Albahit Journal of Applied Sciences
"open-access, peer-reviewed biannual journal"
eISSN: 2708-8936, pISSN: 2708-244X
Volume 5, Issue 3, 2026
Page No: 49-67
Website: *https://albahitjas.com.ly/index.php/albahit/en/index*

Effect of Barley Seed Priming with Salicylic Acid on Germination and Seedling Vigor under Salt Stress

Hassan Omran Alrgi·I [*1] , Adel Omer Saeed AL-Shaalali [2]
[1] Department of Plant Production, Faculty of Veterinary Medicine and Agriculture, University of Zawia, Libya.
[2] Department of Biology, Faculty of Education–Zawia, University of Zawia, Libya.
[*]*Corresponding author: H.alrgei@zu.edu.ly*

Received: 27-04-2026	**Accepted:** 02-07-2026	**Published:** 15-07-2026

Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract:
This study evaluated the effects of salicylic acid seed priming on barley germination, seedling growth, and vigor under salt stress and identified the most effective concentration. A completely randomized factorial design included five priming treatments: non-primed seeds, hydropriming, and salicylic acid at 0.25, 0.50, and 1.00 mM, combined with NaCl at 0, 100, and 200 mM. Four replicates of 25 seeds were used per treatment combination. Final germination percentage, mean germination time, germination index, root, shoot, and total seedling lengths, fresh and dry weights, and length- and dry-weight-based vigor indices were measured. Data were analyzed by two-way analysis of variance and Tukey's test at $p \leq 0.05$.
Increasing salinity significantly reduced all measured traits, except mean germination time, which increased, indicating delayed germination. Priming significantly affected all variables. The interaction between priming and salinity was significant for final germination percentage, fresh weight, and both vigor indices, but not for the remaining traits. Salicylic acid at 0.50 mM produced the best response. At 200 mM NaCl, it increased germination from 42% in non-primed seeds to 69% and recorded the highest growth, biomass, and vigor values. The findings indicate that 0.50 mM salicylic acid was the most effective concentration for reducing salinity damage during early barley establishment. Further evaluation under soil and field conditions is required.

Keywords: barley, seed priming, salicylic acid, salt stress, germination, seedling vigor.

تأثير تهيئة بذور الشعير بحمض الساليسيليك على الإنبات وقوة البادرات تحت الإجهاد الملحي

حسن عمران الرقيعي[1]، عادل عمر سعيد الشعلالي[2]
[1] قسم الإنتاج النباتي كلية الطب البيطري والزراعة، جامعة الزاوية، ليبيا
[2] قسم الاحياء كلية التربية.الزاوية، جامعة الزاوية، ليبيا

الملخص

هدفت الدراسة إلى تقييم أثر تهيئة بذور الشعير بحمض الساليسيليك في مؤشرات الإنبات ونمو البادرات وقوتها تحت الإجهاد الملحي، وتحديد التركيز الأكثر كفاءة. نفذت التجربة وفق تصميم عشوائي كامل بترتيب عاملي تضمن خمس معاملات للتهيئة: بذور غير مهيأة، وتهيئة مائية، وتهيئة بحمض الساليسيليك بتراكيز 0.25 و0.50 و1.00 مليمول/لتر، وثلاثة مستويات من كلوريد الصوديوم هي صفر و100 و200 مليمول/لتر. استخدمت أربع مكررات لكل توليفة معاملية، واشتمل كل مكرر على 25 بذرة. قيست النسبة النهائية للإنبات، ومتوسط زمن الإنبات، ودليل الإنبات، وأطوال الجذر والريشة والبادرة، والوزنان الطازج والجاف، ودليلا قوة البادرات المعتمدان على الطول والوزن الجاف. حللت البيانات باستخدام تحليل التباين الثنائي واختبار توكي عند مستوى دلالة 0.05.
أظهرت النتائج أن زيادة الملوحة خفضت جميع المؤشرات المدروسة معنويا، باستثناء ارتفاع متوسط زمن الإنبات، مما يعكس تأخر الإنبات. كما أثرت معاملات التهيئة معنويا في جميع الصفات. وكان التفاعل بين التهيئة والملوحة معنويا في النسبة النهائية للإنبات، والوزن الطازج، ودليلي قوة البادرات، بينما لم يكن معنويا في بقية المؤشرات. حقق تركيز 0.50 مليمول/لتر أفضل استجابة إجمالية؛ إذ رفع الإنبات عند 200 مليمول/لتر من 42% في البذور غير المهيأة إلى 69%، وسجل أعلى قيم للنمو والكتلة الحيوية وقوة البادرات. وتدل النتائج على أن هذا التركيز هو الأنسب ضمن التراكيز المختبرة لتقليل آثار الملوحة في المراحل المبكرة، مع ضرورة التحقق من كفاءته تحت ظروف التربة والحقل.

الكلمات المفتاحية: الشعير، تهيئة البذور، حمض الساليسيليك، الإجهاد الملحي، الإنبات، قوة البادرات.

1.المقدمة

يعد الشعير من محاصيل الحبوب المهمة عالميا، لما يتميز به من قيمة غذائية وعلفية وقدرة نسبية على التكيف مع البيئات الجافة وشبه الجافة. ومع ذلك، تتأثر مراحل نموه المبكرة بالملوحة، ولا سيما مرحلتا الإنبات وتكوين البادرات، وهما من أكثر المراحل حساسية للظروف البيئية غير الملائمة. وتؤدي زيادة تركيز الأملاح في الوسط إلى خفض الجهد المائي المحيط بالبذرة، مما يحد من امتصاص الماء ويؤخر بدء العمليات الأيضية المرتبطة بالإنبات. كما يسبب تراكم أيونات الصوديوم والكلوريد اختلالا في التوازن الأيوني، واضطراب نشاط الإنزيمات، وزيادة تكوين أنواع الأكسجين التفاعلية، وينعكس ذلك في انخفاض نسبة الإنبات وسرعته، وقصر الجذور والريشات، وتراجع الكتلة الحيوية وقوة البادرات.
وتعد تهيئة البذور من الأساليب الفسيولوجية البسيطة التي تستخدم لتحسين أداء البذور قبل الزراعة، إذ تسمح ببدء بعض العمليات الأيضية الضرورية للإنبات من دون اكتمال بروز الجذير. وقد أظهرت الدراسات أن هذه المعاملة تساعد على تسريع الإنبات وتحسين تجانسه ورفع قدرة البادرات على مواجهة الإجهادات غير الحيوية. ويعد حمض الساليسيليك من منظمات النمو النباتية التي تسهم في تنظيم استجابة النبات للإجهاد؛ من خلال الحد من تراكم أنواع الأكسجين التفاعلية، وتنشيط نظم الدفاع المضادة للأكسدة، والمحافظة على سلامة الأغشية والتوازن الأيوني. وأكد Ellouzi et al. (2023) أن تهيئة بذور الشعير بحمض الساليسيليك خففت سمية الإجهاد الملحي، وحسنت الإنبات والنمو المبكر من خلال تقليل الضرر التأكسدي وتحسين كفاءة الدفاع المضاد للأكسدة.
وترتبط فاعلية حمض الساليسيليك بالتركيز المستخدم وشدة الإجهاد الملحي؛ فقد تؤدي التراكيز المناسبة إلى استجابة محفزة، بينما قد تكون التراكيز المرتفعة أقل فاعلية أو ذات أثر مثبط. وبينت دراسة Ben Youssef et al. (2025) أن تهيئة بذور الشعير بحمض الساليسيليك حسنت مؤشرات الإنبات ونمو البادرات وتعبئة العناصر الغذائية تحت الملوحة، مع اختلاف الاستجابة باختلاف النوع النباتي ومستوى الإجهاد. وبناء على ذلك، تتناول الدراسة الحالية تأثير تهيئة بذور الشعير بتراكيز مختلفة من حمض الساليسيليك في الإنبات وقوة البادرات تحت مستويات متدرجة من كلوريد الصوديوم، بهدف تحديد المعاملة الأكثر كفاءة في الحد من الآثار الضارة للإجهاد الملحي.

2. مشكلة الدراسة

تعد الملوحة من العوامل البيئية التي تحد من إنبات البذور ونمو البادرات، نتيجة انخفاض قدرة البذور على امتصاص الماء واضطراب التوازن الأيوني والعمليات الفسيولوجية المصاحبة للإنبات. وعلى الرغم من تحمل الشعير النسبي للملوحة، فإن زيادة تركيز الأملاح قد تؤدي إلى تأخر الإنبات وانخفاض نسبته، فضلا عن ضعف نمو الجذور والريشات وتراجع الوزن الطازج والجاف وقوة البادرات. وقد تستخدم تهيئة البذور بحمض الساليسيليك للحد من هذه التأثيرات، إلا أن كفاءتها تختلف باختلاف تركيز الحمض ومستوى الإجهاد الملحي، كما أن التركيز الأعلى لا يمثل بالضرورة المعاملة الأكثر فاعلية. ومن ثم تتمثل

مشكلة الدراسة في عدم وضوح مدى استجابة بذور الشعير لتراكيز مختلفة من حمض الساليسيليك تحت مستويات متباينة من الملوحة، والحاجة إلى تحديد التركيز الأكثر كفاءة في تحسين الإنبات وقوة البادرات والحد من الأضرار الناتجة عن الإجهاد الملحي.

3. أهداف الدراسة

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

1. تحديد تأثير مستويات مختلفة من الملوحة في مؤشرات إنبات بذور الشعير ونمو البادرات.
2. مقارنة تأثير التهيئة بالماء والتراكيز المختلفة من حمض الساليسيليك في نسبة الإنبات وسرعته ومتوسط زمنه.
3. تقييم تأثير معاملات التهيئة في نمو الجذور والريشات والوزنين الطازج والجاف للبادرات تحت الإجهاد الملحي.
4. تحديد التركيز الأكثر كفاءة من حمض الساليسيليك في تحسين قوة بادرات الشعير والحد من التأثيرات الضارة للملوحة.

4. فرضيات الدراسة

تؤثر تهيئة بذور الشعير بحمض الساليسيليك في الإنبات وقوة البادرات تحت الإجهاد الملحي، ويختلف هذا التأثير باختلاف تركيز حمض الساليسيليك ومستوى الملوحة.

