Plant Prod., 2022, 45(3), 409-420
https://plantproduction.scu.ac.ir/
**ISSN (P):** 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
**Doi:** 10.22055/ppd.2022.41353.2047
**Received:** 17 July 2022
**Accepted:** 29 November 2022

Plant Productions
Research Article

# Investigation on Some Physiological Traits of Tritipyrum Lines in Response to Salinity Stress

**Fatemeh Razeghi Jahromi[1], Mohammad Esmailpour[2*], Hossein Shahsavand Hassani[3]**

1- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetic, College of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran
2- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetic, College of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran
3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

**Citation:** Razeghi Jahromi, F., Esmailpour, M., & Shahsavand Hassani, H. (2022). Investigation on Some Physiological Traits of Tritipyrum Lines in Response to Salinity Stress. *Plant Productions*, 45(3), 409-420.

**Abstract**

## Introduction

Soil salinity is one of the largest global challenges especially in the arid and semi-arid regions. It adversely and severely affected agricultural production and consequently food security. The new cereal, tritipyrum, is an artificial hexaploeid wheat (2n=6x=42, AABBE$^{b}$E$^{b}$) derived from crossing between *Triticum durum* (2n=4x=28, AABB) and *Thinopyrum bessarabicum* (2n=2x=14, E$^{b}$E$^{b}$) species that has good potential to be used as a seed or forage plant. The aim of present research was evaluating saline tolerance of new primary different tritipyrum lines through assessing some agronomical traits and ion distribution in plant under mild and severe salinity stress conditions.

## Materials and Methods

A split-plot hydroponic experiment based on completely randomized block design with two factors and three replications was carried out at Shahrekord University in 2020. The NaCl salinity stress was considered as the main factor with 3 levels (0, 100, 200 Mm) and the genotypes were considered as sub plots with 8 levels. Genotypes included three primary tritipyrum lines (Ka/b, La/b, St/b), three combined tritipyrum lines (i.e. $F_4$, $F_5$ and $F_6$ generations of a combined (Ka/b)(Cr/b) lines), as well as one durum wheat (cv. Creso) and a promising triticale line ($Ma_{45}$).

* **Corresponding Author:** Mohammad Esmailpour
**E-mail:** esmailpour@jahromu.ac.ir ; esmailpour2062@gmail.com

© 2022 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Different salinity stress levels were imposed from three leaf stage till maturity via irrigating the plants by appropriate saline water. The leaf surface area, fertile florets per spike, 1000-grain weight, grain yield, biological yield as well as concentration of $Na^+$ and $K^+$ and $Ca^{++}$ ions in both root and aerial parts of genotypes were measured.

## Results and Discussion

There were significant differences between genotypes in the case of all measured traits. Regardless of salinity levels, tritipyrum line (ka/b) (cr/b) ($F_6$) had the highest amount of biological yield, grain yield, concentration of $K^+$ and $Ca^{++}$and $K^+/Na^+$ ratio in shoot and the least amount of $Na^+$ in shoot. With increase in salinity level from 0 to 200 mM, flag leaf area, number of fertile florets, 1000 grain weight, biological yield, grain yield and amount of $K^+$ and $Ca^{++}$ in both root and shoot were significantly reduced in almost all genotypes and concentration of $Na^+$ was increased. At 200 mM salinity, all of the three combined tritipyrum lines had significantly higher amount of biological yield and $K^+$ concentration in shoot and less amount of $Na^+$ in shoot than durum wheat and triticale. Shoot $Na^+$ concentration had negative significant correlation with flag leaf area and 1000 grain weight. In the other hand, positive correlation was observed between shoot $K^+$ concentration and flag leaf area, number of fertile florets, 1000 grain weight and grain yield. At 200 mM salinity, the highest and lowest shoot $K^+/Na^+$ ratio were observed in tritipyrum line F5 and durum wheat, respectively. On average, root sodium concentration in tritipyrum lines was higher than that of wheat and triticale while shoot sodium concentration in tritipyrum lines was less than that of the two other genotypes.

## Conclusion

Results of our experiment suggest that hindrance in the transfer of $Na^+$ from root to the aerial parts is probably one of the mechanisms that used by tritipyrum lines to cope with the high NaCl concentrations.

