تأثير تهيئة بذور القمح بحمض الأسكوربيك على الإنبات وقوة البادرات تحت الإجهاد الملحي

Effect of seed priming with ascorbic acid on germination and seeding vigor of wheat under salt stress

عادل عمر سعيد الشعلالي1 ، حسن عمران الرقيعي2

Adel Omer Saeed AL-Shaalali1, Hassan Omran Alrgi,i2

[1] قسم الاحياء كلية التربية.الزاوية، جامعة الزاوية.

[2] قسم الإنتاج النباتي كلية الطب البيطري والزراعة، جامعة الزاوية.

[1]Department of Biology, Faculty of Education, Zawiya, University of Zawia. Libya

2Department of Plant Production, Faculty of Veterinary Medicine and Agriculture, University of Zawia. Libya

a.saeed@zd.edu.ly [2]H.alrgei@zu.edu.ly

الملخص

هدفت الدراسة إلى تقييم تأثير تهيئة بذور القمح بحمض الأسكوربيك في الإنبات وقوة البادرات تحت الإجهاد الملحي. تم تنفيذ تجربة عملية وفق التصميم العشوائي الكامل، شملت أربع معاملات للتهيئة: بذور غير مهيأة، والتهيئة بالماء المقطر، والتهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيزي 50 و100 ملغم/لتر، إلى جانب ثلاثة مستويات من كلوريد الصوديوم بلغت 0 و100 و200 ملي مول. تم استخدام أربعة مكررات لكل معاملة، وقياس النسبة النهائية للإنبات، ومتوسط زمن الإنبات، ودليل سرعة الإنبات، وأطوال الجذر والمجموع الخضري، والوزنين الطازج والجاف، ودليلي قوة البادرات المعتمدين على الطول والوزن الجاف .

أظهرت النتائج أن زيادة الملوحة أدت إلى انخفاض معنوي في مؤشرات الإنبات والنمو والكتلة الحيوية وقوة البادرات، مع زيادة متوسط زمن الإنبات. وحسنت معاملات التهيئة أداء البذور مقارنة بالبذور غير المهيأة، وكان تأثير حمض الأسكوربيك أكثر وضوحا من التهيئة بالماء المقطر. حقق التركيز 50 ملغم/لتر أفضل استجابة في بعض صفات النمو عند غياب الملوحة، بينما سجل التركيز 100 ملغم/لتر أفضل أداء عام تحت الملوحة المرتفعة. فعند 200 ملي مول من كلوريد الصوديوم، بلغت النسبة النهائية للإنبات 63% عند التركيز 100 ملغم/لتر، مقارنة بـ38% في البذور غير المهيأة. كما كان التفاعل بين التهيئة والملوحة معنويا في النسبة النهائية للإنبات، والطول الكلي للبادرات، والوزنين الطازج والجاف، ودليلي قوة البادرات .

تشير النتائج إلى أن تهيئة بذور القمح بحمض الأسكوربيك، ولا سيما بتركيز 100 ملغم/لتر تحت الملوحة المرتفعة، تمثل معاملة واعدة للحد من أضرار الإجهاد الملحي خلال مرحلتي الإنبات والنمو المبكر.

Abstract:

This study evaluated the effects of wheat seed priming with ascorbic acid on germination and seedling vigor under salinity stress. A factorial experiment was conducted using a completely randomized design with four priming treatments: unprimed seeds, hydropriming with distilled water, and priming with ascorbic acid at 50 and 100 mg L^{-1}.

Three sodium chloride levels were applied: 0, 100, and 200 mM, with four replicates for each treatment combination. Final germination percentage, mean germination time, germination speed index, root and shoot lengths, fresh and dry weights, and seedling vigor indices based on seedling length and dry weight were determined.

Increasing salinity significantly reduced germination, seedling growth, biomass, and vigor, while increasing mean germination time. Seed priming improved seed performance compared with unprimed seeds, and ascorbic acid was generally more effective than hydropriming. The 50 mg L^{-1} treatment produced the best response for some growth traits under non-saline conditions, whereas 100 mg L^{-1} showed the best overall performance under severe salinity. At 200 mM NaCl, seeds primed with 100 mg L^{-1} ascorbic acid achieved a final germination percentage of 63%, compared with 38% in unprimed seeds. The interaction between priming treatment and salinity level was significant for final germination percentage, total seedling length, fresh and dry weights, and both seedling vigor indices.

These findings indicate that wheat seed priming with ascorbic acid, particularly at 100 mg L^{-1} under severe salinity, is a promising pre-sowing treatment for reducing salinity damage during germination and early seedling growth.

استلام الورقة: 2026-01-20 - قبول الورقة: 2026-02-22 - نشر الورقة: 2026-03-02

الكلمات المفتاحية: القمح، تهيئة البذور، حمض الأسكوربيك، الإجهاد الملحي، دليل سرعة الإنبات، قوة البادرات.

Keywords: wheat, seed priming, ascorbic acid, salinity stress, germination speed index, seedling vigor.

1. المقدمة

يعد القمح من اهم محاصيل الحبوب التي يعتمد عليها الامن الغذائي، نظرا لدوره الرئيس في توفير الطاقة والبروتين لعدد كبير من السكان. ومع تزايد الطلب على الغذاء واتساع المساحات المتأثرة بتدهور التربة ونقص المياه الجيدة، اصبحت المحافظة على قدرة بذور القمح على الانبات والتأسيس المبكر من القضايا المهمة في الانتاج الزراعي. وتمثل مرحلة الإنبات وبداية نمو البادرات فترة شديدة الحساسية، لان نجاحها يحدد بصورة مباشرة انتظام الكثافة النباتية وقدرة النبات على مواصلة النمو.

تعد ملوحة التربة ومياه الري من أبرز الاجهادات غير الحيوية التي تحد من انبات القمح ونموه، خاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة. ويؤدي ارتفاع تركيز الاملاح حول البذرة إلى خفض الجهد المائي، واضطراب امتصاص الماء، وتراكم الايونات السامة، واختلال التوازن الغذائي، فضلا عن زيادة تكوين انواع الاكسجين التفاعلية. وتنعكس هذه التغيرات في بطء الانبات، وانخفاض نسبته وسرعته، وضعف استطالة الجذور والمجموع الخضري، وتراجع الوزن الجاف وقوة البادرات. وقد اظهرت الدراسات ان شدة الاستجابة للملوحة تختلف باختلاف الصنف ومستوى الاجهاد وطريقة معاملة البذور (Baig et al., 2021) .

تعد تهيئة البذور من المعاملات البسيطة التي تسمح ببدء بعض العمليات الأيضية المرتبطة بالإنبات قبل الزراعة، دون السماح بخروج الجذير. ويساعد ذلك على تسريع الانبات وتحسين تجانسه ورفع قدرة البادرات على مواجهة الظروف غير الملائمة. ويعد حمض الأسكوربيك من مضادات الأكسدة غير الانزيمية المهمة في الخلايا النباتية؛ اذ يسهم في تنظيم حالة الاكسدة والاختزال، والحد من الاضرار الناتجة عن انواع الاكسجين التفاعلية، ودعم سلامة الاغشية والعمليات الايضية خلال الانبات. وقد بين التحليل البروتيني لبذور القمح المهيأة بالاسكوربات حدوث تغيرات في بروتينات مرتبطة بالطاقة والدفاع والاستجابة للإجهاد الملحي (Fercha et al., 2014). وبناء على ذلك، تتناول الدراسة الحالية تأثير تهيئة بذور القمح بتركيزين من حمض الأسكوربيك في الانبات وقوة البادرات تحت مستويات مختلفة من الاجهاد الملحي، بهدف تحديد مدى فاعلية هذه المعاملة في الحد من الاثار السلبية للملوحة خلال المراحل المبكرة من النمو.

