأولية التي تُصنّع منها البروتينات التخزينية. ويُلاحظ بشكلٍ عام وجود تباين في تأثير الإجهاد المائي في محتوى البذور من البروتين باختلاف المرحلة من حياة النبات التي تعرّضت للإجهاد المائي، حيث كانت نسبة البروتين الأدنى معنوياً خلال مرحلة تشكل القرون، ويُعزى ذلك إلى تراجع حجم البذور ومن ثمّ

كفاءتها التخزينية، بالإضافة إلى تراجع كمية المادة الأولية (نواتج التمثيل الضوئي) المستعملة في تصنيع البروتينات، والمواد الدهنية، بسبب تراجع كمية المادة الجافة الكلية المصنّعة، وتراجع معدّل نقل نواتج التمثيل الضوئي من المصدر إلى المصب. ويُمكن أن يُعزى التباين الوراثي بين الطرز الوراثية في محتوى البذور من البروتين إلى التباين في حجم المصدر، وكفاءة الطراز الوراثي التمثيلية، وكفاءة الطرز في تسخير كمية أكبر من نواتج التمثيل الضوئي باتجاه الأجزاء الاقتصادية، وكفاءة نقل نواتج التمثيل الضوئي (المادة الجافة) من المصدر إلى المصب (البذور)، وبخاصةً تحت ظروف الإجهاد المائي. توافقت هذه النتائج مع نتائج Munns (2002)، واختلفت مع Ammar وزملاؤه (2015).

الجدول رقم (20): متوسط نسبة البروتين في البذور الجافة (%) لدى طرز الفول تحت ظروف الجفاف بالمقارنة مع الشاهد المروي خلال مختلف مراحل النمو.

المتوسط العام للطرز الوراثية	مرحلة امتلاء البذور			مرحلة تشكل القرون			مرحلة الإزهار			الطرز الوراثية
	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	المتوسط	الإجهاد المائي	الشاهد	
19.81 ^c	20.05	19.95	20.15	19.44	18.73	20.15	19.96	19.76	20.15	HBP/SOD/2008
20.93 ^b	21.15	21.05	21.24	20.75	20.25	21.24	20.90	20.56	21.24	HBP/SOD/2007
21.08 ^b	21.34	21.07	21.61	21.26	20.90	21.61	21.05	20.49	21.61	HBP/SOE/2008
22.42 ^a	22.70	22.02	23.38	22.23	21.08	23.38	22.34	21.31	23.38	ع 04/52
21.05 ^b	21.37	21.07	21.67	20.67	19.67	21.67	21.13	20.58	21.67	ع 04/56
22.86 ^a	23.61	23.38	23.85	21.54	19.22	23.85	23.43	23.01	23.85	ع 04/57
22.23 ^a	22.35	21.37	23.32	22.01	20.69	23.32	22.33	21.35	23.32	حماة ₂
20.46 ^{bc}	20.49	20.16	20.82	20.43	20.03	20.82	20.50	20.18	20.82	حماة ₃
-		21.26	22.00		19.97	22.00		20.90	22.00	المتوسط
	21.63 ^a			20.99 ^b			21.45 ^a			متوسط المرحلة
	20.71 ^b (إجهاد مائي)				22.00 ^a (شاهد)				متوسط المعاملات	

تُشير الأحرف المتماثلة على مستوى الأعمدة والصفوف إلى عدم وجود فروقات معنوية عند مستوى معنوية 0.05.

المتغير	المعاملات (A)	المراحل (B)	AB	الطرز (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.05)	0.3008	0.2363	0.3342	0.6863	0.9706	1.189	1.681
CV (%)	4.85						

الجدول رقم (21): الفروقات بين الطرز الوراثية من حيث تفوقها في الصفات المدروسة تحت ظروف الزراعة الحقلية.

الأدنى معنوية	← الأعلى معنوية							الصفات المدروسة
7	5	1	2	4	8	6	3	ارتفاع النبات (سم)
5	3	1	8	2	4	6	7	عدد الأوراق في النبات (ورقة . نبات ¹⁻)
1	6	5	2	8	7	4	3	عدد الأفرع في النبات (فرع . نبات ¹⁻)
7	8	2	5	4	1	6	3	موعد الإزهار (يوم)
6	1	5	4	7	3	8	2	موعد النضج (يوم)
5	8	1	3	7	6	4	2	عدد القرون في النبات (قرن . نبات ¹⁻)
3	5	8	7	2	6	1	4	عدد البذور في القرن (بذرة . قرن ¹⁻)
8	5	1	3	6	7	2	4	عدد البذور / المتر المربع (بذرة . م ²⁻)
6	5	8	2	3	1	7	4	وزن المائة بذرة (غ)
5	8	1	3	6	4	7	2	الغلة البذرية (غ . م ²⁻)
8	5	3	1	7	6	2	4	الغلة الحيوية (غ . م ²⁻)
6	1	3	5	4	8	2	7	دليل الحصاد (%)
5	8	1	6	3	7	4	2	محتوى الماء النسبي (%)
6	3	8	5	1	4	7	2	محتوى البرولين في الأوراق (ميكروغرام . غ ¹⁻)
2	3	4	7	1	5	8	6	سلامة الأغشية الخلوية (نسبة الذائبات المتسربة)
7	3	2	4	1	5	6	8	تركيز المالنودي ألدهيد
1	8	2	5	3	7	4	6	نسبة البروتين (%)

8	7	6	5	4	3	2	1
حماة ₃	حماة ₂	ع 04/57	ع 04/56	ع 04/52	HBP/SOE/2008	HBP/SOD/2007	HBP/SOD/2008

يُعدّ هذا الجدول بمنزلة هوية وراثية، تتحدد فيها جميع الصفات المدروسة لكل طراز وراثي، ما يُسهل على مربّي النبات اختيار الآباء المناسبة في برامج التربية والتحسين الوراثي، حسب الهدف المراد تحقيقه.

علاقات الارتباط البسيط Simple correlation

1- دراسة علاقات الارتباط البسيط بين الصفات المدروسة تحت ظروف معاملة الشاهد المروي:

يُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً بين ارتفاع النبات وعدد الأفرع ($r=0.717^{**}$)، حيث تؤدي زيادة ارتفاع النبات إلى زيادة النمو الخضري، ومن ثمَّ عدد الأفرع المتشكلة في النبات. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً بين ارتفاع النبات وموعد الإزهار والنضج ($r=0.815^{**}$ ، $r=0.724^{**}$ على التوالي)، حيث تؤدي زيادة عدد الأيام اللازمة للإزهار، ومن ثمَّ النضج، إلى زيادة طول فترة النمو الخضري، ما يؤدي إلى زيادة الطول الكلي للنبات، شريطة توافر الكميات الكافية من المياه والمادة الجافة لتأمين احتياجات النمو. وتوجد علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين ارتفاع النبات وعدد البذور في القرن الواحد ($r=-0.415^{*}$)، ويُعزى ذلك إلى أنَّ زيادة طول النبات بشكلٍ كبير تؤدي إلى استهلاك كمياتٍ إضافية من المادة الجافة، ما يؤثر سلباً في كمية المادة الجافة المتاحة خلال مرحلة تشكل الزهيرات وتطورها نتيجة زيادة المنافسة على نواتج التمثيل الضوئي، الأمر الذي يؤثر سلباً في نسبة المادة الجافة المُسخَّرة لمرحلة النمو الثمري، فيتراجع معدّل تشكل القرون وتطورها، وعدد البذور المتشكلة في القرن الواحد، ودرجة امتلائها، فتتخفّض الغلّة البذرية النهائية. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين صفة متوسط عدد الأوراق على النبات ومتوسط عدد البذور في القرن ودليل الحصاد ($r=0.411^{*}$ ، $r=0.573^{**}$ على التوالي)، حيث تُساعد زيادة حجم المسطح الورقي الأخضر الفعّال في عملية التمثيل الضوئي في زيادة كمية المادة الجافة المُصنَّعة، نتيجة زيادة كمية الأشعة الضوئية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي الممتصة، فتزداد كمية المادة الجافة المتاحة خلال مرحلة النمو الثمري، ما يؤدي إلى زيادة متوسط عدد البذور في القرن، ومتوسط وزن المائة بذرة، والغلّة البذرية، فتزداد تبعاً لذلك قيمة دليل الحصاد. ويؤكد ذلك وجود علاقة ارتباط موجبة ولكنها غير معنوية بين صفة متوسط عدد الأوراق على النبات وكلٍّ من متوسط وزن المائة بذرة، والغلّة البذرية ($r=0.267$ ، $r=0.359$ على التوالي). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً بين صفة عدد الأفرع وموعد الإزهار والنضج على التتابع ($r=0.513^{*}$ ، $r=0.632^{**}$ على التوالي)، حيث يؤدي تأخير موعد النضج إلى زيادة طول مرحلة النمو الخضري، ما يؤدي إلى زيادة ارتفاع النبات، وعدد الأفرع الخضرية والثمارية

المتشكلة على طول النبات. وتوجد علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً بين صفة موعد الإزهار وموعده النضج ($r=0.763^{**}$)، حيث يؤدي تأخير حدوث الإزهار إلى تأخير موعد النضج، وبخاصة تحت ظروف الزراعة المروية، ويمكن أن يكون ذلك مفيداً من وجهة نظر زيادة الكفاءة الإنتاجية، من خلال زيادة عدد القرون المتشكلة في النبات، وعدد البذور في القرن الواحد، ودرجة امتلاء البذور (متوسط وزن المائة بذرة). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية جداً بين صفة موعد الإزهار وعدد البذور في القرن ودليل الحصاد ($r=-0.528^{**}$)، حيث يؤدي التأخير بموعد الإزهار إلى تقصير طول فترة الإزهار، وبخاصة إذا ما تزامنت فترة الإزهار مع ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط، ما يؤدي إلى انخفاض عدد الأزهار الخصبة المتشكلة، ومن ثمّ عدد القرون المتشكلة في النبات، وعدد البذور في القرن، وتنخفض تبعاً لذلك قيمة دليل الحصاد. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية جداً بين صفة موعد النضج وعدد البذور في القرن ($r=-0.751^{**}$)، حيث يؤدي التأخير في موعد النضج نتيجة تأخير موعد الإزهار إلى زيادة عدد الأزهار المتشكلة في النبات، ومن ثمّ عدد القرون، الأمر الذي يؤدي إلى تراجع متوسط عدد البذور المتشكلة في القرن الواحد. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً بين صفة عدد القرون في النبات وعدد البذور بالمتري المربع والغلة الحيوية والغلة البذرية ($r=0.736^{**}$ ، $r=0.781^{**}$ ، $r=0.730^{**}$). حيث يزداد متوسط عدد البذور في وحدة المساحة من الأرض بزيادة عدد النباتات أو بزيادة عدد القرون في النبات الواحد أو الاثنين معاً، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة كل من الغلة الحيوية والغلة البذرية، لأنّ متوسط عدد البذور في وحدة المساحة من الأرض من أهم مكونات الغلة البذرية العددية. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين صفة عدد القرون في النبات ونسبة الذائبات المتسربة ($r=-0.467^{*}$)، ويُلاحظ أيضاً وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين صفة عدد البذور بالمتري المربع ونسبة الذائبات المتسربة ($r=-0.489^{*}$)، وعلاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين صفة وزن المائة بذرة ونسبة الذائبات المتسربة ($r=-0.612^{**}$)، حيث تُعبّر نسبة الذائبات المتسربة عن مدى حساسية نباتات الطراز الوراثي للجفاف. وتتحدد حياة الخلية النباتية، ومن ثمّ سير العمليات الحيوية فيها بمدى كفاءة الطراز الوراثي في المحافظة على سلامة الأغشية السيتوبلازمية. الأمر الذي يؤثر سلباً في حجم المسطح الورقي الأخضر، ومن ثمّ كفاءة النباتات التمثيلية، فتقل كمية المادة الجافة الكلية المتاحة خلال مرحلة النمو الثمري،