وتتفرع عنها الفرضيات الآتية:

1. توجد فروق معنوية في مؤشرات إنبات بذور الشعير ونمو البادرات تعزى إلى اختلاف مستويات الملوحة.
2. توجد فروق معنوية في مؤشرات الإنبات وقوة البادرات تعزى إلى اختلاف معاملات تهيئة البذور.
3. يوجد تأثير معنوي للتفاعل بين معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة في مؤشرات الإنبات ونمو البادرات.

5. أهمية الدراسة

تنبع الأهمية العلمية للدراسة من إسهامها في توضيح استجابة بذور الشعير للإجهاد الملحي خلال مرحلتي الإنبات وتكوين البادرات، وبيان مدى تأثر مؤشرات الإنبات والنمو باختلاف مستويات الملوحة وتراكيز حمض الساليسيليك. كما تسهم في تحديد طبيعة التفاعل بين تهيئة البذور والإجهاد الملحي، وتوفير بيانات علمية تساعد على فهم دور حمض الساليسيليك في تحسين الأداء الفسيولوجي للبذور تحت الظروف غير الملائمة. أما الأهمية العملية فتتمثل في تقييم تهيئة البذور بحمض الساليسيليك بوصفها معاملة بسيطة وقليلة التكلفة يمكن تطبيقها قبل الزراعة، وتحديد التركيز الأكثر كفاءة في تحسين الإنبات وقوة البادرات والحد من الأضرار المبكرة للملوحة، بما يوفر أساسا يمكن الاستفادة منه في التجارب الحقلية اللاحقة وفي تحسين تأسيس محصول الشعير في البيئات المتأثرة بالملوحة.

6. الإطار النظري

يعرض هذا القسم الأساس العلمي الذي تستند إليه الدراسة، من خلال توضيح تأثير الإجهاد الملحي في إنبات بذور الشعير ونمو بادراته، وبيان الأسس الفسيولوجية لتهيئة البذور ودور حمض الساليسيليك في تحسين الاستجابة للملوحة. ويساعد هذا العرض على تفسير المتغيرات المقاسة وربطها بالعمليات الحيوية التي تحدث خلال الإنبات والنمو المبكر.

1.6 الإجهاد الملحي وتأثيره في إنبات بذور الشعير ونمو البادرات

ينشأ الإجهاد الملحي عند ارتفاع تركيز الأملاح الذائبة في الوسط المحيط بالجذور، ويعد كلوريد الصوديوم من أكثر الأملاح ارتباطا بهذه المشكلة. ويؤثر هذا الإجهاد في النبات من خلال مكونين رئيسين؛ أولهما التأثير الأسموزي السريع الذي يخفض قدرة البذور والجذور على امتصاص الماء، وثانيهما التأثير الأيوني الناتج عن تراكم أيونات الصوديوم والكلوريد في الأنسجة. وقد يؤدي استمرار التعرض إلى اضطراب التوازن الغذائي، وتثبيط بعض العمليات الأيضية، وانخفاض نمو الأعضاء النباتية وتراكم الكتلة الحيوية (Munns & Tester, 2008).

يعتمد بدء الإنبات على امتصاص البذرة للماء، واستعادة نشاط الأغشية والإنزيمات، وتعبئة المواد الغذائية المخزنة لتوفير الطاقة اللازمة لخروج الجذير ونمو البادرة. وعندما ينخفض الجهد المائي للوسط بفعل الملوحة، يصبح امتصاص الماء أبطأ، فتتأخر العمليات السابقة للإنبات وقد ينخفض عدد البذور القادرة على إكماله. ولذلك تظهر آثار الملوحة عادة في صورة انخفاض النسبة النهائية للإنبات، وزيادة متوسط زمن الإنبات، وتراجع انتظامه وسرعته، ولا سيما عند ارتفاع تركيز الملح.(Bewley et al., 2013)

يعد الشعير من محاصيل الحبوب المتحملة نسبيا للملوحة، إلا أن هذه الصفة لا تعني ثبات استجابته في جميع مراحل النمو أو بين جميع التراكيب الوراثية. فقد أظهرت التجارب على مجموعة واسعة من أصناف الشعير وسلالاته أن زيادة الملوحة تؤدي غالبا إلى إطالة زمن الإنبات، وتقليل النمو المبكر للجذور، وخفض الكتلة الحيوية للمجموع الخضري، مع وجود اختلافات واضحة بين التراكيب الوراثية في درجة التأثر. وتعد مرحلة الإنبات وتكوين البادرات مرحلة حاسمة؛ لأن ضعف الجذور والريشة في بدايتها قد يحد من قدرة النبات على التأسيس والاستمرار في البيئة الملحية.(Cope et al., 2022)

وأكدت دراسات مباشرة على الشعير أن زيادة تركيز كلوريد الصوديوم حتى 100 و200 مليمول/لتر ترتبط بانخفاض صفات النمو المبكر للبادرات، إلى جانب تأثر نسبة الإنبات وسرعته. كما أظهرت هذه الدراسات أن شدة الانخفاض تختلف باختلاف التركيب الوراثي، مما يوضح أن تقييم تحمل الملوحة ينبغي ألا يعتمد على نسبة الإنبات وحدها، بل يشمل أيضا طول الجذر والريشة والكتلة الحيوية وقوة البادرات (Awad et al., 2021).

2.6 تهيئة البذور ودورها في تحسين الإنبات تحت الإجهاد الملحي

تعرف تهيئة البذور بأنها معاملة تسبق الزراعة، تعتمد على ترطيب البذور بصورة مضبوطة تسمح ببدء العمليات الفسيولوجية السابقة للإنبات، من دون الوصول إلى مرحلة خروج الجذير. وتجفف البذور عادة بعد انتهاء المعاملة لتصبح قابلة للتداول والزراعة. وتؤدي هذه العملية إلى انتقال البذرة إلى حالة فسيولوجية أكثر استعدادا للإنبات، مما قد يحسن سرعة الإنبات وتجانسه وقوة البادرات، خاصة عند تعرضها لظروف بيئية غير ملائمة.(Paparella et al., 2015)

تتعدد أساليب تهيئة البذور وفقا للمادة المستخدمة؛ فالتهيئة المائية تعتمد على نقع البذور في الماء لمدة محددة، في حين تستخدم التهيئة الأسموزية محاليل ذات جهد مائي منخفض للتحكم في معدل امتصاص الماء. كما تشمل الأساليب الأخرى التهيئة بالأملاح أو بمنظمات النمو والمركبات الكيميائية. وتعد التهيئة المائية من أبسط الأساليب وأقلها تكلفة، إلا أن نجاح جميع الأساليب يرتبط بنوع النبات، وحالة البذور، ومدة النقع، ودرجة الحرارة، وتركيز المادة المستخدمة؛ لأن المعاملة المفرطة قد تسمح بخروج الجذير أو تضعف قدرة البذور على تحمل التجفيف اللاحق.(Lutts et al., 2016)

تساعد التهيئة على تنشيط مجموعة من العمليات الخلوية قبل الإنبات، تشمل إصلاح الأغشية والمكونات الجزيئية المتضررة، وتنشيط الإنزيمات المرتبطة بتعبئة المواد الغذائية المخزنة، وتحسين كفاءة منظومة مضادات الأكسدة. وعند إعادة ترطيب البذور المهيأة أثناء الزراعة، تستأنف هذه العمليات بصورة أسرع من البذور غير المهيأة، مما يقلل الزمن اللازم للإنبات ويزيد قدرة البادرات على التأسيس. وتحت الإجهاد الملحي، يمكن أن تسهم هذه الاستجابة في الحد من تأخر الإنبات الناتج عن انخفاض توفر الماء واضطراب تعبئة الاحتياطيات الغذائية.(Ibrahim, 2016)

وقد أكدت تجارب أجريت على بذور الشعير أن التهيئة المائية والتهيئة الأسموزية والمعاملة بنترات البوتاسيوم سرعت الإنبات ورفعت قوة البذور مقارنة بالبذور غير المهيأة، مع اختلاف درجة التحسن باختلاف مدة المعاملة وتركيز محلول التهيئة. وتوضح هذه النتائج أهمية ضبط ظروف التهيئة وعدم التعامل معها بوصفها إجراء ثابتا يصلح لجميع البذور والظروف.(Junhaeng et al., 2016)

وفي الظروف الملحية، بينت دراسة على نوعين محليين من الشعير أن تهيئة البذور باستخدام أملاح الكالسيوم والبوتاسيوم حسنت مؤشرات الإنبات ونمو البادرات بدرجات متفاوتة، وخفضت تراكم الصوديوم وتلف الأغشية مقارنة بالبذور غير المهيأة. وتشير هذه الاستجابة إلى أن التهيئة لا تقتصر على تسريع الإنبات، بل قد تهيئ البذور والبادرات لتنظيم التوازن الأيوني والاستجابة للإجهاد التأكسدي المصاحب للملوحة.(Ben Youssef et al., 2021)

3.6 حمض الساليسيليك ودوره في تخفيف آثار الإجهاد الملحي

حمض الساليسيليك مركب فينولي طبيعي يؤدي دورا تنظيميا في نمو النبات وتطوره واستجابته للظروف البيئية المختلفة. ولا يقتصر تأثيره على الدفاع ضد مسببات الأمراض، بل يمتد إلى تنظيم إنبات البذور، ونمو الجذور، والتمثيل الضوئي، وحركة الثغور، والشيخوخة النباتية. ويعمل بتركيزات منخفضة بوصفه جزيئا إشاريا يغير نشاط عدد من الجينات والإنزيمات المرتبطة باستجابة النبات للإجهاد، إلا أن تأثيره قد يختلف باختلاف تركيزه ونوع النبات ومرحلة نموه وطريقة تطبيقه (Rivas-San Vicente & Plasencia, 2011).

