University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 4, pp. 1059-1069 (Winter 2024)

https://doi.org/10.22077/ESCS.2023.5276.2132

Original article

Assessment of the effect of sodium accumulation on chlorophyll content and some of physiological traits under salt conditions in wheat and barley

V. Atlassi Pak[1*], O. Bahmani[2], M. Asadbegi[3]

1. Assistance Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran
2. Assistance Professor, Department of Water Sciences and engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran
3. M.Sc Student of Irrigation and drainage, Faculty of agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Received 24 April 2022; Accepted 24 May 2022

Extended abstract

Introduction

Salinity impacts on crop production is further increasing as the global demand for food means agriculture extends into naturally salt-affected lands. Chlorophyll retention and the low sodium traits were associated with salt tolerance in wheat and barley under salinity conditions. Saline soils limit plant growth due to osmotic stress, ionic toxicity, and a reduced ability to take up essential minerals. Barley and wheat have different salt tolerances capacities and are grown as major grain crops in both saline and non-saline soils. The net sodium uptake for a plant growing in 150mM NaCl with perfect osmotic adjustment is similar to actual rates measured for wheat and barley. Our hypothesis is that salinity reduces the growth of wheat more than barley by reducing chlorophyll content. The aims of this study were to analyse the effects of salinity on the growth and yield of barley and wheat cultivars to explore the links between the sodium accumulation and chlorophyll content.

Materials and methods

Tow bread wheat cultivars differing in salt tolerance (Arg and Tajan) and a barley cultivar (Nik) were used to assess the change in the chlorophyll content and sodium accumulation over time under saline conditions. Two levels of NaCl (0 and 150 mM NaCl) were imposed as the salinity treatments when the leaf 4 was fully expanded. At 21 days after salt treatment plants were harvested and shoot and root dry weight, root length and sodium root were measured. Sodium accumulation rates and chlorophyll content examined between days 14 and 42 after salt added. Na^+ and K^+ flag leaf were measured in days 49 after salt treatment started.

Results and discussion

Results showed that the rate of sodium accumulation initially was the same for both wheat cultivars in leaf. After 30 days of salinity, the rate of sodium accumulation rose in Arg compared with Tajan. In Nik barley cultivar, shoot sodium concentration was higher than bread whit cultivars. Salinity caused degradation in chlorophyll content in both bread wheat cultivars and at the determination of this experiment Tajan had lower chlorophyll content than Arg cultivar. Nik barley cultivar showed much longer chlorophyll retention than tow bread wheat cultivars. Salinity decrease K^+ flag leaf, K^+/Na^+ flag

* Corresponding author: Saeideh Maleki Farahani; E-Mail: v.atlassi@gmail.com

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

leaf, shoot and root dry weight, seminal root length, yield and increase Na^+ flag leaf and Na^+ roots compared to control. Flag leaf K^+/Na^+ ratio was higher in salt tolerance cultivar (Arg) compared to Tajan and Nik, despite the similar roots sodium concentration. Flag leaf Na^+ concentration was the same in tow wheat cultivars and barley under salinity stress and there was no relationship between Na^+ exclusion and salt tolerance in cultivars in our experiment. Yield loss of 35 percentages was found in wheat cultivars on average and in barley did not observed remarkable decrease in seed yield. There was may be no beneficial effect of the low Na^+ trait at 150 mM NaCl (high salinity level) in all cultivars. Root length reduction in cultivars was due to osmotic stress of salt solution out of the roots. A significant correlation between shoot dry weight and sodium flag leaf showed that sodium concentration in leaf can be used as an index for evaluating salt tolerance.

Conclusion

Given the effect of salinity on shoot growth, it seems that other factors may have influenced net carbon gain before any reduction in the concentration of chlorophyll. It implies that osmotic and tissue tolerance in bread wheat and barley contributed to the salt tolerance in tolerant cultivars and preferential sodium accumulation and maintains in roots and old leave relative to young leaves can caused an increase in salt tolerant. The low shoot sodium concentration was not associated with chlorophyll content in wheat cultivars.

Keywords: Bread wheat, Flag leaf, Osmotic effects, Salt tolerance

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5276.2132

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر تجمع سدیم بر مقدار کلروفیل و برخی خصوصیات فیزیولوژیک در گندم و جو تحت شرایط شوری

وحید اطلسی پاک[1*]، امید بهمنی[2]، مهسا اسدبگی[3]

۱. استادیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران
۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب. دانشکده کشاورزی. دانشگاه بوعلی سینا. همدان
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا. همدان

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
اثرات اسمزی
برگ پرچم
تحمل شوری
گندم نان

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۳/۰۳

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۲
۱۶(۴): ۱۰۵۹-۱۰۶۹

چکیده

میزان کلروفیل و برخی خصوصیات فیزیولوژیک دو رقم گندم نان ارگ (متحمل) و تجن (حساس) و یک رقم جو (نیک) تحت تأثیر کلرید سدیم موردبررسی قرار گرفت. بعد از گسترش برگ چهارم، دو سطح صفر و ۱۵۰ میلی‌مولار از نمک کلرید سدیم اعمال گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در شرایط گلخانه انجام گرفت. تحت این شرایط در ابتدا تجمع سدیم در برگ‌های ارقام گندم یکسان بود و ۳۰ روز پس از اعمال تیمار تجمع سدیم در رقم ارگ نسبت به رقم حساس تجن افزایش یافت. در گیاه جو غلظت سدیم برگ‌ها بیشتر از ارقام گندم بود. شوری موجب کاهش مقدار کلروفیل در ارقام گندم شد و درنهایت مقدار کلروفیل رقم تجن کمتر از رقم ارگ شد. گیاه جو توانست به مدت بیشتری نسبت به ارقام گندم کلروفیل خود را در این شرایط حفظ نماید. شوری سدیم برگ پرچم و ریشه را در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۵ و ۴۲ درصد افزایش داد. علی‌رغم مقادیر به نسبت همسان سدیم در ریشه، کاهش نسبت پتاسیم به سدیم برگ پرچم در رقم ارگ و تجن (به ترتیب ۳۱ و ۱۰ درصد) نسبت به گیاه جو (۴۲ درصد) کمتر بود. با توجه به اثرات شوری بر رشد اندام هوایی، ممکن است قبل از کاهش میزان کلروفیل عوامل دیگری جذب کربن خالص را تحت تأثیر قرار دهند. به نظر می‌رسد تحمل اسمزی و بافت‌ها با تحمل به شوری در گندم و جو مرتبط بوده و تجمع ترجیحی و حفظ سدیم در برگ‌های پیر نسبت به برگ‌های جوان می‌تواند موجب افزایش تحمل به شوری گردد.