**Keywords:** Amphiploid, Biological yield, Grain yield, Salt tolerance, Sodium to potassium ratio.

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۱، ۴۵(۳)، ۴۲۰-۴۰۹
https://plantproduction.scu.ac.ir/
**ISSN (P):** 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
**Doi:** 10.22055/ppd.2022.41353.2047
**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۱/۰۴/۲۶
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۹/۰۸

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

# بررسی برخی خصوصیات فیزیولوژیک لاین های گندم تریتی‌پایرم در پاسخ به تنش شوری

**فاطمه رازقی جهرمی[۱]، محمد اسماعیل پور[۲*]، حسین شاهسوند حسنی [۳]**

۱- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران
۳- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

## چکیده

**شوری خاک اثر نامطلوبی بر تولیدات کشاورزی و در نتیجه امنیت غذایی دارد. تریتی‌پایرم یک گندم آمفی پلوئید دست‌ساز بشر (AABBE$^b$E$^b$ ، 2n=6x=42) است که از تلاقی بین گونه تریتیکوم دوروم (AABB ، 2n=4x=28) با تینوپایرم بسارابیکوم (E$^b$E$^b$ ، 2n=2x=14) بدست آمده است و می‌تواند به عنوان یک گیاه با کاربرد دوگانه‌ی علوفه‌ای و دانه‌ای مورد کشت قرار گیرد. در این آزمایش، برخی خصوصیات فیزیولوژیک لاین های اولیه گندم تریتی پایرم در شرایط شوری در قالب کرت های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در محیط کشت هیدروپونیک در دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۹ مورد ارزیابی قرار گرفت. شوری به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم) و ژنوتیپ شامل سه لاین اولیه تریتی‌پایرم (La/b، Ka/b وSt/b)، نسل‌های F$_۴$، F$_۵$، F$_۶$ لاین ترکیبی تریتی‌پایرم اولیه (Ka/b)(Cr/b)، رقم گندم دوروم کرسو و همچنین لاین امید بخش تریتیکاله (Ma$_{۴۵}$) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. تیمارهای شوری از مرحله سه برگی به بعد اعمال شد. صفاتی از قبیل غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه، سطح برگ پرچم، تعداد گلچه بارور در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در واحد آزمایشی اندازه‌گیری شدند. بر اساس نتایج بدست آمده، بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر کلیه صفات مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. در تنش شوری ۲۰۰ میلی مولار، لاین امید بخش تریتیکاله (Ma$_{۴۵}$) و لاین تریتی‌پایرم (Ka/b)(Cr/b)(F6) بیشترین و لاین La/b کمترین سطح برگ پرچم داشتند. همچنین لاین تریتی‌پایرم (ء F)(Ka/b)(Cr/b)بالاترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در واحد آزمایشی و کمترین غلظت سدیم در اندام هوایی در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار را دارا بود. با افزایش شدت تنش شوری، غلظت سدیم در ریشه و اندام هوایی در کلیه ژنوتیپ ها افزایش یافت و متعاقباً صفات سطح برگ پرچم، تعداد گلچه‌ی بارور، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در واحد آزمایشی در ارقام و لاین های مورد مطالعه کاهش یافت. همبستگی منفی و معنی دار بین غلظت سدیم اندام هوایی و ریشه با صفات سطح برگ پرچم، تعداد گلچه بارور و وزن هزار دانه مشاهده شد اما بین عملکرد بیولوژیک و غلظت سدیم ریشه و اندام هوایی همبستگی معنی داری وجود نداشت. بطور میانگین لاین‌های مختلف تریتی‌پایروم نسبت به گندم کرسو و تریتیکاله میزان بیشتری سدیم در ریشه تجمع داده بودند در حالی که غلظت این عنصر در اندام هوایی آن ها کمتر از دو گونه مذکور بود. بنابراین ممکن است یکی از مکانیسم های تحمل شوری در لاین های تریتی پایروم جلوگیری از انتقال یون‌های سدیم به بخش‌های هوایی باشد.**

* **نویسنده مسئول:** محمد اسماعیل پور
**رایانامه:** esmailpour@jahromu.ac.ir ; esmailpour2062@gmail.com

© 2022 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**کلید واژه‌ها: آمفی پلوئید، تحمل شوری، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، نسبت سدیم به پتاسیم**