تؤدي الملوحة إلى زيادة إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية، مثل فوق أكسيد الهيدروجين والجذور الحرة، وقد يسبب تراكمها أكسدة الدهون وتضرر الأغشية والبروتينات والمواد الوراثية. ويمكن لحمض الساليسيليك أن يسهم في تخفيف هذه الأضرار من خلال تنظيم نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، وتعزيز تراكم بعض المركبات الواقية، والمحافظة على سلامة الأغشية والتوازن الأسموزي. وتعتمد الاستجابة على الجرعة؛ إذ تحقق التراكيز المناسبة أثرا محفزا، بينما قد تؤدي التراكيز المرتفعة أو غير الملائمة إلى زيادة الإجهاد التأكسدي أو تثبيط النمو.(Yang et al., 2023)

كما يرتبط تأثير حمض الساليسيليك في تحمل الملوحة بالمحافظة على الاتزان الأيوني داخل الخلايا. فقد أظهرت دراسة فسيولوجية أن المعاملة المسبقة به ساعدت على الحد من فقد البوتاسيوم الناتج عن كلوريد الصوديوم، وخففت إزالة استقطاب غشاء الخلية من خلال التأثير في قنوات البوتاسيوم. وتعد المحافظة على نسبة مناسبة بين البوتاسيوم والصوديوم ضرورية لاستمرار النشاط الإنزيمي وتنظيم الضغط الأسموزي ونمو الخلايا تحت الظروف الملحية.(Jayakannan et al., 2013)

وتعد تهيئة البذور بحمض الساليسيليك إحدى الطرق الممكنة للاستفادة من هذه الآليات في المراحل المبكرة للنمو. ففي دراسة مباشرة على الشعير، حسنت التهيئة بحمض الساليسيليك إنبات البذور ونمو البادرات تحت الملوحة، وخفضت تراكم أنواع الأكسجين التفاعلية وأكسدة الدهون، ورفعت نشاط منظومة الدفاع المضادة للأكسدة مقارنة بالبذور غير المهيأة. كما أظهرت الدراسة أن فاعلية التهيئة تعتمد على التركيز المستخدم وشدة الإجهاد الملحي، مما يؤكد ضرورة اختبار تراكيز متعددة لتحديد المعاملة الأكثر ملاءمة (Ellouzi et al., 2023).

7. الدراسات السابقة

تناولت دراسات متعددة دور تهيئة البذور وحمض الساليسيليك في تحسين استجابة الشعير والمحاصيل الحقلية للإجهاد الملحي، واختلفت في أنواع النباتات وتركيزات حمض الساليسيليك ومستويات الملوحة وطرق تطبيق المعاملة والمؤشرات المقاسة.

درس Ben Youssef et al. (2025) تأثير تهيئة بذور الشعير المزروع والشعير البري بحمض الساليسيليك في الإنبات والنمو المبكر تحت مستويات صفر و100 و200 مليمول/لتر من كلوريد الصوديوم. نقعت البذور لمدة 20 ساعة في حمض الساليسيليك بتركيز 1.25 مليمول/لتر، ثم قيمت النسبة النهائية للإنبات وطول الجذير والغمد الريشي والوزن الجاف والتوازن المعدني ومؤشرات تلف الأغشية. أظهرت النتائج أن الملوحة خفضت الإنبات والنمو، ولا سيما في الشعير المزروع، بينما حسنت التهيئة بحمض الساليسيليك الإنبات ونمو البادرات، وقللت تراكم الصوديوم وتسرب الإلكتروليتات وأكسدة الدهون.

وقارن Ellouzi et al. (2023) بين تهيئة بذور الشعير بحمض الساليسيليك وحمض الجبريليك وكلوريد الصوديوم في ظل الإجهاد الملحي. نقعت البذور لمدة 12 ساعة، ثم عرضت لمستويي صفر و75 مليمول/لتر من كلوريد الصوديوم. شملت القياسات نسبة الإنبات ومتوسط زمن الإنبات ونمو الجذور والمجموع الخضري والتوازن الأيوني ومؤشرات الإجهاد التأكسدي. بينت النتائج أن تهيئة البذور بحمض الساليسيليك رفعت نسبة الإنبات تحت الملوحة، وحسنت نمو البادرات، وخفضت تراكم الصوديوم وأنواع الأكسجين التفاعلية وأكسدة الدهون، مع رفع كفاءة منظومة مضادات الأكسدة.

كما بحث Ben Youssef et al. (2024) أثر تهيئة بذور الشعير المزروع والبري بحمض الساليسيليك بتركيز 1.25 مليمول/لتر وكلوريد الكالسيوم بتركيز 5 مليمول/لتر تحت مستويات صفر و100 و200 مليمول/لتر من كلوريد الصوديوم. طبقت الملوحة بعد وصول النباتات إلى مرحلة الورقة الثالثة، وقيس

التوازن المعدني وتسرب الإلكتروليتات وأكسدة الدهون ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة. أظهرت النتائج أن حمض الساليسيليك خفض تراكم الصوديوم، وحسن محتوى البوتاسيوم والعناصر المعدنية، وقلل تلف الأغشية، ورفع نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، خاصة في الشعير المزروع.

واختبر Fayez and Bazaid (2014) قدرة حمض الساليسيليك ونترات البوتاسيوم على تخفيف آثار الملوحة في نباتات الشعير المزروعة في الأصص. عرضت النباتات لتراكيز 50 و100 و150 مليمول/لتر من كلوريد الصوديوم، وطبق حمض الساليسيليك رشا على الأوراق بتركيز 50 ميكرومول/لتر. أدت الملوحة إلى خفض طول المجموع الخضري ووزنه الطازج ومحتوى الأصباغ الضوئية، في حين حسن حمض الساليسيليك النمو ومحتوى البوتاسيوم والنشاط المضاد للأكسدة، وقلل تراكم الصوديوم وأكسدة الدهون. وتوضح هذه النتائج قدرة حمض الساليسيليك على دعم النمو والمحافظة على التوازن الأيوني تحت الملوحة، رغم اختلاف طريقة تطبيقه عن تهيئة البذور.

وفي دراسة عربية، بحث بدر وآخرون (2025) دور حمض الساليسيليك في تخفيف سمية كلوريد الصوديوم في نباتي الشعير والقمح. استخدمت مستويات صفر و20 و40 و60 مليمكافئ/لتر من كلوريد الصوديوم، ورشت النباتات بعد الإنبات بحمض الساليسيليك بتركيز 100 ملغ/لتر. بينت النتائج أن زيادة الملوحة خفضت الإنبات وأطوال الجذور والسيقان والأوزان الطازجة والجافة ومحتوى الكلوروفيل، بينما حسنت المعاملة بحمض الساليسيليك عددا من صفات النمو والكتلة الحيوية والأصباغ الضوئية. إلا أن حمض الساليسيليك طبق بعد الإنبات، لذلك ترتبط نتائج الدراسة بنمو النباتات أكثر من ارتباطها بتهيئة البذور.

ودرس مقرم وآخرون (2024) تأثير نقع بذور صنفين من القمح في حمض الساليسيليك بتركيزي 100 و200 ملغ/لتر تحت مستويي 50 و150 مليمول/لتر من كلوريد الصوديوم. نفذت التجربة في أطباق بتري بثلاثة مكررات، وقيس الإنبات وطول البادرات والوزنان الطازج والجاف. أظهرت النتائج أن تركيز 100 ملغ/لتر حسن بعض مؤشرات الإنبات والنمو، خاصة تحت الملوحة المرتفعة، بينما كان تأثير تركيز 200 ملغ/لتر أقل ثباتا واختلف باختلاف الصنف. وتؤكد هذه النتيجة أن استجابة البذور لحمض الساليسيليك تعتمد على التركيز المستخدم والتركيب الوراثي للنبات.

يتضح من الدراسات السابقة أن حمض الساليسيليك يمكن أن يخفف آثار الإجهاد الملحي في الشعير والمحاصيل القريبة منه، إلا أن معظم الدراسات استخدمت تركيزا واحدا من الحمض، أو طبقته بالرش بعد الإنبات، أو ركزت على المؤشرات الفسيولوجية والكيميائية في مراحل نمو متقدمة. كما أن المقارنة المباشرة بين البذور غير المهيأة والتهيئة المائية وثلاثة تراكيز منخفضة ومتدرجة من حمض الساليسيليك ما تزال محدودة، خاصة عند تقييمها تحت مستويات صفر و100 و200 مليمول/لتر من كلوريد الصوديوم. لذلك تختبر الدراسة الحالية تراكيز 0.25 و0.50 و1.00 مليمول/لتر، وتقارنها بالتهيئة المائية والبذور غير المهيأة، اعتمادا على مؤشرات الإنبات ونمو البادرات والكتلة الحيوية ودليلي قوة البادرات، بهدف تحديد التركيز الأكثر كفاءة تحت درجات مختلفة من الإجهاد الملحي.

8. المواد وطرق العمل

1.8 مكان ومدة تنفيذ التجربة

تم تنفيذ التجربة داخل غرفة نمو بمدينة الزاوية، ليبيا، خلال الفترة من 7 إلى 17 فبراير 2026. وتم البدء بتهيئة بذور الشعير في 7 فبراير، في حين تم توزيع البذور في أطباق الإنبات في 8 فبراير 2026. واستمر تسجيل الإنبات يوميا مدة سبعة أيام، ثم تم إجراء القياسات النهائية للإنبات ونمو البادرات في 15 فبراير، وتم تسجيل الوزن الجاف للبادرات في 17 فبراير 2026، بعد استكمال مدة التجفيف المحددة.

2.8 المادة النباتية

تم استخدام بذور الشعير المأخوذة من دفعة واحدة متداولة محليا، وتحمل الرمز .ZW-BAR-2025-02 ، تم التعامل مع البذور بوصفها دفعة نباتية متجانسة واحدة طوال مدة التجربة. وقبل تطبيق المعاملات، تم استبعاد البذور المتضررة وغير المكتملة ظاهريا، ثم تم تعقيم البذور سطحيا باستخدام محلول هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز 1% مدة دقيقتين، وبعد ذلك تم غسلها ثلاث مرات بالماء المقطر للتخلص من بقايا محلول التعقيم.

