دور الكالسيوم في زيادة تحمل بذور القمح الطري (*Triticum aestivum* L.) للإجهاد الملحي وأثر ذلك في تحسين مؤشرات الإنبات ونمو البادرات

ولاء محمود شاكر[1]، نغم سعدون ابراهيم[1]* وأزهار عامر غليم[2]

(1) قسم علوم الحياة، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة ديالى، العراق؛ (2) مديرية تربية الرصافة الثانية، بغداد، العراق.

*البريد الإلكتروني للباحث المراسل: naghamsa3doon@gmail.com

الملخص

شاكر، ولاء محمود، نغم سعدون ابراهيم وأزهار عامر غليم. 2025. دور الكالسيوم في زيادة تحمل بذور القمح (*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

بهدف دراسة دور الكالسيوم في زيادة تحمل بذور القمح للإجهاد الملحي، أجريت تجربة مختبرية في مختبر النبات التابع لقسم علوم الحياة، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة ديالى، العراق. نُقعت بذور القمح في محلول كلوريد الكالسيوم ذي التراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، وبعد توزيعها في أطباق بتري عوملت ولمرة واحدة بـ 10 مل من محلول كلوريد الصوديوم وبالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر. أظهرت نتائج الدراسة انخفاضاً معنوياً في كلٍّ من إنبات البذور، قوّة البادرة، طول الرويشة والجذير، الأوزان الرطبة لكل من الرويشة والجذير، والوزن الجاف للجذير نتيجة معاملة حبوب القمح بمحلول الصوديوم بالتراكيز 50 و 100 مغ/ليتر. كذلك أظهرت النتائج أن معاملة حبوب القمح بمحلول الكالسيوم بالتراكيز 50 و 100 مغ/ليتر سببت زيادة معنوية في كل من طول الرويشة والجذير، في حين سببت المعاملة بالكالسيوم بالتراكيز المبينة أعلاه انخفاضاً معنوياً في كل من دليل قوة البادرة ووزن الجذير الرطب والجاف. أظهرت نتائج الدراسة أيضاً فروقاً معنوية في جميع الصفات المدروسة، باستثناء صفة النسبة المئوية للإنبات، نتيجة التداخل بين معاملتي الصوديوم والكالسيوم وبالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر. وعليه، يمكن اعتبار معاملة النباتات النامية تحت ظروف الإجهاد الملحي بالكالسيوم إحدى الآليات التي تساعد النبات على تحمل الملوحة وتحسّن مؤشرات الإنبات والنمو.

كلمات مفتاحية: إجهاد ملحي، كالسيوم، ريشة، جذير، إنبات، قمح، أمراض فسيولوجية.

المقدمة

يحتل القمح الطري (*Triticum aestivum* L.) المرتبة الأولى عالمياً بين محاصيل الحبوب (Giraldo *et al.*, 2019)، حيث يشكل الغذاء الأساسي لأكثر من ثلث سكان العالم (Chattha *et al.*, 2017؛ Hasanuzzaman *et al.*, 2017)، وهو المصدر الرئيسي للبروتين النباتي في غذاء الإنسان، فضلاً عن كونه مصدراً مهماً للعناصر المغذية والفيتامينات والألياف والدهون الضرورية لصحة الإنسان (Iqbal *et al.*, 2022؛ Lafiandra *et al.*, 2014؛ Sarwar *et al.*, 2013). تختلف النباتات في استجابتها للملوحة، ومن بين الحبوب ، يعدّ الرّز من أكثر المحاصيل حساسية للملوحة بينما الشعير أكثرها تحملاً ، في حين يعدّ القمح معتدل التحمل للملوحة (Saddiq *et al.*, 2021).

تعدّ الملوحة إحدى التهديدات البيئية الشائعة والتي تؤثر بشكل كبير على الزراعة في أجزاء عديدة من العالم، إذ يتأثر أكثر من 20% من الأراضي الزراعية بالملوحة، ويتزايد تأثيرها باستمرار بسبب التغيرات في المناخ والأنشطة البشرية المختلفة (Arora, 2019). يعدّ وجود مستويات عالية من الملح في التربة والمياه المستخدمة للري أحد العوامل المؤدية إلى تدهور الزراعة، إذ تسبب الملوحة تراكم عنصر الصوديوم السام في الخلايا النباتية، ويقابله نقص في تركيز العناصر المغذية الأساسية والمهمة للنمو كالكالسيوم والبوتاسيوم (Salim & Raza, 2020). تؤثر الملوحة في العمليات الفيزيائية والكيميائية الحيوية للنباتات مسببةً في النهاية ضعف نمو النبات وانخفاض إنتاجيته (Abdelhamid *et al.*, 2020؛ Chen *et al.*, 2017؛ Klein *et al.*, 2018؛ Kumar *et al.*, 2017).

يعدّ الكالسيوم من العناصر المغذية الأساسية، والذي يعمل كجزيئات إشارات مرتبطة بالاستجابات التكيفية ضدّ الضغوط البيئية المختلفة (Mahmood-ur-Rahman *et al.*, 2019). تمّت الإشارة في دراساتٍ سابقة إلى دور الكالسيوم في منع التسمم الناتج عن الإجهاد

https://doi.org/10.22268/AJPP-001321
© 2025 الجمعية العربية لوقاية النبات Arab Society for Plant Protection

الملحي، إذ يملك الكالسيوم القدرة على التخفيف من سمية الصوديوم وتقليل تأثيراته الخطرة (Rahman *et al.,* 2016؛ Tanveer *et al.,* 2020).

ارتبط دور الكالسيوم بالتخفيف من تأثير الإجهاد الملحي في النبات مع بعض آليات الدفاع لديه، إذ يعدّ الكالسيوم عنصراً أساسياً وضرورياً للحفاظ على هيكل ووظيفة الأغشية الخلوية واستقرار جدار الخلية فضلاً عن دوره المهم في تنظيم التوازن الأيوني (Arshi *et al.,* 2010؛ Morgan *et al.,* 2014)، وبالتالي فإنه يلعب دوراً مهماً في تعزيز نمو النبات وزيادة إنتاجيته. وعلاوةً على ذلك، تلعب الإضافة الخارجية للكالسيوم دوراً مهماً في التقليل من سمية الصوديوم عن طريق تسهيل زيادة نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم، كما أنه يعزز عمل الأنزيمات المضادة للأكسدة ونظام إزالة السموم ROS (Weng *et al.,* 2022).