مقدمه

شوری و قلیائیت خاک در کشاورزی در حال گسترش بوده و اثرات مضر آن بر تولید محصولات زراعی هرساله در حال افزایش است. تحت شرایط شوری در گیاهان زراعی، به توانایی رشد (هرچند با سرعت پایین) و تولید عملکرد قابل‌برداشت تحمل به شوری گفته می‌شود (Munns et al., 2019). سازگاری گیاهان به شوری شامل تحمل اسمزی، دفع یون-های سمی مانند سدیم و تحمل بافت‌ها است (Munns and Gilliham, 2015). در سطوح بالای شوری سلول‌های ریشه ممکن است به‌جای جذب آب به از دست دادن آن مبادرت داشته که این به دلیل فشار بالای اسمزی محلول خاک است؛ بنابراین کمبود رطوبت حاصل از مقادیر بالای شوری موجب اختلالاتی در فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی شده و منجر به کاهش طویل شدن سلول‌ها، پژمردگی و سرانجام مرگ گیاه می‌گردد.

گندم و جو به‌عنوان محصولات مهم زراعی تحمل به شوری متفاوتی دارند (Zeeshan et al., 2020). گونه‌های

* نگارنده پاسخگو: وحید اطلسی پاک. پست الکترونیک: v.atlassi@gmail.com

متحمل به شوری مانند جو گاهی تحت شرایط شوری غلظت-های بالایی از سدیم را در برگ‌ها تجمع می‌دهند که ممکن است غلظت آن از محلول اطراف ریشه بیشتر باشد (Munns and Gilliham, 2015). در ارقام مختلف جو گاهی تحمل بالای بافت‌ها و گاهی دفع بالای سدیم از بافت‌ها موجب افزایش تحمل به شوری و قلیائیت می‌گردد (Harris et al., 2010). تحمل بافت‌ها به غلظت‌های بالای سدیم یک مکانیسم سازگاری است و گیاه جو قادر است که غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار سدیم برگ‌ها را تحمل نماید. زمانی که ژنوتیپ‌های مختلف یک گونه مورد مقایسه قرار گیرد، یک رابطه منفی اغلب بین تحمل به شوری و تجمع سدیم در برگ‌ها دیده می‌شود اما این موضوع زمانی که مقایسه بین گونه‌های مختلف مثل گندم و جو صورت می‌گیرد کمتر مشاهده گردیده است (Munns and Tester, 2008).

تحت شرایط شوری ورود سدیم به داخل ریشه‌ها به‌صورت غیرفعال انجام می‌گیرد و بخشی از سدیمی که جذب می‌گردد جهت تنظیم اسمزی موردنیاز بوده و بخش دیگری از آن باید به بیرون منتقل گردد. در شرایط ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، مقدار ورود سدیم به ریشه‌ها در واحد زمان مورداندازه‌گیری قرارگرفته و این مقدار در گیاه گندم و جو مشابه است (Munns et al., 2020)؛ اما ورود این یون‌ها به سلول‌های مریستمی و جوان در حال رشد توسط گیاه محدود می‌گردد تا غلظت آن در این سلول‌ها کاهش یافته و بتوانند به رشد ادامه دهند (Flowers et al., 2015). دفع سدیم در برخی سطوح شوری توسط آوندهای آبکشی ریشه گندم و جو نیز مشابه گزارش شده است (Munns et al., 2019). شوری موجب ممانعت از تقسیم سلولی در ریشه‌های اصلی گندم (Rahnama et al., 2011) و جو (Shelden et al., 2013) می‌گردد اما تشکیل و گسترش ریشه‌های جانبی تحت تأثیر شوری قرار نمی‌گیرد (Rahnama et al., 2011). کاهش طول ریشه‌های اولیه و تخصیص انرژی به تشکیل ریشه‌های جانبی ممکن است یک خصوصیت سازگاری نسبت به شوری باشد (Zolla et al., 2010). در گونه‌هایی مانند جو و گندم دوروم که ازلحاظ دفع سدیم ضعیف هستند، این ویژگی می-تواند در تحمل شوری و قلیائیت بسیار مفید واقع گردد (Rivelli et al., 2002). برخی گزارش‌ها نشان داده که مقدار دفع سدیم در گیاه جو تحت شرایط شوری بیشتر از ارقام حساس و متحمل گندم نان بوده و بنابراین کاهش کلروفیل در جو کم‌تر از ارقام گندم گزارش شده است (Zeeshan et al., 2020). انتقال مقادیر پایین سدیم از ریشه به اندام هوایی تحت تنش شوری در غلات و نسبت بالای پتاسیم به سدیم مرتبط با تحمل به شوری گزارش شده است (Byrt et al., 2018). اگرچه در گیاه جو در مقایسه با گندم نان تجمع پایین‌تر سدیم در اندام هوایی موجب حفظ بیشتر کلروفیل در برگ‌ها گردیده (Zeeshan et al., 2020) اما برخی نتایج تحقیقات نشان داده است که تنش شوری غلظت سدیم اندام هوایی در گیاه جو را بیش از ارقام گندم نان افزایش داده است. بااین‌حال مقدار کلروفیل برگ‌های جو بیش از ارقام گندم حفظ شده است (Harris et al., 2010). البته نمونه‌برداری در یک مرحله رشدی مشخص گاهی گمراه‌کننده بوده و اختلاف بین سدیم اندام هوایی و یا دیگر صفات ارقام مختلف می‌تواند زیاد یا ناچیز باشد (Munns, 2010). لذا هنوز نسبت پتاسیم به سدیم در بافت‌ها تحت شرایط شوری به‌عنوان ملاک تحمل مورد سؤال قرار می‌گیرد. صفات فیزیولوژیک مورداستفاده به‌منظور بررسی ژرم‌پلاسم-های متفاوت ازلحاظ تحمل شوری نسبت به صفات عملکرد و ماده خشک کمتر تحت تأثیر شرایط محیطی قرارگرفته و قابل‌اعتمادتر است. در ضمن مدت‌زمان لازم جهت دریافت پاسخ به تنش شوری کمتر است (Munns and James, 2003).