3.8 التصميم التجريبي والمعاملات

تم تنفيذ التجربة وفق التصميم العشوائي الكامل في ترتيب عاملي مكون من عاملين. وتمثل العامل الأول في خمس معاملات لتهيئة البذور، وهي:

1. بذور غير مهيأة استخدمت بوصفها معاملة ضابطة(NP) .
2. بذور تمت تهيئتها بالماء المقطر(HP) .
3. بذور تمت تهيئتها بحمض الساليسيليك بتركيز 0.25 مليمول/لتر(SA025) .
4. بذور تمت تهيئتها بحمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر(SA050) .
5. بذور تمت تهيئتها بحمض الساليسيليك بتركيز 1.00 مليمول/لتر(SA100) .

وتمثل العامل الثاني في ثلاثة مستويات من الإجهاد الملحي الناتج عن كلوريد الصوديوم، وهي: صفر و100 و200 مليمول/لتر.

تم تكرار كل معاملة أربع مرات، واشتمل كل مكرر على 25 بذرة، وبذلك بلغ عدد الوحدات التجريبية 60 وحدة، بإجمالي 1500 بذرة، وفقا للترتيب العاملي الآتي:

5معاملات تهيئة × 3 مستويات ملوحة × 4 مكررات = 60 وحدة تجريبية.

تم اعتبار طبق بتري وحدة تجريبية مستقلة، كما تم توزيع الأطباق عشوائيا داخل غرفة النمو. وتم تغيير مواقع الأطباق دوريا عقب العد الصباحي للحد من أثر الاختلافات الموضعية المحتملة في درجة الحرارة والإضاءة.

4.8 تحضير محاليل حمض الساليسيليك

تم استخدام حمض الساليسيليك بدرجة تحليلية وبوزن جزيئي مقداره 138.12 غرام/مول. وتم تحضير 400 مل من كل تركيز مستخدم في التجربة؛ إذ تم إذابة 13.81 ملغ من حمض الساليسيليك في الماء المقطر للحصول على تركيز 0.25 مليمول/لتر، وتمت إذابة 27.62 ملغ للحصول على تركيز 0.50 مليمول/لتر، كما تمت إذابة 55.25 ملغ للحصول على تركيز 1.00 مليمول/لتر. وتم استخدام الماء المقطر في تحضير جميع محاليل حمض الساليسيليك وفي معاملة التهيئة المائية.

5.8 تحضير محاليل الإجهاد الملحي

تم تحضير محاليل الإجهاد الملحي باستخدام كلوريد الصوديوم بدرجة تحليلية. ولتحضير 500 مل من محلول كلوريد الصوديوم بتركيز 100 مليمول/لتر، تمت إذابة 2.922 غرام من كلوريد الصوديوم في الماء المقطر وإكمال الحجم إلى 500 مل. كما تمت إذابة 5.844 غرام من كلوريد الصوديوم وإكمال الحجم إلى 500 مل لتحضير محلول بتركيز 200 مليمول/لتر. أما معاملة الملوحة الصفرية، فقد تم فيها استخدام الماء المقطر دون إضافة كلوريد الصوديوم.

6.8 تهيئة البذور

تم تقسيم البذور إلى خمس مجموعات وفقا لمعاملات التهيئة المحددة. وتم الإبقاء على بذور المجموعة الأولى جافة دون نقع، واستخدمت بوصفها معاملة ضابطة غير مهيأة. وتم نقع بذور المجموعة الثانية في الماء المقطر مدة 12 ساعة لتمثل معاملة التهيئة المائية.

أما المجموعات الثلاث الأخرى، فقد تم نقعها مدة 12 ساعة في محاليل حمض الساليسيليك بتراكيز 0.25 و0.50 و1.00 مليمول/لتر، كل تركيز على حدة. وبعد انتهاء مدة التهيئة، تم التخلص من محاليل النقع، ثم تم تجفيف البذور سطحيا قبل توزيعها في أطباق الإنبات.

7.8 اختبار الإنبات وتطبيق الإجهاد الملحي

تم إجراء اختبار الإنبات في أطباق بتري بقطر 9 سم، وتم تبطين كل طبق بطبقتين من ورق الترشيح. وتم توزيع 25 بذرة بصورة منتظمة داخل كل طبق، ثم تمت إضافة 15 مل من محلول الملوحة المخصص لكل معاملة عند بداية اختبار الإنبات. وتمت إضافة الماء المقطر إلى معاملات الملوحة الصفرية، في حين تمت إضافة محلول كلوريد الصوديوم بتركيز 100 أو 200 مليمول/لتر إلى المعاملات الملحية المقابلة.

تم حفظ الأطباق داخل غرفة النمو عند درجة حرارة مستهدفة مقدارها 20 ± 2 درجة مئوية. وتراوحت درجة الحرارة الفعلية المسجلة خلال مدة التجربة بين 19.4 و21.3 درجة مئوية، في حين تراوحت

الرطوبة النسبية بين 52 و63%. وتم تعريض الأطباق لدورة ضوئية مكونة من 12 ساعة إضاءة و12 ساعة ظلام.
تم تسجيل عدد البذور حديثة الإنبات مرة واحدة يوميا مدة سبعة أيام. وفي نهاية مدة الاختبار، تم تسجيل العدد النهائي للبذور المنبتة، كما تم تصنيف البادرات إلى بادرات طبيعية وبادرات غير طبيعية، وتم تسجيل عدد البادرات الطبيعية المتاحة لإجراء قياسات النمو والكتلة الحيوية.

8.8 حساب مؤشرات الإنبات

تم حساب النسبة النهائية للإنبات باستخدام المعادلة الآتية:

النسبة النهائية للإنبات (%) = (العدد النهائي للبذور المنبتة ÷ العدد الكلي للبذور المزروعة) × 100

كما تم حساب متوسط زمن الإنبات وفقا للمعادلة المستخدمة من قبل Ellis and Roberts (1981) :

متوسط زمن الإنبات = مجموع $(n_i \times t_i)$ ÷ مجموع n_i

حيث يشير:

- n_i إلى عدد البذور التي أنبتت في زمن العد المحدد.
- t_i إلى عدد الأيام المنقضية منذ بداية اختبار الإنبات.

وتم حساب دليل الإنبات اعتمادا على أعداد البذور حديثة الإنبات المسجلة خلال أيام الاختبار، وفقا للمعادلة الآتية:

دليل الإنبات = $(n_1 \div 1) + (n_2 \div 2) + (n_3 \div 3) + \ldots + (n_7 \div 7)$

حيث تمثل n_1 إلى n_7 أعداد البذور حديثة الإنبات خلال الأيام من الأول إلى السابع، على التوالي. وتم اعتبار ارتفاع قيمة دليل الإنبات مؤشرا على زيادة عدد البذور المنبتة وسرعة حدوث الإنبات.

9.8 قياسات نمو البادرات

تم إجراء القياسات المورفولوجية في نهاية اليوم السابع من اختبار الإنبات. وتم اختيار عشر بادرات طبيعية من كل طبق، وعندما كان عدد البادرات الطبيعية أقل من عشر، تم قياس جميع البادرات الطبيعية المتاحة. وبلغ العدد الإجمالي للبادرات التي أجريت عليها القياسات الفردية 582 بادرة.

تم قياس طول الجذر وطول الريشة لكل بادرة بالسنتيمتر، ثم تم حساب الطول الكلي للبادرة من خلال جمع طول الجذر وطول الريشة، وفقا للمعادلة الآتية:

الطول الكلي للبادرة = طول الجذر + طول الريشة

وبعد استكمال القياسات الفردية، تم حساب متوسط طول الجذر، ومتوسط طول الريشة، ومتوسط الطول الكلي للبادرات على مستوى كل طبق.

10.8 قياس الوزن الطازج والجاف

تم تسجيل الوزن الطازج للبادرات مباشرة بعد استكمال قياسات الأطوال، وتم التعبير عنه بالغرام. وبعد ذلك تم تجفيف البادرات عند درجة حرارة 65 درجة مئوية مدة 48 ساعة، ثم تم تسجيل الوزن الجاف بعد انتهاء التجفيف.

وتم حساب متوسط الوزن الطازج والوزن الجاف لكل بادرة بقسمة الوزن الكلي للبادرات المقاسة في الطبق على عدد البادرات التي أجريت عليها القياسات، وفقا للمعادلتين الآتيتين:

متوسط الوزن الطازج للبادرة = الوزن الطازج الكلي للبادرات ÷ عدد البادرات المقاسة

متوسط الوزن الجاف للبادرة = الوزن الجاف الكلي للبادرات ÷ عدد البادرات المقاسة

وتم اعتماد المتوسط المحسوب على مستوى الطبق في التحليل الإحصائي، باعتبار الطبق وحدة تجريبية مستقلة.

11.8 حساب مؤشرات قوة البادرات

تم حساب دليل قوة البادرات المعتمد على الطول وفقا لطريقة(1973) Abdul-Baki and Anderson ، باستخدام المعادلة الآتية:
دليل قوة البادرات المعتمد على الطول = النسبة النهائية للإنبات × متوسط الطول الكلي للبادرة
كما تم حساب دليل قوة البادرات المعتمد على الوزن الجاف وفقا للمعادلة الآتية:
دليل قوة البادرات المعتمد على الوزن الجاف = النسبة النهائية للإنبات × متوسط الوزن الجاف للبادرة
وتم استخدام هذين المؤشرين لتقييم الأثر المتكامل لمعاملات التهيئة والإجهاد الملحي في نسبة الإنبات ونمو البادرات وتراكم المادة الجافة.

12.8 مراجعة البيانات وضبط جودتها

تمت مراجعة البيانات الخام قبل إجراء التحليل الإحصائي للتحقق من اكتمال جميع المعاملات والمكررات واتساق سجلات الإنبات والقياسات الفردية. كما تم التحقق من تطابق مجموع أعداد البذور حديثة الإنبات خلال الأيام السبعة مع العدد النهائي للإنبات في كل طبق، ومن توافق مجموع البادرات الطبيعية وغير الطبيعية مع العدد النهائي للبذور المنبتة.
وتمت مراجعة عدد البادرات المقاسة في كل طبق للتأكد من مطابقته لقاعدة اختيار عشر بادرات طبيعية أو قياس جميع البادرات الطبيعية المتاحة عندما يقل عددها عن عشر. ولم يتم تسجيل أي تلوث في الوحدات التجريبية طوال مدة تنفيذ التجربة.