2. مشكلة الدراسة

تعد ملوحة التربة ومياه الري من العوامل التي تحد من إنبات بذور القمح وتضعف نمو البادرات، نتيجة انخفاض امتصاص الماء واضطراب العمليات الأيضية وزيادة الإجهاد التأكسدي. ويؤدي ذلك إلى انخفاض نسبة الإنبات وسرعته، وتراجع نمو الجذور والمجموع الخضري وقوة البادرات، بما ينعكس سلبا على تأسيس المحصول. وعلى الرغم من استخدام تهيئة البذور بحمض الأسكوربيك للتخفيف من أضرار الملوحة، فإن فاعليتها قد تختلف باختلاف تركيز الحمض ومستوى الإجهاد الملحي. لذلك تتمثل مشكلة الدراسة في تحديد مدى تأثير تهيئة بذور القمح بتركيزين من حمض الأسكوربيك في تحسين الإنبات وقوة البادرات تحت مستويات مختلفة من الملوحة، وتحديد المعاملة الأكثر كفاءة في الحد من آثار الإجهاد الملحي خلال مرحلة النمو المبكر.

3. أهداف الدراسة

تهدف الدراسة إلى تقييم تأثير تهيئة بذور القمح بحمض الأسكوربيك في الإنبات وقوة البادرات تحت الإجهاد الملحي، وذلك من خلال:

1. تحديد تأثير مستويات الملوحة المختلفة في نسبة الإنبات وسرعته ومتوسط زمنه ونمو بادرات القمح.
2. مقارنة تأثير تهيئة البذور بالماء المقطر وحمض الأسكوربيك بتركيزي 50 و100 mg/L مع البذور غير المهيأة.
3. دراسة التفاعل بين معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة في صفات الإنبات والنمو وقوة البادرات.
4. تحديد معاملة التهيئة الأكثر كفاءة في الحد من التأثيرات السلبية للملوحة خلال المراحل المبكرة من نمو القمح.

4. فرضيات الدراسة

تنطلق الدراسة من الفرضية الرئيسة الآتية:

تؤثر تهيئة بذور القمح بحمض الأسكوربيك تأثيرا معنويا في تحسين الإنبات وقوة البادرات تحت الإجهاد الملحي.

ويتفرع عنها ما يأتي:

1. توجد فروق معنوية في صفات الإنبات والنمو وقوة البادرات باختلاف مستويات الملوحة.

2. توجد فروق معنوية بين البذور غير المهيأة والبذور المهيأة بالماء المقطر أو بحمض الأسكوربيك بتركيزي 50 و100 mg/L في صفات الإنبات وقوة البادرات.
3. يوجد تفاعل معنوي بين معاملة تهيئة البذور ومستوى الملوحة في تأثيرهما في الإنبات ونمو البادرات.
4. تسهم تهيئة البذور بحمض الأسكوربيك في الحد من الانخفاض الناتج عن الإجهاد الملحي في نسبة الإنبات ونمو الجذور والمجموع الخضري ودليلي قوة البادرات.

5. أهمية الدراسة

تنبع الأهمية العلمية للدراسة من إسهامها في توضيح استجابة بذور القمح للتهيئة بحمض الأسكوربيك تحت مستويات مختلفة من الإجهاد الملحي، وبيان تأثير هذه المعاملة في مؤشرات الإنبات ونمو البادرات وكتلتها الحيوية وقوتها، فضلا عن تحديد طبيعة التفاعل بين تركيز حمض الأسكوربيك ومستوى الملوحة. أما الأهمية العملية فتتمثل في تقييم معاملة بسيطة وقليلة التكلفة يمكن استخدامها قبل الزراعة للحد من الأضرار المبكرة الناتجة عن الملوحة، وتحسين سرعة الإنبات وتجانسه وقدرة البادرات على النمو. كما تساعد نتائج الدراسة في تحديد التركيز الأكثر كفاءة من حمض الأسكوربيك، بما يوفر أساسا علميا يمكن الاستفادة منه في تطوير معاملات تهيئة البذور في المناطق التي تعاني من ملوحة التربة أو مياه الري، مع ضرورة التحقق من فاعليتها لاحقا تحت الظروف الحقلية.

6. الإطار النظري

1.6 الإجهاد الملحي وتأثيره في إنبات القمح ونمو البادرات

يعد الإجهاد الملحي من العوامل غير الحيوية التي تحد من إنبات القمح وتأسيس بادراته، إذ يؤدي ارتفاع تركيز الأملاح في الوسط المحيط بالبذرة إلى انخفاض الجهد المائي، مما يقلل سرعة امتصاص الماء اللازم لبدء العمليات الأيضية المرتبطة بالإنبات. وينتج عن ذلك تأخر خروج الجذير وانخفاض سرعة الإنبات ونسبته النهائية، ويزداد هذا التأثير مع ارتفاع تركيز الملح. وقد أوضحت التجارب التي قارنت بين الإجهاد الملحي والإجهاد الأسموزي في القمح الصلب أن انخفاض توفر الماء يمثل سببا رئيسا لتثبيط الإنبات، بينما تزداد التأثيرات الأيونية مع استمرار تعرض البذور والبادرات لكلوريد الصوديوم .(Almansouri et al., 2001)

بعد بدء الإنبات، تتعرض البادرات لتراكم أيونات الصوديوم والكلوريد واختلال التوازن بين الصوديوم والعناصر الضرورية، خاصة البوتاسيوم. ويؤثر ذلك في نشاط الإنزيمات وسلامة الأغشية والانقسام والاستطالة الخلوية، فتتراجع استطالة الجذور والمجموع الخضري وتنخفض الكتلة الطازجة والجافة. كما يسبب الإجهاد الملحي زيادة إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية، التي قد تؤدي إلى أكسدة الدهون وتضرر الأغشية وانخفاض قدرة الخلايا على الاحتفاظ بالماء. وترتبط قدرة القمح على تحمل الملوحة بارتفاع كفاءة النظام المضاد للأكسدة، والمحافظة على محتوى أعلى من البوتاسيوم والمركبات المنظمة للضغط الأسموزي، والحد من تراكم الصوديوم والأضرار التأكسدية .(Sairam et al., 2002)

تعد صفات الإنبات والنمو المبكر مؤشرات مناسبة لتقييم استجابة القمح للملوحة، لأنها تظهر التغيرات الناتجة عن الإجهاد خلال مدة قصيرة. وتشمل هذه الصفات نسبة الإنبات وسرعته، وطول الجذر والمجموع الخضري، والوزن الجاف، ودليل قوة البادرات. وقد أظهرت دراسة أجريت على عشرين تركيبا وراثيا من القمح أن الملوحة خفضت نسبة الإنبات ومعدله، وطول الجذر والمجموع الخضري، والوزن الجاف للبادرات، مع وجود اختلافات واضحة بين التراكيب الوراثية في درجة التحمل .(Alom et al., 2016) وبذلك فإن دراسة هذه الصفات مجتمعة توفر تقييما أدق من الاعتماد على نسبة الإنبات النهائية وحدها .

2.6 تهيئة البذور ودورها في تحسين الإنبات وتحمل الإجهاد

تعد تهيئة البذور معاملة تسبق الزراعة، يتم فيها ترطيب البذور بصورة مضبوطة تسمح ببدء العمليات الأيضية السابقة للإنبات دون وصولها إلى مرحلة خروج الجذير. وبعد انتهاء المعاملة، يمكن استخدام البذور مباشرة أو تجفيفها إلى مستوى مناسب قبل الزراعة. وتشمل طرق التهيئة الشائعة التهيئة بالماء، والتهيئة الأسموزية، والتهيئة بالأملاح أو المركبات الكيميائية والمنظمات النباتية. وتختلف كفاءة هذه الطرق باختلاف نوع المحصول، وحيوية البذور، وتركيز مادة التهيئة، ومدة النقع، ودرجة الحرارة المستخدمة أثناء المعاملة .(Paparella et al., 2015)

تسهم التهيئة في تقليل الفترة اللازمة لبدء الإنبات وتحسين تجانسه من خلال تنشيط إصلاح الأغشية والحمض النووي، وبدء تخليق البروتينات والإنزيمات، وتحسين تعبئة المواد الغذائية المخزنة داخل البذرة. كما تساعد على رفع كفاءة النظام المضاد للأكسدة وزيادة تراكم المركبات المنظمة للضغط الأسموزي، مما يحد من تلف الأغشية ويحسن قدرة الخلايا على الاحتفاظ بالماء عند التعرض للظروف غير الملائمة. وقد أظهرت الدراسات الفسيولوجية أن البذور المهيأة تكون أكثر قدرة على المحافظة على نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة ونمو البادرات تحت الإجهاد مقارنة بالبذور غير المهيأة .(Hussain et al., 2016)