## مقدمه

شوری آب و خاک به یکی از مشکلات اصلی جهانی در حوزه کشاورزی و منابع طبیعی تبدیل شده است به طوری که تولید پایدار و امنیت غذایی بسیاری از کشورها از جمله ایران را با چالش جدی مواجه کرده است. بنابراین معرفی گیاهان یا ارقام جدیدی که متحمل به شوری باشند بسیار حائز اهمیت است چرا که هم می تواند از طریق تأمین علوفه در افزایش درآمد جوامع روستایی ساکن این مناطق و کاهش مهاجرت آن‌ها به شهرها اثر گذار باشد و هم با تثبیت خاک در کاهش ریزگردها نقش موثری داشته باشد (Mukhopadhyay et. al. 2021). در این زمینه، تریتی‌پایروم به عنوان یکی از گیاهان جدید کم توقع بوده و لاین‌های مختلف آن پتانسیل بسیار خوبی در تحمل و مقاومت به شوری از خود نشان داده‌اند و کشت و کار آن به عنوان راهکاری پایدار و اقتصادی برای معضل شوری خاک مطرح شده است (Kamyab et. al. 2018).

تریتی‌پایرم (Tritipyrum) اولیه هگزاپلوئید (2n=6x=42، $AABBE^bE^b$)، بعد از تریتوردیوم (Tritordeum) و تریتیکاله سومین غله ساخته دست بشر است. از تلاقی بین گونه تتراپلوئید گندم دوروم (2n=4x=28، AABB) با گونه دیپلوئید علف شور ساحل (Thinopyrum bessarabicum) (2n=2x=14، $E^bE^b$) نتاج $F_1$ عقیم (2n=3x=21، $ABE^b$) به وجود آمد که پس از مضاعف نمودن کروموزوم‌های آن ها، لاین‌های تریتی‌پایرم اولیه بارور (2n=6x=42، $AABBE^bE^b$) تولید گردید. نتایج آزمایش‌های اولیه، گویای تحمل این گیاه جدید به غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم در شرایط هیدروپونیک، بدون کاهش محسوس در عملکرد و استمرار پنجه‌زنی و تداوم رشد گیاه می‌باشد (Shahsevand Hassani, 1998). در این زمینه Kamyab et al., (2016) با بررسی ۹ لاین تریتی پایرم و یک رقم گندم متحمل به شوری (رقم بم) گزارش دادند در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، تمام لاین‌های مورد مطالعه‌ی تریتی‌پایرم دانه تولید کردند (هرچند عملکرد دانه آنها ۳۷٪ کاهش یافت) اما رقم مورد مطالعه‌ی گندم هیچ دانه‌ای تولید نکرد. همچنین در این تحقیق گزارش شد با افزایش سطح شوری از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌مولار، عملکرد دانه لاین های تریتی‌پایرم افزایش یافت. در تحقیقی دیگر گزارش شده است که انتقال ژن *TtLEA2-1* از تریتی‌پایرم به گندم و فوق بیان آن، سبب افزایش تحمل به شوری در گندم گردید و استنباط شده است که این ژن در تریتی‌پایرم می‌تواند برای انتقال صفت مقاومت به شوری به گیاهان زراعی مطرح باشد (Yang et al., 2022).

به طورکلی گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری مکانیسم‌های متنوعی از جمله تجمع ترکیبات سازگار، القاء سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، مدیریت غلظت سدیم و پتاسیم در اندام ها و غیره برای سازگاری با شرایط تنش شوری بکار می گیرند (Faghih et al., 2019). سدیم در کلیه بافت‌های گیاهی وجود دارد، ولی غلظت بالای سدیم در ریشه و مخصوصاً در اندام هوایی دامنه‌ای از مشکلات اسمزی و متابولیکی را بوجود می آورد و لذا نحوهٔ توزیع سدیم در اندام‌های مختلف گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار است (Atlassi Pak, 2018). به طور معمول برگ‌ها در برابر شوری نسبت به ریشه آسیب‌پذیرتر هستند و افزایش بیش از حد غلظت سدیم اندام هوایی، باعث کاهش دوام و سطح برگ‌ها و در نهایت کاهش در تولید خالص و عملکرد دانه می‌گردد (Saddiq et al., 2021).

