Comprehensive Journal of Science
Volume (11), Issue (41), (JUNE, 2026)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (11) العدد 41 يونيو 2026
ردمد: 3014-6266

تأثير تراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم على إنبات بذور القمح ونمو البادرات المبكر في منطقة الزاوية – ليبيا

فاطمة علي الدويب إسراب
كلية التربية ناصر – جامعة الزاوية
f.israb@zu.edu.ly
https://orcid.org/0009-0001-7592-5281

Effect of different sodium chloride concentrations on wheat seed germination and early seedling growth in the Zawiya region – Libya

Fatima Ali Al-Dweib Esrab
Faculty of Education, Nasser – Zawiya University

تاريخ الاستلام:2026/05/05 –تاريخ المراجعة:2026/05/28– تاريخ القبول: 2026/06/07– تاريخ للنشر: 17/06/ 2026

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير تراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم على إنبات بذور القمح ونمو البادرات المبكر في منطقة الزاوية – ليبيا، في ضوء أهمية مرحلة الإنبات بوصفها مرحلة حاسمة في نجاح التأسيس الأولي للمحصول تحت ظروف الإجهاد الملحي. تم تنفيذ التجربة باستخدام خمسة تراكيز من NaCl هي 0، 25، 50، 75، و100 ملي مولار، وفق تصميم عشوائي كامل، وبواقع أربعة مكررات لكل معاملة و25 بذرة لكل مكرر. تم تسجيل الإنبات يوميًا لمدة سبعة أيام، بينما أُجريت قياسات النمو المبكر في اليوم الرابع عشر، وشملت الصفات المدروسة نسبة الإنبات، متوسط زمن الإنبات، طول الجذر، طول المجموع الخضري، طول البادرة الكلي، الوزن الطازج والجاف، ومؤشري قوة البادرة، اظهرت النتائج أن زيادة تركيز NaCl أدت إلى انخفاض معنوي في معظم الصفات المدروسة، إذ تراجعت نسبة الإنبات من 93% في معاملة الشاهد إلى 50% عند 100 ملي مولار، بينما ارتفع متوسط زمن الإنبات من 3.56 إلى 5.11 يوم. كما انخفض طول البادرة الكلي من 20.17 إلى 7.42 سم، وتراجع الوزن الطازج من 2.21 إلى 0.78 جم/10 بادرات، والوزن الجاف من 0.29 إلى 0.10 جم/10 بادرات. كذلك انخفض مؤشر قوة البادرة I من 1878.50 إلى 370.20، ومؤشر قوة البادرة II من 27.26 إلى 4.98، وتؤكد النتائج أن ملوحة كلوريد الصوديوم أثرت سلبًا في إنبات القمح ونمو بادراته المبكر، وأن التراكيز المرتفعة، خاصة 75 و100 ملي مولار، كانت الأكثر تثبيطًا لمؤشرات النمو والحيوية، وتوصي الدراسة بتقييم ملوحة وسط الزراعة ومياه الري قبل زراعة القمح، مع الاعتماد على مجموعة متكاملة من مؤشرات الإنبات والنمو عند تقدير تحمل القمح للملوحة.

الكلمات المفتاحية: القمح؛ كلوريد الصوديوم؛ الإجهاد الملحي؛ الإنبات؛ نمو البادرات؛ مؤشر قوة البادرة؛ الزاوية – ليبيا.

Abstract

This study aimed to evaluate the effect of different sodium chloride concentrations on seed germination and early seedling growth of wheat (*Triticum aestivum L.*) in Al-Zawiya, Libya, considering the importance of the germination stage as a critical phase for successful crop establishment under salt stress. The experiment was conducted using five NaCl concentrations: 0, 25, 50, 75, and 100 mM, arranged in a completely randomized design with four replicates per treatment and 25 seeds per replicate. Germination was recorded daily for seven days, while early growth measurements were taken on the fourteenth day. The studied traits included germination percentage, mean germination time, root length, shoot length,

total seedling length, fresh and dry weight, and seedling vigor indices I and II. The results showed that increasing NaCl concentration caused a significant reduction in most studied traits. Germination percentage decreased from 93% in the control treatment to 50% at 100 mM NaCl, whereas mean germination time increased from 3.56 to 5.11 days. Total seedling length declined from 20.17 to 7.42 cm, while fresh weight decreased from 2.21 to 0.78 g/10 seedlings and dry weight from 0.29 to 0.10 g/10 seedlings. Seedling vigor index I also decreased from 1878.50 to 370.20, and seedling vigor index II from 27.26 to 4.98. These findings indicate that sodium chloride salinity negatively affected wheat germination and early seedling growth, particularly at higher concentrations, especially 75 and 100 mM. The study recommends assessing the salinity of the growth medium and irrigation water before wheat cultivation and using integrated germination and growth indicators to evaluate wheat response to salinity.

Keywords: wheat; sodium chloride; salt stress; germination; seedling growth; seedling vigor index; Al-Zawiya, Libya.

1. المقدمة

1.1 الخلفية

يُعد القمح من أهم محاصيل الحبوب في العالم، إذ يدخل بصورة مباشرة في الأمن الغذائي لما يوفره من مصدر رئيسي للطاقة والبروتين لشرائح واسعة من السكان، وتزداد أهمية هذا المحصول في البيئات الجافة وشبه الجافة، ومنها ليبيا، حيث ترتبط استدامة إنتاجه بقدرة النبات على مواجهة العوامل البيئية المحددة للنمو، وتشير بيانات منظمة الأغذية والزراعة إلى أن القمح، إلى جانب الذرة والأرز، شكّل جزءًا رئيسيًا من إنتاج الحبوب العالمي عام 2023، مما يؤكد مكانته الاستراتيجية في النظم الزراعية والغذائية المعاصرة (FAO, 2024).

تُعد ملوحة التربة ومياه الري من أبرز صور الإجهاد غير الحيوي التي تحد من إنبات البذور ونمو البادرات، خاصة في المراحل الأولى من حياة النبات، ويؤدي ارتفاع تركيز كلوريد الصوديوم في وسط النمو إلى خفض الجهد الأسموزي حول البذرة، مما يعيق امتصاص الماء اللازم لبدء العمليات الأيضية المرتبطة بالإنبات. كما قد ينتج عن تراكم أيوني الصوديوم والكلور اضطراب في الاتزان الأيوني، وتراجع في النشاط الفسيولوجي، وازدياد في الإجهاد التأكسدي داخل أنسجة النبات، وهو ما ينعكس سلبًا على النمو الخضري والجذري للبادرات (Alhudhaibi et al., 2024).

وتُظهر الدراسات الحديثة على القمح أن تأثير الملوحة لا يقتصر على خفض نسبة الإنبات، بل يمتد إلى إبطاء سرعة الإنبات وتقليل طول الجذير والرويشة وخفض الوزنين الطازج والجاف، وقد أكدت دراسة ليبية حديثة أُجريت على صنفين محليين من القمح أن الزيادة التدريجية في تركيز كلوريد الصوديوم أدت إلى تدهور واضح في مؤشرات الإنبات والنمو المبكر، مع زيادة متوسط زمن الإنبات تحت التراكيز الملحية المرتفعة (المغربي ومرقب، 2025)، وانطلاقًا من ذلك، تأتي هذه الدراسة لتقييم استجابة بذور القمح لتراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم في منطقة الزاوية – ليبيا، بما يوفر أساسًا علميًا لفهم حساسية القمح للملوحة في مرحلة الإنبات والنمو المبكر.

2.1 مشكلة الدراسة

تُعد الملوحة من أبرز عوامل الإجهاد غير الحيوي التي تحد من نجاح إنبات القمح وتأسيس بادراته، خاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة، ويؤدي ارتفاع تركيز كلوريد الصوديوم في وسط الإنبات إلى إحداث إجهاد أسموزي وأيوني قد ينعكس في صورة انخفاض نسبة الإنبات، وبطء حدوثه، وتراجع نمو الجذور والمجموع الخضري والكتلة الحيوية للبادرات. وفي منطقة الزاوية – ليبيا، تزداد أهمية هذه المشكلة مع احتمالية تأثر التربة أو مياه الري بالتملح، في حين لا تزال البيانات المحلية حول استجابة القمح لتراكيز محددة من NaCl في مرحلة الإنبات والنمو المبكر محدودة. لذلك تتمثل مشكلة الدراسة

في الحاجة إلى تحديد مستوى تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم المختلفة على مؤشرات الإنبات والنمو المبكر للقمح تحت ظروف منطقة الزاوية.

وعليه، تسعى الدراسة إلى الإجابة عن السؤال الرئيس الآتي:

ما تأثير التراكيز المختلفة من كلوريد الصوديوم على إنبات بذور القمح ونمو البادرات المبكر في منطقة الزاوية – ليبيا؟

ويتفرع من هذا السؤال الأسئلة الفرعية الآتية:

1. ما تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم المختلفة على نسبة الإنبات ومتوسط زمن الإنبات لبذور القمح؟
2. إلى أي مدى تؤثر هذه التراكيز على نمو الجذر والمجموع الخضري وطول البادرة الكلي؟
3. كيف تنعكس تراكيز كلوريد الصوديوم على الوزن الطازج والجاف ومؤشرات قوة البادرة؟

3.1 أهداف الدراسة

الهدف الرئيسي

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير تراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم على إنبات بذور القمح ونمو البادرات المبكر في منطقة الزاوية – ليبيا.