13.8 التحليل الإحصائي

تم اعتبار طبق بتري وحدة تجريبية مستقلة، وتم استخدام المتوسطات المحسوبة على مستوى الطبق في جميع التحليلات الإحصائية، ولم يتم التعامل مع القياسات الفردية للبادرات بوصفها مكررات تجريبية مستقلة. وتم عرض البيانات في صورة المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لأربعة مكررات.
تم استخدام تحليل التباين الثنائي لتحديد تأثير عامل تهيئة البذور، وعامل مستوى الملوحة، والتفاعل بين العاملين في مؤشرات الإنبات ونمو البادرات والكتلة الحيوية وقوة البادرات. وتضمن النموذج الإحصائي خمسة مستويات لمعاملات التهيئة وثلاثة مستويات للملوحة، بالإضافة إلى التفاعل بينهما.
وعند ظهور فروق معنوية، تم استخدام اختبار توكي للمقارنات البعدية بين المتوسطات. وتم اعتماد مستوى دلالة إحصائية مقداره 0.05 للحكم على معنوية الفروق، بحيث تم اعتبار الفروق معنوية عندما كانت قيمة الاحتمال أقل من أو تساوي 0.05.

9. النتائج

تم عرض نتائج الدراسة وفقا لمؤشرات إنبات بذور الشعير، ونمو البادرات، والكتلة الحيوية، وقوة البادرات، اعتمادا على أربع مكررات لكل توليفة من معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة. وتم أولا التحليل الإحصائي، ثم استخدام تحليل التباين الثنائي لتحديد تأثير معاملات التهيئة، ومستويات الملوحة، والتفاعل بينهما. وعند ثبوت وجود تأثير معنوي، تمت مقارنة المتوسطات باستخدام اختبار توكي عند مستوى دلالة 0.05.

1.9 نتائج تحليل التباين لتأثير التهيئة والملوحة والتفاعل بينهما

أظهر فحص بواقي النماذج الإحصائية تحقق افتراض التوزيع الطبيعي لجميع المؤشرات المدروسة. كما تحقق تجانس التباين في معظم المؤشرات، باستثناء دليل الإنبات ودليل قوة البادرات المعتمد على الطول؛ لذلك تم تطبيق التحويل بالجذر التربيعي على قيم هذين المؤشرين قبل إجراء تحليل التباين. وقد أدى التحويل إلى تحسين تجانس التباين، في حين تم الاحتفاظ بالقيم الأصلية عند عرض المتوسطات في الأقسام اللاحقة.
أظهرت نتائج تحليل التباين الثنائي وجود تأثير معنوي لمعاملات تهيئة البذور في جميع مؤشرات الإنبات ونمو البادرات والكتلة الحيوية وقوة البادرات، كما كان لمستويات الملوحة تأثير معنوي في جميع المؤشرات المدروسة، إذ كانت قيمة الاحتمال أقل من 0.001 في جميع الحالات. وتدل هذه النتائج على اختلاف أداء البذور والبادرات باختلاف معاملة التهيئة ومستوى كلوريد الصوديوم.
أما التفاعل بين معاملات التهيئة ومستويات الملوحة، فقد كان معنويا في النسبة النهائية للإنبات، ومتوسط الوزن الطازج للبادرة، ودليل قوة البادرات المعتمد على الطول، ودليل قوة البادرات المعتمد على الوزن

الجاف. وتشير معنوية التفاعل إلى أن أثر معاملات التهيئة في هذه المؤشرات اختلف باختلاف مستوى الملوحة. وفي المقابل، لم يكن التفاعل معنويا في متوسط زمن الإنبات، ودليل الإنبات، وطول الجذر، وطول الريشة، والطول الكلي للبادرة، ومتوسط الوزن الجاف للبادرة، كما هو موضح في الجدول.(1)

جدول (1): نتائج تحليل التباين الثنائي لتأثير معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة والتفاعل بينهما في مؤشرات إنبات بذور الشعير ونمو البادرات وقوتها

المؤشر	معاملات التهيئة F(445 ،)	مستويات الملوحة F(245 ،)	التفاعل F(8 ، 45)
النسبة النهائية للإنبات (%)	29.597؛ p<0.001	821.218؛ p<0.001	7.626؛ p<0.001
متوسط زمن الإنبات (يوم)	10.831؛ p<0.001	178.780؛ p<0.001	2.090؛ p=0.057
دليل الإنبات[1]	18.563؛ p<0.001	377.962؛ p<0.001	1.670؛ p=0.132
طول الجذر (سم)	23.302؛ p<0.001	1427.623؛ p<0.001	1.707؛ p=0.123
طول الريشة (سم)	24.861؛ p<0.001	1358.670؛ p<0.001	0.792؛ p=0.612
الطول الكلي للبادرة (سم)	31.374؛ p<0.001	1835.129؛ p<0.001	1.442؛ p=0.206
متوسط الوزن الطازج للبادرة (غ/بادرة)	88.502؛ p<0.001	3119.007؛ p<0.001	3.330؛ p=0.004
متوسط الوزن الجاف للبادرة (غ/بادرة)	74.375؛ p<0.001	2911.670؛ p<0.001	1.930؛ p=0.079
دليل قوة البادرات المعتمد على الطول (%·سم)[1]	56.660؛ p<0.001	2530.271؛ p<0.001	3.596؛ p=0.003
دليل قوة البادرات المعتمد على الوزن الجاف (%·غ/بادرة)	99.532؛ p<0.001	3973.020؛ p<0.001	2.182؛ p=0.047

ملاحظة: تمثل القيم قيم F ومستويات الاحتمال المصاحبة لها، ويعد التأثير معنويا عندما تكون قيمة $p \leq 0.05$. بلغ عدد الوحدات التجريبية 60 وحدة، بواقع أربع مكررات لكل توليفة من معاملات التهيئة والملوحة.

[1]تم إجراء تحليل التباين بعد تطبيق التحويل بالجذر التربيعي، بينما تم عرض المتوسطات الأصلية غير المحولة في الجداول والأشكال اللاحقة.

وبناء على هذه النتائج، تم عرض المتوسطات التفاعلية للمؤشرات التي ظهر فيها تفاعل معنوي، وهي النسبة النهائية للإنبات، والوزن الطازج للبادرة، ودليلا قوة البادرات المعتمدان على الطول والوزن الجاف. أما المؤشرات التي لم يظهر فيها تفاعل معنوي، فقد تم عرضها ومقارنتها وفقا للتأثيرات الرئيسة لمعاملات التهيئة ومستويات الملوحة.

2.9 تأثير تهيئة البذور والإجهاد الملحي في مؤشرات الإنبات

أظهرت النسبة النهائية للإنبات استجابة مختلفة لمعاملات تهيئة البذور تبعا لمستوى الملوحة، بما يتفق مع معنوية التفاعل بين العاملين. ففي غياب كلوريد الصوديوم، تراوحت نسبة الإنبات بين 95% في البذور غير المهيأة و98% في البذور المهيأة بحمض الساليسيليك بتركيزي 0.25 و0.50 مليمول/لتر، ولم تسجل فروق معنوية بين معاملات التهيئة عند هذا المستوى.

عند مستوى ملوحة 100 مليمول/لتر، انخفضت نسبة الإنبات في جميع المعاملات، وسجلت البذور غير المهيأة أدنى متوسط بلغ 76%. وارتفعت النسبة إلى 82% مع التهيئة المائية، وإلى 84 و88 و84% عند التهيئة بحمض الساليسيليك بتراكيز 0.25 و0.50 و1.00 مليمول/لتر، على التوالي. وقد تفوقت معاملات حمض الساليسيليك الثلاث معنويا على البذور غير المهيأة، في حين لم تختلف التهيئة المائية معنويا عن البذور غير المهيأة أو معاملات حمض الساليسيليك.

وازداد الانخفاض في نسبة الإنبات عند مستوى 200 مليمول/لتر، إذ بلغت 42% في البذور غير المهيأة و52% في البذور المهيأة بالماء. وحققت التهيئة بحمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر أعلى نسبة إنبات بلغت 69%، وتفوقت معنويا على جميع معاملات التهيئة الأخرى. وبلغت نسبة الإنبات 59% عند تركيز 0.25 مليمول/لتر و57% عند تركيز 1.00 مليمول/لتر، ولم يختلف التركيزان معنويا، في حين تفوق تركيز 0.25 مليمول/لتر معنويا على التهيئة المائية. كما كانت معاملات التهيئة المائية وتراكيز حمض الساليسيليك جميعها أعلى معنويا من البذور غير المهيأة. وانخفضت نسبة الإنبات معنويا مع زيادة مستوى الملوحة داخل كل معاملة من معاملات التهيئة.

ويوضح الشكل (1) اختلاف استجابة النسبة النهائية للإنبات لمعاملات تهيئة البذور تحت مستويات الملوحة الثلاثة، مع وضوح تفوق تركيز حمض الساليسيليك 0.50 مليمول/لتر عند ارتفاع الإجهاد الملحي.

شكل (1): تأثير معاملات تهيئة بذور الشعير في النسبة النهائية للإنبات تحت مستويات مختلفة من الإجهاد الملحي.