هدف از این تحقیق بررسی و مقایسه روند تجمع سدیم و تغییرات مقدار کلروفیل در اندام هوایی ارقام گندم و گیاه جو تحت تأثیر نمک کلرید سدیم بود تا ضمن مقایسه پاسخ ارقام گندم و جو، ارتباط بین این دو ویژگی به‌طور مطلوب‌تری مشخص گردد. در اکثر تحقیقات ارقام گندم و جو هرکدام به‌طور مجزا موردبررسی قرارگرفته‌اند، اما در این مطالعه تفاوت و تشابهات مکانیسم‌های فیزیولوژیک تحمل به شوری در این دو گونه مورد مقایسه قرار گرفت با این فرض که مکانیسم‌های ویژه‌ای در هرگونه وجود دارد که منجر به ویژگی‌های مشخص می‌گردد. درنهایت نقش دیگر خصوصیات و ویژگی‌های موردمطالعه در تحمل یا حساسیت به شوری موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در گلخانه دانشگاه پیام نور مرکز همدان انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل دو رقم گندم نان متفاوت ازلحاظ تحمل به شوری ارگ (متحمل

به شوری) و تجن (حساس به شوری) (Atlassi Pak et al., 2018) و یک رقم جو (نیک) و دو سطح صفر و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود. بذور سالم و هم‌اندازه و هم‌وزن توسط هیپوکلریت یک درصد ضدعفونی و سپس داخل گلدان‌هایی با قطر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر که حاوی مخلوطی از خاک با بافت لومی شنی، کود دامی و ماسه (به نسبت ۱:۱:۱) بودند کشت گردید.

هر واحد آزمایشی شامل ۱۰ گلدان بود که در هر گلدان ابتدا ۱۲ بذر کشت گردید و پس از اطمینان از استقرار بوته‌ها ۵ بوته باقی ماند. گیاهان در درجه حرارت گلخانه (به ترتیب حدود ۲۴ و ۱۶ درجه سانتی‌گراد در روز و شب) و نور طبیعی نگهداری شدند. میزان تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در گلخانه حدود ۱۰۰۰-۹۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بود. پس‌ازاینکه برگ چهارم به حداکثر سطح خود رسید، تیمارهای شوری اعمال شد. جهت متعادل نگه‌داشتن شوری منطقه ریشه با توجه به تیمار کاربردی کسر آبشویی در همه تیمارها لحاظ گردید (Kazuhiro et al., 2009). آبشویی با توجه به شوری آب آبیاری و شوری آب زهکش خروجی در دو مرحله محاسبه و اعمال شد. مقادیر محاسبه‌شده نمک کلرید سدیم در آب حل‌شده و در دور آبیاری مشخص به گلدان‌ها اعمال گردید. به‌منظور برآورد تغییرات هدایت الکتریکی محلول زهکش گلدان‌ها زیر هر گلدان ظروفی قرار داده شد تا محلول زهکش در آن نگهداری گردد. هدایت الکتریکی این محلول برای هر گلدان در هر دور آبیاری اندازه‌گیری و هدایت الکتریکی بستر کاشت با لحاظ کردن کسر آبشویی به میزان موردنظر حفظ گردید (Southorn, 1997).

دو هفته پس از اعمال شوری نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری سدیم اندام هوایی و کلروفیل آغاز شد و به مدت ۲۸ روز ادامه یافت. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، طول ریشه و سدیم ریشه ۲۵ روز پس از اعمال شوری نمونه‌برداری انجام گرفت. بوته‌ها پس از تفکیک به ریشه و اندام هوایی با آب مقطر مورد شستشو قرار گرفتند و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند و سپس وزن خشک آن‌ها توسط ترازوی دقیق مورداندازه‌گیری قرار گرفت. همچنین ۷ هفته پس از اعمال شوری به‌منظور اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم برگ پرچم نمونه‌برداری صورت گرفت. در پایان فصل رشد نیز با استفاده از بوته‌های باقیمانده عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. کلروفیل a و b با استفاده از استون ۸۰ درصد استخراج‌شده و توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد (Holden, 1976). اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه نشر شعله‌ای (Jenway-PFP7) انجام گرفت (Munns et al., 2010). جداسازی ریشه‌ها از خاک از طریق اشباع کردن خاک به همراه ریشه در آب و شستشوی ریشه‌ها با آب صورت گرفت. طول محور اصلی ریشه با خط‌کش اندازه‌گیری شد. محاسبات آماری توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس در این تحقیق نشان داد صفات سدیم و پتاسیم برگ پرچم، نسبت پتاسیم به سدیم، سدیم ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، طول ریشه و عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری در سطح یک درصد تحت تأثیر شوری ۱۵۰ میلی‌مولار قرار گرفت. بین ارقام نیز ازنظر سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم برگ پرچم، وزن خشک ریشه و عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری وجود داشت. برهمکنش رقم و شوری نیز تفاوت معنی‌داری در مورد صفات وزن خشک اندام هوایی و ریشه و طول ریشه اصلی نشان داد (جدول ۱).