الأهداف الفرعية

1. تحديد تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم المختلفة على نسبة الإنبات ومتوسط زمن الإنبات لبذور القمح.
2. تقييم استجابة صفات النمو المبكر للبادرات، وتشمل طول الجذر، وطول المجموع الخضري، وطول البادرة الكلي، تحت مستويات مختلفة من الملوحة.
3. تقدير أثر تراكيز كلوريد الصوديوم على الكتلة الحيوية ومؤشرات قوة البادرة من خلال قياس الوزن الطازج، والوزن الجاف، ومؤشري قوة البادرة.

4.1 فرضيات الدراسة

الفرضية الصفرية الرئيسية 0H

لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية 0.05 بين تراكيز كلوريد الصوديوم المختلفة في تأثيرها على إنبات بذور القمح ونمو البادرات المبكر.

الفرضية البديلة الرئيسية 1H

توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية 0.05 بين تراكيز كلوريد الصوديوم المختلفة في تأثيرها على إنبات بذور القمح ونمو البادرات المبكر.

الفرضيات الفرعية

1. توجد فروق ذات دلالة إحصائية بين تراكيز كلوريد الصوديوم المختلفة في نسبة الإنبات ومتوسط زمن الإنبات لبذور القمح.
2. توجد فروق ذات دلالة إحصائية بين تراكيز كلوريد الصوديوم المختلفة في طول الجذر، وطول المجموع الخضري، وطول البادرة الكلي.
3. توجد فروق ذات دلالة إحصائية بين تراكيز كلوريد الصوديوم المختلفة في الوزن الطازج، والوزن الجاف، ومؤشري قوة البادرة.

5.1 أهمية الدراسة

تنبع أهمية هذه الدراسة من تناولها لأحد العوامل البيئية المؤثرة في نجاح زراعة القمح، وهو الإجهاد الملحي الناتج عن كلوريد الصوديوم، خاصة في مرحلة الإنبات ونمو البادرات المبكر التي تُعد من أكثر المراحل حساسية في دورة حياة النبات، فمن الناحية العلمية، تسهم الدراسة في توضيح استجابة بذور القمح لتراكيز مختلفة من الملوحة، من خلال تقييم مؤشرات أساسية تشمل نسبة الإنبات، ومتوسط زمن الإنبات، وصفات النمو الجذري والخضري، والوزن الطازج والجاف، ومؤشرات قوة البادرة. كما توفر نتائجها بيانات تجريبية محلية يمكن أن تدعم الفهم العلمي لتأثير الملوحة في المراحل المبكرة من نمو القمح تحت ظروف منطقة الزاوية – ليبيا، وتُسهم في سد جزء من الفجوة المعرفية المتعلقة باستجابة المحصول للإجهاد الملحي في البيئات الجافة وشبه الجافة.

أما من الناحية العملية، فإن الدراسة تقدم مؤشرات يمكن الاستفادة منها في تقدير مدى حساسية القمح للملوحة خلال مرحلة التأسيس الأولي، وهي مرحلة حاسمة لنجاح الزراعة الحقلية لاحقًا. كما قد تساعد نتائجها في توجيه قرارات إدارة الري واستخدام المياه في المناطق التي يُحتمل تأثر تربتها أو مياهها بارتفاع الملوحة، إضافة إلى دعم المزارعين والمهتمين بالإنتاج النباتي في اختيار ظروف أكثر ملاءمة لإنبات القمح ونمو بادراته، ويمكن أن تشكل هذه الدراسة أساسًا لتجارب لاحقة تقارن بين أصناف مختلفة من القمح أو تختبر معاملات تخفيف أثر الملوحة، بما يخدم تحسين إنتاجية القمح واستدامة زراعته في منطقة الزاوية والمناطق المشابهة بيئيًا.

2. الإطار النظري للدراسة

تُعد ملوحة التربة ومياه الري من أهم صور الإجهاد اللاحيوي التي تحد من إنتاجية المحاصيل في البيئات الجافة وشبه الجافة، إذ يؤدي تراكم الأملاح الذائبة في منطقة الجذور إلى إحداث خلل في علاقة النبات بالماء والعناصر الغذائية، وتزداد أهمية هذه المشكلة في المحاصيل الغذائية الرئيسة، ومنها القمح، بسبب ارتباط نجاح الإنبات ونمو البادرات المبكر بتكوين كثافة نباتية مناسبة في الحقل، وهي مرحلة حاسمة تحدد إلى حد كبير قدرة النبات على الاستمرار والنمو اللاحق، ومن ثم فإن دراسة تأثير كلوريد الصوديوم في المراحل الأولى من حياة نبات القمح تمثل مدخلاً علمياً مناسباً لفهم حدود تحمل البذور والبادرات للملوحة وتحديد مستوى التدهور في صفات النمو الأولية (Butcher et al., 2016) .

تؤثر الملوحة في النبات من خلال مسارين رئيسيين؛ أولهما الإجهاد الأسموزي الناتج عن انخفاض قدرة البذور والجذور على امتصاص الماء، وثانيهما الأثر السمي للأيونات، ولا سيما أيوني الصوديوم والكلوريد عند ارتفاع تركيزهما في الوسط النامي. يؤدي هذان المساران إلى إبطاء العمليات الحيوية المرتبطة بالإنبات، وإضعاف استطالة الجذير والريشة، وتقليل تراكم المادة النباتية. كما قد تتداخل الملوحة مع امتصاص بعض العناصر الضرورية، مما يسبب اختلالاً في التوازن الغذائي داخل الأنسجة النباتية ويؤثر سلباً في النمو المبكر (Parihar et al., 2015).

تبدأ استجابة البذور للملوحة منذ مرحلة امتصاص الماء، وهي المرحلة التي يتم فيها تنشيط الإنزيمات وتحريك المواد المختزنة داخل البذرة لدعم نمو الجنين، وعند زيادة تركيز الأملاح في الوسط، يصبح امتصاص الماء أقل كفاءة، فتتأخر عملية الإنبات أو تنخفض نسبته، وقد تظهر بادرات ضعيفة قصيرة الجذور والمجموع الخضري، ولذلك تعد مرحلة الإنبات من أكثر المراحل حساسية للملوحة، لأنها تعتمد على توازن دقيق بين توفر الماء، وسلامة الجنين، وقدرة البذرة على استئناف نشاطها الأيضي بعد السكون (Manono, 2026).

يرتبط نجاح الإنبات أيضاً بالتنظيم الداخلي للعمليات الفسيولوجية داخل البذرة، إذ تتحكم الإشارات الهرمونية والوراثية والبيئية في انتقال البذرة من حالة السكون إلى النمو النشط، وفي ظروف الملوحة، قد يختل هذا التنظيم بسبب ضعف امتصاص الماء أو تغير التوازن بين الهرمونات المحفزة والمثبطة للإنبات، مما يؤدي إلى تأخر بزوغ الجذير أو انخفاض انتظام الإنبات

بين البذور، وبذلك لا تقتصر الملوحة على تقليل عدد البذور النابتة فحسب، بل قد تؤثر أيضاً في سرعة الإنبات وتجانسه، وهي صفات مهمة في تقييم جودة البذور تحت الإجهاد (Carrera–Castaño et al., 2020).

يمثل القمح أحد المحاصيل الحقلية المهمة التي تتباين استجابتها للملوحة تبعاً للصنف، ومرحلة النمو، ومستوى تركيز الأملاح، ومدة التعرض لها، ورغم أن القمح يعد متوسط التحمل نسبياً مقارنة ببعض المحاصيل الحساسة، إلا أن الملوحة تؤثر بوضوح في نموه، خاصة في مرحلة الإنبات والبادرات، حيث تظهر آثارها في صورة انخفاض طول الجذر والمجموع الخضري وتراجع الكتلة الحيوية، وتزداد أهمية هذه الاستجابة في المناطق التي تتعرض تربتها أو مياهها لتراكم الأملاح، لأن ضعف البادرة في البداية قد ينعكس لاحقاً على كفاءة النمو والإنتاج (El Sabagh et al., 2021).

يُعد طول الجذر من المؤشرات المبكرة المهمة لفهم استجابة بادرة القمح للملوحة، لأن الجذر هو العضو الأول اتصالاً بالوسط الملحي والمسؤول عن امتصاص الماء والعناصر، وقد يؤدي ارتفاع تركيز كلوريد الصوديوم إلى تقليل استطالة الجذر نتيجة انخفاض امتصاص الماء أو زيادة الأثر السمي للأيونات، في حين يتأثر المجموع الخضري غالباً نتيجة نقص الإمداد المائي والغذائي القادم من الجذور. لذلك فإن قياس طول الجذر، وطول المجموع الخضري، وطول البادرة الكلي يوفر مؤشرات مباشرة على درجة تثبيط النمو المبكر تحت الإجهاد الملحي (Saddiq et al., 2021).

تُستخدم الأوزان الطازجة والجافة للبادرات بوصفها مؤشرات مكملة لقياسات الطول، إذ يعكس الوزن الطازج قدرة البادرة على امتصاص الماء والاحتفاظ به، بينما يعكس الوزن الجاف مقدار المادة العضوية المتراكمة فعلياً نتيجة النمو، وفي ظروف الملوحة، قد ينخفض الوزن الطازج بسبب تراجع امتصاص الماء، كما قد ينخفض الوزن الجاف نتيجة ضعف الانقسام والاستطالة الخلوية وتباطؤ تكوين الأنسجة الجديدة، ومن ثم فإن الجمع بين صفات الطول والوزن يعطي صورة أكثر اكتمالاً عن أثر كلوريد الصوديوم في حيوية البادرات (Saddiq et al., 2021).