ولعدم معنوية التفاعل بين معاملات التهيئة ومستويات الملوحة في متوسط زمن الإنبات ودليل الإنبات، تم عرض التأثيرات الرئيسة لكل عامل في الجدول (2). وأظهرت معاملات التهيئة تأثيرا معنويا في متوسط زمن الإنبات؛ إذ سجلت التهيئة بحمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر أقل متوسط بلغ 2.885 يوم، ولم تختلف معنويا عن تركيز 0.25 مليمول/لتر الذي سجل 3.060 أيام. وسجلت البذور غير المهيأة أعلى متوسط لزمن الإنبات بلغ 3.565 أيام، دون اختلاف معنوي عن التهيئة المائية وتركيز 1.00 مليمول/لتر. وبالنسبة إلى دليل الإنبات، سجل تركيز حمض الساليسيليك 0.50 مليمول/لتر أعلى متوسط بلغ 9.472، ولم يختلف معنويا عن تركيز 0.25 مليمول/لتر الذي بلغ متوسطه 8.190. وسجلت البذور غير المهيأة

أدنى متوسط بلغ 6.358، دون اختلاف معنوي عن التهيئة المائية، في حين سجل تركيز 1.00 مليمول/لتر قيمة وسطية بلغت 7.690.
وأدت زيادة مستوى الملوحة إلى تأخير الإنبات وخفض دليله بصورة معنوية ومتدرجة. فقد ارتفع متوسط زمن الإنبات من 2.454 يوم في غياب الملوحة إلى 3.109 أيام عند 100 مليمول/لتر، ثم إلى 4.151 أيام عند 200 مليمول/لتر. وفي المقابل، انخفض دليل الإنبات من 11.998 في معاملة الملوحة الصفرية إلى 7.654 عند 100 مليمول/لتر، ثم إلى 3.748 عند 200 مليمول/لتر، وكانت الفروق بين مستويات الملوحة الثلاثة معنوية.

جدول (2): تأثير معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة في متوسط زمن الإنبات ودليل إنبات بذور الشعير

العامل	المستوى	متوسط زمن الإنبات (يوم)	دليل الإنبات
معاملة التهيئة	بذور غير مهيأة (NP)	3.565 c	6.358 c
	تهيئة مائية(HP)	3.416 c	7.290 bc
	حمض الساليسيليك 0.25 مليمول/لتر	3.060 ab	8.190 ab
	حمض الساليسيليك 0.50 مليمول/لتر	2.885 a	9.472 a
	حمض الساليسيليك 1.00 مليمول/لتر	3.264 bc	7.690 b
مستوى الملوحة	صفر مليمول/لتر	2.454 a	11.998 a
	100مليمول/لتر	3.109 b	7.654 b
	200مليمول/لتر	4.151 c	3.748 c

ملاحظة: تمثل القيم المتوسطات الأصلية غير المحولة. تشير الحروف المختلفة داخل كل عامل وفي العمود نفسه إلى وجود فروق معنوية وفقا لاختبار توكي عند مستوى دلالة 0.05. وتم إجراء المقارنات الخاصة بدليل الإنبات على القيم المحولة بالجذر التربيعي، مع عرض المتوسطات الأصلية لتسهيل تفسير النتائج.

ويدل انخفاض متوسط زمن الإنبات وارتفاع دليل الإنبات على سرعة حدوث الإنبات.

3.9 تأثير تهيئة البذور والإجهاد الملحي في نمو البادرات

أظهرت نتائج تحليل التباين وجود تأثير معنوي لكل من معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة في طول الجذر وطول الريشة والطول الكلي للبادرة، في حين لم يكن التفاعل بين العاملين معنويا في هذه الصفات. وبناء على ذلك، تم عرض المتوسطات العامة لمعاملات التهيئة ومستويات الملوحة ومقارنتها بصورة مستقلة، كما هو موضح في الجدول.(3)
حققت تهيئة البذور بحمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر أعلى متوسطات لمؤشرات نمو البادرات؛ إذ بلغ متوسط طول الجذر 7.835 سم، وطول الريشة 6.307 سم، والطول الكلي للبادرة 14.142 سم، وكانت هذه المتوسطات أعلى معنويا من جميع معاملات التهيئة الأخرى. وفي المقابل، سجلت البذور غير المهيأة أدنى المتوسطات، حيث بلغ طول الجذر 6.293 سم، وطول الريشة 5.032 سم، والطول الكلي للبادرة 11.325 سم.
وسجلت التهيئة المائية والتهيئة بحمض الساليسيليك بتركيزي 0.25 و1.00 مليمول/لتر متوسطات أعلى معنويا من البذور غير المهيأة وأقل من التركيز 0.50 مليمول/لتر، دون وجود فروق معنوية بينها في مؤشرات النمو الثلاثة. وتراوحت متوسطات الطول الكلي للبادرة في هذه المعاملات بين 12.417 و13.079 سم.

كما أدت زيادة مستوى الملوحة إلى انخفاض معنوي ومتدرج في نمو البادرات. فقد انخفض متوسط طول الجذر من 10.672 سم في غياب الملوحة إلى 6.745 سم عند مستوى 100 مليمول/لتر، ثم إلى 3.878 سم عند مستوى 200 مليمول/لتر. وانخفض متوسط طول الريشة من 8.346 إلى 5.508 ثم إلى 3.045 سم عند مستويات الملوحة صفر و100 و200 مليمول/لتر، على التوالي.
وانعكس هذا الانخفاض على الطول الكلي للبادرة، الذي تراجع من 19.018 سم في غياب الملوحة إلى 12.253 سم عند مستوى 100 مليمول/لتر، ثم إلى 6.923 سم عند مستوى 200 مليمول/لتر. ويمثل ذلك انخفاضا قدره نحو 63.6% عند أعلى مستوى من الملوحة مقارنة بمعاملة الملوحة الصفرية.

جدول (3): تأثير معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة في مؤشرات نمو بادرات الشعير

العامل	المستوى	طول الجذر (سم)	طول الريشة (سم)	الطول الكلي للبادرة (سم)
معاملة التهيئة	بذور غير مهيأة(NP)	6.293 ± 0.117 c	5.032 ± 0.093 c	11.325 ± 0.183 c
	تهيئة مائية(HP)	6.955 ± 0.117 b	5.461 ± 0.093 b	12.417 ± 0.183 b
	حمض الساليسيليك 0.25 مليمول/لتر	7.331 ± 0.117 b	5.748 ± 0.093 b	13.079 ± 0.183 b
	حمض الساليسيليك 0.50 مليمول/لتر	7.835 ± 0.117 a	6.307 ± 0.093 a	14.142 ± 0.183 a
	حمض الساليسيليك 1.00 مليمول/لتر	7.077 ± 0.117 b	5.616 ± 0.093 b	12.693 ± 0.183 b
مستوى الملوحة	صفر مليمول/لتر	10.672 ± 0.090 a	8.346 ± 0.072 a	19.018 ± 0.141 a
	100مليمول/لتر	6.745 ± 0.090 b	5.508 ± 0.072 b	12.253 ± 0.141 b
	200مليمول/لتر	3.878 ± 0.090 c	3.045 ± 0.072 c	6.923 ± 0.141 c

ملاحظة: تمثل القيم المتوسطات الهامشية المقدرة ± الخطأ المعياري. وتشير الحروف المختلفة داخل كل عامل وفي العمود نفسه إلى وجود فروق معنوية وفقا لاختبار توكي عند مستوى دلالة 0.05. تم حساب متوسطات معاملات التهيئة من 12 وحدة تجريبية، ومتوسطات مستويات الملوحة من 20 وحدة تجريبية.

4.9 تأثير تهيئة البذور والإجهاد الملحي في الكتلة الحيوية للبادرات

أظهرت نتائج تحليل التباين وجود تأثير معنوي لكل من معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة في متوسط الوزن الطازج والوزن الجاف للبادرة. وكان التفاعل بين العاملين معنويا في الوزن الطازج، مما يشير إلى اختلاف استجابة هذا المؤشر لمعاملات التهيئة باختلاف مستوى الملوحة. وفي المقابل، لم يكن التفاعل معنويا في الوزن الجاف؛ لذلك تم عرض متوسطات التفاعل للوزن الطازج في الشكل (2)، بينما عرضت التأثيرات الرئيسة لمعاملات التهيئة ومستويات الملوحة في الوزن الجاف في الجدول.(4)
في غياب كلوريد الصوديوم، تراوح متوسط الوزن الطازج للبادرة بين 0.2765 غ/بادرة في البذور غير المهيأة و0.3152 غ/بادرة عند التهيئة بحمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر. وسجل تركيز 0.50 مليمول/لتر أعلى متوسط، ولم يختلف معنويا عن تركيز 0.25 مليمول/لتر الذي سجل 0.3083 غ/بادرة. وتفوق تركيز 0.50 مليمول/لتر معنويا على التهيئة المائية وتركيز 1.00 مليمول/لتر والبذور غير المهيأة، في حين سجلت البذور غير المهيأة أدنى متوسط معنوي.

عند مستوى ملوحة 100 مليمول/لتر، انخفض الوزن الطازج للبادرة في جميع معاملات التهيئة. وسجلت التهيئة بحمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر أعلى متوسط بلغ 0.2464 غ/بادرة، متفوقة معنويا على بقية المعاملات. وجاء تركيزا 0.25 و1.00 مليمول/لتر في المرتبة التالية بمتوسطين بلغا 0.2255 و0.2277 غ/بادرة، على التوالي، دون وجود فرق معنوي بينهما. أما التهيئة المائية والبذور غير المهيأة فقد سجلتا أدنى المتوسطات، إذ بلغتا 0.2112 و0.2017 غ/بادرة، على التوالي، دون اختلاف معنوي بينهما.

وازداد الانخفاض في الوزن الطازج عند مستوى الملوحة 200 مليمول/لتر. وحققت التهيئة بحمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر أعلى متوسط بلغ 0.1578 غ/بادرة، وتفوقت معنويا على جميع المعاملات الأخرى. وسجل تركيزا 0.25 و1.00 مليمول/لتر متوسطين بلغا 0.1442 و0.1382 غ/بادرة، على التوالي، دون وجود فرق معنوي بينهما. وانخفض المتوسط إلى 0.1201 غ/بادرة مع التهيئة المائية، بينما سجلت البذور غير المهيأة أدنى قيمة بلغت 0.0962 غ/بادرة. كما انخفض الوزن الطازج معنويا عند زيادة مستوى الملوحة من صفر إلى 100 ثم إلى 200 مليمول/لتر داخل جميع معاملات التهيئة.

ويبين الشكل (2) الانخفاض المتدرج في متوسط الوزن الطازج للبادرات مع زيادة الملوحة، مع استمرار تفوق التهيئة بحمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر عند المستويات الثلاثة.