به طورکلی همبستگی منفی بین غلظت سدیم و پتاسیم ریشه‌ها و برگ‌ها وجود دارد. جذب انتخابی پتاسیم به عنوان یکی از مهم‌ترین مکانیزم‌های فیزیولوژیکی برای مقابله با تنش شوری در بیشتر گونه‌های زراعی مطرح است Assaha et al., (2017). در این رابطه، تجمع کمتر $Na^+$ در اندام هوایی و یا نسبت $K^+/Na^+$ به عنوان معیار اصلی تحمل به شوری جهت استفاده در غربال ژرم‌پلاسم، برای تحمل به شوری مطرح گردیده است (Kumar et al., 2017).

هدف از پژوهش حاضر بررسی برخی خصوصیات فیزیولوژیک در شش لاین تریتی‌پایرم، یک رقم گندم دوروم و یک لاین امیدبخش تریتیکاله در شرایط شوری است.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش سه لاین هگزاپلوئید تریتی‌پایرم اولیه شامل La/b، ka/b و St/b ، نسل‌های $F_4$ تا $F_6$ تریتی‌پایرم ترکیبی اولیه (Cr/b) (Ka/b)، لاین تریتیکاله $Ma_{45}$ و رقم گندم دوروم کرسو (Creso) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت کرت های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. شوری به عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌ها به عنوان فاکتور فرعی در هر بلوک در نظر گرفته شدند.

© 2022 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

از هر ژنوتیپ، بذرهایی که از نظر شکل و وزن یکسان بودند انتخاب و با فواصل ۵ سانتی متر روی ردیف و ۱۲ سانتی بین ردیف ها در حوضچه های فلزی به مساحت ۱/۵ متر مربع به عمق ۵۰ سانتی متر حاوی مخلوط ماسه شسته شده و پرلایت (به نسبت ۴ به ۱) بصورت هیدروپونیک کاشته شدند.

آبیاری گیاهان تا مرحله ی دو برگی با استفاده از آب شهری و از مرحله دو برگی تا رسیدگی، با محلول غذایی جانسون انجام شد. تیمارهای شوری صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار از مرحله سه برگی به بعد اعمال شد. سطوح شوری صفر (شاهد)، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار به ترتیب با حل کردن صفر، ۶ و ۱۲ گرم نمک کلرید سدیم در هر لیتر آب تهیه و همراه با محلول غذایی جانسون به‌عنوان آب آبیاری به گیاهان داده شد.

هر حوضچه یا کرت اصلی دارای شیر تخلیه آب بود و در هر نوبت آبیاری، آب مازاد در حوضچه‌ها، از طریق این شیرها تخلیه می شد. هر روز یکبار حوضچه‌ها با این روش آبیاری و هر ۱۰ روز یکبار محلول غذایی جدید جانسون تهیه گردید و محلول قبلی با باز نگه داشتن شیر تخلیه حذف می شد. در طی آزمایش، در ۴ نوبت، هدایت الکتریکی محلول حوضچه‌ها (برای شوری ۱۰۰ میلی مولار (۱۳ دسی زیمنس بر متر ($dsm^{-1}$)) و برای شوری ۲۰۰ میلی مولار، ( ۱۷ دسی زیمنس($dsm^{-1}$)) قرائت و ثابت نگهداشته شد.

در مرحله‌ی ظهور سنبله، سطح برگ پرچم ۷ بوته بطور تصادفی از هر ژنوتیپ در هر تیمار اندازه گیری شد. در مرحله رسیدگی، تعداد گلچه بارور در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در بوته اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه گیری غلظت سدیم، پتاسیم و کلسیم، در مرحله ی رسیدگی، ۷ بوته از هر ژنوتیپ در هر تیمار انتخاب و ریشه و بخش هوایی آنها جدا و با آب مقطر شستشو داده شد و به مدت دو روز در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک شدند. نمونه های خشک شده با آسیاب برقی پودر شدند و از هر کدام یک گرم انتخاب و در کوره الکتریکی در دمای ۵۸۰ درجه سانتی گراد به مدت دو ساعت حرارت داده شدند. خاکستر بدست آمده با هیدروکلریک اسید ۲ مولار شسته و عصاره بدست آمده با آب مقطر رقیق سازی و از کاغذ صافی عبور داده شد. سپس عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم نمونه ها با دستگاه فلیم فتومتر شعله‌ای Genway مدل PFP-7 اندازه‌گیری گردیدند (Kamyab et al., 2016).