در این آزمایش، با افزایش سطوح شوری غلظت یون سدیم در بافت‌های گیاهی تجمع یافت. مقایسه غلظت سدیم در برگ پرچم در ارقام گندم و جو نشان داد تحت شرایط شوری غلظت یون سدیم نسبت به شاهد افزایش داشت و این افزایش در جو غیرمعنی‌دار بود هرچند تفاوتی در هر سه رقم از این لحاظ مشاهده نشد، اما ملاحظه گردید که افزایش این یون سمی نسبت به شاهد در رقم نیک ۱۰ درصد و در ارقام تجن و ارگ به ترتیب ۱۶ و ۲۰ درصد بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که غلظت سدیم ریشه هر سه رقم در شرایط شوری یکسان بود (جدول ۲) و این مقدار در هر سه رقم نسبت به اندام هوایی ارقام بیشتر بود (شکل ۱).

تجمع ترجیحی سدیم و نگهداری آن در ریشه‌ها در مقایسه با اندام هوایی و حفظ پتانسیل اسمزی به‌منظور جذب آب به داخل ریشه‌ها و محدودیت انتقال سدیم به اندام هوایی به‌عنوان یک مکانیسم تحمل به شوری پیشنهاد می‌شود (Rahnama et al., 2011). هرچند هر سه رقم تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در ممانعت از ورود سدیم به برگ پرچم و تجمع آن در ریشه‌ها نشان ندادند اما تفاوت آن‌ها در انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی در مراحل مختلف رشد قابل‌توجه بود (شکل ۱). نتایج آزمایش نشان داد رقم جو تحت

شرایط شوری غلظت بالاتری از سدیم را در اندام هوایی تجمع داد و تفاوت آن نسبت به ارقام گندم از ۱۸ روز پس از اعمال شوری قابل‌ملاحظه بود. تفاوت بین ارقام گندم از این نظر ۳۰ روز پس از اعمال شوری مشاهده گردید و رقم حساس تجن برخلاف انتظار تا آخرین مرحله نمونه‌برداری دارای سدیم کمتری در اندام هوایی نسبت به رقم ارگ بود (شکل ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس مقادیر صفات اندازه‌گیری شده در ارقام مختلف گندم و گیاه جو تحت سطوح متفاوت شوری

Table 1. Mean square analysis of variance of data for measured traits in wheat cultivars and barley under different salinity levels

منابع تغییر SO.V	سدیم برگ پرچم Flag leaf Na^+	پتاسیم برگ پرچم Flag leaf K+	نسبت پتاسیم به سدیم K^+/Na^+	سدیم ریشه Root Na+	وزن خشک اندام هوایی Shoot Dry Weight	وزن خشک ریشه Root Dry Weight	طول ریشه اصلی Seminal Root Length	عملکرد Yield
شوری Salinity (S)	2989**	6688**	0.39**	417656**	0.078**	0.008**	1897**	0.46**
رقم Cultivar (C)	2509**	11380**	0.75**	9654^{ns}	0.0002^{ns}	0.0009*	13^{ns}	0.70**
شوری×رقم S×C	94^{ns}	1190^{ns}	0.06^{ns}	5794^{ns}	0.004**	0.0008*	336**	0.16^{ns}
خطا Error	208	364	0.03	3254	0.0004	0.0002	37	0.05
ضریب تغییرات CV%	*8.6*	*13.1*	*19.3*	*9.9*	*9.1*	*15.2*	*7.2*	*19*

**، *و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار

ns: Non-significant, **,*:significant at 1 and 5% probability level respectively

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ارقام مختلف گندم و گیاه جو تحت سطوح متفاوت شوری

Table 2. Mean comparison of wheat cultivars and barley under different salinity levels

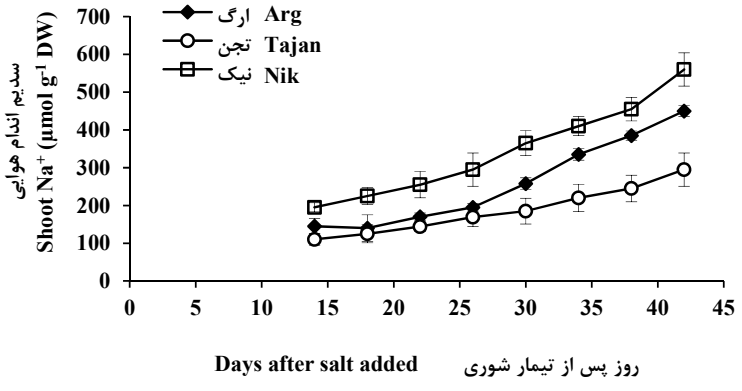
رقم Cultivar	شوری Salinity	سدیم برگ پرچم Flag leaf Na^+	پتاسیم برگ پرچم Flag leaf K^+	نسبت پتاسیم به سدیم K^+/Na^+	سدیم ریشه Root Na^+
	mM	----------µmol.g^{-1} DW--------			µmol.g^{-1} DW
ارگ Arg	0	157^{bc}	110^{bc}	0.69^{c}	362^{c}
	150	186^{a}	83^{c}	0.48^{c}	738^{a}
تجن Tajan	0	132^{c}	191^{a}	1.44^{a}	441^{bc}
	150	164^{ab}	172^{a}	1.08^{b}	700^{a}
نیک Nik	0	170^{ab}	191^{a}	1.12^{b}	487^{b}
	150	186^{a}	120^{b}	0.65^{c}	768^{a}

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

رقم Cultivar	شوری Salinity	وزن خشک اندام هوایی Shoot Dry Weight	وزن خشک ریشه Root Dry Weight	طول ریشه‌های اصلی Seminal Root Length	عملکرد دانه Yield
	mM	----------g----------		cm	g^{-1} plant
ارگ Arg	0	0.33^{a}	0.11^{b}	88.3^{a}	1.69^{a}
	150	0.15^{d}	0.08^{cd}	79^{d}	1.01^{b}
تجن Tajan	0	0.31^{a}	0.143^{a}	104.3^{b}	0.81^{bc}
	150	0.18^{cd}	0.071^{cd}	66^{bc}	0.56^{c}
نیک Nik	0	0.27^{b}	0.096^{bc}	90^{b}	1.19^{b}
	150	0.19^{c}	0.066^{d}	74^{cd}	1.15^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در هر تیمار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letters for each trait in each column are not significantly different by the LSD test at 5% probability level.