تعد التهيئة بالماء أبسط صور هذه المعاملة، إذ تعتمد على نقع البذور في الماء لمدة محددة، بينما تسمح التهيئة الكيميائية بإدخال مركبات قد تؤدي دورا إضافيا في تنظيم الاستجابة للإجهاد. وفي القمح، أدت التهيئة إلى تسريع الإنبات ورفع نسبته تحت تراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم، وكان أثرها أكثر وضوحا عند مستويات الملوحة المتوسطة والمرتفعة. وتبين هذه الاستجابة أن فاعلية التهيئة لا ترتبط بتحسين امتصاص الماء فقط، بل تشمل أيضا إعداد البذور لمواجهة الإجهاد الأسموزي والأيوني اللاحق أثناء الإنبات ونمو البادرات .(Fuller et al., 2012)

3.6 حمض الأسكوربيك وآليته في الحد من أضرار الملوحة

يعد حمض الأسكوربيك من اهم مضادات الأكسدة غير الإنزيمية القابلة للذوبان في الماء داخل الخلايا النباتية، وله دور رئيس في المحافظة على حالة الأكسدة والاختزال وحماية المكونات الخلوية من الضرر التأكسدي. فعند تعرض النبات للملوحة، يزداد تكوين أنواع الأكسجين التفاعلية، مثل فوق أكسيد الهيدروجين والجذور الحرة، وقد يؤدي تراكمها إلى أكسدة الدهون والبروتينات والأحماض النووية وإتلاف الأغشية. ويسهم حمض الأسكوربيك في إزالة هذه المركبات بصورة مباشرة أو من خلال عمله ركازة لإنزيم

أسكوربات بيروكسيديز، مما يقلل من آثار الإجهاد التأكسدي ويحافظ على سلامة الخلايا. كما يشارك في تنظيم الانقسام والاستطالة الخلوية وبعض العمليات المرتبطة بالهرمونات النباتية والنمو .(Venkatesh & Park, 2014)

يرتبط الدور الوقائي لحمض الأسكوربيك بدورة الأسكوربات–الجلوتاثيون، التي تعد من الآليات الأساسية للتخلص من فوق أكسيد الهيدروجين. وخلال هذه الدورة، تتم أكسدة الأسكوربات أثناء إزالة المركبات المؤكسدة، ثم تتم إعادة تكوينه بواسطة إنزيمي أحادي هيدروأسكوربات ريدوكتاز وديهيدروأسكوربات ريدوكتاز، بالاعتماد على الجلوتاثيون و .NADPHويساعد استمرار هذه الدورة على المحافظة على الاتزان التأكسدي، وتقليل أكسدة الدهون، ودعم نشاط الإنزيمات وسلامة الأغشية تحت الإجهاد الملحي (Hasanuzzaman et al., 2019).

يمكن أن تؤدي إضافة حمض الأسكوربيك خارجيا أو استخدامه في تهيئة البذور إلى رفع القدرة المضادة للأكسدة خلال المراحل المبكرة من النمو، مما ينعكس على امتصاص الماء والإنبات واستطالة الجذور وتكوين الكتلة الحيوية. وقد أظهرت دراسة على القمح أن حمض الأسكوربيك خفف بعض الآثار السلبية للملوحة من خلال تحسين النمو والقدرة التمثيلية والمساعدة على المحافظة على الاتزان الأيوني، إلا أن مقدار الاستجابة اختلف باختلاف الصنف والتركيز المستخدم .(Athar et al., 2008) ولذلك تعتمد كفاءة تهيئة البذور بحمض الأسكوربيك على التوازن بين تركيزه ومستوى الملوحة وقدرة المادة الوراثية على الاستجابة .

7. الدراسات السابقة

تناولت دراسات متعددة دور تهيئة بذور القمح في التخفيف من التأثيرات السلبية للملوحة، واختلفت في مواد التهيئة وتراكيزها ومستويات الإجهاد والصفات المقاسة.

درس Fuller et al. (2012) تأثير التهيئة الأسموزية لبذور قمح الخبز في الإنبات تحت مستويات من كلوريد الصوديوم تراوحت بين 0 و200 mM. وأظهرت النتائج أن زيادة الملوحة خفضت نسبة الإنبات وسرعته وأطالت متوسط زمنه، بينما حسنت التهيئة النسبة النهائية للإنبات وخففت التأثير السلبي للملوحة، خاصة عند المستويين 50 و100 mM. وتبين الدراسة أهمية تهيئة البذور في تحسين بدء النمو تحت الإجهاد الملحي، رغم اختلاف مادة التهيئة عن حمض الأسكوربيك.

قيم Afzal et al. (2013) عدة معاملات لتهيئة بذور صنفين من القمح تحت ظروف حقلية عادية وملحية، شملت الماء المقطر وحمض الأسكوربيك وحمض الساليسيليك والكينيتين وكلوريد الكالسيوم. وأظهرت النتائج أن التهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيز 50 mg/Lكانت من أكثر المعاملات كفاءة في تحسين النمو والإنتاجية والحد من تراكم الصوديوم والكلوريد، مع زيادة محتوى البوتاسيوم. وتدعم هذه النتائج استخدام التركيز نفسه ضمن معاملات الدراسة الحالية.

بحث Fercha et al. (2014) التغيرات البروتينية في بذور القمح الصلب المهيأة بالأسكوربات وغير المهيأة أثناء الإنبات تحت الملوحة. وأوضحت النتائج أن التهيئة خففت التغيرات التي أحدثها الإجهاد في البروتينات المرتبطة بإنتاج الطاقة، وتعبئة المواد المخزنة، والدفاع المضاد للأكسدة. وتقدم هذه الدراسة تفسيرا جزيئيا لتحسن الإنبات ونمو البادرات الناتج عن التهيئة بحمض الأسكوربيك.

قارن Feghhenabi et al. (2020) تأثير عدة مواد لتهيئة بذور القمح، من بينها حمض الأسكوربيك والبرولين وسيليكات البوتاسيوم، تحت مستويات متدرجة من الملوحة. وأظهرت النتائج أن التهيئة قللت الانخفاض الناتج عن الملوحة في الإنبات والظهور والنمو المبكر، مع اختلاف كفاءة المعاملات المستخدمة. وتشير الدراسة إلى أن استجابة البذور تعتمد على نوع مادة التهيئة وتركيزها وشدة الإجهاد.

درس Baig et al. (2021) تأثير تهيئة بذور ثلاثة أصناف من قمح الخبز بحمض الأسكوربيك بتراكيز 50 و100 و150 mg/L تحت مستويات ملوحة وصلت إلى 200 mM من NaCl. وأظهرت النتائج تحسنا في مؤشرات الإنبات وصفات البادرات والاحتفاظ بالكلوروفيل، وكان التركيزان 100 و150 mg/L أكثر كفاءة بصفة عامة. كما اختلفت الاستجابة باختلاف الصنف، مما يؤكد ارتباط فاعلية التهيئة بالتركيز والتركيب الوراثي. وتعد هذه الدراسة الأقرب إلى الدراسة الحالية من حيث المحصول وتراكيز حمض الأسكوربيك ومستويات الملوحة.

اختبر El-Hawary et al. (2023) تأثير تهيئة بذور القمح والرش الورقي بحمضي الأسكوربيك والساليسيليك تحت ظروف التربة الملحية. وبينت النتائج أن المعاملات حسنت النمو والصفات الفسيولوجية والإنتاجية وخفضت مؤشرات الضرر التأكسدي مقارنة بالنباتات غير المعاملة. وتؤكد الدراسة الدور الوقائي لحمض الأسكوربيك، رغم أن الجمع بين التهيئة والرش الورقي لا يسمح بعزل أثر تهيئة البذور وحدها بصورة كاملة.

أجرى Ali et al. (2024) دراسة مخبرية على القمح الصلب لتقييم تأثير نقع البذور بحمض الأسكوربيك بتركيزي 5 و10 ppm تحت مستويي ملوحة 50 و100 mM وأظهرت النتائج أن حمض الأسكوربيك حسن نمو البادرات ووزنها الجاف وكفاءة استخدام مخزون البذرة، ورفع نشاط إنزيم البيروكسيديز تحت الإجهاد. وتتميز الدراسة بتركيزها على مرحلة البادرات، إلا أنها استخدمت تراكيز أقل من تلك المعتمدة في الدراسة الحالية.