تجزیه واریانس آزمایش با استفاده از رویه GLM در نرم افزار SAS 9.4 انجام شد. مقایسات میانگین صفات مختلف مورد بررسی برای لاین‌ها و همچنین میانگین صفات مذکور برای سطوح شوری با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و مقایسات میانگین اثرات متقابل فاکتورهای مورد مطالعه به وسیله نرم افزار MSTAT– C با آزمون LSD انجام شدند. هم چنین ضرایب همبستگی ساده بوسیله نرم افزار SPSS بدست آمد.

## نتایج و بحث

تأثیر سطوح شوری برای تمام صفات اندازه‌گیری شده از نظر آماری در سطح ۱٪ ($P<0/01$) معنی‌دار و برای صفت عملکرد بیولوژیک در سطح ۵٪ ($P<0/05$) معنی‌دار شد. هم چنین بین لاین‌ها و ارقام مورد بررسی برای کلیه صفات اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ بدست آمد. اثر متقابل ژنوتیپ با شوری برای صفات سطح برگ پرچم، تعداد گلچه بارور، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه در واحد آزمایشی، غلظت سدیم ریشه و اندام هوایی، غلظت پتاسیم ریشه و نسبت $K^+/Na^+$ اندام هوایی و ریشه در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار شد و برای صفات وزن هزار دانه، غلظت پتاسیم اندام هوایی، غلظت کلسیم اندام هوایی و ریشه معنی‌دار نشد (جدول ۱).

### سطح برگ پرچم

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که رقم گندم کرسو دارای بالاترین (۱۲/۳۱) و لاین ($F_۴$)(Cr/b) (Ka/b) دارای کمترین (۸/۲۵) میانگین سطح برگ پرچم بود (جدول ۲). با افزایش سطح شوری، سطح برگ پرچم در تمام ژنوتیپ‌ها به طور چشم‌گیری کاهش یافت (جدول ۳). همبستگی منفی و معنی داری نیز بین سطح برگ پرچم و غلظت سدیم ریشه و اندام هوایی وجود داشت (جدول ۴). در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، بالاترین سطح برگ (۹/۹۷) مربوط به لاین تریتیکاله $Ma_{۴۵}$ و کمترین مقدار (۵/۳۶) آن مربوط به لاین La/b بود. هم چنین کاهش سطح برگ در اثر تنش شوری، در بین لاین‌های ($F_۵$) (Cr/b) (Ka/b)، ($F_۴$) (Cr/b) (Ka/b)، ($F_۶$) (Cr/b) (Ka/b) معنی‌دار نبود (جدول ۵). گزارشات قبلی بیانگر این موضوع است که تنش شوری بلند مدت باعث بروز سمیت یونی در برگ‌ها و در نهایت منجر به کاهش در سطح برگ، سرعت رشد نسبی، هدایت روزنه ای و فتوسنتز می‌گردد (Ma et al., 2020; Rahnama et al., 2013).

**Table 1: Analysis of variance of measured traits of the genotypes under salinity stress**

| S.O.V. | df | Flag Leaf Area ($cm^2$) | No. of Fertile Florets | 1000 Grain Weight (g) | Biological Yield (g) | Grain Yield in Experimental Unit (g) | Sodium (mg/g) | | Potassium (mg/g) | | Calcium (mg/g) | | $K^+/Na^+$ ratio | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Shoot | Root | Shoot | Root | Shoot | Root | Shoot | Root |
| Replication | 2 | $2.9^{ns}$ | $7.3^{ns}$ | $10.5^{ns}$ | $3.7^{ns}$ | $2.7^{ns}$ | $728.6^{ns}$ | $264.3^{ns}$ | $0.54^{ns}$ | $0.43^{ns}$ | $0.04^{ns}$ | $4.6^{ns}$ | $0.006^{ns}$ | $0.007^{ns}$ |
| Salinity (S) | 2 | $165.3^{**}$ | $398.2^{**}$ | $557.9^{**}$ | $3.7^{*}$ | $104.4^{**}$ | $98115.9^{**}$ | $79185.3^{**}$ | $359.9^{**}$ | $131.2^{**}$ | $72.8^{**}$ | $756.5^{**}$ | $0.8^{**}$ | $0.7^{**}$ |
| Error (a) | 4 | 0.58 | 1.13 | 6.1 | 1.9 | 0.69 | 635.7 | 136.6 | 2.2 | 0.72 | 0.5 | 57.7 | 0.008 | 0.005 |
| Genotype (G) | 7 | $15.8^{**}$ | $647.1^{**}$ | $160.2^{**}$ | $67.2^{**}$ | $163.9^{**}$ | $7622.3^{**}$ | $11360.5^{**}$ | $157.8^{**}$ | $132.9^{**}$ | $2.4^{**}$ | $107.6^{**}$ | $0.07^{**}$ | $0.17^{**}$ |
| S×G | 14 | $7.6^{**}$ | $95.0^{**}$ | $10.4^{ns}$ | $9.1^{**}$ | $18.7^{**}$ | $2194.9^{**}$ | $2032.0^{**}$ | $5.6^{ns}$ | $8.1^{**}$ | $0.9^{ns}$ | $39.5^{ns}$ | $0.03^{**}$ | $0.14^{**}$ |
| Error (b) | 42 | 1.11 | 4.6 | 6.0 | 0.85 | 1.3 | 422.0 | 177.5 | 3.1 | 0.67 | 0.3 | 9.8 | 0.002 | 0.005 |
| CV (%) | | 10.9 | 8.4 | 8.5 | 9.4 | 12.9 | 15.6 | 12.7 | 10.6 | 11.5 | 17.8 | 18.0 | 15.9 | 21.9 |