شکل ۱. غلظت سدیم اندام هوایی در ارقام مختلف گندم و گیاه جو طی ۴۲ روز پس از اعمال تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار شوری. میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

Fig. 1. Shoot Na^+ concentration wheat cultivars and barley for 42 days after 150 mM NaCl was added. Bars show the standard error.

تفاوت در تجمع یون سدیم اندام هوایی یا برگ‌ها بستگی به تفاوت در بارگیری یون سدیم در آوند چوبی ریشه‌ها و یا میزان انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی دارد (Zhu et al., 2016). تجمع سدیم در برگ‌های پایینی و مسن موجب تأخیر در تجمع یون سدیم در برگ پرچم می‌گردد و ممانعت از ورود سدیم از این طریق به برگ‌های بالایی یکی از عوامل مهم تنوع ژنتیکی در انتقال سدیم به برگ‌های فتوسنتز کننده و جوان بین ارقام است (Davenport et al., 2005). باوجوداینکه تجمع پایین سدیم در بافت‌ها به‌عنوان یکی از ملاک‌های تحمل به شوری معرفی گردیده است (Zhu et al., 2016) اما در این آزمایش تجمع پایین غلظت سدیم در بافت‌ها با تحمل به شوری همراه نبود. نتایج نشان داد که تحمل بافت‌ها می‌تواند به‌عنوان یکی از ملاک‌های تحمل به شوری موردتوجه قرار گیرد. بالا بودن غلظت سدیم در اندام هوایی گیاه جو و رقم متحمل ارگ نسبت به تجن در مراحل مختلف رشد در این آزمایش تأییدی بر این موضوع است. پتاسیم برگ پرچم تحت شرایط شوری کاهش معنی‌داری در جو از خود نشان داد. مقدار این صفت در رقم تجن تحت شرایط شوری بیشتر از دو رقم دیگر بود و رقم تجن و جو نسبت به ارگ پتاسیم بیشتری در برگ پرچم حفظ نمودند. تحمل به شوری در گیاه جو (Chen et al., 2007) و گندم (Rahnama et al., 2011) با توانایی آن‌ها در حفظ مقادیر بیشتر پتاسیم در بافت‌های گیاهی مرتبط است. همبستگی منفی و معنی‌دار (r=-۰/۵۳) بین غلظت سدیم و پتاسیم برگ پرچم نشان می‌دهد که غلظت‌های بالاتر سدیم ریشه جذب پتاسیم را محدود می‌نماید. با توجه به کاهش کمتر پتاسیم برگ پرچم در رقم تجن (۱۰ درصد) تحت شرایط شوری به نظر می‌رسد که این رقم از این ویژگی در حفظ نسبت بالاتر پتاسیم به سدیم برگ پرچم استفاده می‌نماید. حفظ بالای نسبت پتاسیم به سدیم در برگ‌های جوان موجب افزایش تحمل شوری می‌گردد. ملاحظه می‌گردد این نسبت در رقم ارگ و تجن تحت تنش شوری کاهش کمتری نسبت به جو از خود نشان داده‌اند. در تحقیقات گذشته از این نسبت در اندام هوایی و برگ‌ها به‌عنوان یکی از ملاک‌های تحمل شوری نامبرده شده است (Atlassi Pak and Bahmani, 2021). مقایسه این نسبت در گیاه جو و ارقام گندم نشان می‌دهد که گیاه جو از طریق تحمل بالای بافت‌ها نسبت به یون سمی سدیم. (Munns et al., 2011). نتایج نشان داد که وزن خشک اندام هوایی و ریشه همه ارقام تحت تأثیر شوری کاهش یافت. در برخی تحقیقات گزارش شده است ماده خشک اندام هوایی صفتی است که می‌تواند تفاوت‌ها را بیش از سایر صفات در شرایط شوری نمایان ساخته و کاهش ماده خشک به‌عنوان شاخصی از تحمل شوری مورداستفاده قرار گیرد (Rahnama et al., 2011). همبستگی منفی و معنی-دار (r=-۰/۵۹) بین وزن خشک اندام هوایی و میزان تجمع سدیم برگ پرچم نشان داد که غلظت سدیم برگ‌ها می‌تواند به‌عنوان ملاکی جهت ارزیابی تحمل شوری مورداستفاده قرار گیرد. وزن خشک ریشه همه ارقام در شرایط شوری کاهش یافته و البته رقم تجن بیشترین کاهش را از خود نشان داد (جدول ۲). به نظر می‌رسد کاهش بیشتر وزن خشک ریشه رقم تجن به دلیل کاهش بیشتر طول ریشه‌های اصلی در مقایسه با رقم ارگ و نیک باشد. بررسی‌ها نشان داده است که

تحت شرایط شوری در گیاه گندم (Rahnama et al., 2011) و جو (Shelden et al., 2013) کاهش وزن خشک ریشه با کاهش طول ریشه اصلی همراه بوده است. همبستگی مثبت و معنی‌دار (r=۰/۸۲) بین وزن خشک ریشه و طول ریشه اصلی نیز تأییدی بر این موضوع است (جدول ۳). وزن خشک ریشه به‌عنوان یکی از ملاک‌های تحمل شوری در ارقام گندم و جو (Atlassi Pak and Bahmani,2021) موردتوجه است. از طرفی وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار (r=۰/۷۸) بین وزن خشک ریشه و اندام هوایی گویای تأثیر مثبت و مستقیم پاسخ‌های رشدی ریشه بر رشد و تجمع ماده خشک اندام هوایی در شرایط تنش است (جدول ۳).