لا يكفي الاعتماد على نسبة الإنبات وحدها لتقييم أثر الملوحة، لأن بعض المعاملات قد تسمح بحدوث الإنبات ولكنها تنتج بادرات ضعيفة أو بطيئة النمو. لذلك تُعد مؤشرات سرعة الإنبات ومتوسط زمن الإنبات أدوات مهمة لفهم كفاءة البذور في الاستجابة للظروف الملحية، فكلما زاد متوسط زمن الإنبات دل ذلك غالباً على بطء استجابة البذور للإنبات، حتى وإن بقيت النسبة النهائية للإنبات مقبولة، الأمر الذي يجعل هذه المؤشرات مفيدة في التمييز بين التأثير الكمي للملوحة والتأثير الزمني لها (Ranal & Santana, 2006).

يُعد مؤشر قوة البادرة من المؤشرات المركبة المناسبة في دراسات الإنبات والنمو المبكر، لأنه يربط بين نسبة الإنبات وطول البادرة، ومن ثم يعكس كلاً من قدرة البذور على الإنبات وقدرة البادرات الناتجة على النمو، وتزداد أهمية هذا المؤشر عند دراسة الإجهاد الملحي، لأن ارتفاع نسبة الإنبات وحدها لا يعني بالضرورة تكوين بادرات قوية. لذلك فإن انخفاض مؤشر قوة البادرة مع زيادة تراكيز كلوريد الصوديوم يدل على أن الملوحة لا تؤثر في عدد البذور النابتة فحسب، بل تمتد آثارها إلى جودة النمو المبكر وقوة البادرات المتكونة (Abdul–Baki & Anderson, 1973).

بناءً على ذلك، يقوم الإطار النظري لهذه الدراسة على أن تراكيز كلوريد الصوديوم تمثل عاملاً ضاغطاً يؤثر في بذور القمح وبادراته عبر تقليل توفر الماء، وإحداث خلل أيوني، وإبطاء العمليات الحيوية المصاحبة للإنبات والنمو. لذلك فإن تحليل نسبة الإنبات، ومتوسط زمن الإنبات، وأطوال الجذر والمجموع الخضري، والوزنين الطازج والجاف، ومؤشر قوة البادرة، يوفر أساساً علمياً متكاملاً لتفسير استجابة القمح للملوحة في مرحلة مبكرة، ويسمح بتحديد مستوى التركيز الذي تبدأ عنده الصفات المدروسة في التدهور بصورة واضحة.

3. الدراسات السابقة

حظي موضوع تأثير الإجهاد الملحي في القمح باهتمام واضح في الدراسات الحديثة، نظرًا لحساسية مرحلتي الإنبات ونمو البادرات المبكر للتغيرات الأسموزية والأيونية الناتجة عن تراكم أملاح الصوديوم في وسط النمو، وتُعد هذه المرحلة من أكثر المراحل أهمية في تحديد نجاح التأسيس الحقلي للنبات، إذ إن أي تراجع في نسبة الإنبات أو سرعة حدوثه أو قوة البادرة ينعكس لاحقًا على كثافة النمو وكفاءة المحصول، وفي هذا السياق، تناولت عدة دراسات عربية ودولية تأثير كلوريد الصوديوم أو الإجهاد الملحي عمومًا في مؤشرات الإنبات والنمو المبكر للقمح، مع اختلافها في الأصناف المدروسة، وتراكيز الملوحة، والصفات المقاسة.

أجرى المغربي ومرقب دراسة ليبية حديثة لتقييم تأثير الملوحة في إنبات البذور والنمو المبكر لبادرات صنفين محليين من القمح، هما كاسي وبحوث 210، تحت تراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم بلغت 50، 100، 200، و300 ملي مول، إضافة إلى معاملة الشاهد، اظهرت الدراسة أن زيادة تركيز الملوحة أثرت سلبًا في معظم مقاييس الإنبات، إذ انخفضت قدرة الإنبات في الصنفين، كما تراجعت مؤشرات سرعة الإنبات مثل دليل الإنبات، ودليل معدل الإنبات، ومعامل سرعة الإنبات، في حين ازداد متوسط زمن الإنبات عند التركيز الأعلى. كما أوضحت الدراسة أن الارتفاع التدريجي في الملوحة قلل طول الرويشة والجذير وخفض الوزنين الطري والجاف للبادرات، وتُعد هذه الدراسة وثيقة الصلة بالدراسة الحالية لأنها أُجريت في ليبيا وعلى القمح، كما أنها تؤكد أن مؤشرات الإنبات والنمو المبكر تُعد مناسبة لتقييم استجابة القمح للملوحة، وإن كانت قد استخدمت تراكيز أعلى وصنفين محددين مقارنة بالدراسة الحالية التي تركز على تراكيز أقل نسبيًا في منطقة الزاوية (المغربي ومرقب، 2025).

وفي دراسة عربية أخرى، بحث شاكر وإبراهيم وغليم دور الكالسيوم في زيادة تحمل بذور القمح الطري للإجهاد الملحي، من خلال معاملة بذور القمح بكلوريد الكالسيوم ثم تعريضها لتراكيز من كلوريد الصوديوم بلغت 0، 50، و100 مغ/لتر. بيّنت نتائج هذه الدراسة أن معاملة البذور بالصوديوم أدت إلى انخفاض معنوي في إنبات البذور، وقوة البادرة، وطول الرويشة والجذير، والأوزان الرطبة، والوزن الجاف للجذير، بينما ساعدت معاملة الكالسيوم على تحسين بعض مؤشرات النمو تحت ظروف الإجهاد الملحي، وتكمن أهمية هذه الدراسة بالنسبة للدراسة الحالية في أنها تدعم الاتجاه العام القائل بأن NaCl يضعف صفات الإنبات والنمو المبكر، كما توضح أن بعض المعاملات الفسيولوجية قد تُستخدم مستقبلًا للتخفيف من الأثر السلبي للملوحة على القمح (شاكر وآخرون، 2025).

أما على المستوى الدولي، فقد قيّم Khan et al. تحمل 100 تركيب وراثي من قمح الخبز للملوحة خلال مرحلة النمو المبكر تحت ظروف الزراعة المائية، باستخدام معاملة شاهد ومعاملة ملحية قدرها 15 dS/m، اظهرت النتائج انخفاضًا معنويًا في طول المجموع الخضري، وطول الجذر، والوزن الطازج والجاف للمجموع الخضري والجذري، وكذلك الوزن الكلي تحت ظروف الملوحة. كما خلصت الدراسة إلى أن الوزن الجاف للمجموع الخضري والوزن الجاف الكلي يمكن استخدامهما كمعايير فعالة لاختيار التراكيب الوراثية المتحملة للملوحة في مرحلة النمو المبكر، وتفيد هذه الدراسة في دعم أهمية قياس الوزنين الطازج والجاف ومؤشرات النمو في الدراسة الحالية، كما تؤكد أن استجابة القمح للملوحة قد تختلف باختلاف التركيب الوراثي، وهو جانب يمكن التوسع فيه مستقبلًا من خلال مقارنة أصناف متعددة (Khan et al., 2024).

وفي ليبيا أيضًا، درس عبد القادر تأثير المعاملة الأولية لبذور القمح بملح كلوريد الصوديوم في نسبة K^+/Na^+ كمؤشر فسيولوجي لتحمل الملوحة خلال مراحل الإنبات المبكرة، استُخدم في هذه الدراسة صنف القمح 208، وتم نقع البذور في محلول NaCl بتركيز 0.25% لمدة 24 ساعة، ثم عُرضت لأربعة مستويات من الملوحة بلغت 0، 1، 1.5، و2%، اظهرت النتائج أن البذور المنقوعة تفوقت على غير المنقوعة في طول المجموع الجذري، وطول المجموع الخضري، والوزنين

الطري والجاف، كما سجلت أعلى القيم لقوة البادرة ونسبة K^+/Na^+ عند معاملة النقع مع تركيز 1.5%، وتبرز أهمية هذه الدراسة في أنها تربط بين المؤشرات المورفولوجية ومؤشر فسيولوجي مهم هو الاتزان الأيوني، مما يعزز تفسير أن تراجع نمو البادرات تحت الملوحة لا يرتبط فقط بضعف النمو الظاهري، بل يعكس اضطرابًا في العلاقة بين امتصاص البوتاسيوم وتراكم الصوديوم داخل النبات (عبد القادر، 2025أ).

كما قيّم عبد القادر في دراسة أخرى فعالية النقع الملحي لبذور القمح تحت الإجهاد الملحي باستخدام مؤشر تحفيز الإنبات GSI كأداة فسيولوجية. تم تنفيذ التجربة على القمح الطري تحت أربعة مستويات من الإجهاد الملحي بلغت 0، 1، 1.5، و2%، مع نقع البذور في محلول مخفف من NaCl بتركيز 0.25% لمدة 24 ساعة، اوضح النتائج أن النقع الملحي ساعد في تسريع الإنبات وزيادة نسبته النهائية مقارنة بالبذور غير المعاملة، بينما أدى تركيز 2% إلى خفض مؤشر تحفيز الإنبات إلى أدنى قيمة، وتدعم هذه الدراسة أهمية قياس سرعة الإنبات إلى جانب النسبة النهائية للإنبات، لأن ارتفاع نسبة الإنبات وحدها قد لا يعكس تمامًا كفاءة البذور إذا كان الإنبات بطيئًا أو مصحوبًا بضعف في نمو البادرات (عبد القادر، 2025ب).