يعمل التركيز العالي للصوديوم على إضعاف وظيفة إنزيم الـ Kinase المعتمد على الكالسيوم مما يفضي إلى الشيخوخة المبكرة في النباتات (Asano *et al.,* 2012؛ Campo *et al.,* 2014)، ولذلك تساعد الإضافة الخارجية للكالسيوم في زيادة تحمل النبات للإجهاد الملحي. هدفت الدراسة الحالية إلى بيان دور الإضافة الخارجية للكالسيوم في زيادة تحمل بذور القمح للإجهاد الملحي الناتج عن التعرض إلى أملاح الصوديوم في وسط النمو، وتحسين مؤشرات الإنبات ونمو بادرات نبات القمح.

مواد البحث وطرائقه

موقع تنفيذ التجربة

أجريت تجربة مختبرية في مختبر النبات التابع لقسم علوم الحياة– كلية التربية للعلوم الصرفة– جامعة ديالى في العراق للتحري عن تأثير الصوديوم والكالسيوم والتداخل بينهما في نمو بادرات نبات القمح. نفّذت التجربة بتاريخ 2023/4/2 باستخدام حبوب قمح "صنف آباء 99" والتي تمّ الحصول عليها من مديرية الزراعة في محافظة ديالى. تم استبعاد التالف والمتضرر من الحبوب، وغسلها بالكلور والماء المقطر عدة مرات.

تنمية البذور في أطباق بتري

نقعت حبوب القمح لمدة 10 ساعات في محلول كلوريد الكالسيوم وبالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، بواقع 90 بذرة لكل تركيز. وضعت حبوب القمح المنقوعة سابقاً بمحلول كلوريد الكالسيوم في أطباق بتري، قطرها 10 سم وتحوي على أوراق ترشيح Whatman No.1، بواقع 10 حبوب لكل طبق، وأضيف إليها 10 مل من محلول كلوريد الصوديوم وبالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر ولمرة واحدة. أمّا الحبوب التي تمّ نقعها بالماء المقطر، فقد أضيف إليها الماء المقطر فقط بكونها معاملة الشاهد. بلغ عدد المعاملات 9 معاملات، وهي كالآتي: T1= Na1Ca1 (الصوديوم بتركيز 0 مغ/ليتر + الكالسيوم بتركيز 0 مغ/ليتر)، T2= Na2Ca1 (الصوديوم بتركيز 50 مغ/ليتر + الكالسيوم بتركيز 0 مغ/ليتر)، T3= Na3Ca1 (الصوديوم بتركيز 100 مغ/ليتر + الكالسيوم بتركيز 0 مغ/ليتر)، T4= Na1Ca2 (الصوديوم بتركيز 0 مغ/ليتر + الكالسيوم بتركيز 50 مغ/ليتر)، T5 = Na2Ca2 (الصوديوم بتركيز 50 مغ/ليتر + الكالسيوم بتركيز 50 مغ/ليتر)، T6 = Na3Ca2 (الصوديوم بتركيز 100 مغ/ليتر + الكالسيوم بتركيز 50 مغ/ليتر)، T7 = Na1Ca3 (الصوديوم بتركيز 0 مغ/ليتر + الكالسيوم بالتركيز 100 مغ/ليتر)، T8 = Na2Ca3 (الصوديوم بتركيز 50 مغ/ليتر + الكالسيوم بتركيز 100 مغ/ليتر)، T9 = Na3Ca3 (الصوديوم بتركيز 100 مغ/ليتر + الكالسيوم بتركيز 100 مغ/ليتر). كرّرت كل معاملة ثلاث مرات ليكون بذلك العدد النهائي للمعاملات 27 معاملة. وضعت الأطباق في درجة حرارة الغرفة، وتمّت تغطيتها، واستمرت التجربة لمدة 10 أيام.

الصفات المدروسة

تمّت دراسة نسبة الإنبات (%) باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{النسبة المئوية للإنبات} = \frac{\text{عدد البذور النابتة}}{\text{عدد البذور الكلي}} \times 100$$

قوة البادرة: تمّ قياسها بواسطة المعادلة التالية (Murti *et al.,* 2004):

$$\text{قوة البادرة} = \frac{\text{نسبة الإنبات} \times (\text{طول الرويشة سم} + \text{طول الجذير سم})}{100}$$

تمّ قياس معامل قوة البادرة (Seedling vigour index) اعتماداً على المعادلة التالية (Abdul-Baki, 1980):

معامل قوة البادرة= النسبة المئوية للإنبات × الوزن الجاف للبادرة (غ)

قوة البذور: تمّ قياسها بواسطة المعادلة التالية (Ellis, 1981):

قوة البذور = النسبة المئوية للإنبات × طول البادرة(سم) × 100

بالإضافة إلى طول الرويشة (سم)، طول الجذير (سم)، الوزن الرطب للرويشة (غ)، الوزن الجاف للرويشة (غ)، الوزن الرطب للجذير (غ) والوزن الجاف للجذير (غ)

التحليل الاحصائي

نفّذت التجارب باستخدام التصميم العشوائي الكامل (CRD)، وحُللت النتائج إحصائياً باستخدام تحليل التباين ANOVA واستعمال برنامج الـ SAS، وتمّت مقارنة المتوسطات حسب اختبار دنكن متعدد الاحتمالات عند مستوى احتمال 5% (Al-Rawi, 2000).

النتائج

النسبة المئوية للإنبات

أشارت النتائج إلى عدم وجود فروق معنوية بين متوسطات صفة النسبة المئوية للإنبات نتيجة معاملة بذور نبات القمح بالصوديوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، حيث أدت معاملة بذور القمح بالصوديوم إلى حدوث انخفاض في النسبة المئوية للإنبات، وبلغ أقلّ متوسط لهذه الصفة 81.444% نتيجة معاملة البذور بالصوديوم بالتركيز 100 مغ/ليتر مقارنةً بالمتوسط الأعلى المسجّل في معاملة الشاهد والذي بلغ 88.555%.

أشارت النتائج أيضاً إلى عدم وجود فروق معنوية بين متوسطات النسبة المئوية للإنبات نتيجة معاملة بذور القمح بالكالسيوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، وتبيّن من خلال نتائج معاملة البذور بالكالسيوم وفق التراكيز المبينة أعلاه أنّها سببّت انخفاضاً في النسبة المئوية للإنبات، وأن التركيز 100 مغ/ليتر أعطى أقلّ متوسط لهذه الصفة وبلغ 83.889% مقارنة بالمتوسط الأعلى (87.111%) في معاملة الشاهد، مع عدم وجود فروق معنوية بين متوسطات هذه الصفة نتيجة التداخل بين الصوديوم والكالسيوم، وسُجّل أعلى متوسط (96.667%) في معاملة التوليفة (0 Na مغ/ليتر + 0 Ca ملغ/ليتر) مقارنةً بالمتوسط الأدنى (76.667%) والذي تم الحصول عليه من التوليفة (50 Na مغ/ليتر + 50 Ca مغ/ليتر).