فيتراجع عدد القرون المتشكلة في النبات، وعدد البذور في القرن، ودرجة امتلاء البذور. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين صفة عدد البذور في القرن وعدد البذور بالمتري المربع والغلة الحيوية ونسبة البروتين ($r=0.593^{**}$ ، $r=0.421^{*}$ على التوالي)، حيث تؤدي زيادة عدد البذور في القرن إلى زيادة متوسط عدد البذور في المتر المربع عند الكثافة النباتية المثلى، ما لم يتراجع متوسط عدد القرون في النبات، وسوف تزداد تبعاً لذلك الغلة الحيوية الكلية، لأنها تمثل حصيلة الأجزاء الخضرية والثمارية معاً. وتؤدي زيادة عدد البذور في القرن إلى زيادة قوة المصب، فتزداد كفاءة القرون على استرجار كمية أكبر من نواتج التمثيل الضوئي خلال فترة امتلاء البذور، ما يؤدي إلى زيادة محتوى البذور من المادة الجافة عامةً والبروتينات خاصةً. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً بين صفة عدد البذور بالمتري المربع ووزن المائة بذرة ونسبة البروتين والغلة الحيوية والغلة البذرية، ومعنوية مع صفة دليل الحصاد ($r=0.556^{**}$ ، $r=0.597^{**}$ ، $r=0.829^{**}$ ، $r=0.925^{**}$ ، $r=0.490^{*}$ على التوالي)، ما يشير إلى أهمية الانتخاب لصفة زيادة عدد البذور في النبات، ووحدة المساحة من الأرض لتحسين الغلة البذرية، إذ تشكل صفة عدد البذور مكوناً مهماً من مكونات الغلة البذرية العددية، بالإضافة إلى صفة متوسط وزن المائة بذرة، ويمكن أن تكون علاقة الارتباط موجبة بين هذين المكونين العددين فقط تحت ظروف الزراعة المناسبة، بسبب إتاحة متطلبات النمو بكميات كافية، الأمر الذي يحول دون حدوث المنافسة على نواتج التمثيل الضوئي. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين صفة وزن المائة بذرة والغلة الحيوية والغلة البذرية ($r=0.538^{**}$ ، $r=0.497^{*}$ على التوالي)، ما يشير إلى أهمية صفة وزن المائة البذرة كأحد المكونات العددية المحددة لغلة محصول الفول البذرية. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين صفة محتوى الماء النسبي في الأوراق ونسبة الذائبات المتسربة وتركيز الملوحي أدهيد ($r=-0.723^{**}$ ، $r=-0.893^{**}$)، ما يشير إلى أهمية المحافظة على محتوى الخلايا النباتية المائي للحد من حجم الضرر الحاصل في الأغشية السيتوبلاسمية، نتيجة زيادة معدل تخريب المواد الدهنية المفسفرة فيها، نتيجة تشكل جذور الأوكسجين الحرة النشطة، ما يؤدي إلى فقد الأغشية السيتوبلاسمية لخاصيتها الاصطفائية، ومن ثم زيادة نسبة الذائبات المتسربة عبرها.

ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين صفة نسبة الذائبات المتسربة وتركيز المألوندي الدهيد ($r=0.636^*$)، حيث يُعد تراكم مركب المألوندي الدهيد من المؤشرات الدالة على مقدار الضرر في الأغشية السيتوبلاسمية جرّاء تخريب المواد الدهنية المفسفرة. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين صفة نسبة الذائبات المتسربة والغلة الحيوية والغلة البذرية ($r=-0.507^*$ ، $r=-0.543^{**}$ على التوالي)، حيث تُعبّر نسبة الذائبات المتسربة عن مدى حساسية نباتات الطراز الوراثي للجفاف. وتتحدد حياة الخلية النباتية، ومن ثم سير العمليات الحيوية فيها بمدى كفاءة الطراز الوراثي في المحافظة على سلامة الأغشية السيتوبلاسمية، لذلك تُعد صفة المحافظة على سلامة الأغشية السيتوبلاسمية من الصفات الفيزيولوجية المرتبطة بالمحافظة على كفاءة الفول الإنتاجية. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين نسبة البروتين والغلة الحيوية والغلة البذرية ($r=0.439^*$ ، $r=0.445^*$)، حيث تؤدي زيادة نسبة البروتين في البذور إلى زيادة الوزن النوعي للبذور، ما يؤدي إلى زيادة الغلة البذرية. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً بين الغلة البذرية ودليل الحصاد (HI) ($r=0.685^{**}$). وارتبطت أيضاً الغلة البذرية بشكل موجب ومعنوي جداً مع الغلة الحيوية (الكتلة الحية عند النضج) ($r=0.757^{**}$)، ويُعزى ذلك إلى أن زيادة الكتلة الحية عند النضج تؤدي إلى زيادة حجم المصدر Source size خلال مرحلة الطلب الأعظمي على نواتج التمثيل الضوئي، حيث يؤدي ذلك إلى زيادة كمية الطاقة الضوئية الممتصة فتزداد بذلك كفاءة النبات التمثيلية، ومن ثم كمية المادة الجافة المصنّعة والمتاحة خلال تلك المرحلة الحرجة من دورة حياة المحصول. وتُعدّ زيادة صفة دليل الحصاد والكتلة الحية عند النضج من أهم مكونات غلة الفول الفيزيولوجية تحت ظروف الزراعة المناسبة (الجدول، 22).

الجدول رقم (22): علاقات الارتباط البسيط بين الصفات المدروسة تحت ظروف الري الكامل.

	PH	NL	NB	DF	DM	NP	NS-P	NS-M ²	100-seed wt.	RWC	SL	MDA	Pro.	P	HI	BY	SY
PH	1																
NL	-.307	1															
NB	.717**	.038	1														
DF	.815**	-.545**	.513*	1													
DM	.724**	-.177	.632**	.763**	1												
NP	-.044	-.162	-.034	-.182	-.122	1											
NS-P	-.415*	.411*	-.275	-.528**	-.751**	.373	1										
NS-M ²	-.296	.316	.093	-.337	-.205	.736**	.593**	1									
100-seed wt.	.325	.267	.367	.208	.286	.320	.173	.556**	1								
RWC	.091	-.026	.119	.077	.116	.296	.068	.269	.197	1							
SL	-.154	-.069	-.199	-.079	-.262	-.467*	-.011	-.489*	-.612**	-.723**	1						
MDA	.039	-.052	.045	.064	-.012	-.067	.014	-.061	-.082	-.893**	.636**	1					
Pro.	-.141	-.020	-.001	-.235	-.123	.257	.020	.244	.168	.213	-.312	-.302	1				
P	-.300	.245	.247	-.069	-.118	.104	.421*	.597**	.069	.122	-.019	.064	-.063	1			
HI	-.334	.573**	.234	-.579**	.009	.253	.018	.490*	.109	.079	-.244	-.082	.283	.253	1		
BY	-.105	-.058	-.063	.045	.000	.781**	.423*	.829**	.538**	.310	-.507*	-.052	.104	.439*	.047	1	
SY	-.312	.359	.072	-.374	-.019	.730**	.336	.925**	.497*	.270	-.543**	-.100	.274	.445*	.685**	.757**	1

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

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

حيث: PH : ارتفاع النبات، NL: عدد الأوراق على النبات، NB: عدد الأفرع في النبات، DF: عدد الأيام حتى الإزهار، DM: عدد الأيام حتى النضج، NP: عدد القرون على النبات، NS-P: عدد البذور في القرون، NS-M²: عدد البذور في المتر المربع، 100-seed wt: وزن المائة بذرة، RWC: محتوى الماء النسبي في الأوراق، SL: نسبة الذائبات المتسربة، MDA: تركيز المالوندي ألدهيد، Pro: محتوى البرولين في الأوراق، P: نسبة البروتين في البذور الجافة، HI: دليل الحصاد، BY: الغلة الحيوية، SY: الغلة البذرية.

معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار:

يُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين عدد الأوراق على النبات ومحتوى الماء النسبي ($r=0.716^*$)، حيث تؤدي زيادة محتوى الماء النسبي في خلايا الأوراق إلى زيادة معدل انقسام خلايا الأوراق واستطالتها، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة متوسط عدد الأوراق المتشكلة ومساحتها، ما يؤدي إلى زيادة حجم المصدر، ومن ثمّ كفاءة النبات التمثيلية، ولكن يمكن أن يؤدي لاحقاً إلى زيادة كمية المياه الكلية المفقودة بالنتح، ما يمكن أن يؤثر سلباً في مقدرة النباتات التكيفية إذا ما تعرّضت النباتات للجفاف خلال المراحل التطورية اللاحقة. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين عدد الأفرع في النبات وموعد النضج ($r=0.764^*$)، حيث يؤدي زيادة طول مرحلة النمو الخضري، ومن ثمّ عدد الأفرع الكلية المتشكلة في النبات إلى تأخير موعد النضج. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين موعد النضج وتسرب الذائبات ($r=-0.709^*$)، حيث تتم زيادة نسبة الذائبات المتسربة عن حساسية النباتات لظروف الجفاف، ما يؤدي إلى تراجع النمو، وتقصير أطوال المراحل التطورية المختلفة، فتبكر النباتات بالنضج، الأمر الذي يؤثر سلباً في غلة المحصول البذرية، ومكونات الغلّة العددية، ويؤكد ذلك وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين وزن المائة بذرة وتسرب الذائبات ($r=-0.717^*$). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين محتوى الماء النسبي والغلّة الحيوية والبذرية ($r=0.745^*$)، $r=0.732^*$ على التوالي). حيث تُساعد عملية المحافظة على قيم مرتفعة من محتوى الماء النسبي، ومن ثمّ ضغط الامتلاء في الأوراق على ضمان استمرار انفتاح المسامات ولو جزئياً، الأمر الذي يضمن استمرار تفعيل التأثير المبرد لعملية النتح والمحافظة على استدامة اخضرار الأوراق، وامتصاص كميةٍ من الأشعة الضوئية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي، ما يؤدي إلى استمرار انتقال الإلكترونات في سلسلة نقل الإلكترونات وتصنيع المركبات الغنية بالطاقة (NADPH, ATP)، خلال تفاعلات الضوء، التي تُستعمل خلال تفاعلات الظلام لإرجاع الكربون المعدني إلى كربون عضوي في حلقة إرجاع الكربون الثلاثية (حلقة كالفن) (العودة وزملاؤه، 2015)، وتصنيع المادة الجافة بكميةٍ نسبياً أكبر، بالإضافة إلى استمرار انتشار غاز الفحم اللازم لعملية التمثيل الضوئي، ما يؤدي إلى زيادة كفاءة النبات التمثيلية وكمية نواتج التمثيل الضوئي المتاحة خلال مرحلة النمو الثمري Reproductive stage، ما يؤدي إلى