وفي دراسة حديثة بمدينة المرج، درس نجم والفريخ وبكار وسليمان تأثير الملوحة في إنبات البذور ونمو بعض أصناف القمح، من خلال مقارنة نوعين هما *Triticum monococcum* و*Triticum araratica* تحت معاملتي ملوحة 30×10^3 و60×10^3 جزء في المليون، إضافة إلى معاملة الشاهد، اظهرت النتائج أن الإجهاد الملحي لم يُظهر تأثيرًا انتقائيًا واضحًا في نسبة إنبات جميع الأصناف المدروسة، خاصة عند التركيز المرتفع، كما لم يُظهر *T. araratica* استجابة مختلفة بوضوح عن *T. monococcum*، وتُعد هذه الدراسة مهمة لأنها تقدم جانبًا مقارنًا لا يتفق بالكامل مع الاتجاه العام للدراسات التي تسجل انخفاضًا مباشرًا في الإنبات، مما يشير إلى أن أثر الملوحة قد يختلف تبعًا للنوع أو الصنف أو المؤشر المستخدم أو طريقة تطبيق الإجهاد الملحي، ومن ثم، فإن تفسير نتائج الملوحة ينبغي ألا يعتمد على نسبة الإنبات وحدها، بل على مجموعة متكاملة من الصفات تشمل سرعة الإنبات، النمو الطولي، الكتلة الحيوية، ومؤشرات قوة البادرة (نجم وآخرون، 2026).

على الرغم من تعدد الدراسات التي تناولت تأثير الملوحة في إنبات القمح ونموه المبكر، فإن معظمها ركز على أصناف أو تراكيز أو ظروف تجريبية تختلف عن ظروف منطقة الزاوية – ليبيا، كما أن بعض الدراسات اهتمت بتأثير معاملات مخففة للملوحة أكثر من تركيزها على الاستجابة المباشرة لتراكيز NaCl المتدرجة. لذلك لا تزال الحاجة قائمة إلى بيانات محلية دقيقة توضح استجابة بذور القمح لمستويات محددة من كلوريد الصوديوم خلال مرحلتي الإنبات ونمو البادرات المبكر، ومن هنا تسعى الدراسة الحالية إلى سد هذه الفجوة من خلال تقييم تأثير خمسة تراكيز من NaCl على مؤشرات الإنبات، والنمو الطولي، والكتلة الحيوية، وقوة البادرة في القمح تحت ظروف منطقة الزاوية.

4. المواد والطرق

تم إجراء الدراسة في مشتل بسيط بمنطقة الزاوية – ليبيا خلال الفترة من 15 إلى 28 نوفمبر 2025، بهدف تقييم تأثير تراكيز مختلفة من كلوريد الصوديوم في إنبات بذور القمح ونمو البادرات المبكر. تم تنفيذ التجربة تحت ظروف مشتل شبه مضبوطة، مع تعرض النباتات لإضاءة طبيعية وظل جزئي، وري منتظم بالمحاليل المحددة لكل معاملة، وخلال فترة التجربة، تراوحت درجة الحرارة الصغرى تقريبًا بين 14–17°م، بينما تراوحت درجة الحرارة العظمى بين 22–26°م.

تم استخدام بذور قمح محلية متجانسة ظاهريًا، وتم اختيار البذور السليمة والممتلئة والخالية من التلف أو التشوهات الظاهرة. تم الحصول على البذور من مصدر زراعي محلي بمنطقة الزاوية، ثم تم تنظيفها يدويًا لاستبعاد البذور المكسورة أو غير المتجانسة قبل توزيعها على المعاملات التجريبية.

تم استخدام خمسة تراكيز من محلول كلوريد الصوديوم NaCl، وهي: 0، 25، 50، 75، و100 ملي مولار. مثلت معاملة 0 ملي مولار معاملة الشاهد، وتم ريها بالماء دون إضافة ملح، اما المعاملات الملحية فقد تم تحضيرها بإذابة كميات مناسبة من كلوريد الصوديوم في الماء للحصول على التراكيز المطلوبة، بما يعادل تقريبًا 0، 1.46، 2.92، 4.38، و5.84 جم/لتر للتراكيز السابقة على التوالي. تراوحت قيم التوصيل الكهربائي للمحاليل بين 0.8 و11.0 ديسيسيمنز/متر، في حين تراوحت قيم pH بين 7.0 و7.2.

تم تنفيذ التجربة وفق تصميم عشوائي كامل Completely Randomized Design; CRD، نظرًا لملاءمته للتجارب ذات العامل الواحد تحت ظروف المشتل، اشتملت التجربة على خمس معاملات ملحية، وبواقع أربعة مكررات لكل معاملة، احتوى كل مكرر على 25 بذرة، وبذلك بلغ عدد الوحدات التجريبية 20 وحدة، بينما بلغ إجمالي عدد البذور المستخدمة في التجربة 500 بذرة.

تمت زراعة البذور في أوعية إنبات بلاستيكية صغيرة تحتوي على وسط إنبات بسيط من الرمل المغسول، وذلك لضمان سهولة متابعة الإنبات ونمو البادرات. تم ترطيب وسط الإنبات بالمحلول الخاص بكل معاملة قبل الزراعة، ثم وُزعت البذور بانتظام داخل كل وحدة تجريبية. بعد الزراعة، تم ري كل وحدة تجريبية بالمحلول الملحي الموافق لمعاملتها عند الحاجة، مع تجنب الجفاف أو التغدق.

تم تسجيل عدد البذور النابتة يوميًا لمدة سبعة أيام من بداية التجربة، خلال الفترة من 15 إلى 21 نوفمبر 2025، واعتُبرت البذرة نابتة عند ظهور الجذير بوضوح خارج غلاف البذرة، وفي نهاية فترة متابعة الإنبات، تم حساب العدد التراكمي للبذور النابتة في كل مكرر لاستخدامه في تقدير نسبة الإنبات النهائية.

تم حساب نسبة الإنبات النهائية لكل مكرر اعتمادًا على عدد البذور النابتة من إجمالي عدد البذور المزروعة، وفق المعادلة الآتية:

نسبة الإنبات (%) = عدد البذور النابتة / العدد الكلي للبذور × 100

كما تم حساب متوسط زمن الإنبات Mean Germination Time; MGT لتقدير سرعة الإنبات تحت معاملات الملوحة المختلفة، وفق المعادلة الآتية:

$$MGT = \Sigma(nd) / \Sigma n$$

حيث تمثل n عدد البذور النابتة في يوم معين، وتمثل d رقم اليوم من بداية التجربة.

تم إجراء قياسات النمو المبكر في اليوم الرابع عشر من التجربة، الموافق 28 نوفمبر 2025. تم اختيار البادرات النامية من كل مكرر، ثم تم قياس طول الجذر وطول المجموع الخضري باستخدام مسطرة مدرجة بالسنتيمتر، وتم حساب طول البادرة الكلي بجمع طول الجذر وطول المجموع الخضري.

كما تم تقدير الوزن الطازج للبادرات مباشرة بعد القياس باستخدام ميزان حساس، وتم التعبير عنه بوحدة جم/10 بادرات، ولتقدير الوزن الجاف، تم تجفيف البادرات حتى ثبات الوزن، ثم تم وزنها والتعبير عن الناتج بوحدة جم/10 بادرات.

تم حساب مؤشري قوة البادرة لتقييم الحيوية الكلية للبادرات تحت مستويات الملوحة المختلفة، وتم حساب مؤشر قوة البادرة الأول اعتمادًا على نسبة الإنبات وطول البادرة الكلي، بينما تم حساب مؤشر قوة البادرة الثاني اعتمادًا على نسبة الإنبات والوزن الجاف، وفق المعادلتين الآتيتين:

مؤشر قوة البادرة I = نسبة الإنبات (%) × طول البادرة الكلي

مؤشر قوة البادرة II = نسبة الإنبات (%) × الوزن الجاف للبادرات

وتُعد هذه المؤشرات مناسبة لتقييم التأثير الكلي للملوحة، لأنها تجمع بين كفاءة الإنبات وقوة النمو المبكر للبادرات.

تم تحليل البيانات إحصائيًا باستخدام برنامج IBM SPSS Statistics version 26، وتم استخدام تحليل التباين الأحادي One–way ANOVA لاختبار تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم في صفات الإنبات والنمو المبكر، وعند وجود فروق معنوية بين المتوسطات، تم استخدام اختبار Tukey's Honestly Significant Difference; Tukey HSD للمقارنات البعدية عند مستوى معنوية 0.05، وتم عرض النتائج في صورة المتوسط ± الانحراف المعياري اعتمادًا على أربعة مكررات لكل معاملة، وشملت الصفات التي تم تحليلها نسبة الإنبات، ومتوسط زمن الإنبات، وطول الجذر، وطول المجموع الخضري، وطول البادرة الكلي، والوزن الطازج، والوزن الجاف، ومؤشري قوة البادرة.

4. النتائج

أظهرت النتائج وجود تأثير واضح لتراكيز كلوريد الصوديوم في إنبات بذور القمح ونمو البادرات المبكر، وبوجه عام، اتجهت نسبة الإنبات وصفات النمو والكتلة الحيوية ومؤشرات قوة البادرة إلى الانخفاض التدريجي مع زيادة تركيز NaCl، في حين ازداد متوسط زمن الإنبات مع ارتفاع مستوى الملوحة. كما أوضحت نتائج تحليل التباين وجود فروق معنوية بين معاملات الملوحة في جميع الصفات المدروسة عند مستوى معنوية 0.05.

تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على إنبات بذور القمح

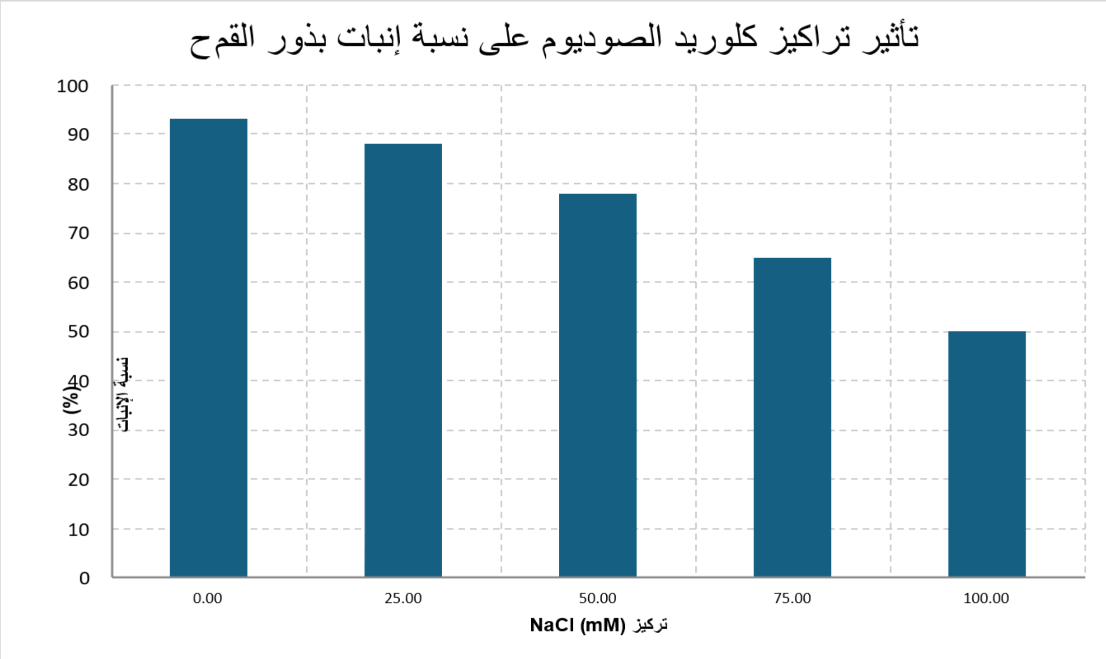
يوضح جدول 1 تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على نسبة الإنبات ومتوسط زمن الإنبات لبذور القمح. سجلت معاملة الشاهد 0 mM أعلى نسبة إنبات بلغت 93.00 ± 3.83%، تلتها معاملة 25 mM بنسبة 88.00 ± 3.27%، ولم تختلف المعاملتان معنويًا في نسبة الإنبات وفق اختبار Tukey، إذ حملتا الحرف نفسه، في المقابل، انخفضت نسبة الإنبات تدريجيًا عند التراكيز الأعلى، إذ بلغت 78.00 ± 5.16% عند 50 mM، و65.00 ± 5.03% عند 75 mM، ووصلت إلى أدنى قيمة عند 100 mM بمتوسط 50.00 ± 5.16%.

أما متوسط زمن الإنبات فقد أظهر اتجاهًا عكسيًا، إذ ارتفع تدريجيًا مع زيادة تركيز NaCl، وسجلت معاملة الشاهد أقل متوسط زمن إنبات بلغ 3.56 ± 0.06 يوم، بينما سجلت معاملة 100 mM أعلى قيمة بلغت 5.11 ± 0.13 يوم. كما أوضحت حروف Tukey وجود تمايز معنوي بين جميع معاملات الملوحة في متوسط زمن الإنبات.

جدول 1. تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على نسبة الإنبات ومتوسط زمن الإنبات لبذور القمح

المعاملة	تركيز NaCl (mM)	نسبة الإنبات (%)	متوسط زمن الإنبات MGT (يوم)
T0	0	93.00 ± 3.83 a	**3.56 ± 0.06 a**
T1	25	88.00 ± 3.27 a	**3.82 ± 0.03 b**
T2	50	78.00 ± 5.16 b	**4.16 ± 0.06 c**
T3	75	65.00 ± 5.03 c	**4.63 ± 0.13 d**
T4	100	50.00 ± 5.16 d	**5.11 ± 0.13 e**

ويعرض شكل 1 التغير في نسبة إنبات بذور القمح استجابةً لتراكيز كلوريد الصوديوم المختلفة، ويتضح من الشكل أن نسبة الإنبات اتجهت إلى الانخفاض التدريجي مع زيادة تركيز NaCl، حيث كانت أعلى القيم في معاملة الشاهد، بينما سُجلت أدنى نسبة إنبات عند تركيز 100 mM.



شكل 1. تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على نسبة إنبات بذور القمح.

تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على صفات النمو المبكر للبادرات

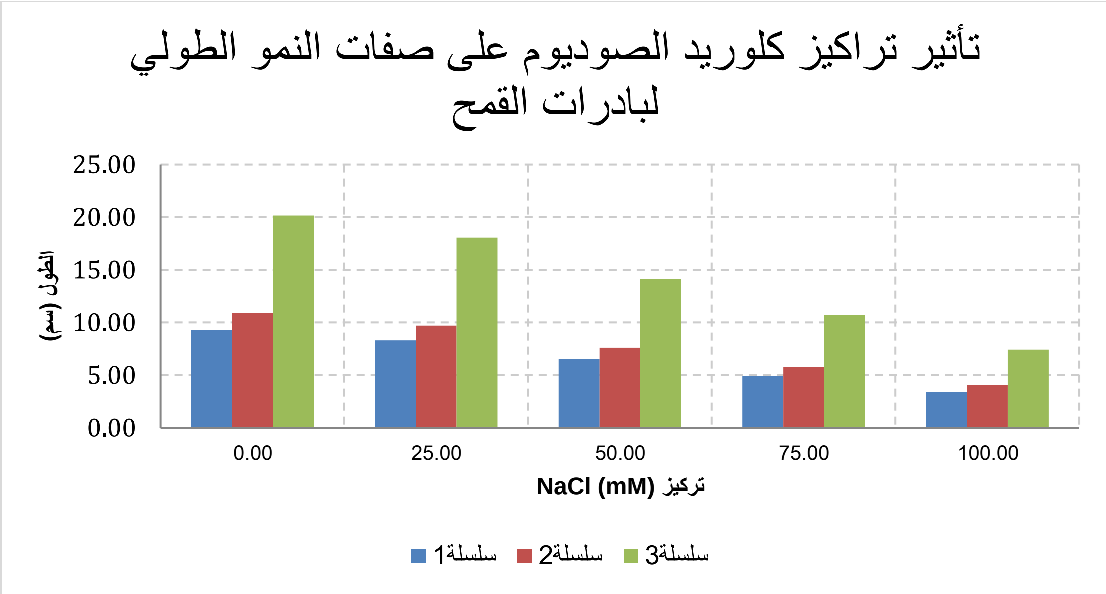
يبين جدول 2 تأثير تراكيز NaCl على طول الجذر، وطول المجموع الخضري، وطول البادرة الكلي، اظهرت النتائج انخفاضًا تدريجيًا في جميع صفات النمو الطولي بزيادة تركيز الملح، فقد سجلت معاملة الشاهد أعلى متوسط لطول الجذر بلغ 9.28 ± 0.35 سم، بينما انخفض عند أعلى تركيز 100 mM إلى 3.38 ± 0.25 سم، وبالمثل، انخفض طول المجموع الخضري من 10.90 ± 0.50 سم في معاملة الشاهد إلى 4.05 ± 0.21 سم عند 100 mM.

كما تأثر طول البادرة الكلي بصورة واضحة، إذ بلغ أعلى متوسط في معاملة الشاهد 20.17 ± 0.80 سم، ثم انخفض تدريجيًا إلى 18.05 ± 0.47 سم عند 25 mM، و14.12 ± 1.05 سم عند 50 mM، و10.72 ± 0.66 سم عند 75 mM، حتى وصل إلى 7.42 ± 0.45 سم عند 100 mM، وأظهرت حروف Tukey وجود فروق معنوية بين جميع المعاملات في صفات النمو الطولي.

جدول 2. تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على صفات النمو المبكر لبادرات القمح

المعاملة	تركيز NaCl ((mM	طول الجذر (سم)	طول المجموع الخضري (سم)	طول البادرة الكلي (سم)
T0	0	9.28 ± 0.35 a	10.90 ± 0.50 a	**20.17 ± 0.80 a**
T1	25	8.32 ± 0.40 b	9.72 ± 0.30 b	**18.05 ± 0.47 b**
T2	50	6.53 ± 0.57 c	7.60 ± 0.50 c	**14.12 ± 1.05 c**
T3	75	4.92 ± 0.35 d	5.80 ± 0.34 d	**10.72 ± 0.66 d**
T4	100	3.38 ± 0.25 e	4.05 ± 0.21 e	**7.42 ± 0.45 e**

ويوضح شكل 2 الاستجابة البصرية لصفات النمو الطولي للبادرات تحت تراكيز NaCl المختلفة، ويُظهر الشكل انخفاضًا متدرجًا في طول الجذر، وطول المجموع الخضري، وطول البادرة الكلي مع زيادة مستوى الملوحة، بما يؤكد أن النمو الطولي للبادرات كان من الصفات الحساسة للإجهاد الملحي.