قوة البادرة

بينت النتائج (جدول 1) حدوث انخفاض معنوي في متوسطات صفة قوة البادرة نتيجة معاملة بذور القمح بالصوديوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، وسجلت أدنى قيمة للمتوسط (15.001) عند معاملة بذور القمح بالصوديوم بالتركيز 100 مغ/ليتر وبنسبة انخفاض بلغت 32.625% مقارنةً بمعاملة عدم إضافة الصوديوم والتي سجلت المتوسط الأعلى (22.265)، وكانت نتيجة البحث هذه متوافقة مع ما نشر سابقاً (Baig *et al.,* 2021). أشارت النتائج أيضاً إلى عدم وجود فروق معنوية بين متوسطات قوة الباردة نتيجة معاملة بذور القمح بالكالسيوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، ويتضح من خلال النتائج أن المتوسط الأعلى (21.290) لهذه الصفة كان لمعاملة البذور بالكالسيوم بالتركيز 50 مغ/ليتر وبنسبة زيادة بلغت 18.554% مقارنة بالمتوسط الأقل (17.958) المسجل في معاملة عدم إضافة الصوديوم. وكان هناك فروق معنوية بين متوسطات صفة قوة البادرة نتيجة التداخل بين الصوديوم والكالسيوم.

معامل قوة البادرة

أوضحت النتائج (جدول 1) وجود انخفاض غير معنوي في صفة معامل قوة البادرة نتيجة معاملة بذور القمح بالصوديوم وبالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، وكان أقل متوسط عند معاملة بذور القمح بالصوديوم وبالتركيز 100 مغ/ليتر وبلغ مقداره 1.145 وبنسبة انخفاض 48.237% مقارنةً بالمتوسط الأعلى (2.212) في معاملة الشاهد، وتتفق هذه النتيجة مع ما نشر سابقاً (Baig *et al.,* 2021). كما أشارت النتائج أيضاً إلى انخفاض معنوي بين متوسطات صفة معامل قوة البادرة نتيجة معاملة بذور القمح بالكالسوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، حيث بلغ المتوسط الأقل في معاملة بذور القمح بالتركيز 50 مغ/ليتر 0.617 مقارنة بالمتوسط الأعلى (2.522) للشاهد.

كذلك أشارت النتائج إلى وجود فروق معنوية بين متوسطات دليل قوة البادرة نتيجة التداخل بين الصوديوم والكالسيوم، حيث بلغ المتوسط الأعلى لهذه الصفة 3.443 نتيجة التوليفة (0 Na مغ/ليتر + 100 Ca مغ/ليتر)، في حين كان المتوسط الأقل (0.270) نتيجة التوليفة (100 Na مغ/ليتر + 50 Ca مغ/ليتر) ، وتتفق هذه النتائج مع ما نشر سابقاً (Kamran *et al.,* 2021).

قوة البذرة

أشارت النتائج (جدول 1) إلى فروقات معنوية بين متوسطات صفة قوة البذور نتيجة معاملة بذور القمح بالصوديوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، وبلغ أقل متوسط لقوة البذور (1509.7) في معاملة اضافة الصوديوم بالتركيز 100 مغ/ليتر وبنسبة انخفاض بلغت 33.962% مقارنةً بالمتوسط الأعلى (2286.1) في معاملة عدم إضافة بالصوديوم، وتتفق هذه النتيجة مع ما نشر سابقاً (Xie *et al.,* 2020). كما أوضحت النتائج أيضاً عدم وجود فروقات معنوية بين متوسطات صفة قوة البذرة نتيجة معاملة بذور القمح بالكالسيوم وبالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، وتمّ الحصول على أقل متوسط (1795.8) من معاملة الشاهد 0 مغ/ليتر، مقارنة بالمتوسط الأعلى في معاملة بذور القمح بالكالسيوم وبالتركيز 50 مغ/ليتر الذي بلغ 2129.0 وبنسبة انخفاض 15.650%. وكان هناك فروق معنوية بين متوسطات صفة قوة البذرة نتيجة التداخل بين الصوديوم والكالسيوم، حيث بلغ المتوسط الأعلى 2325.2 نتيجة التوليفة (0 Na مغ/ليتر + 100 Ca مغ/ليتر)، في حين بلغ المتوسط الأقل 934.3 نتيجة التوليفة (50 Na مغ/ليتر + 100 Ca مغ/ليتر).

طول الرويشة (سم)

بينت النتائج (جدول 1) وجود فروق معنوية بين متوسطات طول الرويشة نتيجة معاملة بذور القمح بالصوديوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر،

وسبّبت إضافة الصوديوم انخفاضاً في متوسطات طول الرويشة وبلغ المتوسط الأدنى (7.322 سم) في معاملة إضافة الصوديوم بالتركيز 100 مغ/ليتر مقارنةً بالمتوسط الأعلى (10.155 سم) في معاملة الشاهد، وبنسبة انخفاض بلغت 27.898%، وكانت هذه النتيجة متوافقة مع ما نشر سابقاً (Baig *et al.,* 2021؛ Shekoofa *et al.,* 2013). كما كانت الفروق معنوية بين متوسطات صفة طول الرويشة من معاملة بذور القمح بالكالسيوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، إذ أظهرت النتائج تسجيل المتوسط الأعلى (9.622 سم) لهذه الصفة في معاملة البذور بالكالسيوم بالتركيز 50 مغ/ليتر وبنسبة زيادة بلغت 22.66% مقارنةً بالمتوسط الأقل (7.844 سم) في معاملة الشاهد 0 مغ/ليتر. كما أوضحت النتائج وجود فروق معنوية بين متوسطات صفة طول الرويشة نتيجة التداخل بين الصوديوم والكالسيوم وبلغ المتوسط الأعلى (11.3 سم) من التوليفة (50 Na مغ/ليتر + 50 Ca مغ/ليتر)، في حين كان المتوسط الأدنى 4.8 سم نتيجة التوليفة (100 Na مغ/ليتر + 0 Ca مغ/ليتر). وتتفق هذه النتائج مع ما نشر سابقاً (Kamran *et al.,* 2021).