زيادة الكتلة الحية الكلية، وعدد الحبوب المتشكلة ودرجة امتلائها، ومن ثمّ غلة المحصول البذرية. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين تسرب الذائبات وتركيز المالنوندي ألدهيد ($r=0.756^*$). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين نسبة البروتين في البذور والغلة الحيوية ($r=0.891^{**}$). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين الغلة الحيوية والغلة البذرية ($r=0.819^*$)، ما يؤكد على أهمية تحسين الكتلة الحية عند النضج لزيادة غلة المحصول البذرية، وبخاصة إذا ما تعرّضت النباتات للجفاف خلال مرحلة الإزهار فقط (الجدول، 23).

الجدول رقم (23): علاقات الارتباط البسيط بين الصفات المدروسة تحت ظروف الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار.

	PH	NL	NB	DF	DM	NP	NS-P	NS-M ²	100-seed wt.	RWC	SL	MDA	Pro.	P	HI	BY	SY
PH	1																
NL	.200	1															
NB	.271	-.236	1														
DF	.130	.577	-.703	1													
DM	-.040	.037	.764*	-.455	1												
NP	-.062	.137	-.332	.102	.098	1											
NS-P	-.258	.195	-.240	-.173	-.261	-.037	1										
NS-M ²	-.305	.225	-.398	-.034	-.102	.661	.694	1									
100-seed wt.	-.150	.403	.249	-.167	.549	.527	.069	.513	1								
RWC	.204	.716*	-.041	.115	.285	.508	.128	.339	.478	1							
SL	.107	-.593	-.168	-.187	-.709*	-.443	.191	-.202	-.717*	-.631	1						
MDA	.520	-.314	-.081	-.111	-.550	-.179	.360	.099	-.482	-.346	.756*	1					
Pro.	-.553	.199	.243	-.414	.574	.168	.553	.559	.600	.326	-.528	-.418	1				
P	.143	.244	-.308	-.026	-.395	.357	.162	.259	.115	.552	.163	.088	-.164	1			
HI	.345	-.095	.463	-.464	.311	-.201	.457	.109	-.155	.101	.083	.477	.329	-.252	1		
BY	.141	.406	-.019	-.200	-.013	.432	.241	.398	.490	.745*	-.169	-.083	.187	.891**	-.084	1	
SY	.240	.302	.179	-.420	.149	.290	.506	.445	.310	.732*	-.113	.159	.391	.644	.490	.819*	1

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

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

حيث: PH : ارتفاع النبات، NL: عدد الأوراق على النبات، NB: عدد الأفرع في النبات، DF: عدد الأيام حتى الإزهار، DM: عدد الأيام حتى النضج، NP: عدد القرون على النبات، NS-P: عدد البذور في القرن، NS-M²: عدد البذور في المتر المربع، 100-seed wt.: وزن المائة بذرة، RWC: محتوى الماء النسبي في الأوراق، SL: نسبة الذائبات المتسربة، MDA: تركيز المالوندي ألدهيد، Pro: محتوى البرولين في الأوراق، P: نسبة البروتين في البذور الجافة، HI: دليل الحصاد، BY: الغلة الحيوية، SY: الغلة البذرية.

معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون:

يُلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين موعد النضج ودليل الحصاد ($r=-0.714^*$)، حيث يؤدي تأخير موعد النضج نتيجة تعرّض النباتات للجفاف خلال مرحلة تشكل القرون، إلى تزامن مراحل نمو البذور وتطورها وامتلائها مع فترات ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط، الأمر الذي يؤدي إلى تقصير أطوال هاتين المرحلتين، ما يؤدي إلى تشكل بذور صغيرة وضامرة، إضافةً إلى تراجع متوسط عدد القرون المتشكلة جرّاء تعرض النباتات لظروف الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون، ما يؤدي إلى تراجع غلة المحصول البذرية ومن ثمّ قيمة دليل الحصاد، التي تتناسب طردياً مع الغلة البذرية وعكساً مع الغلة الحبيوية. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين عدد القرون في النبات وعدد البذور بالمتر المربع ($r=0.861^{**}$)، فمن الطبيعي أن يزداد متوسط عدد البذور الكلي في المتر المربع بزيادة متوسط عدد القرون في وحدة المساحة من الأرض عند كثافة نباتية محددة، ولكن يمكن أن يؤدي زيادة متوسط عدد القرون في النبات أو وحدة المساحة من الأرض إلى تراجع متوسط عدد البذور في القرن، إذا ما تعرّضت النباتات للجفاف خلال مرحلة تشكل القرون، ويؤكد ذلك وجود علاقة ارتباط سالبة بين هاتين الصفتين ($r=-0.309$). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين عدد القرون في النبات وتركيز المألوندي ألدهيد ($r=-0.822^*$). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين محتوى الماء النسبي وتركيز المألوندي ألدهيد ($r=-0.744^*$)، ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين تسرب الذائبات وتركيز المألوندي ألدهيد ($r=0.902^{**}$)، ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين تركيز المألوندي ألدهيد والبروتين ($r=-0.710^*$). عموماً، يؤدي تراجع محتوى الماء النسبي في خلايا الأوراق إلى لجوء النباتات إلى تقليل الناقلية المسامية إلى حد الإنغلاق التام وذلك حسب شدة الإجهاد المائي ومدته، الأمر الذي يؤدي إلى تعطيل التأثير المبرد لعملية النتج، فتزداد درجة حرارة الأوراق، وتحدث الشيوخة المبكرة لها، ما يؤثر سلباً في استدامة اخضرار الأوراق Stay green، فتقل كمية الأشعة الضوئية الفعّالة في عملية التمثيل الضوئي الممتصة والمحوّلة إلى طاقة كيميائية مخزونة في روابط المركبات العضوية المصنّعة (السكريات)، ويؤدي بالمقابل انغلاق المسامات إلى تراجع معدّل انتشار غاز الفحم الضروري لعملية التمثيل الضوئي، ما يؤدي إلى تراجع معدّل التمثيل الضوئي، ومن ثمّ معدّل

استهلاك المركبات الغنية بالطاقة المُصنَّعة خلال تفاعلات الضوء، أي يتراجع معدّل إعادة تشكيل المستقبل النهائي للإلكترونات (المركب NADP^+)، فيقوم الأوكسجين الجزيئي بتلقف الإلكترونات وتشكيل جذر السوبر أوكسيد الحر (O_2^-)، الذي ما أن يتفاعل مع جذر الماء الأوكسيجيني (H_2O_2) حتى يُشكل جذر المئات الحر (OH^-)، الذي يهاجم المواد الدهنية المفسفرة في الأغشية السيتوبلاسمية ويعمل على تخريبها، وهذا ما يُفسّر ارتفاع تركيز المالوندي ألدهيد، الذي يُعبر عن مقدار التخريب الحاصل في المواد الدهنية المفسفرة الداخلة في تركيب الأغشية الحيوية، وتموت الخلايا النباتية نتيجة خروج العديد من الذائبات العضوية والمعدنية المفيدة لحياة الخلايا النباتية (ازدياد نسبة الذائبات المتسرية)، وقد تدخل بعض المواد السامة، نتيجة فقد الأغشية السيتوبلاسمية لخاصيتها الاصطفائية. تؤدي كل هذه العوامل إلى تراجع كفاءة النباتات التمثيلية، وكمية المادة الجافة الكلية المُصنَّعة والمتاحة خلال مرحلة النمو الثمري. (الجدول، 24).

الجدول رقم (24): علاقات الارتباط البسيط بين الصفات المدروسة تحت ظروف الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون.

	PH	NL	NB	DF	DM	NP	NS-P	NS-M ²	100-seed wt.	RWC	SL	MDA	Pro.	P	HI	BY	SY
PH	1																
NL	-.213	1															
NB	-.353	-.146	1														
DF	.545	-.469	-.194	1													
DM	.095	-.265	.193	-.389	1												
NP	.094	.173	.706	-.250	.466	1											
NS-P	-.486	.168	-.155	-.269	-.401	-.309	1										
NS-M ²	-.068	.423	.574	-.367	.464	.861 ^{**}	-.437	1									
100-seed wt.	-.059	-.295	.341	-.011	-.050	-.105	-.477	-.089	1								
RWC	.481	.306	.225	-.280	.412	.647	-.547	.681	.119	1							
SL	-.535	.395	-.499	-.114	-.427	-.647	.390	-.381	-.132	-.660	1						
MDA	-.462	.195	-.609	.003	-.462	-.822 [*]	.547	-.578	-.254	-.744 [*]	.902 ^{**}	1					
Pro.	-.021	-.080	.648	-.366	.101	.519	.135	.258	.265	.474	-.693	-.635	1				
P	.376	-.314	.262	-.252	.532	.492	-.085	.104	.112	.453	-.692	-.710 [*]	.631	1			
HI	-.152	.604	.258	.052	-.714 [*]	.235	.327	.218	-.172	.071	.076	.003	.267	-.297	1		
BY	-.464	-.451	.118	-.287	.490	-.131	.063	-.193	.209	-.470	.248	.156	-.179	.210	-.679	1	
SY	-.646	.305	.576	-.195	-.439	.277	.464	.162	.005	-.316	.229	.053	.279	-.137	.687	.057	1
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).																	
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).																	

حيث: PH : ارتفاع النبات، NL: عدد الأوراق على النبات، NB: عدد الأفرع في النبات، DF: عدد الأيام حتى الإزهار، DM: عدد الأيام حتى النضج، NP: عدد القرون على النبات، NS-P: عدد البذور في القرن، NS-M²: عدد البذور في المتر المربع، 100-seed wt.: وزن المائة بذرة، RWC: محتوى الماء النسبي في الأوراق، SL: نسبة الذائبات المتسربة، MDA: تركيز المالوندي ألدهيد، Pro: محتوى البرولين في الأوراق، P: نسبة البروتين في البذور الجافة، HI: دليل الحصاد، BY: الغلة الحيوية، SY: الغلة البذرية.