شكل 2. تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على طول الجذر، وطول المجموع الخضري، وطول البادرة الكلي لبادرات القمح.

تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على الوزن الطازج والجاف للبادرات

توضح بيانات جدول 3 أن زيادة تركيز كلوريد الصوديوم أدت إلى انخفاض تدريجي في الوزن الطازج والوزن الجاف للبادرات، فقد سجلت معاملة الشاهد أعلى وزن طازج بلغ 2.21 ± 0.15 جم/10 بادرات، بينما انخفضت القيمة إلى 1.97 ± 0.07 جم/10 بادرات عند 25 mM، و1.59 ± 0.11 جم/10 بادرات عند 50 mM، و1.11 ± 0.08 جم/10 بادرات عند 75 mM، ووصلت إلى أدنى متوسط عند 100 mM بقيمة 0.78 ± 0.05 جم/10 بادرات.

كما اتبع الوزن الجاف الاتجاه نفسه، إذ بلغ 0.29 ± 0.02 جم/10 بادرات في معاملة الشاهد، ثم انخفض تدريجيًا إلى 0.26 ± 0.01، و0.21 ± 0.01، و0.14 ± 0.01، و0.10 ± 0.01 جم/10 بادرات عند تراكيز 25، 50، 75، و100 mM على التوالي، وأشارت نتائج Tukey إلى وجود فروق معنوية بين المعاملات في كل من الوزن الطازج والوزن الجاف.

تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على مؤشرات قوة البادرة

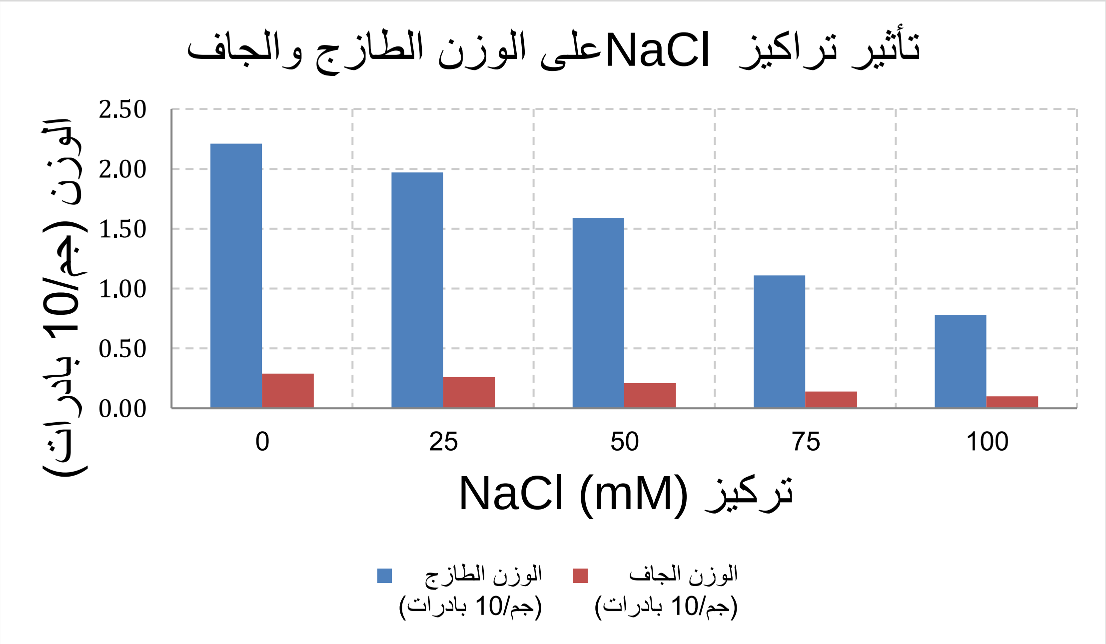
أظهرت مؤشرات قوة البادرة انخفاضًا واضحًا مع زيادة تركيز كلوريد الصوديوم، كما هو موضح في جدول 3، فقد سجلت معاملة الشاهد أعلى قيمة لمؤشر قوة البادرة I بلغت 1878.50 ± 149.62، في حين انخفضت القيمة تدريجيًا إلى 1588.70 ± 80.15 عند 25 mM، و1105.80 ± 154.44 عند 50 mM، و696.20 ± 54.19 عند 75 mM، ووصلت إلى أدنى مستوى عند 100 mM بقيمة 370.20 ± 29.75.

أما مؤشر قوة البادرة II فقد سجل أعلى قيمة في معاملة الشاهد بمتوسط 27.26 ± 3.10، ثم انخفض إلى 22.43 ± 1.18 عند 25 mM، و16.04 ± 2.07 عند 50 mM، و9.25 ± 0.76 عند 75 mM، وبلغ أدنى قيمة عند 100 mM بمتوسط 4.98 ± 0.40، وأوضحت حروف Tukey وجود فروق معنوية بين جميع معاملات الملوحة في مؤشري قوة البادرة.

جدول 3. تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على الوزن الطازج والجاف ومؤشرات قوة البادرة

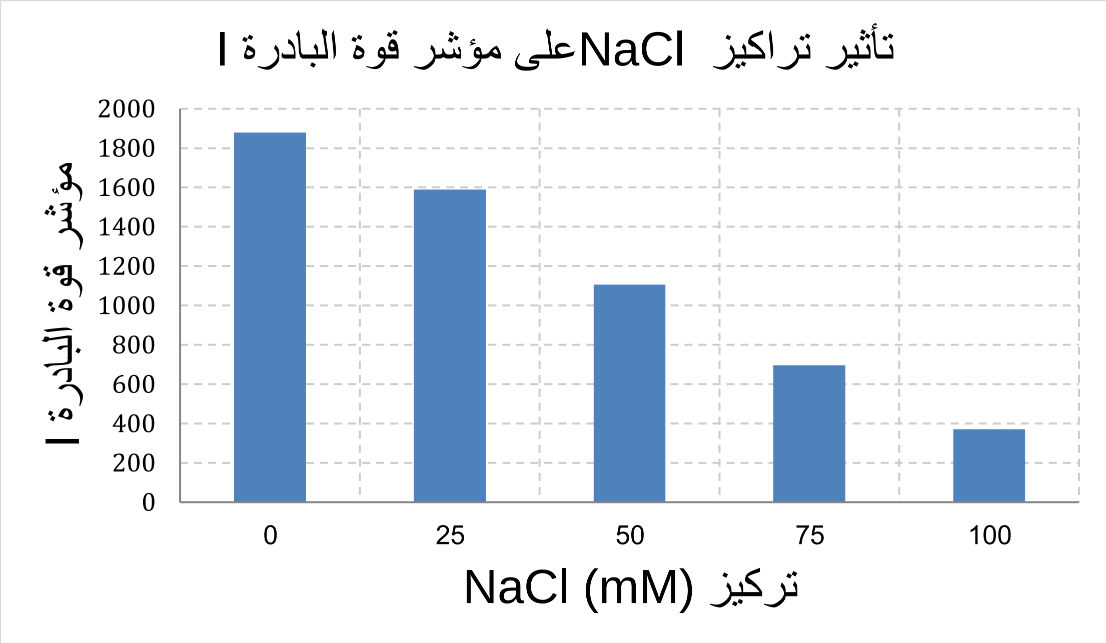
المعاملة	تركيز NaCl ((mM	الوزن الطازج جم/10 بادرات	الوزن الجاف جم/10 بادرات	مؤشر قوة البادرة I	مؤشر قوة البادرة II
T0	0	2.21 ± 0.15 a	0.29 ± 0.02 a	1878.50 ± 149.62 a	**27.26** ± **3.10 a**
T1	25	1.97 ± 0.07 b	0.26 ± 0.01 b	1588.70 ± 80.15 b	**22.43** ± **1.18 b**
T2	50	1.59 ± 0.11 c	0.21 ± 0.01 c	1105.80 ± 154.44 c	**16.04** ± **2.07 c**
T3	75	1.11 ± 0.08 d	0.14 ± 0.01 d	696.20 ± 54.19 d	**9.25** ± **0.76 d**
T4	100	0.78 ± 0.05 e	0.10 ± 0.01 e	370.20 ± 29.75 e	**4.98** ± **0.40 e**

ويبين شكل 3 الانخفاض التدريجي في الوزن الطازج والوزن الجاف لبادرات القمح مع زيادة تركيز كلوريد الصوديوم، ويُظهر الشكل أن الفقد في الكتلة الحيوية كان واضحًا عند التركيزين 75 و100 mM، مما يعكس التأثير السلبي للملوحة في تراكم المادة الحيوية ومحتوى البادرات المائي.



شكل 3. تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على الوزن الطازج والوزن الجاف لبادرات القمح.

ويعرض شكل 4 تأثير تراكيز NaCl على مؤشر قوة البادرة I، الذي يجمع بين نسبة الإنبات وطول البادرة الكلي، ويتضح من الشكل أن هذا المؤشر انخفض بصورة حادة مع زيادة مستوى الملوحة، مما يؤكد أن التراكيز المرتفعة لم تخفض الإنبات فقط، بل أثرت أيضًا في قوة النمو المبكر للبادرات.



شكل 4. تأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على مؤشر قوة البادرة I في القمح.