شكل (2): تأثير معاملات تهيئة بذور الشعير في متوسط الوزن الطازج للبادرة تحت مستويات مختلفة من الإجهاد الملحي.

وبالنسبة إلى الوزن الجاف، أظهرت المقارنات بين المتوسطات أن التهيئة بحمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر سجلت أعلى متوسط عام بلغ 0.0302 غ/بادرة، وتفوقت معنويا على جميع معاملات التهيئة الأخرى. وسجل تركيزا 0.25 و1.00 مليمول/لتر متوسطين بلغا 0.0285 و0.0282 غ/بادرة، على التوالي، دون وجود فرق معنوي بينهما. وجاءت التهيئة المائية بمتوسط بلغ 0.0270 غ/بادرة، في حين سجلت البذور غير المهيأة أدنى متوسط بلغ 0.0248 غ/بادرة.

كما انخفض متوسط الوزن الجاف بصورة معنوية ومتدرجة مع زيادة مستوى الملوحة؛ إذ بلغ 0.0367 غ/بادرة في غياب كلوريد الصوديوم، وانخفض إلى 0.0293 غ/بادرة عند مستوى 100 مليمول/لتر، ثم إلى 0.0172 غ/بادرة عند مستوى 200 مليمول/لتر. وبلغت نسبة الانخفاض عند أعلى مستوى من الملوحة نحو 53.0% مقارنة بمعاملة الملوحة الصفرية.

جدول (4): تأثير معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة في متوسط الوزن الجاف لبادرات الشعير

العامل	المستوى	متوسط الوزن الجاف (غ/بادرة)

معاملة التهيئة	بذور غير مهيأة(NP)	0.0248 ± 0.0002 d
	تهيئة مائية(HP)	0.0270 ± 0.0002 c
	حمض الساليسيليك 0.25 مليمول/لتر	0.0285 ± 0.0002 b
	حمض الساليسيليك 0.50 مليمول/لتر	0.0302 ± 0.0002 a
	حمض الساليسيليك 1.00 مليمول/لتر	0.0282 ± 0.0002 b
مستوى الملوحة	صفر مليمول/لتر	0.0367 ± 0.0002 a
	100مليمول/لتر	0.0293 ± 0.0002 b
	200مليمول/لتر	0.0172 ± 0.0002 c

ملاحظة: تمثل القيم المتوسطات الهامشية المقدرة ± الخطأ المعياري. وتشير الحروف المختلفة داخل كل عامل وفي العمود نفسه إلى وجود فروق معنوية وفقا لاختبار توكي عند مستوى دلالة 0.05. تم حساب متوسطات معاملات التهيئة من 12 وحدة تجريبية، ومتوسطات مستويات الملوحة من 20 وحدة تجريبية.

5.9 تأثير تهيئة البذور والإجهاد الملحي في قوة البادرات

أظهرت نتائج تحليل التباين وجود تأثير معنوي للتفاعل بين معاملات تهيئة البذور ومستويات الملوحة في كل من دليل قوة البادرات المعتمد على الطول ودليل قوة البادرات المعتمد على الوزن الجاف. وتشير هذه النتيجة إلى اختلاف استجابة مؤشري قوة البادرات لمعاملات التهيئة تبعا لمستوى الملوحة؛ لذلك تم عرض المتوسطات التفاعلية للمؤشرين في الشكل.(3)

دليل قوة البادرات المعتمد على الطول

في غياب كلوريد الصوديوم، سجلت التهيئة بحمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر أعلى متوسط لدليل قوة البادرات المعتمد على الطول بلغ 2037.019 %·سم، ولم يختلف معنويا عن التركيز 0.25 مليمول/لتر الذي سجل 1885.553 %·سم. وسجلت التهيئة المائية وتركيز حمض الساليسيليك 1.00 مليمول/لتر متوسطين بلغا 1842.298 و1761.047 %·سم، على التوالي، دون اختلاف معنوي بينهما أو عن تركيز 0.25 مليمول/لتر. وفي المقابل، سجلت البذور غير المهيأة أدنى متوسط بلغ 1682.592 %·سم، وكان أقل معنويا من تركيزي 0.25 و0.50 مليمول/لتر.

عند مستوى ملوحة 100 مليمول/لتر، حقق تركيز حمض الساليسيليك 0.50 مليمول/لتر أعلى متوسط بلغ 1190.409 %·سم، ولم يختلف معنويا عن التركيزين 0.25 و1.00 مليمول/لتر، اللذين سجلا 1066.846 و1054.406 %·سم، على التوالي. كما لم يختلف التركيزان 0.25 و1.00 مليمول/لتر معنويا عن التهيئة المائية التي سجلت 981.796 %·سم. أما البذور غير المهيأة فسجلت أدنى متوسط بلغ 800.658 %·سم، وكان أقل معنويا من جميع معاملات التهيئة.

وازداد وضوح الفروق بين معاملات التهيئة عند مستوى الملوحة 200 مليمول/لتر. فقد سجل تركيز حمض الساليسيليك 0.50 مليمول/لتر أعلى متوسط بلغ 561.485 %·سم، وتفوق معنويا على جميع المعاملات الأخرى. وسجل التركيزان 0.25 و1.00 مليمول/لتر متوسطين بلغَا 431.354 و410.277 %·سم، على التوالي، دون وجود فرق معنوي بينهما. وجاءت التهيئة المائية بعدهما بمتوسط بلغ 326.198 %·سم، في حين سجلت البذور غير المهيأة أدنى قيمة بلغت 239.351 %·سم. كما انخفض دليل قوة البادرات المعتمد على الطول معنويا مع زيادة الملوحة من صفر إلى 100 ثم إلى 200 مليمول/لتر داخل جميع معاملات التهيئة.

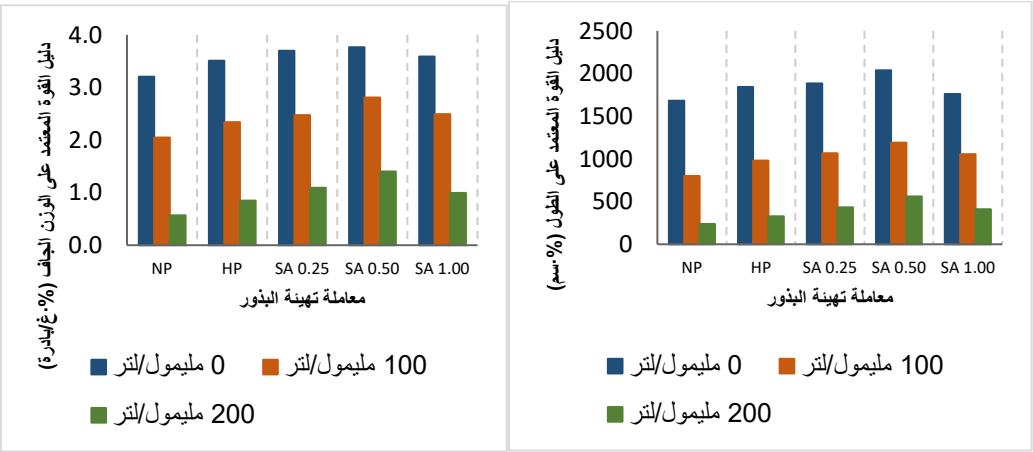
دليل قوة البادرات المعتمد على الوزن الجاف

في غياب الملوحة، سجلت التهيئة بحمض الساليسيليك بتركيزي 0.50 و0.25 مليمول/لتر أعلى متوسطين لدليل قوة البادرات المعتمد على الوزن الجاف، إذ بلغَا 3.765 و3.696 %·غ/بادرة، على التوالي، دون وجود فرق معنوي بينهما. كما لم يختلف تركيز 1.00 مليمول/لتر، الذي سجل 3.589 %·غ/بادرة، معنويا عن هذين التركيزين أو عن التهيئة المائية التي سجلت 3.510 %·غ/بادرة. وفي المقابل، سجلت البذور غير المهيأة أدنى متوسط بلغ 3.207 %·غ/بادرة، وكان أقل معنويا من جميع معاملات التهيئة.

عند مستوى ملوحة 100 مليمول/لتر، حقق تركيز حمض الساليسيليك 0.50 مليمول/لتر أعلى متوسط بلغ 2.808 %·غ/بادرة، وتفوق معنويا على جميع المعاملات الأخرى. وسجلت التهيئة المائية وتركيزا حمض الساليسيليك 0.25 و1.00 مليمول/لتر متوسطات بلغت 2.342 و2.475 و2.494 %·غ/بادرة، على التوالي، دون وجود فروق معنوية بينها. أما البذور غير المهيأة فسجلت أدنى متوسط بلغ 2.045 %·غ/بادرة.

وعند مستوى الملوحة 200 مليمول/لتر، استمر تفوق تركيز حمض الساليسيليك 0.50 مليمول/لتر، إذ سجل أعلى متوسط بلغ 1.401 %·غ/بادرة. وسجل التركيزان 0.25 و1.00 مليمول/لتر متوسطين بلغَا 1.090 و0.995 %·غ/بادرة، على التوالي، دون اختلاف معنوي بينهما. كما لم يختلف تركيز 1.00 مليمول/لتر معنويا عن التهيئة المائية التي سجلت 0.850 %·غ/بادرة. وسجلت البذور غير المهيأة أدنى متوسط بلغ 0.568 %·غ/بادرة، وكان أقل معنويا من جميع معاملات التهيئة. وانخفض دليل قوة البادرات المعتمد على الوزن الجاف معنويا مع زيادة مستوى الملوحة داخل جميع معاملات التهيئة.

ويعرض الشكل (3) استجابة دليلي قوة البادرات لمعاملات التهيئة والملوحة، إذ انخفض المؤشران مع ارتفاع مستوى الملوحة، في حين حافظ تركيز حمض الساليسيليك 0.50 مليمول/لتر على أعلى القيم في الجزأين (أ) و(ب).