معاملة الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي:

يُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين عدد الأوراق على النبات ومحتوى الماء النسبي ($r=0.758^*$). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين عدد الأوراق على النبات وتسرب الذائبات ($r=-0.719^*$). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين عدد القرون في النبات والبروتين ($r=0.766^*$). ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية جداً بين وزن المائة بذرة ومحتوى الماء النسبي، ومحتوى البرولين ($r=0.932^{**}$ ، $r=0.887^{**}$ على التوالي)، ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين محتوى الماء النسبي والبرولين ($r=0.855^{**}$). يُساعد بشكل عام تراكم البرولين في تحسين تحمل النباتات للإجهاد المائي، حيث يعمل على خفض قيمة الجهد المائي داخل الخلايا النباتية (يصبح الجهد المائي أكثر سلباً) نتيجة شد جزيئات الماء، ما يزيد من فرق التدرج في الجهد المائي بين النبات والوسط المحيط، فيزداد معدل امتصاص الماء من قبل النبات، ما يُساعد على زيادة كمية المياه الممتصة، وتصبح إلى حدٍ ما كافية لتعويض الماء المنتوح، والمحافظة على جهد الامتلاء داخل الخلايا النباتية الضروري لاستمرار استطالتها، وضمان استمرار الانفتاح الجزيئي للمسامات، وانتثار غاز الفحم اللازم لعملية التمثيل الضوئي وتصنيع المادة الجافة، ما يؤدي إلى زيادة كمية المادة الجافة المتاحة خلال مرحلة امتلاء البذور، فيزداد متوسط وزن المائة بذرة. ويُلاحظ وجود علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين وزن المائة والغلة البذرية ($r=0.707^*$)، لذلك تُعد صفة وزن المائة البذرة من أهم الصفات المحددة لغلة المحصول البذرية، وتتحدد تبعاً لذلك كفاءة الطراز الوراثي الإنتاجية بمقدرته على المحافظة على وزن المائة بذرة إذا ما تعرّضت النباتات لظروف الجفاف خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (الجدول، 25).

الجدول رقم (25): علاقات الارتباط البسيط بين الصفات المدروسة تحت ظروف الإجهاد المائي خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي.

	PH	NL	NB	DF	DM	NP	NS-P	NS-M ²	100-seed wt.	RWC	SL	MDA	Pro.	P	HI	BY	SY
PH	1																
NL	-.018	1															
NB	-.318	.594	1														
DF	-.321	.015	.166	1													
DM	-.303	.091	.039	-.394	1												
NP	.440	.488	.399	-.342	-.048	1											
NS-P	-.101	-.087	-.214	.244	-.685	-.209	1										
NS-M ²	.008	.172	-.151	-.409	.012	.233	-.128	1									
100-seed wt.	-.283	.626	.315	-.376	.311	-.060	.049	.236	1								
RWC	-.175	.758*	.334	-.423	.420	.161	-.189	.424	.932**	1							
SL	.424	-.719*	-.571	-.490	-.113	.170	.041	.180	-.557	-.543	1						
MDA	-.165	.104	-.466	-.156	.356	-.037	-.150	.703	.114	.318	.053	1					
Pro.	-.060	.425	.273	-.684	.405	.060	-.216	.321	.887**	.855**	-.245	.022	1				
P	.553	.652	.331	.124	-.421	.766*	.057	.066	-.059	.116	-.193	-.111	-.137	1			
HI	-.190	-.243	-.585	.026	-.103	-.495	.162	.675	.065	.091	.101	.714*	-.004	-.367	1		
BY	.012	.656	.358	-.255	-.027	.465	.411	-.116	.574	.514	-.283	-.150	.391	.449	-.458	1	
SY	-.243	.505	-.069	-.122	-.137	-.066	.560	.437	.707*	.648	-.354	.430	.422	.108	.436	.583	1

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

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

حيث: PH : ارتفاع النبات، NL: عدد الأوراق على النبات، NB: عدد الأفرع في النبات، DF: عدد الأيام حتى الإزهار، DM: عدد الأيام حتى النضج، NP: عدد القرون على النبات، NS-P: عدد البذور في القرن، NS-M²: عدد البذور في المتر المربع، 100-seed wt.: وزن المائة بذرة، RWC: محتوى الماء النسبي في الأوراق، SL: نسبة الذائبات المتسربة، MDA: تركيز المالوندي ألدهيد، Pro.: محتوى البرولين في الأوراق، P: نسبة البروتين في البذور الجافة، HI: دليل الحصاد، BY: الغلة الحيوية، SY: الغلة البذرية.

درجة حساسية الصفات المدروسة للإجهاد المائي: يُلاحظ من الجدول (26) أنَّ نسبة الانخفاض في معظم الصفات المدروسة، وبخاصة الصفات المرتبطة بالغلة البذرية كانت الأعلى عندما تعرّضت النباتات للإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون، تلاها مرحلة النضج الفيزيولوجي، ثمَّ مرحلة الإزهار، لذلك تعدَّ مرحلة تشكل القرون من أكثر المراحل التطورية المدروسة حساسيةً لظروف الإجهاد المائي. ويُلاحظ أنَّ صفة متوسط عدد البذور في المتر المربع هي من أكثر الصفات المدروسة حساسيةً لظروف الإجهاد المائي خلال مختلف مراحل النمو، يليها صفة متوسط عدد القرون في النبات (64.52، 51.14 % على التوالي)، ثمَّ صفة متوسط الغلة البذرية (46.87%)، يليها صفة متوسط عدد البذور في القرن (34.71%)، في حين لم تتجاوز نسبة الانخفاض في متوسط وزن المائة بذرة 15.53 %، أي أنَّ الغلة البذرية في الفول تتحدد بدرجة أكبر بمتوسط عدد البذور في وحدة المساحة من الأرض بالمقارنة مع متوسط وزن المائة بذرة، لذلك يجب أن تركز برامج التربية والتحسين الوراثي على تطوير الطرز الوراثية التي تتسم بمقدرتها على المحافظة على قيم مرتفعة من صفات عدد البذور في المتر المربع، وعدد القرون في النبات، وعدد البذور في القرن. ويُعزى الانخفاض الكبير في الغلة البذرية استجابةً لظروف الإجهاد المائي خلال مختلف مراحل النمو المتقدمة الحرجة إلى التأثير التراكمي لانخفاض جميع الصفات الشكلية والكمية والتطورية المحددة للغلة البذرية بدرجات مختلفة. ويؤثر أيضاً الإجهاد المائي بشكلٍ كبير في الغلة الحيوية (34.20%) نتيجة تراجع مكونات المصدر (عدد الأفرع، عدد الأوراق، ارتفاع النبات)، بالإضافة إلى مكونات الغلة الاقتصادية (عدد القرون في النبات)، والنوعية (نسبة البروتين في البذور)، وهذا ما يُفسّر الانخفاض الكبير في الغلة البذرية، لذلك تُعد صفة الكتلة الحية عند النضج من أهم الصفات الفيزيولوجية المحددة لغلة محصول الفول البذرية، إضافةً إلى صفة دليل الحصاد. ويُعد امتلاك طرز الفول المدروسة المقدرة الكبيرة على تصنيع البرولين، حيث ازداد محتوى الأوراق من البرولين بنحو 38.92% استجابةً لظروف الجفاف، حيث يعدّ محتوى البرولين من أهم الصفات البيوكيميائية التي حالت دون التراجع الكبير في محتوى الماء النسبي في الأوراق (18.29%). وأسهمت في المحافظة بشكلٍ كبير على سلامة الأغشية السيتوبلاسمية (5.37 % نسبة الذائبات المتسربة)، لذلك تُعد صفة المقدرة على التعديل الحلولي في الفول من أهم الصفات البيوكيميائية المرتبطة بتحسين تحمل الجفاف (الجدول، 26).

الجدول رقم (26): نسبة الانخفاض/ الزيادة (%) في الصفات المدروسة تحت ظروف الإجهاد المائي خلال مختلف مراحل النمو بالمقارنة مع الشاهد

المتوسط العام	المرحلة التطورية			الصفة
	النضج الفيزيولوجي	تشكل القرون	الإزهار	
14.67	5.51	3.61	34.89	ارتفاع النبات (سم)
11.64	8.36	0.07	26.50	عدد الأوراق في النبات (ورقة . نبات ⁻¹)
الفروقات غير معنوية	-	-	-	عدد الأفرع في النبات (فرع . نبات ⁻¹)
الفروقات غير معنوية	-	-	-	موعد الإزهار (يوم)
2.36	3.08	2.43	1.57	موعد النضج (يوم)
51.14	48.21	74.50	30.69	عدد القرون في النبات
34.71	30.30	54.50	19.34	عدد البذور في القرن
64.52	75.81	81.16	36.56	عدد البذور في المتر المربع
15.53	26.24	10.58	9.83	وزن المائة بذرة
34.20	36.49	49.06	17.04	الغلة الحيوية
46.87	50.54	63.20	26.86	الغلة البذرية
19.22	19.52	26.45	11.70	دليل الحصاد
19.00	24.79	18.82	13.39	محتوى الماء النسبي (%)
38.92	42.77	34.31	39.67	محتوى البرولين في الأوراق (ميكروغرام . غ ⁻¹)
5.37	0.88	6.09	9.28	سلامة الأغشية الخلوية (نسبة الذائبات المتسربة)
27.03	15.07	33.62	39.57	تركيز المألوندي ألدهيد
5.86	3.36	9.23	5.00	نسبة البروتين (%)