نتائج تحليل التباين الأحادي

يبين **جدول 4** نتائج تحليل التباين الأحادي لتأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على الصفات المدروسة، اظهرت النتائج أن تأثير معاملات الملوحة كان معنويًا جدًا في جميع صفات الإنبات والنمو المبكر، إذ كانت جميع قيم الاحتمالية أقل من 0.05، وقد سُجلت أعلى قيمة F في صفة طول المجموع الخضري، تلتها صفات طول البادرة الكلي ومتوسط زمن الإنبات، مما يشير إلى حساسية واضحة لهذه الصفات لاختلاف مستويات الملوحة.

جدول 4. نتائج تحليل التباين الأحادي ANOVA لتأثير تراكيز كلوريد الصوديوم على صفات الإنبات والنمو المبكر

الصفة	df المعاملات	df الخطأ	MS المعاملات	MS الخطأ	F	p-value
نسبة الإنبات (%)	4	15	1226.800	20.800	58.981	**<0.001**
متوسط زمن الإنبات (يوم)	4	15	1.557	0.009	179.456	**<0.001**
طول الجذر (سم)	4	15	23.277	0.159	146.858	**<0.001**
طول المجموع الخضري (سم)	4	15	31.247	0.148	211.366	**<0.001**
طول البادرة الكلي (سم)	4	15	108.455	0.516	210.184	**<0.001**
الوزن الطازج جم/10 بادرات	4	15	1.413	0.010	146.420	**<0.001**
الوزن الجاف جم/10 بادرات	4	15	0.025	0.0002	126.648	**<0.001**
مؤشر قوة البادرة I	4	15	1536699.588	11296.688	136.031	**<0.001**
مؤشر قوة البادرة II	4	15	335.137	3.202	104.676	**<0.001**

تؤكد هذه النتائج أن التغير في تركيز كلوريد الصوديوم كان مصحوبًا بتغيرات معنوية في جميع مؤشرات الإنبات والنمو المبكر للقمح، وبصورة عامة، كانت معاملة الشاهد هي الأعلى في معظم الصفات الإيجابية المرتبطة بالإنبات والنمو، بينما أظهرت معاملة 100 mM أكبر انخفاض في نسبة الإنبات، وأطوال البادرات، والوزن الطازج والجاف، ومؤشرات قوة البادرة، مع تسجيلها أعلى متوسط زمن للإنبات.

5. مناقشة النتائج

أوضحت نتائج الدراسة أن زيادة تركيز كلوريد الصوديوم أدت إلى تراجع واضح في إنبات بذور القمح ونمو البادرات المبكر، مع اختلاف درجة التأثير تبعًا لمستوى الملوحة والصفة المدروسة، فقد انخفضت نسبة الإنبات من 93% في معاملة الشاهد إلى 50% عند تركيز 100 ملي مولار، في حين ارتفع متوسط زمن الإنبات من 3.56 إلى 5.11 يوم، ويشير ذلك إلى أن الملوحة لم تؤثر فقط في القدرة النهائية للبذور على الإنبات، بل أثرت أيضًا في سرعة الإنبات وانتظامه، ويمكن تفسير هذا الانخفاض بحدوث إجهاد أسموزي يقلل امتصاص الماء الضروري لبدء النشاط الأيضي داخل البذرة، إضافة إلى التأثيرات الأيونية الناتجة عن تراكم Na^+ وCl^- في أنسجة البادرات النامية، وتتفق هذه النتيجة مع ما توصل إليه المغربي ومرقب (2025)، إذ أظهرت دراستهما أن ارتفاع تركيز NaCl أدى إلى انخفاض مؤشرات الإنبات وزيادة متوسط زمن الإنبات في القمح.

كما أظهرت النتائج أن معاملة 25 ملي مولار لم تختلف معنويًا عن الشاهد في نسبة الإنبات، لكنها أدت إلى زيادة معنوية في متوسط زمن الإنبات وانخفاض في صفات النمو اللاحقة، ويدل ذلك على أن التركيزات المنخفضة من الملح قد لا تمنع الإنبات بصورة مباشرة، لكنها قد تؤثر في كفاءة البادرة بعد الإنبات. لذلك فإن الاعتماد على نسبة الإنبات وحدها قد لا يكون كافيًا للحكم على تحمل القمح للملوحة، بل ينبغي أن يقترن بقياس سرعة الإنبات وصفات النمو المبكر، ويتفق ذلك مع ما أوضحته عبد القادر (2025ب) من أهمية مؤشرات سرعة وتحفيز الإنبات في تقييم استجابة القمح تحت ظروف الإجهاد الملحي.

وفيما يتعلق بصفات النمو الطولي، انخفض طول الجذر وطول المجموع الخضري وطول البادرة الكلي تدريجيًا مع زيادة تركيز NaCl، فقد تراجع طول البادرة الكلي من 20.17 سم في الشاهد إلى 7.42 سم عند تركيز 100 ملي مولار، ويعكس هذا الانخفاض تأثير الملوحة في عمليات انقسام الخلايا واستطالتها، كما يشير إلى ضعف قدرة البادرة على تكوين جهاز جذري وخضري متوازن تحت ظروف الإجهاد، ويُعد تراجع طول الجذر مؤشرًا مهمًا، لأن الجذر هو العضو المسؤول عن امتصاص الماء والعناصر المعدنية، وأي إعاقة في نموه تؤثر في كفاءة البادرة وقدرتها على الاستمرار، وتتوافق هذه النتائج مع دراسة شاكر وآخرين (2025)، التي بينت أن NaCl خفض طول الجذير والرويشة وقوة البادرة في القمح الطري.

كذلك أظهرت الدراسة انخفاضًا واضحًا في الوزن الطازج والوزن الجاف للبادرات بزيادة تركيز الملح، فقد انخفض الوزن الطازج من 2.21 جم/10 بادرات في الشاهد إلى 0.78 جم/10 بادرات عند 100 ملي مولار، بينما انخفض الوزن الجاف من 0.29 إلى 0.10 جم/10 بادرات، ويشير انخفاض الوزن الطازج إلى تراجع المحتوى المائي للأنسجة أو ضعف قدرة البادرات على امتصاص الماء والاحتفاظ به، في حين يعبر انخفاض الوزن الجاف عن تراجع حقيقي في تراكم المادة الحيوية، وتُعد هذه النتيجة مهمة لأن الوزن الجاف يمثل مؤشرًا أكثر ثباتًا لتقييم النمو تحت الإجهاد مقارنة بالوزن الطازج، وقد أكد Khan et al. (2024) أن الوزن الجاف من المؤشرات الفعالة في تقييم تحمل تراكيب القمح للملوحة خلال مرحلة النمو المبكر.

أما مؤشرات قوة البادرة فقد كانت من أكثر الصفات تعبيرًا عن التأثير الكلي للملوحة، إذ انخفض مؤشر قوة البادرة I من 1878.50 في الشاهد إلى 370.20 عند تركيز 100 ملي مولار، كما انخفض مؤشر قوة البادرة II من 27.26 إلى 4.98

عند التركيز نفسه، ويعود وضوح هذا الانخفاض إلى أن هذه المؤشرات تجمع بين أكثر من صفة؛ فالمؤشر الأول يرتبط بنسبة الإنبات وطول البادرة، بينما يرتبط المؤشر الثاني بنسبة الإنبات والوزن الجاف. لذلك فإن تراجعها يعكس ضعفًا عامًا في حيوية البذور وكفاءة البادرات، وليس انخفاضًا في صفة منفردة فقط، وتتفق هذه النتيجة مع عبد القادر (2025أ)، التي أشارت إلى ارتباط تحسن قوة البادرة بتحسن النمو والاتزان الأيوني تحت الإجهاد الملحي.

وعلى الرغم من أن معظم الدراسات السابقة تؤكد التأثير السلبي للملوحة في القمح، فإن شدة هذا التأثير قد تختلف باختلاف الصنف أو النوع أو طريقة تطبيق الإجهاد، فقد أشار نجم وآخرون (2026) إلى أن استجابة بعض أصناف القمح للملوحة لم تكن واضحة دائمًا من خلال نسبة الإنبات وحدها، وهذا يدعم ما توصلت إليه الدراسة الحالية من أن التقييم الدقيق لتحمل القمح للملوحة يجب أن يعتمد على مجموعة متكاملة من المؤشرات، تشمل نسبة الإنبات، ومتوسط زمن الإنبات، والنمو الطولي، والكتلة الحيوية، ومؤشرات قوة البادرة.

إحصائيًا، أظهر تحليل التباين الأحادي وجود فروق معنوية بين معاملات كلوريد الصوديوم في جميع الصفات المدروسة عند مستوى معنوية 0.05، كما بيّن اختبار Tukey تمايزًا واضحًا بين المعاملات، خاصة عند التركيزين 75 و100 ملي مولار، وبناءً على ذلك، تدعم النتائج رفض الفرضية الصفرية الرئيسية التي تنص على عدم وجود فروق معنوية بين تراكيز NaCl، وتدعم قبول الفرضية البديلة التي تفيد بوجود تأثير معنوي لتراكيز كلوريد الصوديوم في إنبات بذور القمح ونمو البادرات المبكر. كما تدعم النتائج الفرضيات الفرعية الثلاث، إذ أثرت الملوحة معنويًا في صفات الإنبات، وصفات النمو الطولي، والوزن الطازج والجاف، ومؤشري قوة البادرة.