طول الجذير (سم)

أشارت النتائج (جدول 1) إلى وجود انخفاض معنوي بين متوسطات طول الجذير نتيجة معاملة بذور القمح بالصوديوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، حيث بلغ المتوسط الأدنى 11.177 سم نتيجة معاملة البذور بالصوديوم بالتركيز 100 مغ/ليتر مقارنة بالمتوسط الأعلى 15.311 سم في معاملة الشاهد (عدم إضافة الصوديوم)، وبنسبة انخفاض بلغت 27.0%، وتتفق هذه النتائج مع ما نشر سابقاً (Ali, 2021؛ Shekoofa *et al.,* 2013). كما أشارت النتائج إلى وجود فروق معنوية بين متوسطات صفة طول الجذير نتيجة معاملة بذور القمح بالكالسيوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، حيث بلغ المتوسط الأعلى (16.133 سم) نتيجة معاملة البذور بالكالسيوم بالتركيز 50 مغ/ليتر، وبنسبة زيادة بلغت 29.98% مقارنةً بالمتوسط الأقل (12.411 سم) في معاملة الشاهد (عدم إضافة الكالسيوم). كما أشارت النتائج إلى وجود فروقات معنوية بين متوسطات صفة طول الجذير نتيجة التداخل بين الصوديوم والكالسيوم، حيث بلغ المتوسط الأعلى 17.8 سم نتيجة التوليفة (50 Na مغ/ليتر + 50 Ca مغ/ليتر)، في حين سجلت التوليفة (100 Na مغ/ليتر + 0 Ca مغ/ليتر) المتوسط الأقل وبلغ 7.33 سم، وهذا يتفق مع ما نشر سابقاً (Kamran *et al.,* 2021).

جدول 1. تأثير معاملة بذور القمح بتراكيز مختلفة من الصوديوم والكالسيوم والتداخل بينهما في قوة البادرة، معامل قوة البادرة، قوة البذرة، طول الرويشة وطول الجذير.

Table 1. Effect of wheat seed treatments with different concentrations of sodium, calcium and the interactions between them on seedlings vigor, seedlings vigor index, seed vigor, plumule length and radical length.

طول الجذير (سم) Radical length (cm)	طول الرويشة (سم) Plumule length (cm)	قوة البذرة Seed vigor	معامل قوة البادرة Seedling vigor index	قوة البادرة Seedling vigor	تركيز الكالسيوم (مغ/ليتر) Concentration of Ca (mg/L)	تركيز الصوديوم (مغ/ليتر) Concentration of Na (mg/L)	المعاملات Treatments
15.311 a	10.155 a	10.155 a	2286.1 a	22.265 a		0	تركيز الصوديوم (مغ/ليتر) Concentration of Na (mg/L)
15.033 a	9.878 a	9.878 a	2110.8 a	20.865 a		50	
11.177 ab	7.322 ab	7.322 ab	1509.7 b	15.001 b		100	
12.411 b	7.844 b	7.844 b	1795.8 a	17.958 a		0	تركيز الكالسيوم (مغ/ليتر) Concentration of Ca (mg/L)
16.133 a	9.889 a	9.889 a	2129.0 a	21.290 a		50	
12.644 ab	9.622 a	9.622 a	1888.4 a	18.884 a		100	
							تأثير التداخل بين الصوديوم والكالسيوم Interaction effect between sodium and calcium
14.767 abc	10.267 abc	2325.3 ab	2.007 ab	23.253 ab	0	0	
15.667 a	9.733 abc	2225.3 ab	1.187 ab	22.253 abc	50		
15.500 ab	10.467 abc	2129.0 a	3.443 a	21.290 abc	100		
16.133 a	8.467 abc	2127.7 ab	2.737 ab	21.277 abc	0	50	
17.800 a	11.300 a	2232.3 b	0.397 b	22.323 abc	50		
11.167 abc	9.867 abc	1899.7 ab	1.097 ab	18.997 abc	100		
7.333 c	4.800 d	934.3 b	2.823 ab	9.343 d	0	010	
14.933 ab	9.889 a	1929.3 b	0.270 b	19.293 abc	50		
11.267 abc	9.622 a	1636.7 b	0.343 b	16.367 bcd	100		

القيم التي يتبعها حروف متشابهة لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 5%.

Values followed by the same letters are not significantly different at P=0.05.

وزن الرويشة الرطب (غ)

أوضحت النتائج (جدول 2) وجود فروقات معنوية بين متوسطات وزن الرويشة الرطب نتيجة معاملة بذور القمح بالصوديوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، وبلغ المتوسط الأدنى 0.055 غ عند معاملة البذور بالصوديوم بالتركيز 100 مغ/ليتر ، وبنسبة انخفاض بلغت 36.782% مقارنة بالمتوسط الأعلى (0.087 غ) الناتج عن معاملة البذور بالصوديوم بالتركيز 50 مغ/ليتر، مما يتفق مع ما نشر سابقاً (Ali *et al.,* 2023).

لم يكن هناك أي فروق معنوية تذكر بين متوسطات وزن الرويشة الرطب نتيجة معاملة البذور بالكالسيوم، وبلغ المتوسط الأعلى لوزن الرويشة الرطب 0.088 غ نتيجة معاملة بذور القمح بالكالسيوم وبالتركيز 100 مغ/ليتر مقارنة بالمتوسط الأقل (0.059 غ) في معاملة الشاهد. إلا أن النتائج أشارت إلى وجود فروق معنوية بين متوسطات صفة وزن الرويشة الرطب نتيجة التداخل بين الصوديوم والكالسيوم، حيث بلغ المتوسط الأعلى 0.156 غ نتيجة التوليفة (50 Na مغ/ليتر + 100 Ca مغ/ليتر)، في حين أعطت التوليفة (50 Na مغ/ليتر + 0 Ca مغ/ليتر) المتوسط الأقل الذي بلغ 0.042 غ.

وزن الرويشة الجاف (غ)

أشارت النتائج (جدول 2) إلى انخفاض غير معنوي في وزن الرويشة الجاف نتيجة معاملة بذور القمح بالصوديوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، وبلغ المتوسط الأقل 0.003 غ نتيجة معاملة بذور القمح بالصوديوم بالتركيز 100 مغ/ليتر وبنسبة انخفاض بلغت 76.923% مقارنة بالمتوسط الأعلى (0.013 غ) في معاملة الشاهد، وتتفق هذه النتائج مع ما نشر سابقاً (Ali *et al.,* 2023؛ Mozaffari & Fathollahy, 2020). بينت النتائج أيضاً وجود فروق غير معنوية بين متوسطات صفة وزن الرويشة الجاف نتيجة معاملة بذور القمح بالكالسوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، ويتضح من خلال النتائج أن المتوسط الأقل (0.003 غ) تم الحصول عليه نتيجة معاملة بذور القمح بالتركيز 50 مغ/ليتر مقارنة بالمتوسط الأعلى (0.013 غ) في معاملة الشاهد وبنسبة انخفاض بلغ مقدارها 76.923%.

كما تبين وجود فروق معنوية بين متوسطات صفة وزن الرويشة الجاف نتيجة التداخل بين الصوديوم والكالسيوم، وسجل المتوسط الأعلى (0.018 غ) نتيجة التوليفة (0 Na مغ/ليتر + 0 Ca مغ/ليتر)، في حين أن المتوسط الأقل (0.002غ) كان نتيجة التوليفة (100 Na مغ/ليتر + 50 Ca مغ/ليتر).غ.