الاستنتاجات والتوصيات Conclusions and recommendations

الاستنتاجات

1. أثر الإجهاد المائي خلال مراحل النمو المختلفة سلباً في الصفات المدروسة بالمقارنة مع الشاهد المروي، وتباينت استجابة طرز الفول المدروسة للإجهاد المائي، والصفات المرتبطة وراثياً بالغلة البذرية باختلاف المرحلة التطورية التي تتعرض النباتات خلالها لظروف الإجهاد المائي.
2. ترتبط كفاءة الطراز الوراثي في المحافظة على ارتفاع النبات ضمن الحدود المثلى، واستمرار استطالة خلايا الأوراق تحت ظروف الإجهاد المائي بكفاءته في المحافظة على ميزان موجب للعلاقات المائية داخل خلايا السلاميات، والأوراق.
3. يُعدّ توافر المياه خلال جميع مراحل النمو، بالإضافة إلى توافر الظروف المناخية والأرضية المناسبة من العوامل الرئيسة لبلوغ الطراز الوراثي كامل طاقته الإنتاجية. وتُعد مرحلة تشكل القرون من أكثر المراحل حساسيةً لظروف الإجهاد المائي.
4. يتحدد وزن المائة بذرة خلال مرحلة النضج الفيزيولوجي (فترة امتلاء البذور)، ويُعد توافر كمية كافية من المياه من العوامل المهمة المحددة لمعدل نمو البذور، وطول فترة امتلائها، ودرجة امتلائها، لأنّ الماء هو الناقل الوحيد لنواتج التمثيل الضوئي من المصدر Source (الأوراق والسوق) إلى المصب Sink (البذور).
5. تتباين الصفات المحددة لغلة محصول الفول البذرية باختلاف الصنف المزروع، والصفات المدروسة لكل صنف، لذلك يتوجب على مربّي النبات أن يتوخى الحذر في اختيار الآباء المناسبة تبعاً للصفات المستهدفة في برامج التربية والتحسين الوراثي.
6. تُعدّ مرحلة تشكل القرون وتطورها من أكثر المراحل التطورية - خلال دورة حياة محصول الفول - حساسيةً لظروف الإجهاد المائي، استناداً إلى مفهوم الانخفاض النسبي في الغلة البذرية بالمقارنة مع الشاهد (63.20%)، تليها مرحلة النضج الفيزيولوجي (امتلاء البذور) (50.54%)، ثمّ مرحلة الإزهار (26.86%).
7. تتباين الصفات المحددة للكتلة الحيوية في محصول الفول باختلاف الطراز الوراثي، ومرحلة النمو التي تتعرض خلالها النباتات لظروف الإجهاد المائي.
8. يُعزى التباين في صفة دليل الحصاد إلى التباين في كلٍ من الغلة البذرية والغلة الحيوية، وتُعد الطرز الوراثية التي تزداد فيها قيمة دليل الحصاد من خلال زيادة الغلة البذرية، أكثر أهمية من وجهة نظر الكفاءة الإنتاجية.

9. يُعدّ تبعاً لذلك الطرازان الوراثيان حماية²، و HBP/SOD/2007 الأفضل من وجهة نظر اقتصادية، لأنّ تفوقها في صفة دليل الحصاد (44.95، 44.73 % على التوالي)، ناجم عن تفوقهما في الغلّة البذرية (323.2، 334.3 غ . م² على التوالي).
10. ولكن تُعدّ صفة دليل الحصاد مضللة لدى الطرازين الوراثيين حماية³، ع04/56 لأنّ الغلّة البذرية فيهما كان الأدنى معنوياً (244.4، 238.8 غ . م² على التوالي)، حيث كان الانخفاض في الغلّة الحيوية بتأثير الجفاف أكبر بالمقارنة مع الغلّة البذرية.
11. ويُعدّ الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 الذي تفوق بقيمة دليل الحصاد مثالياً، لأنّه تفوق في كل من الغلّة البذرية والغلّة الحيوية (334.3، 717.4 غ . م² على التوالي)، حيث يُعدّ مثل هذا الطراز الوراثي ثنائي الغرض.
12. تُعدّ صفة دليل الحصاد من معايير الانتخاب المهمة المرتبطة بتحسين غلّة الفول البذرية في البيئات المُجهدة مائياً، ويوجد هامش وراثي كبير (20%) لدى مربّي النبات يمكن استثماره تحت ظروف الزراعة المطرية لتحسين غلّة الفول البذرية من خلال تحسين صفة دليل الحصاد.
13. يُعدّ الطراز الوراثي HBP/SOD/2007 الأكثر تكيفاً مع ظروف تراجع محتوى التربة المائي خلال مراحل النمو المختلفة مع الاحتفاظ بكفاءته في إعطاء غلّة بذرية معنوياً أكبر بالمقارنة مع باقي الطرز المدروسة، وتفوق معنوياً على الأصناف المعتمدة محلياً حماية²، وحماية³.
14. يُعزى التراجع في قيمة دليل الحصاد لدى الطرازين الوراثيين ع04/57، و HBP/SOE/2008 إلى الانخفاض الكبير في الغلّة البذرية (283.8، 264.7 غ.م² على التوالي)، وكانت الغلّة الحيوية لدى هذين الطرازين الوراثيين مرتفعة نسبياً (710.6، 639.6 غ.م² على التوالي)، ويمكن تبعاً لذلك اعتمادهما كطرز لإنتاج العلف الأخضر.
15. يرتبط التباين الوراثي بين طرز الفول المدروسة في المحافظة على قيم مرتفعة من محتوى الماء النسبي في الأوراق، وسلامة الأغشية السيتوبلازمية بكفاءة الطرز في تصنيع كمية أكبر من الذائبات العضوية التوافقية (البرولين).
16. تُعدّ مرحلة تشكل القرون ، تليها مرحلة النضج الفيزيولوجي ، ثمّ مرحلة الإزهار من أكثر المراحل حساسيةً لظروف الإجهاد المائي في محصول الفول، لذلك لا بدّ من تأمين مياه الري خلال هذه المراحل الحرجة تبعاً لضمان تقليل الفاقد في الغلّة البذرية.
17. يُعدّ تراكم مركب المالوندي ألدهيد من المؤشرات البيوكيميائية الدّالة على مقدار الضرر في الأغشية السيتوبلازمية جرّاء تخريب المواد الدهنية المفسفرة.

18. يؤثر الجفاف خلال مختلف مراحل النمو سلباً في محتوى البذور من البروتينات، بسبب انخفاض كمية المادة الجافة الكلية المُصنَّعة، والمُسَخَّرَة باتجاه الأجزاء الاقتصادية (البذور)، وتراجع كفاءة نقل نواتج التمثيل الضوئي Translocation efficiency من المصدر إلى المصب خلال فترة امتلاء البذور، بسبب غياب الماء الذي يُعد بمنزلة الناقل الوحيد لها.

التوصيات

- ✓ إعطاء الأولوية عند الري التكميلي لمرحلة تشكل القرون وتطورها، ثمَّ مرحلة امتلاء البذور (النضج الفيزيولوجي)، فمرحلة الإزهار للمحافظة على كفاءة المحصول الإنتاجية في البيئات الجافة عند الزراعة بعلاً.
- ✓ يوصى بزراعة الطراز الوراثي HBP/SOD/2007، والصنف حماة 2 ضمن ظروف ريف دمشق (قرحتا) للحصول على أعلى غلَّة بذرية.
- ✓ الاستفادة من التراكيب الوراثية كآباء في برامج التربية والتحسين الوراثي للفلو، حسب الأهداف والغايات.
- ✓ دراسة دور الممارسات الزراعية (موعد الزراعة، معدل البذار، معدلات التسميد، التعشيب... إلخ) في تحسين قيمة كفاءة استعمال مياه الأمطار.
- ✓ دراسة دور تطبيق نظام الزراعة الحافظة بالمقارنة مع الزراعة التقليدية في تحسين كفاءة المحصول الإنتاجية، من خلال زيادة قيمة كفاءة استعمال المياه.
- ✓ تحديد مواقع المورثات المسؤولة عن الصفات المرتبطة بتحمل الجفاف بهدف نقلها إلى الأصناف المعتمدة محلياً، لتسريع وتيرة التحسين الوراثي في ظل التغيرات المناخية.
- ✓ دراسة التباين الوراثي في كمية البروتينات الدفاعية (LEA, HSPs)، وطبيعة توزيعها ضمن المكتنفات الخلوية، للوقوف على أهميتها في تحسين تحمل الإجهاد المائي.

المراجع References

المراجع العربية

كف الغزال، رامي، الفارس، عباس منير، (1982). المحاصيل الحقلية، منشورات جامعة حلب، كلية الزراعة، ص 224.

البلقيني، حامد ، (2007). الفول، زراعة المحاصيل المصريّة ، جمهوريّة مصر العربيّة، ص 37.

المنظمة العربية للتنمية الزراعية (2017). الكتاب السنوي للإحصائيات الزراعية العربية، السودان، الخرطوم، المجلد (37)، القسم الثالث، الإنتاج النباتي، جدول 67.

المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية (2017). الجمهوريّة العربية السوريّة، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، مديرية التخطيط.

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.

التمو، منور (2013). التباين الوراثي في استجابة بعض طرز الشعير (*Hordeum spp.*) لتحمل الجفاف: تقييم الصفات الفسيولوجية والبيوكيميائية والجزيئية. أطروحة دكتوراه ، 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.

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.

علي، أحمد (2006). تقييم استجابة بعض سلالات وأصناف القمح (*Triticum sp.*) المحلية للجفاف والحرارة العالية خلال مرحلة امتلاء الحبوب في المنطقة الشمالية الشرقية من سورية. رسالة ماجستير، قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، الجمهورية العربية السورية.

العودة، أيمن؛ خيتي، مأمون؛ رباح نصر، ريم (2015). فسيولوجيا المحاصيل الحقلية. الجزء النظري. كلية الزراعة، منشورات جامعة دمشق.

A.O.A.C., 1975. Association of Official Agriculture Chemists. Official Methods of analysis 12th Ed. Washington, D.C. UAS.

Abdelmula, A.A. 1999. Genetic improvement of drought tolerance in faba beans (*Vicia faba* L.). Ph.D., Dissertation, University of Göttingen.

Ageeb, O.A. 1981. Field beans: Variety and watering interval experiment. Annual Report (1976-77), Hudeiba Research Station, Ed- Damer, Sudan.

Ageeb, O.A. 1982. Faba bean agronomy in the Sudan. Pages 117-125. In: Faba Bean Improvement. G. Hawtin and C. Webb (Eds), ICARDA, The Netherlands.

Alderfasi, A. A. and Alghamdi, S. S. 2010. Integrated water supply with nutrient requirements on growth, photosynthesis, productivity, chemical status and seed yield of faba bean. Am-Euras. J. Agron. 3, 8–17.

Al-Hamadany S.H. 2005. “The effects of supplemental Irrigation and Absciscic acid (ABA) spraying on growth and yield of some faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars,” Ph.D. Thesis, Mosul University, Mosul, Iraq.

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

Amede T. and Schubert S. 2003. Mechanisms of drought resistance in seed legumes. I. – Osmotic adjustment. *Ethiop. J. Sci.*, 26, 37-46.

Ammar, M. H., F.; Anwar, E. H.; El-Harty, H. M.; Migdadi, S. M.; Abdel-Khalik, S. A.; Al-Faifi, M.; Farooq, A. and Alghamdi, S.S. 2015. Physiological and Yield Responses of Faba bean (*Vicia faba* L.) to Drought Stress in Managed and Open Field Environments. *Journal of Agronomy and Crop Science*, Volume 201, Issue 4, pages 280–287.

Ammar, M.H. F. ; Anwar, E. H. ; El-Harty, H. M. ; Migdadi, S. M. ; Abdel-Khalik, S.A. ; Al-Faifi, M. ; Farooq, A. and Alghamdi, S.S. 2014. Physiological and yield responses of faba bean (*Vicia faba* L.) drought in a Mediterranean-type Environment. *JAgro Crop Sci.*, 201:280–287.