وبوجه عام، تؤكد نتائج هذه الدراسة أن الإجهاد الملحي الناتج عن كلوريد الصوديوم يمثل عاملًا محددًا لإنبات القمح ونمو بادراته المبكر تحت ظروف منطقة الزاوية – ليبيا. كما تشير النتائج إلى أن التأثير السلبي للملوحة كان تدريجيًا ومرتبطًا بزيادة التركيز، وأن أعلى تركيز مستخدم 100 ملي مولار كان الأكثر تثبيطًا لمعظم الصفات المدروسة، وتوفر هذه النتائج أساسًا علميًا يمكن الاعتماد عليه في دراسات لاحقة لمقارنة أصناف مختلفة من القمح أو اختبار معاملات قد تسهم في تقليل الأثر السلبي للملوحة خلال المراحل الأولى من النمو.

6. الاستنتاجات

أظهرت الدراسة أن تراكيز كلوريد الصوديوم أثرت بصورة معنوية في إنبات بذور القمح ونمو البادرات المبكر، وأن شدة التأثير ازدادت بزيادة تركيز NaCl، فقد انخفضت نسبة الإنبات تدريجيًا مع ارتفاع الملوحة، في حين ازداد متوسط زمن الإنبات، مما يشير إلى أن الإجهاد الملحي قلل كفاءة الإنبات وأبطأ حدوثه.

كما بيّنت النتائج أن صفات النمو المبكر، وتشمل طول الجذر، وطول المجموع الخضري، وطول البادرة الكلي، تأثرت سلبًا بارتفاع تركيز كلوريد الصوديوم، وكان التأثير أكثر وضوحًا عند التركيزين 75 و100 ملي مولار. كذلك أدت الملوحة إلى انخفاض الوزن الطازج والوزن الجاف للبادرات، مما يعكس تراجعًا في المحتوى المائي وتراكم الكتلة الحيوية تحت ظروف الإجهاد.

وأوضحت مؤشرات قوة البادرة أن ارتفاع تركيز NaCl خفّض حيوية البادرات وكفاءة نموها بصورة واضحة، إذ كانت هذه المؤشرات من أكثر القياسات تعبيرًا عن التأثير الكلي للملوحة، وبناءً على نتائج التحليل الإحصائي، تم رفض الفرضية الصفرية وقبول الفرضية البديلة، حيث وُجدت فروق معنوية بين معاملات الملوحة في جميع الصفات المدروسة.

وبصورة عامة، يمكن الاستنتاج أن ملوحة كلوريد الصوديوم تمثل عاملًا محددًا لإنبات القمح ونمو بادراته المبكر تحت ظروف منطقة الزاوية – ليبيا، وأن التراكيز المرتفعة، خاصة 100 ملي مولار، تُحدث تراجعًا واضحًا في مؤشرات الإنبات

والنمو وقوة البادرة، وتشير النتائج إلى أهمية استخدام مجموعة متكاملة من المؤشرات، وليس نسبة الإنبات وحدها، لتقييم استجابة القمح للإجهاد الملحي في مراحله الأولى.

7. التوصيات

في ضوء نتائج الدراسة، يُوصى بتجنب تعريض بذور القمح لمستويات مرتفعة من الملوحة خلال مرحلتي الإنبات ونمو البادرات المبكر، خاصة عند التراكيز القريبة من 75 و100 ملي مولار من كلوريد الصوديوم، لما لها من تأثير واضح في خفض نسبة الإنبات، وإبطاء سرعة حدوثه، وتقليل نمو البادرات وكتلتها الحيوية.

كما يُوصى بمراعاة جودة مياه الري ودرجة ملوحة وسط الزراعة قبل زراعة القمح، خصوصًا في المناطق الجافة وشبه الجافة التي قد تكون أكثر عرضة لتراكم الأملاح، ويمكن أن تسهم مراقبة ملوحة مياه الري والتربة في تحسين نجاح الإنبات والتأسيس الأولي للنبات، بما ينعكس إيجابًا على النمو اللاحق للمحصول.

وتوصي الدراسة باستخدام مؤشرات متعددة عند تقييم تأثير الملوحة في القمح، وعدم الاكتفاء بنسبة الإنبات النهائية فقط؛ إذ أظهرت النتائج أن متوسط زمن الإنبات، وطول الجذر والمجموع الخضري، والوزن الجاف، ومؤشرات قوة البادرة تعطي صورة أدق عن استجابة البادرات للإجهاد الملحي.

كما يُقترح إجراء دراسات لاحقة على أصناف مختلفة من القمح لمقارنة درجة تحملها للملوحة خلال مرحلة الإنبات والنمو المبكر، مع توسيع نطاق التراكيز الملحية وربط النتائج بمؤشرات فسيولوجية وكيميائية مثل محتوى الكلوروفيل، والبرولين، ونسبة K^+/Na^+ كذلك يُوصى باختبار معاملات تمهيدية للبذور أو إضافات محسنة، مثل النقع المسبق أو بعض منظمات النمو أو مصادر الكالسيوم، لمعرفة مدى قدرتها على تخفيف الأثر السلبي للملوحة.

وأخيرًا، يُوصى بتنفيذ تجارب حقلية أو شبه حقلية في منطقة الزاوية والمناطق الليبية المشابهة بيئيًا للتحقق من مدى توافق النتائج المعملية أو شبه المعملية مع ظروف الزراعة الفعلية، بما يسهم في دعم قرارات إدارة الري والملوحة وتحسين استدامة زراعة القمح في البيئات المتأثرة بالأملاح.

قائمة المراجع

المغربي، ناصر جادالله، ومرقب، صالح عمر. (2025). تقييم آثار الملوحة على إنبات البذور والنمو المبكر لبادرات صنفين من نبات القمح *Triticum aestivum* L، في ليبيا، *المجلة الدولية للعلوم والتقنية، 37*.

شاكر، ولاء محمود، إبراهيم، نغم سعدون، وغليم، أزهار عامر. (2025). دور الكالسيوم في زيادة تحمل بذور القمح الطري (*Triticum aestivum* L.) للإجهاد الملحي وأثر ذلك في تحسين مؤشرات الإنبات ونمو البادرات. *مجلة وقاية النبات العربية، 43*(2)، 247–256. https://doi.org/10.22268/AJPP-001321

عبد القادر، سعاد امقدع. (2025أ). تأثير المعاملة الأولية للبذور بملح كلوريد الصوديوم على نسبة K^+/Na^+ كمؤشر فسيولوجي لتحمل الملوحة في مراحل الإنبات المبكرة للقمح، *المجلة الأفروآسيوية للبحث العلمي، 3*(4)، 180–188.

عبد القادر، سعاد امقدع. (2025ب). تقييم فعالية النقع الملحي لبذور القمح تحت الإجهاد الملحي باستخدام مؤشر تحفيز الإنبات كأداة فسيولوجية. *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences, 4*(3)، 612–616. https://doi.org/10.65418/ajapas.v4i3.1555

نجم، هبة، الفريخ، صهيب، بكار، هناء، وسليمان، أشرف. (2026). تأثير الملوحة على إنبات البذور ونمو بعض أصناف القمح، *المجلة الأفروآسيوية للبحث العلمي، 4*(1)، 202–210.

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

Alhudhaibi, A. M., Ibrahim, M. A. R., Abd-Elaziz, S. M. S., Farag, H. R. M., Elsayed, S. M., Ibrahim, H. A., Hossain, A. B. M. S., Alharbi, B. M., Haouala, F., Elkelish, A., & Srour, H. A. M. (2024). Enhancing salt stress tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings: Insights from trehalose and mannitol. *BMC Plant Biology, 24*, Article 472. https://doi.org/10.1186/s12870-024-04964-2

Butcher, K., Wick, A. F., DeSutter, T., Chatterjee, A., & Harmon, J. (2016). Soil salinity: A threat to global food security. *Agronomy Journal, 108*(6), 2189–2200. https://doi.org/10.2134/agronj2016.06.0368

Carrera-Castaño, G., Calleja-Cabrera, J., Pernas, M., Gómez, L., & Oñate-Sánchez, L. (2020). An updated overview on the regulation of seed germination. *Plants, 9*(6), 703. https://doi.org/10.3390/plants9060703

El Sabagh, A., Islam, M. S., Skalicky, M., Raza, M. A., Singh, K., Hossain, M. A., Hossain, A., Mahboob, W., Iqbal, M. A., Ratnasekera, D., Singhal, R. K., Ahmed, S., Kumari, A., Wasaya, A., Sytar, O., Brestic, M., Çig, F., Erman, M., Rahman, M. H., … Ullah, N. (2021). Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: Adaptation and management strategies. *Frontiers in Agronomy, 3*, 661932. https://doi.org/10.3389/fagro.2021.661932

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *Agricultural production statistics 2010–2023*. FAO.

Khan, M. M., Rahman, M. M., Hasan, M. M., Amin, M. F., Matin, M. Q. I., Faruq, G., Alkeridis, L. A., Gaber, A., & Hossain, A. (2024). Assessment of the salt tolerance of diverse bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes during the early growth stage under hydroponic culture conditions. *Heliyon, 10*(7), e29042. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29042

Manono, B. O. (2026). Effects of salinity on seed germination: Mechanisms, impacts, and mitigation strategies. *Seeds, 5*(1), 1. https://doi.org/10.3390/seeds5010001

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. *Environmental Science and Pollution Research, 22*, 4056–4075. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1

Ranal, M. A., & Santana, D. G. (2006). How and why to measure the germination process? *Brazilian Journal of Botany, 29*(1), 1–11. https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100002

Saddiq, M. S., Iqbal, S., Hafeez, M. B., Ibrahim, A. M. H., Raza, A., Fatima, E. M., Baloch, H., Jahanzaib, Woodrow, P., & Ciarmiello, L. F. (2021). Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. *Agronomy, 11*(6), 1193. https://doi.org/10.3390/agronomy11061193