يتضح من الدراسات السابقة أن الملوحة تؤدي إلى انخفاض نسبة الإنبات وسرعته وتراجع نمو البادرات وكتلتها الحيوية، بينما تسهم تهيئة البذور بحمض الأسكوربيك في تخفيف هذه التأثيرات من خلال دعم العمليات الأيضية، وتحسين استخدام مخزون البذرة، والمحافظة على التوازن الأيوني والدفاع المضاد للأكسدة. ومع ذلك، اختلفت الدراسات في الأصناف والتراكيز ومدة التهيئة ومستويات الملوحة، كما تناول بعضها صفات محدودة أو جمع بين التهيئة ومعاملات أخرى. لذلك تركز الدراسة الحالية على المقارنة المباشرة بين البذور غير المهيأة، والتهيئة بالماء المقطر، والتهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيزي 50 و100 mg/L تحت ثلاثة مستويات من الملوحة، مع قياس مؤشرات الإنبات والنمو والكتلة الحيوية وقوة البادرات.

8. المواد والطرق

1.8 موقع التجربة والمادة النباتية

تم تنفيذ التجربة في مختبر بمدينة الزاوية، ليبيا، خلال المدة من 7 إلى 17 فبراير 2026. وتم استخدام بذور قمح الخبز من دفعة تجارية محلية واحدة تحمل الرمز ZW-WHEAT-2025-01. وقبل بدء التجربة، تم فحص جودة دفعة البذور باستخدام أربع

مكررات، اشتمل كل مكرر منها على 25 بذرة. وتم تسجيل متوسط إنبات أولي بلغ 97%، مما أظهر ارتفاع حيوية البذور وتجانسها. كما تم قياس المحتوى الرطوبي للبذور، حيث بلغ 11.3%، وتم تسجيل وزن ألف حبة بمقدار 42.8g .

2.8 تصميم التجربة ومعاملات التهيئة والملوحة

تم تنفيذ التجربة وفقا للتصميم العشوائي الكامل بترتيب عاملي 4 × 3. وتمثل العامل الأول في أربع معاملات لتهيئة البذور، وهي: البذور غير المهيأة والجافة(P0) ، والتهيئة بالماء المقطر(P1) ، والتهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيز 50(P2) mg/L ، والتهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيز 100 .(P3) mg/L أما العامل الثاني، فتمثل في ثلاثة مستويات من كلوريد الصوديوم، وهي: 0 و100 و200mM .

تم استخدام أربعة مكررات لكل معاملة، وتم وضع 25 بذرة في كل مكرر، ليبلغ العدد الكلي 48 طبقا و1200 بذرة. وتم توزيع الأطباق عشوائيا داخل غرفة النمو، كما تم تدوير مواقعها يوميا بعد تسجيل قراءات الإنبات، بهدف الحد من تأثير الاختلافات المكانية داخل الغرفة.

تم إجراء التعقيم السطحي للبذور باستخدام محلول هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز 1% لمدة دقيقتين، ثم تم غسلها ثلاث مرات بالماء المقطر. وتم نقع بذور معاملات التهيئة لمدة 8 ساعات في الماء المقطر أو محاليل حمض الأسكوربيك، بحسب المعاملة، ثم تم تجفيفها سطحيا قبل الزراعة. أما بذور المعاملة الضابطة، فقد تم استخدامها دون نقع. وتم تحضير محاليل حمض الأسكوربيك بصورة طازجة، كما تمت حمايتها من التعرض المباشر للضوء.

3.8 ظروف الإنبات

تم وضع البذور في أطباق بتري بقطر 9cm ، واحتوى كل طبق على طبقتين من ورق الترشيح. وتمت إضافة 10 mL إلى كل طبق من الماء المقطر أو محلول كلوريد الصوديوم الموافق لمستوى الملوحة المحدد للمعاملة.

تم حفظ الأطباق تحت دورة ضوئية مقدارها 12 ساعة ضوء و12 ساعة ظلام، وعند درجة حرارة مستهدفة بلغت 20 ± 2 .C°وخلال مدة التجربة، تم تسجيل درجات حرارة فعلية تراوحت بين 19.5 و21.5C°، في حين تراوحت الرطوبة النسبية بين 53 و66.%

4.8 قياسات الإنبات ونمو البادرات

تم تسجيل عدد البذور المنبتة حديثا كل 24 ساعة لمدة سبعة أيام. وتم استخدام بيانات الإنبات اليومية في حساب نسبة الإنبات النهائية، ومتوسط زمن الإنبات، ودليل سرعة الإنبات، وفقا للمعادلات الآتية:

نسبة الإنبات (%) = (العدد النهائي للبذور المنبتة ÷ العدد الكلي للبذور المزروعة) × 100.

متوسط زمن الإنبات $= \Sigma(n_i t_i) \div \Sigma n_i$

حيث يمثل n_i عدد البذور التي تم إنباتها في زمن العدt_i .

دليل سرعة الإنبات $= \Sigma(n_i \div t_i)$

في نهاية التجربة، تم اختيار عشر بادرات طبيعية عشوائيا من كل طبق، بينما تم استخدام جميع البادرات الطبيعية في الأطباق التي احتوت على أقل من عشر بادرات. وتم قياس طول الجذر وطول المجموع الخضري والطول الكلي لكل بادرة بالسنتيمتر.

كما تم قياس الوزن الطازج للبادرات بعد إزالة بقايا الحبوب، ثم تم تجفيف البادرات في فرن عند درجة حرارة 65 °C لمدة 48 ساعة، وبعد ذلك تم تحديد الوزن الجاف.

تم حساب دليل قوة البادرات المعتمد على الطول من خلال ضرب نسبة الإنبات في متوسط الطول الكلي للبادرات. كما تم حساب دليل قوة البادرات المعتمد على الوزن الجاف من خلال ضرب نسبة الإنبات في متوسط الوزن الجاف للبادرة.

5.8 التحليل الإحصائي

تم اعتبار طبق بتري وحدة تجريبية مستقلة، وتم استخدام متوسط القياسات المسجلة في كل طبق لإجراء التحليل الإحصائي، وذلك لتجنب التكرار الزائف الناتج عن معاملة القياسات الفردية للبادرات بوصفها مكررات مستقلة. وتم عرض النتائج في صورة المتوسط ± الانحراف المعياري لأربعة مكررات.

تم تحليل البيانات باستخدام تحليل التباين الثنائي لتحديد تأثير معاملة تهيئة البذور، ومستوى الملوحة، والتفاعل بينهما في الصفات المدروسة. وعند ثبوت وجود فروق معنوية، تم إجراء المقارنات بين المتوسطات باستخدام اختبار Tukey HSD عند مستوى دلالة 0.05. كما تم فحص اعتدالية بواقي النموذج باستخدام اختبارShapiro–Wilk ، وتم فحص تجانس التباينات باستخدام اختبارLevene .

9. النتائج

تم تحليل تأثير معاملات تهيئة بذور القمح ومستويات الملوحة في مؤشرات الإنبات ونمو البادرات وقوتها اعتمادا على متوسطات الأطباق بوصفها وحدات تجريبية مستقلة. وتم عرض النتائج في صورة المتوسط ± الانحراف المعياري لأربعة مكررات، مع بيان دلالة التأثيرات الرئيسة والتفاعل بين العاملين، ثم تحديد الفروق بين المعاملات وفقا لاختبار Tukey عند مستوى دلالة 0.05.

1.9 التأثيرات العامة للتهيئة والملوحة والتفاعل بينهما

أظهرت نتائج تحليل التباين الثنائي وجود تأثير معنوي لمعاملة تهيئة البذور في جميع الصفات المدروسة، كما كان تأثير مستوى الملوحة معنويا بدرجة عالية في مؤشرات الإنبات والنمو والوزن وقوة البادرات. ويبين ذلك أن استجابة بادرات القمح لم تعتمد على الإجهاد الملحي وحده، بل تأثرت كذلك بنوع معاملة البذور قبل الزراعة.