Anjum, S.A. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr. J. Agric. Res.*, 6, 2026-2032.

Annicchiarico, P. and Iannucci, A. 2008. Breeding strategy for faba bean in Southern Europe based on cultivar responses across climatically contrasting environments. *Crop Sci.* 48, 983–991.

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.

Avola, G.; Gresta, F. and Abbate, V. 2009. Diversity examination based on physical, technological and chemical traits in a locally grown landrace of faba bean (*Vicia faba* L. var *major*). *International Journal of Food Science and technology* 44,2568-2576.

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.

Barrs, H.D. and Weatherley, P.E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. *Australian J. of Biological Science* 15: 413-428.

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.

Bianco, V.V.; Domato, G. and Miccolis, V. 1981. Correlation coefficient for 51 quantitative and qualitative characters in broad bean. Inst. of Agronomy field Crops. Bari Univ. Italy. 1981, 211-250.

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

Blum, A. and Sullivan, C.Y. 1986. The comparative drought resistance of land-races of sorghum and millet from dry and humid regions. *Annals of Botany*, 57, 835-46.

Bohnert, H.J. and Jensen, R.G. 1996. Strategies for engineering water stress tolerance in plants. *Trends Biotechnol.*, 14, 89–97.

Boutraa, T. 2010 “Effects of water stress on root growth, water use efficiency, leaf area and chlorophyll content in the desert shrub *Calotropis procera*,” *J. Int. Environ. Appl. Sci.*, 5: 124-132.

Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environments. *Science* 218, 443-448.

Bressan, R. A.; Nelson, D. E.; Iraki, N. M.; LaRosa, P. C.; Singh, N. K.; Hasegawa, P. M. and Carpita, N. C. 1990. Reduced cell expansion and changes in cell walls of plant cells adapted to NaCl. *Environmental Injury to Plants* (F. Katterman ed.), Academic Press, San Diego. P. 137.

Brown, B.A. ; Coviness C.E. and Brown, D.A. 1985. Response of selected soybean cultivars to soil moisture deficit *Agron. J.*, 77: 274-278.

Brown, R. W. 1995. The water relations of range plants: Adaptations to water deficits. P. 291-413. In: *Wild land Plants. Physiological Ecology and Developmental Morphology*. D. J. Bedunah, R. E. Sosebee (Eds). Society for Range Management, Denver, CO.

Ceccarelli, S. 1991. Plant breeding technologies to developing countries. Paper presented at the British society of animal production. Occasional meeting on animal production in developing countries, held at my college, Kent, 2-4 sept.

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.

- Cooper, M. and Byth, D.E. 1996.** Understanding plant adaptation to achieve systematic applied crop improvement – a fundamental challenge. In: M. Cooper, and G. L. Hammer (eds), *Plant Adaptation and Crop Improvement*, 5—23. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Cossgrove, D.J. 1989.** Characterization of long term extension of isolated cell walls from growing cucumber hypocotyls. *Planta*, (177):121.
- Dahse, I.; Willmer, C.M. and Meidner, H. 1990.** Tentoxin suppresses stomatal opening by inhibiting photophosphorylation. *J. Exp. Bot.* 230: 1109-1113.
- Donald, C.M. 1962.** In search of yield. *J. Aust. Inst. Agri. Sci.* 28:171-172.
- El-Bawab, A. M. O. 2002.** Stability of different barley genotypes for yield and some agronomic characters. *Egyptian Journal of Applied Science*. 17(9):118-129.
- El- Dakroury, M.A. 2008.** Influence of different irrigation systems and irrigation treatments on productivity and fruit quality of some bean varieties M. Sc. Thesis, Fac. of Agri., Ain Shams University.
- El Nadi, A.H. 1969.** Water relations of beans I. Effects of water stress on growth and flowering. *Expl. Agric.* 5, 195–207.
- Emam, Y; Shekoofa, A. ; Salehi F. and Jalali. A.H. 2010.** Water Stress Effects on Two Common Bean Cultivars with Contrasting Growth Habits, American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 9 (5): 495-499.
- FAO STAT. 2016.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Production Year Book. Rome, Italy: FAO. <http://apps.fao.org>.
- Farah, S.M. 1981.** An examination of the effects of water stress on leaf growth of crops of field beans (*Vicia faba* L.). I. Crop growth and yield, *J. of Agric. Sci. (Cambridge)* 96: 327-336.
- Farooq, M. ; Wahid A. ; Kobayashi N. ; Fujita D. and Basra S.M.A. 2009.** Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.*, 29, 185-212.
- Fricke, W. ; Akhiyarova, G. ; Veselov, D. and Kudoyarova, G. 2004.** Rapid and tissue-specific changes in ABA and in growth rate in response to salinity in barley leaves. *J. Exp. Bot.* 55, 1115-1123.
- Germ, M. ; Urbanc, O. B. and Kocjan A. D. 2005.** The response of Sunflower to acute disturbance in water availability. *Acta Agriculture Solvenica*; 85 (1):135-141.
- Ghassemi-Golezani, K.; Ghanehpour, S. and Mohammadi-Nasab, A.D. 2009.** Effects of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7: 442-447.
- Grasshoff, C.; Verkerke, D.R. 1991.** Effect of water supply on *Vicia faba* L. 3. Plant water relations, expansive growth and stomatal reactions. *Neth. J. Agric. Sci.* 39, 247–262.

Guttieri, M. J. ; Stork, J. C; Brien K. O. and E. Souza. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science*. 41: 327-335.

Hasan K. and Tacettin, Y. 2010. “The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* sp. *Durum*) cultivars.” *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1), 164-170.

Hasegawa, P.M.; Bressan, R.A.; Handa, S. and Handa, A.K. 1984. Cellular mechanisms of tolerance to water stress. *Hort. Sci.* 19:371-377.

Husain, M.M.; Reid, J.B.; Othman, H. and Gallagher, J.N., 1990. Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub-humid climate. I. Root and shoot adaptations to drought stress. *Field Crops Res.* 23, 1–17.

Jaleel C.A. ; Manivannan P. ; Wahid A. ; Farooq M. ; AL-Juburi, H.J. ; Somasundaram R. and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Int. J. Agric. Biol.*, 11, 100-105.

ICARDA, 2015. Legume international nurseries and trials.

Khalafallah A.A. ; Tawfik K.M. and Abd El-Gawad Z.A. 2008. Tolerance of seven faba bean varieties to drought and salt stresses. *Res. J. Agric. Biol. Sci.*, 4, 175- 186.

Khan, H. R.; Paull, J. G.; Siddique, K. H. M. and Stoddard, F. L. 2010. Faba bean breeding for drought-affected environments: a physiological and agronomic perspective. *Field. Crop. Res.* 115, 279–286.

Khan, H. R.; Link, W.; Hocking, T. J. and Stoddard, F. L. 2007. Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.). *Plant Soil*, 292: 205–217.

Knott, C.M. 1990. A key for stages of development of faba bean (*Vicia faba*). *Ann. Appl. Biol.* 116, 391–404.

Kramer, P. J. and Boyer J. S. 1995. Measurement of soil water. p.24-28. In: P.J. Kramer and J.S. Boyer (Eds): *Water relations of plant and soils*. Oval Road, London: Academic press, limited.

Kramer, P.J. 1980. Drought stress and the Origin of Adaptation. In: *"Adaptation of Plant to Water and High Temperature Stress"* (N.C. Turner and P.J. Kramer, Eds). Pp. 7-29.

Lafitte, R.A. ; Blum, A. and Atlin, G. 2003. Using secondary traits to help identify drought-tolerant genotypes. In: K. S. Fischer, R. A. Lafitte, S. Fukai, G. Atlin, and B. Hardy, eds. *Breeding Rice for Drought-prone Environments*, pp. 37–48. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

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

Levitt J. 1980. Response of plants to environmental stresses. Vol. I. Chilling, freezing and high temperature stresses. Academic Press, New York .

- Li R.; Shi F.; Fukuda K. and Yang Y. 2010.** Effects of salt and alkali stresses on germination, growth, photosynthesis and ion accumulation in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Soil Sci. Plant Nutr.* 56: 725–733.
- Lopes, M.S. ; Kamali, M.R.J. ; Reynolds, M. and Moussa M. 2012.** The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. *Field Crops Res.*, 128, 129-136.
- Ludlow, M.M. and Muchow, R.C. 1990.** A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Adv. Agron.* 43, 107-153.
- 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.
- Mohamad Zabawi A.G. and Dennett, M.D.D. 2010.** Responses of faba bean (*Vicia faba*) to different levels of plant available water: I. Phenology, growth and biomass partitioning. *J. Trop. Agric. Food Sci.*, 38, 11-19.
- Mohamed, E.M. 1989.** Responses of faba beans (*Vicia faba* L.) to water and heat stresses. M.Sc. Thesis, Univ. of Khartoum.
- Munns, R. 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25(2), 239-250.
- Mwanamwenge J. ; Loss S.P. ; Siddique K.H.M. and Cocks, P.S. 1999.** Effect of water stress during floral initiation, flowering and podding on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Eur. J. Agron.*, 11, 1-11.
- Mwanamwenge, J.; Loss, S.P.; Siddique, K.H.M. and Cocks, P.S. 1998.** Growth, seed yield and water use of faba bean (*Vicia faba* L.) in a short season Mediterranean-type environment. *Aust. J. Exp. Agric.* 38, 171–180.
- Nam, N.H. ; Chauhan, Y.S. and Johansen, C. 2001.** “Effect of timing of drought stress on growth and grain yield of extra-short-duration pigeonpea lines,” *J. Agric. Sci.*, 136: 179-189.
- Nanda, H.C.; Yasin, M.; Singh, C.B. and Rao, S.K. 1988.** Effect of water stress on dry matter production, harvest index, seed yield, and its components faba bean. *FABIS. Newsletter.* 21, 26-30.
- Negeswara Rao R.C. ; Singh, S. ; Sivakumar M.V.K ; Srivastava, K.L. and Williams J.H. 1985.** Effect of water deficit at different growth phases of peanut. I. Yield responses. *Agron. J.* 77:786 .1985.
- Ouji, A. ; Naouari, M. ; Mouelhi, M. and Ben Younes M. 2017** “Yield and Yield Components of Faba Bean (*Vicia faba* L.) as Influenced by Supplemental Irrigation under Semi-arid Region of Tunisia.” *World Journal of Agricultural Research*, vol. 5, no. 1: 52-57. doi: 10.12691/wjar-5-1-7.
- Ouzounidou G.; Papadopoulou K.; Asfi M.; Mirtziou I. and Gaitis F. 2013.** Efficacy of different chemicals on shelf-life extension of parsley stored at two temperatures. *Int. J. Food Sci. Technol.* 48:1610–1617.
- Parameshwarappa, S.G. and Salimath P.M. 2008.** Field screening of chickpea genotypes for drought resistance. *Karnataka Journal of Agriculture Science* 21: 113-114.