وزن الجذير الرطب (غ)

أشارت النتائج (جدول 2) إلى وجود فروق معنوية بين متوسطات صفة وزن الجذير الرطب نتيجة معاملة بذور القمح بالصوديوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، حيث بلغ أقل متوسط 0.004 غ نتيجة معاملة البذور بالصوديوم بالتركيز 100 مغ/ليتر وبنسبة انخفاض بلغت 87.5% مقارنة بمعاملة الشاهد (عدم إضافة الصوديوم)، والتي سجلت أعلى متوسط (0.023 غ). وأشارت النتائج إلى وجود فروق معنوية بين متوسطات وزن الجذير الرطب نتيجة معاملة البذور بالكالسيوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، وبلغ المتوسط الأعلى 0.027 غ وذلك في معاملة الشاهد (عدم اضافة الكالسيوم)، وبنسبة زيادة بلغت 285.714% مقارنة بمعاملة البذور بالكالسيوم بالتركيز 100 مغ/ليتر والتي بلغ فيها متوسط وزن الجذير الرطب أقل قيمة (0.007 غ). كما أشارت النتائج أيضاً إلى وجود فروق معنوية بين متوسطات هذه الصفة نتيجة للتداخل بين الصوديوم والكالسيوم، حيث أعطت التوليفة (0 Na مغ/ليتر + 0 Ca مغ/ليتر) أعلى متوسط لوزن الجذير الرطب وبلغ 0.06 غ، في حين كان أقل متوسط 0.003 غ نتيجة المعاملة (100 Na مغ/ليتر + 50 Ca مغ/ليتر).

وزن الجذير الجاف (غ)

أشارت النتائج (جدول 2) إلى انخفاض معنوي بين متوسطات صفة وزن الجذير الجاف نتيجة معاملة بذور القمح بالصوديوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، وبلغ أقل متوسط لوزن الجذير الجاف 0.006 غ في معاملة اضافة الصوديوم بالتركيز 50 مغ/ليتر، وبنسبة انخفاض بلغت 45.455% مقارنةً بالمتوسط (0.011 غ) الناتج من معاملة عدم إضافة الصوديوم ومعاملة اضافة الصوديوم بالتركيز 100 مغ/ليتر، وتتفق هذه النتيجة مع بحث نشر سابقاً (Mozaffari & Fathollahy, 2020). كما أوضحت النتائج وجود فروق معنوية بين متوسطات وزن الجذير الجاف نتيجة معاملة البذور بالكالسيوم بالتراكيز 0، 50 و 100 مغ/ليتر، حيث بلغ أقل متوسط 0.004 غ في معاملة البذور بالكالسيوم بتركيز 50 مغ/ليتر، وبلغت نسبة الانخفاض 73.33% مقارنة بمعاملة الشاهد التي سجلت أعلى متوسط (0.015 غ). كذلك أوضحت النتائج وجود فروق معنوية بين متوسطات وزن الجذير الجاف نتيجة للتداخل بين الصوديوم والكالسيوم، حيث سببت التوليفة (100 Na مغ/ليتر + 0 Ca مغ/ليتر) أعلى متوسط بلغ 0.029 غ، في حين كان أقل متوسط 0.002 غ نتيجة كل من التوليفات (100 Na مغ/ليتر + 50 Ca مغ/ليتر)، (100 Na ملغ/ليتر + 100 Ca مغ/ليتر) و(50 Na مغ/ليتر + 100 Ca مغ/ليتر).

جدول 2. تأثير معاملة بذور القمح بتراكيز مختلفة من الصوديوم والكالسيوم والتداخل بينهما في وزن الرويشة الرطب والجاف ووزن الجذير الرطب والجاف.

Table 2. Effect of wheat seed treatment with different concentrations of sodium and calcium and the interaction between them on the plumule fresh and dry weight and radical fresh and dry weights.

وزن الجذير الجاف (غ) Radical dry weight (g)	وزن الجذير الرطب (غ) Radical fresh weight (g)	وزن الرويشة الجاف (غ) Plumule dry weight (g)	وزن الرويشة الرطب (غ) Plumule fresh weight (g)	Treatments		المعاملات
0.011 a	0.032 a	0.013 a	0.072 a	0		تركيز الصوديوم (مغ/ليتر) Concentration of Na (mg/L)
0.006 b	0.012 b	0.010 a	0.087 ab	50		
0.011 ab	0.004 b	0.003 a	0.055 b	100		
0.015 a	0.027 a	0.013 a	0.059 a	0		تركيز الكالسيوم (مغ/ليتر) Concentration of Ca (mg/L)
0.004 b	0.013 b	0.003 a	0.068 a	50		
0.009 ab	0.007 b	0.011 a	0.088 a	100		
				تركيز الكالسيوم (مغ/ليتر) Concentration of Ca (mg/L)	تركيز الصوديوم (مغ/ليتر) Concentration of Na (mg/L)	تأثير التداخل بين الصوديوم والكالسيوم Interaction effect between sodium and calcium
0.003 b	0.060 a	0.018 ab	0.078 b	0	0	
0.007 b	0.022 bc	0.006 b	0.077 b	50		
0.025 a	0.013 bc	0.017 ab	0.061 b	100		
0.013 b	0.016 bc	0.017 ab	0.042 b	0	50	
0.003 b	0.014 bc	0.003 b	0.063 b	50		
0.002 b	0.005 c	0.011 ab	0.156 a	100		
0.029 a	0.005 c	0.005 b	0.056 a	0	100	
0.002 b	0.003 c	0.002 b	0.064 b	50		
0.002 b	0.005 c	0.004 b	0.046 b	100		

القيم التي يتبعها حروف متشابهة لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 5%.

Values followed by the same letters are not significantly different at P=0.05.

المناقشة

أشار العديد من الباحثين في دراساتهم التي أجريت للتحري عن تأثير الإجهاد الملحي في إنبات ونمو النباتات، إلى التأثير السلبي لأملاح الصوديوم في إنبات البذور والذي يعزى إلى دورها في خفض معدل امتصاص الماء، إذ يسبب تراكم أيونات +Na في وسط النمو إجهاداً اسموزياً وجفافاً كاذباً، والذي يؤدي بالتالي إلى خفض امتصاص النبات للماء (Hao *et al.,* 2021 ؛Farhoudi & Tafti, 2011)، أو من خلال دورها في تسهيل امتصاص الأيونات (+Na و Cl^-) وبالتالي إحداث السمية الأيونية (Amin *et al.,* 2021 ؛Arif *et al.,* 2020). وقد يعود السبب في الانخفاض الحاصل في النسبة المئوية لإنبات البذور المعاملة بملح كلوريد الصوديوم بتراكيز مختلفة إلى التأثير الضار للملوحة في الأنزيمات المشاركة في الإنبات، من خلال تأثيرها في تركيب تلك الأنزيمات أو التقليل من نشاطها (Khosh Kholgh Sima *et al.,* 2013)، ويسبب هذا الخلل أو التغيير في نشاط الأنزيمات حدوث تغيرات في النبات خلال مرحلة الإنبات كتغير في التمثيل الغذائي للحمض النووي والبروتين (Goharrizi *et al.,* 2020 ؛Gomes-Filho *et al.,* 2008)، فضلاً عن إحداث خلل في التوازن الهرموني (Yan *et al.,* 2022). تزيد الملوحة أيضاً من كمية المركبات الفينولية الناتجة من خلال تأثيرها في إحداث اضطراب في عملية التمثيل الغذائي، إذ تعمل تلك المركبات الفينولية على تثبيط عملية الإنبات (Ayaz *et al.,* 2000).