كان التفاعل بين التهيئة والملوحة معنويا في نسبة الإنبات النهائية، والطول الكلي للبادرة، والوزنين الطازج والجاف، ودليلي قوة البادرات المعتمدين على الطول والوزن الجاف. وتشير معنوية التفاعل في هذه الصفات إلى اختلاف تأثير معاملات التهيئة باختلاف مستوى الملوحة. في المقابل، لم يكن التفاعل معنويا في متوسط زمن الإنبات، ودليل سرعة الإنبات، وطول الجذر، وطول المجموع الخضري، رغم معنوية التأثير المنفرد لكل من التهيئة والملوحة في هذه الصفات، كما هو موضح في الجدول.(1)

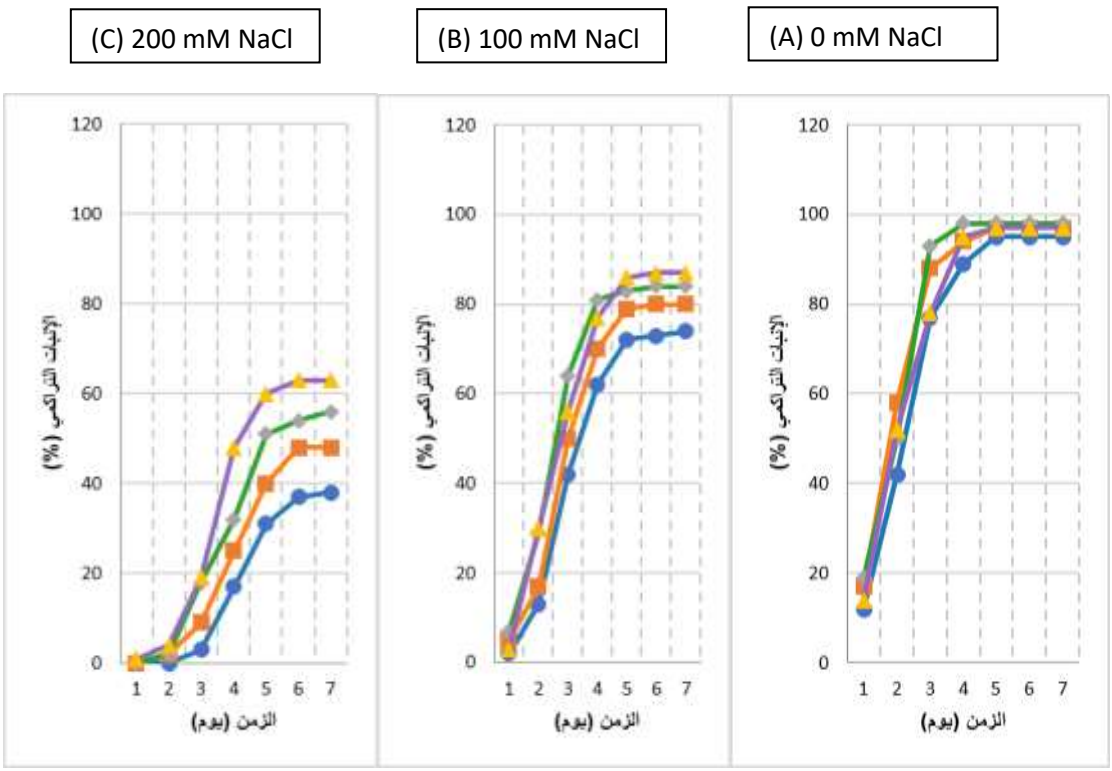
الجدول (1). نتائج تحليل التباين الثنائي لتأثير تهيئة البذور والملوحة والتفاعل بينهما في الصفات المدروسة

الصفة	التهيئة(p) F	الملوحة(p) F	التهيئة × الملوحة(p) F
نسبة الإنبات النهائية	33.82 (<0.001)	720.11 (<0.001)	**8.11 (<0.001)**
متوسط زمن الإنبات	5.84 (0.002)	150.78 (<0.001)	**1.40 (0.242)**
دليل سرعة الإنبات	7.86 (<0.001)	255.83 (<0.001)	**1.08 (0.393)**
طول الجذر	18.55 (<0.001)	609.70 (<0.001)	**2.27 (0.058)**
طول المجموع الخضري	31.79 (<0.001)	1059.75 (<0.001)	**2.31 (0.054)**
الطول الكلي للبادرة	27.28 (<0.001)	910.86 (<0.001)	**2.53 (0.038)**
الوزن الطازج للبادرة	104.59 (<0.001)	3358.77 (<0.001)	**4.47 (0.002)**
الوزن الجاف للبادرة	69.36 (<0.001)	2324.86 (<0.001)	**7.04 (<0.001)**
دليل قوة البادرات بالطول	51.10 (<0.001)	1781.57 (<0.001)	**4.85 (0.001)**
دليل قوة البادرات بالوزن الجاف	69.37 (<0.001)	2422.40 (<0.001)	**6.36 (<0.001)**

ملاحظة :درجات الحرية لمعاملة التهيئة = 3، ولمستوى الملوحة = 2، وللتفاعل = 6، وللخطأ = 36. عدت النتائج معنوية عند $p \leq 0.05$

2.9 تأثير تهيئة البذور والملوحة في مؤشرات الإنبات

أظهرت النتائج انخفاضا تدريجيا في الإنبات وتأخرا في بدايته مع ارتفاع تركيز كلوريد الصوديوم. ففي غياب الملوحة، بدأت البذور بالإنبات منذ اليوم الأول، واقتربت معظم المعاملات من النسبة النهائية بحلول اليوم الرابع أو الخامس. وعند mM100 ، انخفض معدل تراكم الإنبات وتأخر الوصول إلى النسبة النهائية، بينما كان التأثير أكثر وضوحا عند mM200 ، حيث كان الإنبات محدودا خلال اليومين الأول والثاني، ثم ازداد تدريجيا حتى اليوم السابع. وقد حافظت البذور المهيأة بحمض الأسكوربيك، خاصة بتركيز 100 mg/L، على معدلات إنبات تراكمية أعلى تحت الملوحة المرتفعة مقارنة بالبذور غير المهيأة، كما يوضح الشكل.(1)



الشكل (1). الإنبات التراكمي لبذور القمح خلال سبعة أيام تحت تأثير معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة المختلفة

في الشكل (1) تمثل الأجزاء (A)و (B)و (C)مستويات الملوحة 0 و100 و200mM ، على التوالي، وتمثل المنحنيات متوسطات أربعة مكررات لكل معاملة.

أظهرت النتائج الواردة في الجدول (2) عدم وجود فروق معنوية بين معاملات التهيئة في نسبة الإنبات النهائية عند غياب الملوحة، حيث تراوحت النسبة بين 95 و98%. وعند 100mM ، انخفضت نسبة الإنبات في البذور غير المهيأة إلى 74%، بينما ارتفعت إلى 84 و87% عند التهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيزي 50 و100mg/L ، على التوالي، وكان كلاهما أعلى معنويا من البذور غير المهيأة. وعند 200mM ، انخفضت نسبة الإنبات إلى 38% في البذور غير المهيأة، في حين بلغت 48% مع التهيئة بالماء المقطر، و56% مع حمض الأسكوربيك بتركيز 50mg/L ، و63% مع التركيز 100mg/L.

ازداد متوسط زمن الإنبات بارتفاع الملوحة في جميع المعاملات، حيث وصل في البذور غير المهيأة عند 200 mM إلى 4.70 يوم، مقارنة بـ3.90 يوم عند التهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيز 100 mg/L. وفي المقابل، انخفض دليل سرعة الإنبات بصورة واضحة مع زيادة الملوحة. وقد حقق التركيز 100 mg/L أعلى قيمة للدليل عند 200mM ، إذ بلغت 4.41، مقارنة بـ2.11 في البذور غير المهيأة. وتشير هذه النتائج إلى أن تهيئة البذور بحمض الأسكوربيك لم تحسن النسبة النهائية للإنبات فقط، بل أسهمت كذلك في تسريع حدوثه تحت الإجهاد الملحي المرتفع.