جدول ۳. ضرایب همبستگی صفات موردبررسی ارقام گندم و گیاه جو در شرایط شوری

Table 3. correlation coefficient for characteristic traits of wheat cultivars and barley under salt stress

	Traits	صفات	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Flag leaf Na^+	سدیم برگ پرچم	1							
2	Flag leaf K^+	پتاسیم برگ پرچم	-0.53*	1						
3	K^+/Na^+	نسبت پتاسیم به سدیم	-0.72**	0.92**	1					
4	Root Na^+	سدیم ریشه	0.50*	-0.28ns	-0.24ns	1				
5	Seminal Root Length	طول ریشه اصلی	-0.54*	0.33ns	0.45ns	-0.70**	1			
6	Shoot Dry Weight	وزن خشک اندام هوایی	-0.59**	0.25ns	0.30ns	-0.84**	0.83**	1		
7	Root Dry Weight	وزن خشک ریشه	-0.61**	0.30ns	0.33ns	-0.73**	0.82**	0.78**	1	
8	Yield	عملکرد دانه	-0.50*	0.66**	0.70**	-0.28ns	0.41ns	0.35ns	0.49*	1

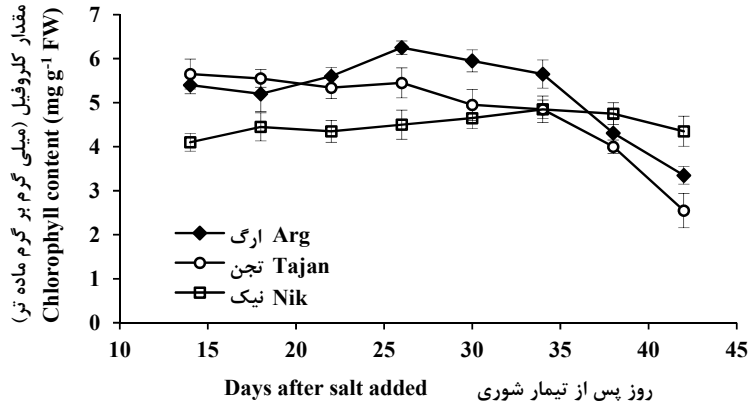
**، *و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار

ns: Non-significant, **,*:significant at 1 and 5% probability level respectively

ریشه‌های گسترده موجب جذب آب و مواد غذایی بیشتر شده و منجر به افزایش عملکرد می‌گردد (Rahnama et al., 2019). با توجه به غلظت‌های یکسان سدیم ریشه ارقام گندم و گیاه جو و کاهش کمتر (۲۸ درصد) وزن خشک ریشه و طول ریشه‌های اصلی (۱۰ درصد) در رقم ارگ نسبت به دو رقم دیگر و نیز تحمل بالای بافت‌ها در گیاه جو نسبت به گندم (Chen et al., 2007)، به نظر می‌رسد در این آزمایش عامل عمده کاهش رشد ریشه اثرات اسمزی املاح بوده است (Munoz et al., 2012). عملکرد دانه ارقام گندم تحت شوری به‌طور متوسط ۳۵ درصد کاهش یافت اما در گیاه جو تغییر اندک (۴ درصد) و غیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). همبستگی منفی و معنی‌داری (r=-۰/۵) بین عملکرد دانه و تجمع سدیم در برگ پرچم ملاحظه گردید (جدول ۳). تجمع سدیم در برگ‌های جوان و فتوسنتز کننده می‌تواند اثرات منفی بر تشکیل اندام‌های زایشی داشته و موجب کاهش عملکرد دانه گردد (Munns and Tester, 2008). هرچند تفاوت بین سدیم برگ پرچم ارقام گندم غیرمعنی‌دار بود، اما تفاوت کاهش عملکرد دانه آن‌ها به ۱۰ درصد رسید. در گندم غلظت سدیم برگ می‌تواند شاخص مناسبی از تحمل شوری باشد (Rahnama et al., 2011). به نظر می‌رسد گیاه جو باوجود بالا بودن سدیم برگ پرچم تحمل بالاتری نسبت به شوری داشته و عدم کاهش عملکرد دانه با وجود غلظت سدیم مشابه با ارقام گندم به دلیل تحمل بافت‌های آن نسبت به یون سمی سدیم باشد.

روند تجمع سدیم اندام هوایی در ارقام گندم و گیاه جو طی زمان موردبررسی قرار گرفت (شکل ۱). اختلاف بین تجمع سدیم اندام هوایی تا ۲۶ روز پس از اعمال شوری در ارقام ارگ و تجن ناچیز بود اما تفاوت آن‌ها با گیاه جو از روز ۱۸ مشهود بود. با وجود تحمل بیشتر رقم ارگ (Atlassi Pak et al., 2018) اما غلظت سدیم اندام هوایی آن نسبت به رقم تجن از روز ۳۰ افزایش یافت. برخی گزارش‌ها تجمع بیشتر سدیم اندام هوایی ارقام متحمل گندم نسبت به ارقام حساس را مورد تائید قرار داده است (Atlassi Pak and Bahmani, 2021). تجمع بیشتر سدیم اندام هوایی در رقم ارگ نسبت به تجن نیز گزارش گردیده است (Atlassi Pak et al., 2018). با توجه به نتایج به نظر می‌رسد رقم ارگ نسبت به تجن دارای تحمل بالایی نسبت به سدیم باشد.