يمكن أن تؤثر الملوحة في عملية الإنبات من خلال خفض قدرة البذور على التشرب بالماء والذي يحدث نتيجة حصول انخفاض في القدرة التناضحية لوسط الإنبات، وبالتالي تأخير امتصاص الماء وانخفاض النسبة المئوية للإنبات (Uçarlı, 2020). أما الانخفاض الذي حصل في كل من قوة البادرة ودليل قوة البادرة وقوة البذرة نتيجة معاملة البذور بكلوريد الصوديوم وبتراكيز مختلفة، فإنّه يعزى إلى الانخفاض الذي حصل بفعل التعرض إلى الإجهاد الملحي في كل من النسبة المئوية للإنبات وطول الرويشة وطول الجذير مما انعكس وبشكل سلبي على الصفات المذكورة. وقد يعود السبب في الانخفاض الحاصل في أوزان وأطوال كل من الجذير والرويشة إلى انخفاض وزن البذور نتيجة تأثرها بالإجهاد الملحي والتي كانت لها تأثير في خفض إنتاج المادة الجافة وتراكمها داخل حبوب القمح، إذ أن شحة العناصر الرئيسة بسبب منافسة

أيونات الصوديوم والكلور لها وارتفاع الضغط االأوزموزي لمحلول التربة وقلة امتصاص المياه بسبب انخفاض مستوى الماء المتيسر في منطقة الجذور (Hasegawa *et al.,* 2000؛ Dawood & Rasheed, 2015)، فضلاً عن قلّة المادة الجافة المتراكمة داخل البذور في التجربة الحقلية التي أخذت منها البذور (Zan *et al.,* 2011)، وبالتالي أدّت هذه العوامل مجتمعة إلى انخفاض عملية التمثيل الضوئي والذي ترافق معه انخفاض في نقل وتراكم المادة الجافة داخل الحبة مما انعكس سلباً على الصفات النوعية للبذور.

من جانب آخر، تبين أن نقع حبوب القمح بالكالسيوم قبل تعريضها للإجهاد بملح بالصوديوم يؤدي للتخفيف من الآثار الضارة لأملاح الصوديوم وتحسين بعض مؤشرات الإنبات والنمو، ويعود السبب في ذلك إلى التأثير الإيجابي للكالسيوم في الحفاظ على الخلايا الحارسة منتفخة وبالتالي تحسين أداء الثغور (Agurla *et al.,* 2018) أو عن طريق ضمان توافر ثاني أكسيد الكربون (Sibole *et al.,* 2003)، بالإضافة إلى زيادة امتصاص النبات للماء وبالتالي تنشيط عملية التمثيل الغذائي والتسريع في عملية الإنبات (Elouaer & Hannachi, 2012). أضف إلى ذلك أن الكالسيوم يعمل على تقليل امتصاص الصوديوم ونقله، فضلاً عن منع ارتباطه بجدار الخلية (Shabala & Pottosin, 2014؛ Rahman *et al.,* 2016). كما وجد أن الكالسيوم ينظم انتقال الأيونات ونفاذيتها عبر الأغشية ويتحكم في عملية التبادل الأيوني، وبالتالي تحسين مؤشرات الإنبات (Feng *et al.,* 2023). ترتبط أيونات الكالسيوم كذلك مع العديد من العمليات الانقسامية الحيوية للخلية، بما في ذلك تحطيم الغلاف النووي والانتقال من الطور الاستوائي إلى الطور الانفصالي (Hepler, 1994). كما أنه ينشط بروتين Calmodulins ويزيد من إنتاج هرمون السيتوكينين، الذي يحفز انقسام الخلايا (Snedden & Fromm, 2001)، وبالتالي زيادة الكتلة النباتية.

نستنتج مما سبق وجود تأثير سلبي لأملاح الصوديوم في كل من مؤشرات إنبات ونمو بذور القمح، في حين سببت المعاملة بالكالسيوم زيادةً معنوية في أغلب مؤشرات الإنبات والنمو في هذه الدراسة، كما أدت الاضافة المشتركة للكالسيوم مع الصوديوم إلى تخفيف الآثار الضارة لأملاح الصوديوم إلى حدٍّ ما. وعليه، لذلك من أجل تحقيق نمو أفضل لمحصول القمح في التربة المتأثر بالملوحة، ينصح بإضافة الكالسيوم إلى التربة باعتباره حلاً جيداً يمكن التوصية باستخدامه من قبل المزارعين كوسيلة اقتصادية وفعالة لزيادة تحمل النباتات للملوحة الناجمة عن ارتفاع تركيز كلوريد الصوديوم.

Abstract

Shakir, W.M., N.S. Ibrahim and A.A. Ghlaim. 2025. The Role of Calcium in Enhancing Bread Wheat, *Triticum aestivum* L. Tolerance to Salinity Stress and its Effect on Improving Growth Indicators and Seedling Growth. Arab Journal of Plant Protection, 43(2): 247-256. https://doi.org/10.22268/AJPP-001321

This study was conducted to assess the role of calcium in increasing wheat tolerance to salt stress. Wheat seeds were soaked in calcium chloride solution at concentrations of 0, 50 and 100 mg/L. Following this treatment, seeds were exposed to sodium chloride solution at concentrations of 0, 50 and 100 mg/L. The study examined several growth parameters, including seedling vigor, seed vigor, plumule length, radicle length, and the fresh and dry weight of plumules and radicles. Results obtained indicated a decline in seedling vigor, seed vigor, plumule length, radicle length, and the fresh and dry weights of plumule and radicle when wheat seeds were treated with sodium chloride at concentrations of 50 and 100 mg/L. Conversely, treating wheat seeds with calcium at concentrations of 50 and 100 mg/L led to a significant increase in plumule and radicle length. However, calcium treatment at these concentrations resulted in a significant decrease in seedling vigor index, as well as the fresh and dry weights of the radicle. Furthermore, the study showed variation in all studied characteristics except for the germination rate, primarily due to the interaction between sodium and calcium at the specified concentrations.