الجدول (2). تأثير معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة في مؤشرات إنبات بذور القمح

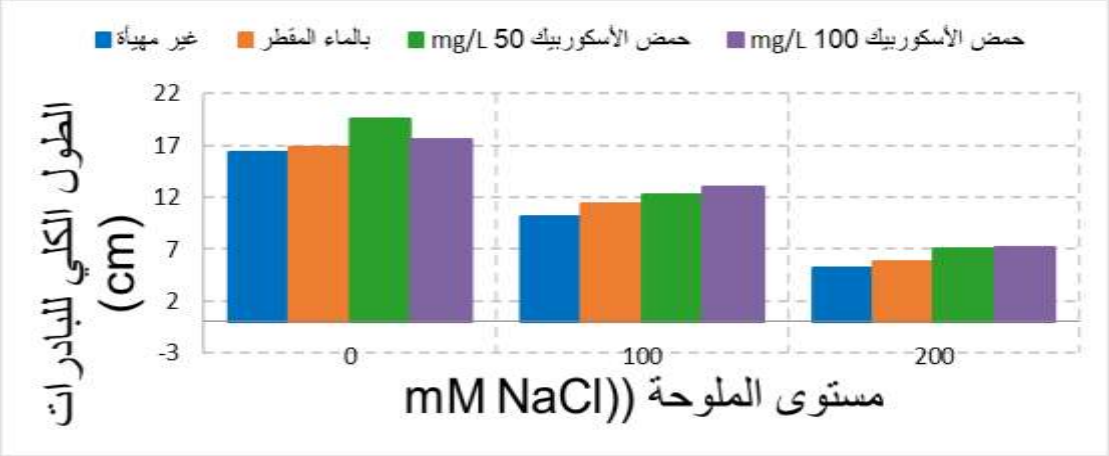
مستوى NaCl (mM)	معاملة التهيئة	نسبة الإنبات النهائية (%)	متوسط زمن الإنبات (يوم)	دليل سرعة الإنبات
0	غير مهيأة	95.00 ± 2.00^{a}	2.68 ± 0.36^{a}	**10.72 ± 1.36^{a}**
0	ماء مقطر	97.00 ± 2.00^{a}	2.35 ± 0.24^{a}	**12.40 ± 1.23^{a}**
0	حمض الأسكوربيك mg/L50	98.00 ± 2.31^{a}	2.34 ± 0.28^{a}	**12.52 ± 1.87^{a}**
0	حمض الأسكوربيك mg/L100	97.00 ± 2.00^{a}	2.53 ± 0.21^{a}	**11.58 ± 1.69^{a}**
100	غير مهيأة	74.00 ± 5.16^{b}	3.41 ± 0.44^{a}	**6.12 ± 0.64^{b}**
100	ماء مقطر	80.00 ± 3.27^{ab}	3.23 ± 0.22^{a}	**7.24 ± 0.85^{ab}**
100	حمض الأسكوربيك mg/L50	84.00 ± 3.27^{a}	2.85 ± 0.34^{a}	**8.62 ± 1.32^{a}**
100	حمض الأسكوربيك mg/L100	87.00 ± 3.83^{a}	3.09 ± 0.40^{a}	**8.10 ± 0.77^{a}**
200	غير مهيأة	38.00 ± 5.16^{c}	4.70 ± 0.41^{a}	**2.11 ± 0.40^{c}**
200	ماء مقطر	48.00 ± 3.27^{b}	4.42 ± 0.08^{ab}	**2.92 ± 0.30^{b}**
200	حمض الأسكوربيك mg/L50	56.00 ± 3.27^{ab}	4.19 ± 0.22^{ab}	**3.60 ± 0.17^{b}**
200	حمض الأسكوربيك mg/L100	63.00 ± 3.83^{a}	3.90 ± 0.20^{b}	**4.41 ± 0.48^{a}**

ملاحظة :تمثل القيم المتوسط ± الانحراف المعياري لأربعة مكررات. تشير الحروف المختلفة داخل مستوى الملوحة الواحد وفي العمود نفسه إلى وجود فروق معنوية بين معاملات التهيئة وفقا لاختبار Tukey عند مستوى دلالة 0.05.

3.9 تأثير المعاملات في نمو البادرات والكتلة الحيوية

أدى ارتفاع مستوى الملوحة إلى انخفاض واضح في أطوال الجذور والمجموع الخضري لدى جميع معاملات التهيئة، في حين حافظت البذور المهيأة بحمض الأسكوربيك على قيم أعلى مقارنة بالبذور غير المهيأة. ففي غياب الملوحة، سجلت معاملة حمض الأسكوربيك بتركيز 50 mg/L أعلى متوسط لطول الجذر والمجموع الخضري، إذ بلغ 11.12 و8.41cm ، على التوالي. وعند mM100 ، سجل التركيز 100 mg/L أعلى القيم، بمتوسط بلغ 7.09 cm للجذر و5.90 cm للمجموع الخضري. واستمر تفوق معاملتي حمض الأسكوربيك عند mM200 ، حيث بلغ طول الجذر 4.10 و3.96cm ، وطول المجموع الخضري 2.99 و3.25 cm عند التركيزين 50 و100mg/L ، على التوالي، مقابل 3.04 و2.20 cm في البذور غير المهيأة.

أظهر الطول الكلي للبادرات نمطا مماثلا، حيث بلغت أعلى قيمة في غياب الملوحة 19.53 cm عند التهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيز 50mg/L ، مقارنة بـ16.29 cm في البذور غير المهيأة. وعند 100 وmM200 ، سجل التركيز 100 mg/L أعلى متوسطين للطول الكلي، وبلغا 12.99 و7.21cm ، على التوالي، يليه التركيز 50 mg/L بمتوسطين بلغا 12.28 و7.08 .cm وكانت معاملتا حمض الأسكوربيك أعلى معنويا من البذور غير المهيأة والمهيأة بالماء عند mM200 ، كما هو موضح في الشكل(2) .



الشكل (2). متوسط الطول الكلي لبادرات القمح تحت تأثير معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة المختلفة. تمثل الأعمدة متوسطات أربعة مكررات لكل معاملة.

انخفض الوزن الطازج والجاف للبادرات تدريجيا مع زيادة مستوى الملوحة، إلا أن التهيئة بحمض الأسكوربيك حدت من مقدار هذا الانخفاض. فعند mM100 ، بلغ الوزن الطازج 0.2160 و0.2269 g للبادرة عند التركيزين 50 و100mg/L ، على التوالي، مقارنة بـ0.1871 g في البذور غير المهيأة. وعند mM200 ، سجل التركيز 100 mg/L أعلى وزن طازج بلغ g0.1388 ، تلاه التركيز 50 mg/L بمتوسط g0.1251 ، بينما انخفض المتوسط إلى 0.0928 g في البذور غير المهيأة.

وبالنسبة إلى الوزن الجاف، بلغت أعلى القيم عند 200 mM نحو 0.0179 و0.0169 g للبادرة عند التهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيزي 100 و50mg/L ، على التوالي، دون وجود فرق معنوي بينهما. في المقابل، بلغ الوزن الجاف 0.0151 g في البذور المهيأة بالماء و0.0120 g في البذور غير المهيأة، كما هو مبين في الجدول(3) .

الجدول (3). تأثير معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة في نمو بادرات القمح وكتلتها الحيوية

مستوى NaCl (mM)	معاملة التهيئة	طول الجذر (cm)	طول المجموع الخضري (cm)	الوزن الطازج للبادرة(g)	الوزن الجاف للبادرة(g)
0	غير مهيأة	9.07 ± 0.82^{b}	7.22 ± 0.44^{b}	0.2615 ± 0.0040^{c}	**0.0321 ± 0.0010^{b}**
0	ماء مقطر	9.41 ± 0.54^{b}	7.46 ± 0.55^{b}	0.2704 ± 0.0047^{b}	**0.0344 ± 0.0008^{a}**
0	حمض الأسكوربيك 50mg/L	11.12 ± 0.93^{a}	8.41 ± 0.50^{a}	0.2858 ± 0.0028^{a}	**0.0349 ± 0.0005^{a}**
0	حمض الأسكوربيك 100 mg/L	9.85 ± 0.20^{ab}	7.78 ± 0.21^{ab}	0.2826 ± 0.0038^{a}	**0.0340 ± 0.0008^{a}**
100	غير مهيأة	5.56 ± 0.46^{b}	4.53 ± 0.16^{c}	0.1871 ± 0.0066^{b}	**0.0244 ± 0.0009^{b}**
100	ماء مقطر	6.32 ± 0.59^{ab}	5.03 ± 0.25^{b}	0.1958 ± 0.0098^{b}	**0.0255 ± 0.0009^{b}**
100	حمض الأسكوربيك 50mg/L	6.70 ± 0.46^{a}	5.58 ± 0.21^{a}	0.2160 ± 0.0057^{a}	**0.0279 ± 0.0006^{a}**
100	حمض الأسكوربيك 100 mg/L	7.09 ± 0.25^{a}	5.90 ± 0.27^{a}	0.2269 ± 0.0038^{a}	**0.0287 ± 0.0005^{a}**