- Passioura, J. 2007.** The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *J. Exp. Bot.* 58: 1284–1292.
- Reddy, A.R. ; Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M. 2004.** Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.*, (161):1189-1202.
- Reynolds M. P.; Mujeeb-Kazi A. and Sawkins M. 2005.** Prospects for polymorphism plant-adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought- and salinity-prone environments. *Annals of Applied Biology* 146, 239-259.
- Reynolds, M.; van Ginkel, M. and Ribaut, J.M. 2000.** Avenues for genetic modification of radiation use efficiency in wheat. *J. Exp. Bot.* 51, 459–473.
- 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 Sci.* 42, 111—121.
- Ritchie, J.T. 1983.** Efficient water use in crop production: discussion of the generality of relations between biomass production and evapotranspiration. In: H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair (Editors), *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*. ASA, CSSA, SSSA Monograph, pp. 29-44.
- Romagosa, I. and Fox P. N. 1993.** Genotype environment interaction and adaptation. In: M. D. Hayward, N. O. Bosemark, and I. Romagosa (eds), *Plant Breeding Principles and Prospects*, 373—388. Chapman and Hall, London, UK.
- Russell, D.F. 1991.** MSTAT, Director Crop and Soil Science Department (Version 2. 10), Michigan State Uni. U.S.A.
- Salih, F.A. 1985.** Varietal performance of faba bean under two different watering intervals, *FABIS Newsletter* 13:16-17.
- Sellin, A. 2001.** Hydraulic and stomatal adjustment of Norway spruce trees to environmental stress. *Tree Physiol.* 21: 879–888.
- Shao, H.B. ; Chu, L.Y. ; Shao, M.A. ;Jaleel, C.A. ; Mi, H.M. 2008.** Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. *C.R. Biol.*, 331, 433-441.
- Sharma P.; Jha, A.B.; Dubey, R.S. and Pessarakli, M. 2012.** Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *J. Bot.*, 2012, ID 217037.
- Singer, S.M. ; Helmy, Y.I. ; Maras A.N. and Abo- Hadid, A.F. 2001.** Growth and development of bean plants (*phaseolus Vulgaris* L.) grown under water stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 117(5): 711-716.
- Sinclair, T. R. and Ludlow, M. M. 1985.** Who taught plants thermodynamics?.The unfulfilled potential of plant water potential. *Aust. J. Plant Physiol.* 12: 213-217.
- Slafer, G.A. and Savin, R. 1994.** Source-sink relationship and grain mass at different positions within the spike in wheat. *Field Crops Research* 37, 39-49.
- Smirnoff, N. 1998.** Plant resistance to environmental stress, *Curr. Opin. Biotechnol.* 9: 214–219.

- Stoddard, F. L. ; Balko, C. ; Erskine, W. ; Khan, H. R. ; Link, W. and Sarker, A. 2006.** Screening techniques and sources of resistance to abiotic stresses in cool-season food legumes. *Euphytica* 147, 167–186.
- Theib, O. ; Ahmed H. and Mustafa, M.P. 2005.** Faba bean productivity under rainfed and supplementing irrigation in northern Syria. *Agric. Water Management*, 73N(1): 57-72.
- Torres A. M. ; Avila C. M. ; Gutierrez N. ; Palomino C. ; Moreno M. T. and Cubero J. I. 2010.** “Marker-assisted selection in faba bean (*Vicia faba* L.)” *Field Crops Res.* 115, 243-252.
- Wang, W.B.; Kim, Y.H.; Lee, H.S.; Kim, K.Y.; Dengand, X.P. and Kwak, S.S. 2009.** Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. *Plant Physiol. Biochem.* 47: 570–577.
- Weber and Bleiholder, 1990.** Faba bean Phenological growth stages and BBCH-identification keys of faba bean (*Vicia faba* L.).
- Wery, J. ; Silim, S. N. ; Knights, E. J. ; Malhotra, R. S. and Cousin S. 1994.** Screening techniques and sources and tolerance to extremes of moisture and air temperature in cool season food legumes. *Euphytica* 73, 73–83.
- Xia, M.Z. 1994.** Effect of soil drought during the generative development phase of faba bean (*Vicia faba*) on photosyn-thetic characters and biomass production. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 122, 67–72.
- Younise, I.D. 2002.** Effect of water stress at different growth stages on growth and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.). M.Sc. Thesis, Univ. Of Khartoum.
- Zarafshar M. ; Akbarinia M. ; Askari H. ; Hosseini S.M.; Rahaie M. ; Struve D. and Striker G.G. 2014.** Morphological, physiological and biochemical responses to soil water deficit in seedlings of three populations of wild pear tree (*Pyrus boissieriana*). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 18, 353-366.
- Zlatev, Z. and Lidon, F.C. 2012.** An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis.” *Emir J. Food Agric* 1: 57-72.

Abstract

The field study was carried out at the Qarhata Research Station of the General Commission for Scientific Agricultural Research, Crop Research Department, during the 2017-2018 growing season, to evaluate the performance of some bean genotypes under water stress conditions during the flowering, pod formation and the physiological maturity (seed filling stage) stages, based on certain morphological, physiological and biochemical traits, which are genetically associated with seed yield and its components, and the quality characteristics of seeds in order to identify the key traits which are correlated with improving of drought tolerance to be considered as breeding criteria in breeding and genetic improvement programs and to also identify the most adaptive and productive genotypes in the stressful environments under rain-fed conditions.

The study was conducted on eight genotypes, including certified varieties (Hama2 and Hama3) and promising strains (HBP/SOD/2008, HBP/SOD/2007, HBP/SOE/2008, 04/57 $\times$ 04/56 $\times$ 04/52 $\times$). The experiment was laid according to the randomized complete block design (RCBD) with split plot arrangement, with three replications for each of the variables. Water stress caused a significant decrease in all studied traits, except for the biochemical traits: proline content, malondy aldehyde concentration, and solutes leakage which increased under water stress conditions during the various investigated developmental stages. The response of the studied genotypes to water stress varied at different developmental stages of the plant life cycle, which were subjected to water stress.

The average decrease in plant height under water stress compared with the control was 14.67%. The mean height of the plant was significantly higher in the genotype HBP/SOE/2008 at control during the physiological maturity, pods formation, flowering stages without significant differences between them (83.50 cm), while it was significantly the lowest at treatment of water stress during the flowering stage in the genotype 56/04 $\times$ (38.20 cm). The water stress caused a decrease in the average number of leaves on the plant by 11.64%. The average number of leaves on the plant was significantly higher in the genotype 57/04 $\times$ at treatment of water stress during the pods formation stage (102.0 leaves Plant⁻¹), while it was significantly the lowest at treatment of water stress during the flowering stage in the cultivar Hama₃ (59.60 leaves Plant⁻¹).

The average number of branches in the plant was significantly higher at the control in the genotypes HBP/SOE/2008 , 52/04 $\times$ during the three growth stages, and at treatment of water stress during the flowering and pods formation stages in the genotype Hama₂ (3.000, 3.000, 3.000, 2.833, 2.833, 2.833, 3.067,

2.700 branches Plant⁻¹ , respectively), while it was significantly the lowest at treatment of water stress during the physiological maturity in the genotype 56/04 ε (1.700 branches plant⁻¹).

The average number of days until flowering was significantly higher in the genotype HBP/SOE/2008 at treatment of water stress and the control during all stages of growth without significant differences (78.00, 77.67, 77.67, 77.67, 77.67, 77.67 days respectively), while it was significantly the lowest in genotype Hama₂ at treatment of water stress during the pods formation, physiological maturity stages, and at the control during the three developmental stages without significant differences (75.67 days respectively). The average number of days until maturity was significantly higher at the control during all stages of growth in genotype HBP/SOE/2008 (153.0 days), while it was significantly lower at treatment of water stress during the physiological maturity in genotype 57/04 ε (144.7 days).

The average number of pods in the plant was significantly higher at the control during the pods formation, flowering, and physiological maturity stages in genotype HBP/SOD/2007, without significant differences (16.00 pod plant⁻¹), while it was significantly lower at treatment of water stress during the pods formation stage in genotypes HBP/SOD/2008, Hama₃ without significant differences between them (2.00 pod plant⁻¹). The average number of seeds per square meter was significantly higher at the control during physiological maturity, pods formation, and flowering stages in genotype 52/04ε (499.5, 499.5, 499.3 seeds m⁻²), without significant differences, while it was significantly lower at treatment of water stress during the pods formation stage in genotype 52/04 ε (41.00 seeds m⁻²). The average number of seeds per pod was significant higher at the control during the three developmental stages in genotypes 52/04 ε, 57/04 ε (3.400, 3.400, 3.400, 3.067, 3.067, 3.067 seeds pod⁻¹ respectively), while it was significantly lower at treatment of water stress during the pods formation stage in genotype HBP/SOE/2008 (1.000 seeds pod⁻¹). The average of the 100 seed weight was significantly higher at the control during the three stages of growth in genotype 52/04 ε (184.6 g), while it was significantly lower at treatment of water stress during the physiological maturity in the genotypes 56/04 ε , 57/04 ε without significant differences between them (94.34, 95.24 g respectively).

Water stress caused a decline in the average seed yield of 46.87%, indicating the importance of availability of sufficient amount of water during the different developmental stages of growth to obtain the actual production capacity within the climatic conditions prevailing in the targeted area and the applied of agricultural practices package. The average seed yield was significantly higher at the control during the three stages of growth in genotypes Hama₂ , HBP/SOD/2007 (443.5 g m⁻² , 443.0 g m⁻² respectively), and without significant differences between them, while it was significantly lower at treatment of water stress during the pods formation stage in genotype HBP/SOD/2007 (119.2 g m⁻²).

The mean biological yield was significantly higher at the control during the three stages of growth in genotypes 52/04 ξ , HBP/SOD/2007 (885.0 g m⁻², 877.5 g m⁻² respectively), while it was significantly lower at treatment of water stress during the pods formation stage in genotype 57/04 ξ (354.3 g m⁻²).

The mean harvest index was significantly higher at the control during the three stages of growth in genotype Hama₂ (53.76%), while it was significantly lower at treatment of water stress during the pods formation stage in genotype Hama₃, and during the physiological maturity in genotype 57/04 ξ (25.39, 28.21%, respectively).