شكل (3): تأثير معاملات تهيئة بذور الشعير في دليلي قوة البادرات تحت مستويات مختلفة من الإجهاد الملحي: (أ) دليل قوة البادرات المعتمد على الطول (%·سم)، و(ب) دليل قوة البادرات المعتمد على الوزن الجاف (%·غ/بادرة)

10. مناقشة النتائج

أظهرت النتائج أن زيادة تركيز كلوريد الصوديوم أدت إلى انخفاض واضح في إنبات بذور الشعير ونمو البادرات وتراكم الكتلة الحيوية وقوة البادرات. فقد انخفضت نسبة الإنبات في البذور غير المهيأة من 95% في غياب الملوحة إلى 42% عند 200 مليمول/لتر. ويرتبط ذلك بانخفاض الجهد المائي للوسط وصعوبة امتصاص البذور للماء، إلى جانب التأثيرات الأيونية الناتجة عن تراكم الصوديوم والكلوريد. وتتفق هذه النتيجة مع Ben Youssef et al. (2025) وبدر وآخرين (2025)، اللذين سجلا انخفاضا في إنبات الشعير ونموه مع ارتفاع الملوحة، مما يدعم الفرضية المتعلقة بوجود فروق معنوية بين مستويات الملوحة.

حسنت تهيئة البذور الصفات المدروسة مقارنة بالبذور غير المهيأة، وكان أثرها أكثر وضوحا تحت الملوحة. فقد رفعت التهيئة المائية نسبة الإنبات عند 200 مليمول/لتر من 42% إلى 52%، بينما رفعها حمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر إلى 69%. ويشير تفوق حمض الساليسيليك على التهيئة المائية إلى أن التحسن لم ينتج عن الترطيب المسبق وحده، بل ارتبط بدوره التنظيمي في استجابة البذور للإجهاد. ويتفق ذلك مع Ellouzi et al. (2023)، الذين وجدوا أن تهيئة بذور الشعير بحمض الساليسيليك حسنت الإنبات ونمو البادرات تحت الملوحة.

سجل تركيز 0.50 مليمول/لتر أعلى وزن طازج وأعلى قيم لدليلي قوة البادرات عند مستويات الملوحة المختلفة. فعند 200 مليمول/لتر بلغ دليل القوة المعتمد على الطول 561.5 مقابل 239.4 في البذور غير المهيأة، وبلغ الدليل المعتمد على الوزن الجاف 1.401 مقابل 0.568. وقد يرتبط هذا التحسن بالمحافظة على سلامة الأغشية والتوازن المائي والأيوني، وهي آليات تدعمها نتائج Ben Youssef et al. (2024) وFayez and Bazaid (2014)، دون أن تكون قد قيست مباشرة في الدراسة الحالية.

كان تركيز 1.00 مليمول/لتر أقل كفاءة من تركيز 0.50 مليمول/لتر، رغم تفوقه غالبا على البذور غير المهيأة، مما يوضح أن استجابة البذور لحمض الساليسيليك تعتمد على التركيز وأن زيادة الجرعة لا تعني بالضرورة زيادة الفاعلية. وتتفق هذه النتيجة مع مقرم وآخرين (2024). وبذلك تدعم النتائج فرضيات تأثير التهيئة والملوحة والتفاعل بينهما، وتبين أن تركيز 0.50 مليمول/لتر كان الأكثر كفاءة ضمن التراكيز المختبرة.

11. الخاتمة

خلصت الدراسة إلى أن الإجهاد الملحي يؤثر سلبا في إنبات بذور الشعير ونمو البادرات وتراكم الكتلة الحيوية، وأن شدة هذا التأثير تزداد مع ارتفاع تركيز كلوريد الصوديوم من 100 إلى 200 مليمول/لتر. وقد ظهر ذلك في انخفاض النسبة النهائية للإنبات والوزن الطازج ودليلي قوة البادرات، مما يؤكد حساسية مرحلة الإنبات والنمو المبكر لارتفاع ملوحة الوسط.

أثبتت تهيئة البذور قدرتها على الحد من هذه التأثيرات، إذ حققت التهيئة المائية تحسنا ملحوظا مقارنة بالبذور غير المهيأة، بينما كانت التهيئة بحمض الساليسيليك أكثر فاعلية في معظم الصفات المدروسة. وتفوق تركيز 0.50 مليمول/لتر على بقية التراكيز، وسجل أعلى قيم للإنبات والوزن الطازج وقوة البادرات تحت مستويات الملوحة المختلفة. في المقابل، كان تركيز 1.00 مليمول/لتر أقل كفاءة من التركيز المتوسط، مما يبين أن استجابة بذور الشعير لحمض الساليسيليك تعتمد على التركيز، وأن زيادة الجرعة لا تقترن بالضرورة بزيادة التحسن.

تؤكد النتائج وجود تأثيرات معنوية لكل من مستوى الملوحة ومعاملة التهيئة والتفاعل بينهما، وتدعم استخدام حمض الساليسيليك بتركيز 0.50 مليمول/لتر معاملة واعدة لتحسين قدرة بذور الشعير على الإنبات وتكوين بادرات أكثر قوة تحت الإجهاد الملحي. ومع ذلك، يتطلب اعتماد هذه المعاملة في الإنتاج الزراعي اختبارها في ظروف التربة والحقل وعلى أصناف مختلفة من الشعير.

قائمة المراجع

بدر، عايدة سعد، شكلول، سعاد محمد، السريتي، سعاد محمد، جعفر، غادة إسماعيل، وجود، ميار جمعة. (2025). دور حمض السالسليك في التخفيف من سمية ملح كلوريد الصوديوم في نباتي الشعير والقمح. *مجلة التربوي، 26*، 1140–1158. https://doi.org/10.65137/tj.v26.1271

مقرم، ذكرى عبدالله، باهرمز، ياسر سعيد، وبن سلمان، سالم محمد. (2024). تأثير حامض السالسليك على إنبات صنفين من القمح (*Triticum aestivum* L.) تحت ظروف الإجهاد الملحي. *مجلة الأكاديمية للعلوم الأساسية والتطبيقية، 6*(2)، 1–15.

Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science, 13*(6), 630–633. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x

Awad, A., Odat, N., Abu-Romman, S., Hasan, M., & Al-Tawaha, A. R. (2021). Effect of salinity on germination and root growth of Jordanian barley. *Journal of Ecological Engineering, 22*(1), 41–50. https://doi.org/10.12911/22998993/128875

Ben Youssef, R., Jelali, N., Boukari, N., Albacete, A., Martinez, C., Alfocea, F. P., & Abdelly, C. (2021). The efficiency of different priming agents for improving germination and early seedling growth of local Tunisian barley under salinity stress. *Plants, 10*(11), 2264. https://doi.org/10.3390/plants10112264

Ben Youssef, R., Jelali, N., Martínez-Andújar, C., Abdelly, C., & Hernández, J. A. (2024). Salicylic acid and calcium chloride seed priming: A prominent frontier in inducing mineral nutrition balance and antioxidant system capacity to enhance the tolerance of barley plants to salinity. *Plants, 13*(9), 1268. https://doi.org/10.3390/plants13091268
Ben Youssef, R., Jelali, N., Acosta Motos, J. R., Abdelly, C., & Albacete, A. (2025). Salicylic acid seed priming: A key frontier in conferring salt stress tolerance in barley seed germination and seedling growth. *Agronomy, 15*(1), 154. https://doi.org/10.3390/agronomy15010154
Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4
Cope, J. E., Norton, G. J., George, T. S., & Newton, A. C. (2022). Evaluating variation in germination and growth of landraces of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salinity stress. *Frontiers in Plant Science, 13*, 863069. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.863069
Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology, 9*(2), 373–409.
Ellouzi, H., Zorrig, W., Amraoui, S., Oueslati, S., Abdelly, C., Rabhi, M., Siddique, K. H. M., & Hessini, K. (2023). Seed priming with salicylic acid alleviates salt stress toxicity in barley by suppressing ROS accumulation and improving antioxidant defense systems, compared to halo- and gibberellin priming. *Antioxidants, 12*(9), 1779. https://doi.org/10.3390/antiox12091779
Fayez, K. A., & Bazaid, S. A. (2014). Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13*(1), 45–55. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.01.001
Ibrahim, E. A. (2016). Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Journal of Plant Physiology, 192*, 38–46. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.011
Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z., & Shabala, S. (2013). Salicylic acid improves salinity tolerance in *Arabidopsis* by restoring membrane potential and preventing salt-induced K+ loss via a GORK channel. *Journal of Experimental Botany, 64*(8), 2255–2268. https://doi.org/10.1093/jxb/ert085
Junhaeng, P., Thobunluepop, P., Chanprasert, W., & Nakasathien, S. (2016). The use of seed priming treatments to improve the quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) for malting. *Journal of Developments in Sustainable Agriculture, 10*(2), 115–120. https://doi.org/10.11178/jdsa.10.115
Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyla, L., Kubala, S., Pace, R., Lechowska, K., Quinet, M., & Garnczarska, M. (2016). Seed priming: New comprehensive approaches for an old empirical technique. In S. S. Araújo and A. Balestrazzi (Eds.), *New challenges in seed biology: Basic and translational research driving seed technology*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/64420
Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology, 59*, 651–681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
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
Rivas-San Vicente, M., & Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defence: Its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany, 62*(10), 3321–3338. https://doi.org/10.1093/jxb/err031
Yang, W., Zhou, Z., & Chu, Z. (2023). Emerging roles of salicylic acid in plant saline stress tolerance. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(4), 3388. https://doi.org/10.3390/ijms24043388
Najeeb Abdulsalm Alshami, Abusif Sonousi, & Bilkess Meloud Salim. (2026). Comparative Effects of Chitosan and Nano Silver on Chickpea Germination and Seedling Growth . *Journal*

of Libyan Academy Bani Walid, *2*(3), 50–61. Retrieved from https://journals.labjournal.ly/index.php/Jlabw/article/view/576

Zeinab D. Almarid, Fozia A. Mohammed, Alshafei M. Aljarani, & Mostafa M. Rady. (2025). Effect of seed soaking in proline on growth and production of salt-stressed maize plants. *Journal of Libyan Academy Bani Walid*, *1*(3), 125–133. https://doi.org/10.61952/jlabw.v1i3.194

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of ALBAHIT and/or the editor(s). ALBAHIT and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content