بررسی تغییرات کلروفیل برگ‌ها ۱۴ روز پس از شوری نشان می‌دهد که با وجود افزایش سدیم اندام هوایی از روز ۳۰ در رقم ارگ نسبت به تجن، کاهش کلروفیل در رقم تجن بیشتر بود. این موضوع تأییدی بر تحمل بالای بافت‌ها در رقم ارگ نسبت به تجن تحت شرایط شوری است. مقایسه روند تجمع سدیم و تغییرات کلروفیل در ارقام گندم و گیاه جو نشان داد با وجود غلظت بالای سدیم در جو نسبت به ارقام گندم از ابتدای اعمال تنش تا ۶ هفته بعدازآن تغییرات کلروفیل در جو ناچیز بوده و کاهشی در مقدار آن ملاحظه نمی‌گردد. همچنین مشاهده شد که در روز ۴۲ با وجود سدیم بالای اندام هوایی در جو، کلروفیل نسبت به ارقام گندم به مقدار بیشتری حفظ گردیده و در ارقام گندم کاهش قابل‌ملاحظه‌ای از خود نشان داد. قابل‌ذکر است که تا آخرین مرحله نمونه‌برداری مقدار کلروفیل رقم ارگ بیشتر از تجن حفظ گردید. تحمل بالای بافت‌ها در گیاه جو نسبت به ارقام گندم در بعضی تحقیقات مورد تائید قرارگرفته است (Atlassi Pak et al., 2018). باوجوداینکه محققان غلظت سدیم را به‌عنوان یکی از ملاک‌های تحمل شوری معرفی نموده‌اند (Zolla et al., 2010) اما در این آزمایش تحمل شوری ارقام گندم با غلظت کمتر سدیم همراه نبود. افزایش محفظه‌بندی سدیم در واکوئل برخی ارقام گندم موجب افزایش تحمل به شوری شده و این ارقام ممکن است سدیم بیشتری را در اندام هوایی خود نسبت به ارقام حساس تجمع دهند (Munns and Tester, 2008). نتایج این آزمایش نشان داد که تا ۲۶ روز پس از اعمال شوری مقدار کلروفیل در هر سه رقم دارای کاهش قابل‌ملاحظه‌ای نبود درحالی‌که وزن خشک اندام هوایی در هر سه رقم ۲۵ روز پس از اعمال شوری کاهش یافت. این کاهش در ارقام ارگ، تجن و نیک به ترتیب ۵۵، ۴۲ و ۳۰ درصد بود (شکل ۲). به نظر می‌رسد که در این سطح از شوری عوامل دیگری غیر از کلروفیل در مراحل اولیه رشد وجود دارد که در جذب کربن خالص از اهمیت بیشتری برخوردارند و حفظ کلروفیل نمی‌تواند تنها نشانه کارکرد دستگاه فتوسنتزی در شرایط شوری باشد. با توجه به مقادیر متفاوت غلظت سدیم گیاه جو و ارقام گندم در این آزمایش به نظر می‌رسد کاهش جذب کربن به دلیل اثرات اسمزی حاصل از شوری باشد (Zhang and Shi, 2013).



شکل ۲. مقدار کلروفیل در ارقام مختلف گندم و گیاه جو طی ۴۲ روز پس از اعمال تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار شوری میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

Fig. 2. Chlorophyll content wheat cultivras for 42 days after 150 mM NaCl was added. Bars show the standard error.

نتیجه‌گیری نهایی

تحت شرایط شوری تحمل بافت‌ها نسبت به یون سدیم در جو و ارقام گندم ملاک مهمی جهت تحمل به شوری محسوب می‌گردد و تجمع سدیم نمی‌تواند همیشه با تحمل شوری مرتبط باشد. ارقام مختلف گندم، تحت شرایط شوری با گذشت زمان ممکن است الگوی متفاوتی ازلحاظ تجمع سدیم اندام هوایی از خود نشان دهند. در شرایط شوری حفظ کلروفیل نمی‌تواند به افزایش رشد گیاه گندم کمک نموده و عواملی غیر از کلروفیل ممکن است در جذب کربن دخالت

داشته باشد. علاوه بر تحمل بافت‌ها، تحمل تنش اسمزی می‌تواند از عوامل تعیین‌کننده تحمل شوری باشد که در شرایط شوری می‌تواند باعث گسترش مطلوب‌تر ریشه‌ها گردد. تجمع پایین‌تر یون سدیم و نسبت بالای پتاسیم به سدیم در برگ‌های جوان و فتوسنتز کننده با تحمل شوری و کاهش کمتر رشد همراه بوده و در گیاه جو نسبت به گندم تحمل بافت‌ها عامل مهمی در ایجاد تحمل شوری است. در شرایط تحمل پایین بافت‌ها نسبت به شوری، تحمل اسمزی می‌تواند عامل مهمی در تحمل شوری باشد؛ بنابراین عامل تحمل اسمزی و تحمل بافت‌ها می‌تواند در توسعه ارقام متحمل موردتوجه قرار گیرد.

منابع

Atlassi Pak, V., Bahmani, O., Asadbegi. M., 2018. Evaluation N^+ concentration and K^+/Na^+ ratio as a criterion for salinity tolerance in wheat and barley. Journal of Crop Production and Processing. 8,133-143. [In Persian]. https://doi.org/10.29252/jcpp.8.3.133

Atlassi Pak, V., Bahmani, O., 2021. Comparison of some physiological root traits of bread and durum wheat cultivars under salt conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 4, 793-804. https://doi.org/10.22077/escs.2020.3097.1794

Byrt, C.S., Munns, R., Burton, R.A., Gillihamand, M., Wege. S., 2018. Root cell wall solution for crop plants in saline soil. Plant Science. 269, 47-55. https://doi.org/10.1016/j.plantsci

Chen, Z., Neman, I., Zhou, M., Mendham, M., Zhang, G., Shabala, S., 2005. Screening plants for salt tolerance by measuring K flux: a case study for barley. Plant, Cell and Environment. 28, 1230–1246. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040