Keywords: Salinity stress, calcium, plumule, radical, germination, wheat, physiological diseases.

Affiliation of authors: *M. Shakir[1], N.S. Ibrahim[1*] and A.A. Ghlaim[2]. (1) Biology Department, College of Education for Pure Science, University of Diyala, Iraq; (2) Second Rasafa Education Directorate, Baghdad, Iraq. [*]Email of the corresponding author: naghamsa3doon@gmail.com*

References

Abdelhamid, M.T., A. Sekara, M. Pessarakli, J.J. Alarcón, M. Brestic, H. El-Ramady and E.S. El-Kafafi. 2020. New approaches for improving salt stress tolerance in rice. Pp. 247-268. In: Rice Research for Quality Improvement: Genomics and Genetic Engineering: Volume 1: Breeding Techniques and Abiotic Stress Tolerance. A. Roychoudhury (ed.). Springer Nature Singapore Pte Ltd., Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4120-9_10

Abdul-Baki, A.A. 1980. Biochemical aspects of seed vigor. HortScience, 15(6):765-771. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.15.6.765

Agurla, S., S. Gahir, S. Munemasa, Y. Murata and A.S. Raghavendra. 2018. Mechanism of stomatal closure in plants exposed to drought and cold stress. Pp. 215-232. In: Survival Strategies in Extreme Cold and Desiccation. M. Iwaya-Inoue (ed.). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1244-1_12

Ali, M.A. 2021. The effect of NaCl on germination parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.). Haya Saudi Journal of Life Sciences, 6(2):33-35. https://doi.org/10.36348/sjls.2021.v06i02.003

Ali, M.A., R.G. Nwry and S.I. Abdulrahman. 2023. Effect of different saline levels on germination and growth of some new promising wheat cultivars. Journal of Kerbala for Agricultural Sciences, 10(2):43-50. https://doi.org/10.59658/jkas.v10i2.1184

Al-Rawi, K.M. 2000. Design and analysis of agricultural experiments. Ministry of Higher Education and Scientific Research Press, University of Mosul, Iraq. 487 pp.

Arif, Y., P. Singh, H. Siddiqui, A. Bajguz and S. Hayat. 2020. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry, 156:64-77. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042

Amin, I., S. Rasool, M.A. Mir, W. Wani, K.Z. Masoodi and P. Ahmad. 2021. Ion homeostasis for salinity tolerance in plants: A molecular approach. Physiologia Plantarum, 171(4):578-594. https://doi.org/10.1111/ppl.13185

Arora, N.K. 2019. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. Environmental Sustainability, 2(2):95-96. https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w

Arshi, A., A. Ahmad, I.M. Aref and M. Iqbal. 2010. Calcium interaction with salinity-induced effects on growth and metabolism of soybean (*Glycine max* L.) cultivars. Journal of Environmental Biology, 31(5):795-801.

Asano, T., N. Hayashi, M. Kobayashi, N. Aoki, A. Miyao, I. Mitsuhara, H. Ichikawa, S. Komatsu, H. Hirochika, S. Kikuchi and R. Ohsugi. 2012. A rice calcium-dependent protein kinase OsCPK12 oppositely modulates salt stress tolerance and blast disease resistance. The Plant Journal, 69(1):26-36. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04766.x

Ayaz, F.A., A. Kadioglu and R. Turgut. 2000. Water stress effects on the content of low molecular weight carbohydrates and phenolic acids in *Ctenanthe setosa* (Rosc.) Eichler. Canadian Journal of Plant Science, 80(2):373-378. https://doi.org/10.4141/P99-005

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

Campo, S., P. Baldrich, J. Messeguer, E. Lalanne, M. Coca and B. San Segundo. 2014. Overexpression of a calcium-dependent protein kinase confers salt and drought tolerance in rice by preventing membrane lipid peroxidation. Plant Physiology, 165:688-704. https://doi.org/10.1104/pp.113.230268

Chattha, M.U., M.U. Hassan, I. Khan, M.B. Chattha, A. Mahmood, M. Nawaz, M.N. Subhani, M. Kharal and S. Khan. 2017. Biofortification of wheat cultivars to combat zinc deficiency. Frontiers in Plant Science, 8:281. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00281

Chen, Y., Y. Wang, J. Huang, C. Zheng, C. Cai, Q. Wang and C.A. Wu. 2017. Salt and methyl jasmonate aggravate growth inhibition and senescence in Arabidopsis seedlings via the JA signaling pathway. Plant Science, 261:1-9. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.05.005

Dawood, A.A.R. and A.A. Rasheed. 2015. Effect of seed treatment and seed size on seed vigor, field emergence and grain yield of Sorghum. The Iraqi Journal of Agriculture Science, 46(3): 350-361.

Ellis, R.A. 1981. The quantification of agent and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology, 9:373-409.

Elouaer, M.A. and C. Hannachi. 2012. Seed priming to improve germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius*) under salt stress. EurAsian Journal of BioSciences, 6(1):76-84. https://doi.org/10.5053/ejobios.2012.6.0.9

Farhoudi, R. and M.M. Tafti. 2011. Effect of salt stress on seedlings growth and ions homeostasis of soybean (*Glycine max*) cultivars. Journal of Scientific Research and Development, 5(8):2522-2526.

Mozafari, A. and S. Fathollahy. 2020. Investigation the effect of seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant enzymes activity of seedling and germination indices of two wheat cultivars under salt stress conditions. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 9(1):27-44. https://doi.org/10.22034/ijsst.2018.122519.1215

Feng, D., X. Wang, J. Gao, C. Zhang, H. Liu, P. Liu and X. Sun. 2023. Exogenous calcium: Its mechanisms and research advances involved in plant stress tolerance. Frontiers in Plant Science, 2023:1143963. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1143963

Giraldo, P., E. Benavente, F. Manzano-Agugliaro and E. Gimenez. 2019. Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. Agronomy, 9(7):352. https://doi.org/10.3390/agronomy9070352

Goharrizi, K.J., A. Baghizadeh, M. Kalantar and F. Fatehi. 2020. Combined effects of salinity and drought on physiological and biochemical characteristics of pistachio rootstocks. Scientia Horticulturae, 261:108970. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108970

Gomes-Filho, E., C.R.F.M. Lima, J.H. Costa, A.C.M. da Silva, M.G.S. Lima, C.F. de Lacerda and J.T. Prisco. 2008. Cowpea ribonuclease: properties and effect of NaCl-salinity on its activation during seed germination and seedling establishment. Plant Cell Reports, 27:147-157. https://doi.org/10.1007/s00299-007-0433-5