ns, * and ** are non–significant and significant at 5 and 1% probability level, respectively.

**Table 2: Mean comparison of some agronomical traits and ion distribution in different genotypes**

| Genotypes | Flag Leaf Area ($cm^2$) | No. of Fertile Florets | 1000 Grain Weight (g) | Biological Yield (g) | Grain Yield in Experimental Unit (g) | Sodium (mg/g) | | Potassium (mg/g) | | Calcium (mg/g) | | $K^+/Na^+$ ratio | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Shoot | Root | Shoot | Root | Shoot | Root | Shoot | Root |
| Ka/b | $8.82^{de}$ | $26.16^{c}$ | $34.66^{a}$ | $11.00^{bc}$ | $10.01^{c}$ | $111.57^{c}$ | $111.32^{c}$ | $19.24^{b}$ | $5.20^{d}$ | $3.16^{bcd}$ | $17.94^{bc}$ | $0.17^{b}$ | $0.046^{c}$ |
| St/b | $10.71^{b}$ | $16.58^{e}$ | $22.41^{d}$ | $10.32^{bc}$ | $4.37^{f}$ | $125.54^{bc}$ | $166.35^{a}$ | $13.65^{d}$ | $7.15^{b}$ | $4.02^{ab}$ | $18.00^{bc}$ | $0.108^{c}$ | $0.042^{c}$ |
| La/b | $8.89^{cde}$ | $13.50^{f}$ | $23.69^{d}$ | $5.85^{e}$ | $3.4^{f}$ | $123.00^{bc}$ | $141.62^{b}$ | $9.20^{e}$ | $15.63^{a}$ | $3.02^{dc}$ | $20.01^{b}$ | $0.07^{c}$ | $0.11^{a}$ |
| (Ka/b) (Cr/b) ($F_4$) | $8.25^{e}$ | $28.66^{b}$ | $30.43^{b}$ | $10.27^{dc}$ | $8.96^{cd}$ | $136.95^{b}$ | $109.46^{c}$ | $17.72^{bc}$ | $7.2^{b}$ | $2.75^{de}$ | $13.86^{de}$ | $0.12^{b}$ | $0.06^{c}$ |
| (Ka/b) (Cr/b) ($F_5$) | $8.74^{de}$ | $27.10^{bc}$ | $29.14^{bc}$ | $9.43^{d}$ | $8.87^{d}$ | $83.45^{d}$ | $89.41^{d}$ | $20.98^{a}$ | $6.24^{c}$ | $2.36^{e}$ | $16.14^{de}$ | $0.25^{a}$ | $0.06^{c}$ |
| (Ka/b) (Cr/b) ($F_6$) | $9.88^{bc}$ | $27.41^{bc}$ | $27.94^{c}$ | $14.11_{a}$ | $15.94^{a}$ | $80.20^{d}$ | $85.12^{d}$ | $21.62^{a}$ | $6.24^{c}$ | $5.6^{a}$ | $17.20^{bc}$ | $0.26^{a}$ | $0.07^{c}$ |
| Kerso durum wheat | $12.31^{a}$ | $22.04^{d}$ | $26.94^{c}$ | $6.05_{e}$ | $6.05^{e}$ | $178.02^{a}$ | $68.39^{e}$ | $14.02^{d}$ | $7.18^{b}$ | $2.83^{cde}$ | $23.41^{a}$ | $0.07^{c}$ | $0.10^{b}$ |
| Triticale (line: $Ma_{45}$) | $9.64^{dc}$ | $41.36^{a}$ | $32.93^{a}$ | $11.19^{b}$ | $13.13^{b}$ | $161.83^{a}$ | $63.83^{e}$ | $16.30^{c}$ | $2.06^{e}$ | $3.36^{bc}$ | $20.30^{b}$ | $0.10^{c}$ | $0.03^{c}$ |
| LSD (5%) | 1.00 | 2.04 | 2.33 | 0.88 | 1.09 | 19.54 | 12.68 | 1.68 | 0.78 | 0.53 | 2.98 | 0.05 | 0.072 |