Chen, Z., Zhu, M., Newman, I., Mendham, M., Zhang, G., Shabala, S., 2007. Potassium and sodium relations in salinised barley tissues as a basis of differential salt tolerance. Functional Plant Biology. 34,150–162. https://doi.org/ 10.1071/FP06237

Davenport, R., James, R.A., Plogander, A.Z., Tester, M., Munns, R., 2005. Control of sodium transport in durum wheat. Plant Physiology. 137, 807-818. https://doi.org/10.1104/pp.104.057307

Flowers, T.J., Munns, R., Colmer, T.D., 2015. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. Annals of Botany. 9,1-13. https://doi.org/10.1093/aob/mcu217

Genc, Y., Mcdonald, G., Tester, M., 2007. Reassessment of tissue Na^+ concentration as a criterion for salinity tolerance in bread wheat. Plant, Cell and Environment. 30, 1486–1498. https://doi.org/ 10.1111/j.1365-3040

Harris, B., Victor, O., Tester, S., 2010. A water-centred framework to assess the effects of salinity on the growth and yield of wheat and barley. Plant and Soil. 336, 377–389. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0489-9

Holden, M., 1976. Chlorophylls. In: Goodwin, T.W. (ed.), Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments, Academic Press, New York.

Kazuhiro, N., Nasir, M.K., Sho, S., 2009. Effects of salt accumulation on the leaf water potential and transpiration rate of pot-grown wheat with a controlled saline groundwater table. Soil Science and Plant Nutrition. 55, 375–384. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00368.x

Munns, R., James, R.A., 2003. Screening method for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. Plant and Soil. 253, 201-218. https://doi.org/10.1023/A:1024553303144

Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanism of Salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59,651-681.

Munns, R., 2010. Approaches to identifying genes for salinity tolerance and the importance of timescale. In: Sankar, R. (ed.), Plant Stress Tolerance, Methods in Molecular Biology. Springer Science, National Academies Press, UK. pp. 25-38. https://doi.org/ 10.1007/978-1-60761-702-0_2

Munns, R., Wallace, P., Teakle, N., Colmer, T., 2010. Measuring soluble ion concentrations (Na^+, K^+, Cl^-) in salt treated plants. In: Sankar, R. (ed.), Plant Stress Tolerance, Methods in Molecular Biology. Springer Science, National Academies Press, UK. pp. 371-382 https://doi.org/10.1007/978-1-60761-702-0_23

Munns, R., Islam, A.R., Colmer, T.D., James, R.,2011. Hordeum marinum wheat

amphiploids maintain higher leaf K^+/ Na^+ and suffer less leaf injury than wheat parents in saline conditions. Plant and Soil. 348, 365-377. https://doi.org/10.1007/s11104-011-0934-4

Munns, R., Gilliham, M., 2015. Salinity tolerance of crops-what is the cost? New Phytologist Journal. 208, 668-73. https://doi.org/10.1111/nph.13519

Munns, R., Day, D., Frick, W., Watt, M., Tyerman, S., 2019. Energy costs of salt tolerance in crop plants. New Phytologist Journal. 221, 25-29. https://doi.org/10.1111/nph.15555

Munns, R., Passioura, J., Colmer, T., Byrt, C., 2020. Osmotic adjustment and energy limitations to plant growth in saline soil. New Phytologist. 225, 1091-1096. https://doi.org/10.1111/nph.15862

Munoz, N., Robert, G., Melchiorre, M., Racca, R., Lascano, R., 2012. Saline and osmotic stress differentially affects apoplastic and intracellular reactive oxygen species production, curling and death of root hair during *Glycine max* L.–*Bradyrhizobium japonicum* interaction. Environmental and Experimental Botany. 78, 76–83. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.12.008

Rahnama, A., Munns, R., Poustini, K., Watt, M., 2011. A Screening method to identify genetic variation in root growth response to a salinity gradient. Journal of Experimental Botany. 62, 69-77. https://doi.org/10.1093/jxb/erq359

Rahnama, A., Fakhrari, S., Meskarbashee, M., 2019. Root growth and architecture responses of bread wheat cultivars to salinity stress. Crop Ecology and Physiology. 111, 1-8. https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0795

Rivelli, A.R., James, R.A., Munns, R., Condon, A.G., 2002. Effect of salinity on water relation and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. Functional Plant Biology. 29, 1065-1074. https://doi.org/10.1071/PP01154

Shelden, M., Roesnner, U., Sharp, R.E., Tester, M., Bacic, A., 2013. Genetic variation in the root growth response of barley genotypes to salinity stress. Functional Plant Biology. 40, 516-530. https://doi.org/10.1071/FP12290

Southorn, N., 1997. Farm irrigation (planning and management). Reed International Books Australia. Inkata press, Port Melbourne. 164p.

Zeeshan, M., Lu, M., Sehar, S., Holford, P., Wu, F.,2020. Comparison of biochemical, anatomical, morphological, and physiological responses to salinity stress in wheat and barley genotypes deferring in salinity tolerance. Agronomy. 10, 1-15. https://doi.org/10.1007/s11269-013-0469-y

Zhang, J.L., Shi, H., 2013. Physiological and molecular mechanism of plant salt tolerance. Photosynthesis Research. 115, 1-22. https://doi.org/10.1007/s11120-013-9813-6

Zhu, M., Shabala, L., Cuin, T.A., Huang, X., Zhou, M., Munns, R., Shabala, S., 2016. Nax loci affect SOS1-Like Na^+/H^+ exchanger expression and activity in wheat. Journal of Experimental Botany. 67, 835-844. https://doi.org/10.1093/jxb/erv493

Zolla, G., Heimer, Y.M., Barak, S., 2010. Mild salinity stimulates a stress-induced morphogenic response in Arabidopsis thaliana roots. Journal of Experimental Botany. 61, 211–224. https://doi.org/10.1093/jxb/erp290