200	غير مهيأة	3.04 ± 0.19^{c}	2.20 ± 0.19^{b}	0.0928 ± 0.0058^{d}	**0.0120 ± 0.0010^{c}**
200	ماء مقطر	3.36 ± 0.22^{bc}	2.46 ± 0.16^{b}	0.1092 ± 0.0081^{c}	**0.0151 ± 0.0009^{b}**
200	حمض الأسكوربيك mg/L50	4.10 ± 0.30^{a}	2.99 ± 0.22^{a}	0.1251 ± 0.0019^{b}	**0.0169 ± 0.0008^{a}**
200	حمض الأسكوربيك 100 mg/L	3.96 ± 0.42^{ab}	3.25 ± 0.17^{a}	0.1388 ± 0.0034^{a}	**0.0179 ± 0.0005^{a}**

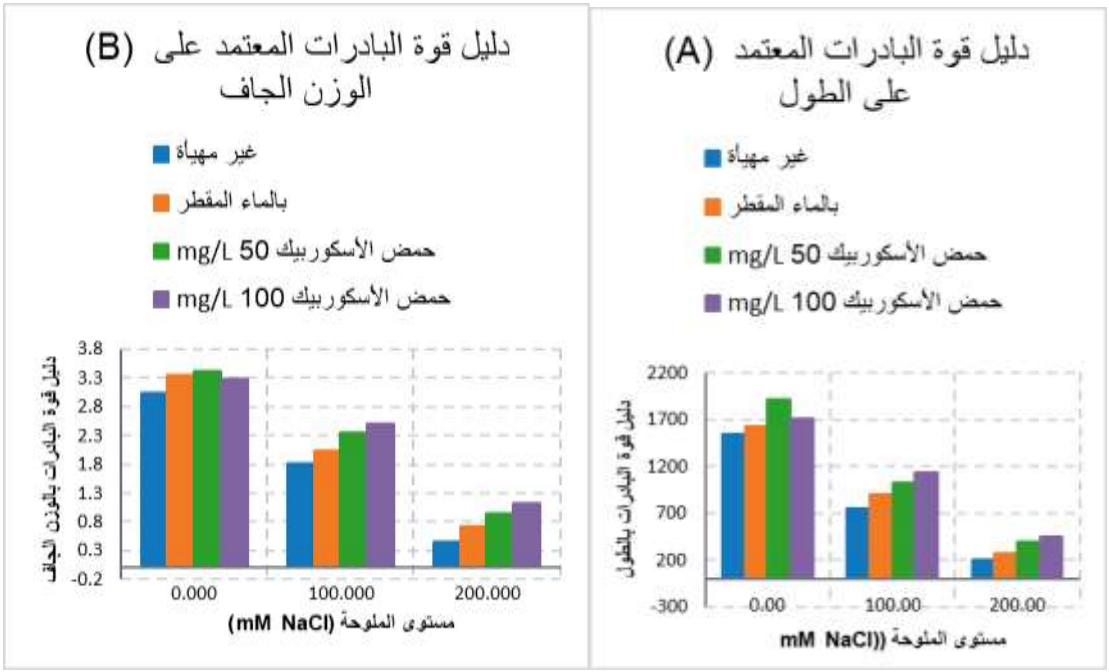
ملاحظة :تمثل القيم المتوسط ± الانحراف المعياري لأربعة مكررات. تشير الحروف المختلفة داخل مستوى الملوحة الواحد وفي العمود نفسه إلى وجود فروق معنوية بين معاملات التهيئة وفقا لاختبار Tukey عند مستوى دلالة 0.05.

4.9 تأثير المعاملات في قوة البادرات

أظهرت النتائج انخفاضا واضحا في دليلي قوة البادرات المعتمدين على الطول والوزن الجاف مع ارتفاع مستوى الملوحة، في حين ساعدت معاملات التهيئة، خاصة بحمض الأسكوربيك، على الحد من هذا الانخفاض. ففي غياب الملوحة، سجلت التهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيز 50 mg/L أعلى دليل لقوة البادرات بالطول، بمتوسط بلغ 1911.83 ± 92.76، وكان أعلى معنويا من بقية المعاملات. وتراوحت قيم المعاملات الأخرى بين 1548.96 ± 140.96 في البذور غير المهيأة و1710.09 ± 29.99 عند التركيز 100 mg/L.أما دليل قوة البادرات بالوزن الجاف، فقد بلغ أعلى متوسط له 3.415 ± 0.090 عند التركيز mg/L50 ، دون وجود فروق معنوية بين معاملات التهيئة الثلاث، بينما سجلت البذور غير المهيأة قيمة أقل معنويا بلغت 3.045 ± 0.070.

عند مستوى ملوحة mM100 ، سجلت التهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيز 100 mg/L أعلى دليل لقوة البادرات بالطول، بمتوسط بلغ 1129.09 ± 34.59، تلاها التركيز 50 mg/L بمتوسط 1029.78 ± 15.69، دون فرق معنوي بينهما. وانخفض المتوسط إلى 907.05 ± 65.77 عند التهيئة بالماء المقطر و748.08 ± 76.55 في البذور غير المهيأة. وظهر الاتجاه نفسه في دليل القوة بالوزن الجاف، حيث بلغت القيم 2.501 ± 0.144 و2.343 ± 0.131 عند التركيزين 100 وmg/L50 ، على التوالي، وكان كلاهما أعلى معنويا من معاملة الماء المقطر والبذور غير المهيأة.

كان تأثير التهيئة أكثر وضوحا عند مستوى الملوحة mM200 ، حيث ارتفع دليل قوة البادرات بالطول من 198.54 ± 23.09 في البذور غير المهيأة إلى 279.03 ± 15.34 عند التهيئة بالماء المقطر، ثم إلى 395.88 ± 24.46 و454.34 ± 37.89 عند التهيئة بحمض الأسكوربيك بتركيزي 50 وmg/L100 ، على التوالي. كما ارتفع دليل القوة بالوزن الجاف من 0.456 ± 0.078 في البذور غير المهيأة إلى 0.724 ± 0.073 و0.947 ± 0.090 و1.126 ± 0.087 في المعاملات نفسها، على التوالي. وكانت الفروق بين جميع معاملات التهيئة معنوية عند هذا المستوى من الملوحة، وسجل التركيز 100 mg/L أعلى قيمة لكلا الدليلين، كما هو موضح في الشكل(3) .



الشكل (3). دليلا قوة بادرات القمح تحت تأثير معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة المختلفة (A) دليل قوة البادرات المعتمد على الطول، و (B) دليل قوة البادرات المعتمد على الوزن الجاف. تمثل الأعمدة متوسطات أربعة مكررات لكل معاملة.

10. مناقشة النتائج

بينت النتائج أن زيادة تركيز كلوريد الصوديوم أدت إلى انخفاض واضح في نسبة الإنبات ودليله، وارتفاع متوسط زمن الإنبات، فضلا عن تراجع أطوال الجذور والمجموع الخضري والكتلة الحيوية وقوة البادرات. ويعود ذلك إلى انخفاض قدرة البذور على امتصاص الماء تحت الملوحة، وما يتبعه من تأخر العمليات الأيضية اللازمة للإنبات، إضافة إلى الأضرار الأيونية والتأكسدية التي تحد من الانقسام والاستطالة الخلوية. وتتفق هذه النتيجة مع(2012) .Fuller et al ، الذين سجلوا تدهورا تدريجيا في إنبات القمح مع ارتفاع تركيز NaCl حتى 200.mM

حسنت تهيئة البذور مؤشرات الإنبات مقارنة بالبذور غير المهيأة، وكان تأثير حمض الأسكوربيك أكبر من تأثير التهيئة بالماء، خاصة عند مستويي الملوحة 100 و200 .mM ويشير التحسن الناتج عن الماء المقطر إلى فائدة الترطيب المنظم وبدء العمليات السابقة للإنبات، بينما يعكس التفوق الإضافي لحمض الأسكوربيك دوره المضاد للأكسدة. وقد حقق التركيز 100 mg/L أعلى نسبة إنبات وأفضل دليل للإنبات عند الملوحة الشديدة، بما يتفق مع(2021) .Baig et al ، الذين وجدوا أن التراكيز المتوسطة والمرتفعة من حمض الأسكوربيك كانت أكثر كفاءة في تحسين إنبات القمح تحت الإجهاد الملحي.