The mean relative water content in the leaves was significantly higher at the control in genotypes HBP/SOD/2007, HBP/SOE/2008, 52/04 ξ , 57/04 ξ during flowering stage, and in genotypes HBP/SOD/2007, 52/04 ξ during the pods formation stage (87.92, 86.58, 84.78, 83.91, 86.29, 84.67% respectively), while it was significantly lower at treatment of water stress during the physiological maturity in genotype 57/04 ξ (31.04%). Water stress caused an increase in the concentration of proline by 38.92%. The average proline content in the leaves was significantly higher at treatment of water stress during the flowering stage in genotype HBP/SOD/2007 (26.15 $\mu\text{g g}^{-1}$ green material), while it was significantly lower at the control during the pods formation stage in genotypes Hama₃, 57/04 ξ and during physiological maturity in genotype 56/04 ξ (4.027, 4.474, 4.726 $\mu\text{g g}^{-1}$ green material, respectively). The percentage of solutes leakage increased under water stress by 5.37%. The percentage of solutes leakage from the cytoplasmic membranes was significantly higher at treatment of water stress during the physiological maturity stage in genotype Hama₃ (86.46%), while it was significantly lower at the control during the flowering stage in genotypes 52/04 ξ , HBP/SOD/2007, and during the pods formation stage in genotype 52/04 ξ (64.48, 65.25, 65.54% respectively). The concentration of Malondy aldehyde was significantly higher at treatment of water stress during the physiological maturity in genotypes 56/04 ξ , 52/04 ξ , HBP/SOD/2007, Hama₃ without significant differences (65.70, 65.52, 62.92, 62.41 nanomol MDA g⁻¹ fresh weight respectively), while it was significantly lower at the control during the flowering stage in genotypes HBP/SOD/2007, HBP/SOE/2008 without significant differences (15.74, 16.18 nanomol MDA g⁻¹ fresh weight respectively).

The average protein content in dry seeds was significantly higher at the control during the three developmental stages in genotypes 57/04 ξ , 52/04 ξ , Hama₂, and at treatment of water stress during flowering and physiological maturity in genotype 57/04 ξ (23.85, 23.85, 23.85, 23.38, 23.38, 23.38, 23.32, 23.32, 23.32, 23.01 , 23.38% respectively), without significant differences, while it was significantly lower at treatment of water stress during the pods formation stage in genotype HBP/SOD/2008 (18.73%).

The two genotypes Hama₂ and HBP/SOD/ 2007 were better suited from adaptive and economic considerations because of their superiority in seed yield. The HBP/SOD/2007 genotype was the most adapted to the conditions of reduced

soil water content during different growth stages, because it could maintain significantly higher seed yield than the rest of the studied genotypes and was even superior over than the locally adopted cultivars such as Hama2 and Hama3, which exhibited significantly higher number of pods per plant and number of seeds per square meter, which are considered as key traits in genetic improvement programs for the selection of more stress tolerant genotypes while maintaining the seed yield. In general, the characteristics associated with improved seed yield and endurance of water stress vary depending on the genotype and the stage of the life cycle at which plants are subject to water stress. The number of pods per plant, the number of seeds per unit of land area, and the average hundred seeds weight are considered as the most important components determining seed yield in bean under suitable farming conditions. Stability of cytoplasmic membranes is one of the most important physiological traits determining the yield components of the broad bean (number of seeds per square meter and average weight of 100 seeds). The preservation of high values of relative water content in leaves is also one of the most important physiological determinants of the stability of cytoplasmic membranes in water-stressed environments. The accumulation of Malondy aldehyde is a good indicator of the extent of damage to cytoplasmic membranes caused by lipid peroxidation. The preservation of the integrity of cytoplasmic membranes is one of the physiological trait associated with improved drought tolerance during various stages of growth while maintaining the production capacity of broad bean crop.

المراحل التطورية في الفول حسب مقياس

(Weber و Bleiholder، 1990؛ Lancashire وزملاؤه، 1991)

Principal growth stage 6: Flowering

60	First flowers open
61	Flowers open on first raceme
63	Flowers open 3 racemes per plant
65	Full flowering: flowers open on 5 racemes per plant
67	Flowering declining
69	End of flowering

Principal growth stage 7: Development of fruit

70	First pods have reached final length ("flat pod")
71	10% of pods have reached final length
72	20% of pods have reached final length
73	30% of pods have reached final length
74	40% of pods have reached final length
75	50% of pods have reached final length
76	60% of pods have reached final length
77	70% of pods have reached final length
78	80% of pods have reached final length
79	Nearly all pods have reached final length

Principal growth stage 8: Ripening

80	Beginning of ripening: seed green, filling pod cavity
81	10% of pods ripe, seeds dry and hard
82	20% of pods ripe, seeds dry and hard
83	30% of pods ripe and dark, seeds dry and hard
84	40% of pods ripe and dark, seeds dry and hard
85	50% of pods ripe and dark, seeds dry and hard
86	60% of pods ripe and dark, seeds dry and hard
87	70% of pods ripe and dark, seeds dry and hard
88	80% of pods ripe and dark, seeds dry and hard
89	Fully ripe: nearly all pods dark, seeds dry and hard

المساحة والإنتاج والانتاجية من الفول الجاف في الوطن العربي للموسم الزراعي 2016

الفول الجاف			
المساحة: ألف هكتار		الانتاجية: كجم/هكتار	الانتاج: ألف طن
2016			الدول
المساحة	الانتاجية	الانتاج	
Area	Yield	Prod.	
0.443	835.214	0.370	الأردن
			الإمارات
			البحرين
57.300	1221.640	70.000	تونس
35.810	1062.552	38.050	الجزائر
			جزر القمر
			جيبوتي
			السعودية
68.460	2135.554	146.200	السودان
11.963	2150.464	25.726	سوريا
			الصومال
			العراق
0.003	0.000		عمان
0.706	2101.965	1.484	فلسطين
0.005	9979.592	0.049	قطر
			الكويت
0.197	680.203	0.134	لبنان
0.178	1679.775	0.299	ليبيا
34.994	3393.229	118.744	مصر
82.774	320.922	26.564	المغرب
0.000	0.000	0.000	موريتانيا
3.986	1799.799	7.174	اليمن
296.82	1464.84	434.79	الجملة

المصدر: الكتاب السنوي للمنظمة الزراعية العربية (2017).

مساحة وإنتاج و غلة الفول الأخضر حسب المحافظات لعام 2017 وتطورها على مستوى القطر خلال الفترة (2008-2017)

Area, Production & Yield of Broad Beans by Governorate for 2017

& their Development at the Country Level during (2008-2017)

الجدول (31) المساحة : هكتار الإنتاج : طن الغلة : كغ/ هـ Yield:Kg / Ha Production:MT. Area : Ha Table (31)

Item	المجموع Total			Non-Irrigated بعل			Irrigated سقي			البيان
	غلة Yield	إنتاج Production	مساحة Area	غلة Yield	إنتاج Production	مساحة Area	غلة Yield	إنتاج Production	مساحة Area	
2008	8326	50313	6043	5367	8496	1583	9376	41817	4460	2008
2009	8650	41909	4845	6458	7762	1202	9373	34147	3643	2009
2010	8315	44644	5369	5135	6696	1304	9335	37948	4065	2010
2011	8672	44053	5080	5544	6098	1100	9536	37955	3980	2011
2012	7449	46079	6186	5251	5582	1063	7905	40497	5123	2012
2013	8860	31985	3610	6295	6308	1002	9845	25677	2608	2013
2014	7864	31486	4004	4751	4252	895	8760	27234	3109	2014
2015	8132	35578	4375	6331	4565	721	8487	31013	3654	2015
2016	8459	40266	4760	5717	6020	1053	9238	34246	3707	2016
2017	7595	47811	6295	6245	7225	1157	7899	40586	5138	2017
Sweida	12931	375	29	-	-	-	12931	375	29	السويداء
Dar'a	15722	1242	79	-	-	-	15722	1242	79	درعا
Quneitra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	القيطية
Damascus	8229	13035	1584	-	-	-	8229	13035	1584	ريف دمشق
Homs	7007	1990	284	6654	1810	272	15000	180	12	حمص
Hama	6048	998	165	-	-	-	6048	998	165	حمص
Ghab	9979	948	95	-	-	-	9979	948	95	الغاب
Idleb	1694	864	510	1000	225	225	2242	639	285	اللب
Tartous	8290	4800	579	6963	1699	244	9257	3101	335	طرطوس
Lattakia	9030	3314	367	8794	2691	306	10213	623	61	اللاذقية
Aleppo	6213	1665	268	7273	800	110	5475	865	158	حلب
Al-Raqqa	20000	3000	150	-	-	-	20000	3000	150	الرقة
Dair-Ezzor	8000	6800	850	-	-	-	8000	6800	850	دير الزور
Al-Hassake	6577	8780	1335	-	-	-	6577	8780	1335	الحسكة

المصدر : المجموعة الإحصائية الزراعية السورية السنوية (2017)

مساحة وإنتاج و غلة الفول الحب حسب المحافظات لعام 2017 وتطورها على مستوى القطر خلال الفترة (2008-2017)

Area, Production & Yield of Dry Broad Beans by Governorate for 2017

& their Development at the Country Level during (2008-2017)

الجدول (16) المساحة : هكتار الإنتاج : طن الغلة : كغ / هـ Yield:Kg / Ha Production:MT. Area : Ha Table (16)

Item	المجموع Total			Non-Irrigated بعل			Irrigated سقي			البيان
	غلة Yield	إنتاج Production	مساحة Area	غلة Yield	إنتاج Production	مساحة Area	غلة Yield	إنتاج Production	مساحة Area	
2008	1707	38066	22298	658	2632	3997	1936	35434	18301	2008
2009	2162	37751	17461	988	3073	3111	2417	34678	14350	2009
2010	2016	34030	16876	885	2483	2807	2242	31547	14069	2010
2011	2109	36167	17145	1125	3435	3052	2323	32732	14093	2011
2012	2190	33049	15094	743	1898	2554	2484	31151	12540	2012
2013	2075	30990	14933	881	1863	2114	2272	29127	12819	2013
2014	1683	32911	19558	526	1778	3381	1925	31133	16177	2014
2015	2085	29157	13987	856	1396	1630	2247	27761	12357	2015
2016	2150	25726	11963	1045	2022	1935	2364	23704	10028	2016
2017	1647	31441	19087	1070	2318	2166	1721	29123	16921	2017
Sweida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	السويداء
Dar'a	920	1123	1220	677	636	940	1739	487	280	درعا
Quneitra	1000	88	88	900	54	60	1214	34	28	القيطية
Damascus	2275	1231	541	-	-	-	2275	1231	541	ريف دمشق
Homs	1698	1556	916	1647	1099	667	1835	457	249	حمص
Hama	1633	1037	635	1180	282	239	1907	755	396	حمص
Ghab	2488	1239	498	-	-	-	2488	1239	498	الغاب
Idleb	1569	965	615	908	182	200	1888	784	415	اللب
Tartous	1100	66	60	1100	66	60	-	-	-	طرطوس
Lattakia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	اللاذقية
Aleppo	1360	10194	7496	-	-	-	1360	10194	7496	حلب
Al-Raqqqa	2000	12974	6487	-	-	-	2000	12974	6487	الرقية
Dair-Ezzor	2000	806	403	-	-	-	2000	806	403	دير الزور
Al-Hassake	1266	162	128	-	-	-	1266	162	128	الحسكة

المصدر : المجموعة الإحصائية الزراعية السورية السنوية (2017)