Hao, S., Y. Wang, Y. Yan, Y. Liu, J. Wang and S. Chen. 2021. A review on plant responses to salt stress and their mechanisms of salt resistance. Horticulturae, 7(6):132. https://doi.org/10.3390/horticulturae7060132

Hasanuzzaman, M., K. Nahar, A. Rahman, T.I. Anee, M.U. Alam, T.F. Bhuiyan, H. Oku and M. Fujita. 2017. Approaches to enhance salt stress tolerance in wheat. In: Wheat Improvement, Management and

Utilization, Wanyera, R. & J. Owuoche (eds.), pp. 151-187. IntechOpen, London, UK. https://doi.org/10.5772/67247

Hasegawa, P., R.A. Bressan, J.K. Zhu and H.J. Bohnert. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51:463-499. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.463

Hepler, P.K. 1994. The role of calcium in cell division. Cell Calcium, 16(4):322-330. https://doi.org/10.1016/0143-4160(94)90096-5

Iqbal, M.J., N. Shams and K. Fatima. 2022. Nutritional quality of wheat. In: Wheat – Recent Advances, M. Ansari (ed.), IntechOpen, London, UK. https://doi.org/10.5772/intechopen.104659

Kamran, M., D. Wang, K. Xie, Y. Lu, C. Shi, A. E. Sabagh and P. Xu. 2021. Pre-sowing seed treatment with kinetin and calcium mitigates salt induced inhibition of seed germination and seedling growth of choysum (*Brassica rapa* var. parachinensis). Ecotoxicology and Environmental Safety, 227:112921. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112921

Khosh Kholgh Sima, N.A., R.A. Alitabar, M. Eghbalinejad, P. Babazadeh and S. Taleahmad. 2013. Effect of salinity on germination and threshold salinity in barley. Iranian Journal of Field Crops Research, 11(1):107-120. https://doi.org/10.22067/gsc.v11i1.24085

Klein, A., L. Hüsselmann, M. Keyster and N. Ludidi. 2018. Exogenous nitric oxide limits salt-induced oxidative damage in maize by altering superoxide dismutase activity. South African Journal of Botany, 115:44-49. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.12.010

Kumar, V., T. Khare, M. Sharma and S.H. Wani. 2017. ROS-induced signaling and gene expression in crops under salinity stress. Pp. 159-184. In: Reactive Oxygen Species and Antioxidant Systems in Plants: Role and Regulation under Abiotic Stress, M.I.R. Khan & N.A. Khan (eds.), Springer Nature, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5254-5_7

Lafiandra, D., G. Riccardi and P.R. Shewry. 2014. Improving cereal grain carbohydrates for diet and health. Journal of Cereal Science, 59(3):312-326. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.001

Mahmood-ur-Rahman, M., I. Ijaz, S. Qamar, S.A. Bukhari and K. Malik. 2019. Abiotic stress signaling in rice crop. Pp. 551-569. In: Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance, M. Hasanuzzaman (ed.), Woodhead Publishing, Cambridge, UK.

Morgan, S.H., P.J. Maity, C.M. Geilfus, S. Lindberg and K.H. Mühling. 2014. Leaf ion homeostasis and plasma membrane H(+)-ATPase activity in Vicia faba change after extra calcium and potassium supply under salinity. Plant Physiology and Biochemistry, 82:244-253. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.06.010

Murti, G.S.R., G.S. Sirohi and K.K. Uperti. 2004. Glossary of Plant Physiology. Daya Publishing House, Delhi. 207 pp.

Rahman, A., K. Nahar, M. Hasanuzzaman and M. Fujita. 2016. Calcium supplementation improves Na/K ratio, antioxidant defense and glyoxalase systems in salt-stressed rice seedlings. Frontiers in Plant Science, 7:609. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00609

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

Salim, N. and A. Raza. 2020. Nutrient use efficiency (NUE) for sustainable wheat production: a review. Journal of Plant Nutrition, 43(2):297-315. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1676907

Sarwar, M.H., M.F. Sarwar, M. Sarwar, N.A. Qadri and S. Moghal. 2013. The importance of cereals (Poaceae: Gramineae) nutrition in human health: A review. Journal of Cereals and Oilseeds, 4(3):32-35. https://doi.org/10.5897/JCO12.023

Shabala, S. and I. Pottosin. 2014. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. Physiologia Plantarum, 151:257-279. https://doi.org/10.1111/ppl.12165

Shekoofa, A., E. Bijanzadeh, Y. Emam and M. Pessarakli. 2013. Effect of salt stress on respiration of various wheat lines/cultivars at early growth stages. Journal of Plant Nutrition, 36(2):243-250. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.739244

Sibole, J.V., C. Cabot, C. Poschenrieder and J. Barcelo. 2003. Efficient leaf ion partitioning, an overriding condition for abscisic acid controlled stomatal and leaf growth responses to NaCl salinization in two legumes. Journal of Experimental Botany, 54:2111-2119. https://doi.org/10.1093/jxb/erg231

Snedden, W.A and H. Fromm. 2001. Calmodulin as a versatile Calcium signal transducer in plants. New phytologist, 151(1):35-66. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00154.x

Tanveer, K., S. Gilani, Z. Hussain, R. Ishaq, M. Adeel and N. Ilyas. 2020. Effect of salt stress on tomato plant and the role of calcium. Journal of Plant Nutrition, 43(1):28-35. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659324

Uçarlı, C. 2020. Effects of salinity on seed germination and early seedling stage. Pp. 221-231. In: Abiotic Stress in Plants. S. Fahad, S. Saud, Y. Chen, C. Wu and D. Wang (eds). IntechOpen, UK. https://doi.org/10.5772/intechopen.93647

Weng, X., H. Li, C. Ren, Y. Zhou, W. Zhu, S. Zhang and L. Liu. 2022. Calcium regulates growth and nutrient absorption in poplar seedlings. Frontiers in Plant Science, 13:887098. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.887098

Xie, X., F. Zhao, Y. Zheng, L. Sang, P. Zhang, J. Jiang and G. Cao. 2020. Identification of tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) with different ploidy under salt stress. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 598(1): 012074. https://doi.org/10.1088/1755-1315/598/1/012074

Yan, S., P. Chong and M. Zhao. 2022. Effect of salt stress on the photosynthetic characteristics and endogenous hormones, and: A comprehensive evaluation of salt tolerance in *Reaumuria soongorica* seedlings. Plant Signaling and Behavior, 17(1):2031782. https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2031782

Zan, W., Y. Xi, X.-M. Wang and H.-W. Guo. 2011. Growth and physiological response of tall oat grass to salinity stress. African Journal of Biotechnology, 10(37):7183-7190. https://doi.org/10.5897/AJB10.2556

Received: January 22, 2024; Accepted: April 25, 2024

تاريخ الاستلام: 2024/1/22؛ تاريخ الموافقة على النشر: 2024/4/25