كما خففت تهيئة البذور بحمض الأسكوربيك الانخفاض في أطوال البادرات وأوزانها الطازجة والجافة. ويمكن تفسير ذلك بمساهمة الأسكوربات في حماية الأغشية والإنزيمات، ودعم تعبئة المواد المخزنة وتوفير الطاقة اللازمة للنمو. ويتوافق ذلك مع .Fercha et al

(2014)، الذين ربطوا التهيئة بالأسكوربات بتغيرات في البروتينات المسؤولة عن إنتاج الطاقة والدفاع ضد الإجهاد، ومع Ali et al. (2024)، الذين سجلوا تحسنا في الوزن الجاف وكفاءة استخدام مخزون البذرة بعد المعاملة بحمض الأسكوربيك.

أظهر دليلا قوة البادرات أن الملوحة أثرت في عدد البذور المنبتة وفي جودة البادرات الناتجة معا. وكان التركيز 50 mg/L أكثر كفاءة في بعض صفات النمو دون ملوحة، بينما تفوق التركيز 100 mg/L بوضوح عند mM200 ، مما يدل على ارتباط التركيز الأنسب بشدة الإجهاد. وقد يكون التركيز المنخفض كافيا في الظروف العادية، في حين يوفر التركيز الأعلى حماية أكبر عند ارتفاع الملوحة.

كانت التفاعلات بين التهيئة والملوحة معنوية في نسبة الإنبات والطول الكلي والوزنين الطازج والجاف ودليلي القوة، لكنها لم تكن معنوية في متوسط زمن الإنبات ودليله وطولي الجذر والمجموع الخضري. وبذلك دعمت النتائج فرضيات تأثير الملوحة ومعاملات التهيئة، بينما دعمت فرضية التفاعل جزئيا. وتؤكد النتائج العامة أن تهيئة بذور القمح بحمض الأسكوربيك، ولا سيما بتركيز 100 mg/Lتحت الملوحة المرتفعة، أسهمت في الحد من الضرر وتحسين الإنبات والنمو المبكر، مع ضرورة التحقق من هذه الاستجابة تحت الظروف الحقلية.

11. الخاتمة

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم فاعلية تهيئة بذور القمح بحمض الأسكوربيك في تحسين الإنبات وقوة البادرات تحت مستويات مختلفة من الإجهاد الملحي. وأظهرت النتائج أن ارتفاع تركيز كلوريد الصوديوم من 0 إلى 200 mM تسبب في تراجع منتظم في النسبة النهائية للإنبات ودليله، وأدى إلى إطالة متوسط زمن الإنبات وانخفاض نمو الجذور والمجموع الخضري والأوزان الطازجة والجافة ودليلي قوة البادرات. ويؤكد ذلك أن الملوحة تمثل عاملا محددا لتأسيس بادرات القمح، وأن تأثيرها يمتد من بدء الإنبات إلى تكوين البادرة وقدرتها على تراكم المادة الجافة.

في المقابل، أسهمت تهيئة البذور في تقليل شدة الأضرار الناتجة عن الملوحة، وكان تأثير حمض الأسكوربيك أكثر وضوحا من التهيئة بالماء المقطر. وقد اختلفت كفاءة التركيزين المستخدمين باختلاف مستوى الإجهاد؛ إذ حقق التركيز 50 mg/L استجابة أفضل في بعض صفات النمو عند غياب الملوحة، بينما كان التركيز 100 mg/L أكثر كفاءة عند الملوحة المرتفعة، ولا سيما عند 200 mM ويبين ذلك أن تحديد التركيز المناسب لا ينفصل عن شدة الملوحة التي تتعرض لها البذور.

كما أظهرت النتائج أن التفاعل بين التهيئة والملوحة كان معنويا في عدد من الصفات الرئيسة، منها النسبة النهائية للإنبات والطول الكلي والكتلة الحيوية ودليلا القوة، مما يدل على اختلاف استجابة البذور للتهيئة باختلاف مستوى الإجهاد. وبناء على ذلك، يمكن اعتبار تهيئة بذور القمح بحمض الأسكوربيك معاملة واعدة لتحسين النمو المبكر في البيئات الملحية. ومع ذلك، تظل النتائج مرتبطة بالظروف المختبرية والصنف والتركيزات المختبرة، لذلك يوصى بإجراء تجارب حقلية للتحقق من كفاءتها وتحديد مدة النقع والتركيز الأنسب تحت ظروف التربة ومياه الري المختلفة.

12. قائمة المراجع

Afzal, I., Basra, S. M. A., Cheema, M. A., Farooq, M., Jafar, M. Z., Shahid, M., & Yasmeen, A. (2013). Seed priming: A shotgun approach for alleviation of salt stress in wheat. *International Journal of Agriculture and Biology, 15*(6), 1199–1203.

Ali, N., Nyéki, A., Jalloul, A., & Alahmad, T. (2024). The effect of ascorbic acid on salt tolerance and seedling performance in *Triticum durum* Desf. 'Douma 3' under salinity stress in Syria. *Agronomy, 14*(12), Article 2982. https://doi.org/10.3390/agronomy14122982

Almansouri, M., Kinet, J.-M., & Lutts, S. (2001). Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil, 231*, 243–254. https://doi.org/10.1023/A:1010378409663

Alom, R., Hasan, M. A., Islam, M. R., & Wang, Q.-F. (2016). Germination characters and early seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under salt stress conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology, 19*, 383–392. https://doi.org/10.1007/s12892-016-0052-1

Athar, H. U. R., Khan, A., & Ashraf, M. (2008). Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany, 63*(1–3), 224–231. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.10.018

Baig, Z., Khan, N., Sahar, S., Sattar, S., & Zehra, R. (2021). Effects of seed priming with ascorbic acid to mitigate salinity stress on three wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Acta Ecologica Sinica, 41*(5), 491–498. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2021.08.010

El-Hawary, M. M., Hashem, O. S. M., & Hasanuzzaman, M. (2023). Seed priming and foliar application with ascorbic acid and salicylic acid mitigate salt stress in wheat. *Agronomy, 13*(2), Article 493. https://doi.org/10.3390/agronomy13020493

Feghhenabi, F., Hadi, H., Khodaverdiloo, H., & van Genuchten, M. T. (2020). Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Water Management, 231*, Article 106022. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106022

Fercha, A., Capriotti, A. L., Caruso, G., Cavaliere, C., Samperi, R., Stampachiacchiere, S., & Laganà, A. (2014). Comparative analysis of metabolic proteome variation in ascorbate-primed and unprimed wheat seeds during germination under salt stress. *Journal of Proteomics, 108*, 238–257. https://doi.org/10.1016/j.jprot.2014.04.040

Fuller, M. P., Hamza, J. H., Rihan, H. Z., & Al-Issawi, M. (2012). Germination of primed seed under NaCl stress in wheat. *ISRN Botany, 2012*, Article 167804. https://doi.org/10.5402/2012/167804

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Anee, T. I., Parvin, K., Nahar, K., Mahmud, J. A., & Fujita, M. (2019). Regulation of ascorbate-glutathione pathway in mitigating oxidative damage in plants under abiotic stress. *Antioxidants, 8*(9), Article 384. https://doi.org/10.3390/antiox8090384

Hussain, S., Khan, F., Hussain, H. A., & Nie, L. (2016). Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in rice cultivars. *Frontiers in Plant Science, 7*, Article 116. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00116

Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: State of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports, 34*(8), 1281–1293. https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y

Sairam, R. K., Rao, K. V., & Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long-term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science, 163*(5), 1037–1046. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9

Venkatesh, J., & Park, S. W. (2014). Role of L-ascorbate in alleviating abiotic stresses in crop plants. *Botanical Studies, 55*, Article 38. https://doi.org/10.1186/1999-3110-55-38