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% probability level ($P<0.05$).

**Table 3: Mean comparison of some agronomical traits and ion distribution under different salinity levels**

| Salinity (mM) | Flag Leaf Area ($cm^2$) | No. of Fertile Florets | 10000 Grain Weight (g) | Biological Yield (g) | Grain Yield in Experimental Unit (g) | Sodium (mg/g) | | Potassium (mg/g) | | Calcium (mg/g) | | $K^+/Na^+$ ratio | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Shoot | Root | Shoot | Root | Shoot | Root | Shoot | Root |
| 0 | 12.40 a | 29.29 a | 33.35 a | 10.07 a | 10.85 a | 61.60 c | 43.09 c | 20.60 a | 9.56 a | 4.94 a | 23.08 a | 0.42 a | 0.34 a |
| 100 | 9.41 b | 25.61 b | 28.50 b | 9.93 b | 8.98 b | 146.19 b | 113.27 b | 16.32 b | 6.87 b | 3.00 b | 17.12 b | 0.12 b | 0.06 b |
| 200 | 7.16 c | 21.15 c | 23.71 c | 9.32 c | 6.69 c | 186.94 a | 156.95 a | 12.87 c | 4.90 c | 1.46 c | 11.87 c | 0.07 c | 0.03 c |
| LSD (5%) | 1.01 | 1.41 | 3.30 | 1.86 | 1.10 | 33.51 | 15.54 | 1.98 | 1.13 | 0.99 | 3.66 | 0.12 | 0.09 |

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (P<0.05).

**Table 4: Correlation coefficients between the investigated traits of the genotypes under salinity stress**

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Flag leaf area | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | No. of fertile florets | $0.2^{ns}$ | 1 | | | | | | | | | | | |
| 3 | 1000 grain weight (g) | $0.19^{ns}$ | $0.7^{**}$ | 1 | | | | | | | | | | |
| 4 | Biological Yield (g) | $0.05^{ns}$ | $0.56^{**}$ | $0.32^{**}$ | 1 | | | | | | | | | |
| 5 | Grain yield in experimental unit (g) | $0.13^{ns}$ | $0.67^{**}$ | $0.64^{**}$ | $0.66^{**}$ | 1 | | | | | | | | |
| 6 | Shoot sodium | $-0.55^{**}$ | $-0.17^{ns}$ | $-0.5^{**}$ | $-0.14^{ns}$ | $-0.22^{ns}$ | 1 | | | | | | | |
| 7 | Root sodium | $-0.63^{**}$ | $-0.56^{**}$ | $-0.7^{**}$ | $-0.11^{ns}$ | $-0.50^{**}$ | $0.53^{**}$ | 1 | | | | | | |
| 8 | Shoot potassium | $0.37^{**}$ | $0.56^{**}$ | $0.66^{ns}$ | $0.56^{**}$ | $0.71^{**}$ | $-0.58^{**}$ | $-0.63^{**}$ | 1 | | | | | |
| 9 | Root potassium | $0.35^{**}$ | $-0.44^{**}$ | $-0.06^{ns}$ | $-0.44^{ns}$ | $-0.32^{**}$ | $-0.45^{**}$ | $-0.14^{ns}$ | $-0.13^{ns}$ | 1 | | | | |
| 10 | Shoot Calcium | $0.33^{**}$ | $0.51^{**}$ | $0.53^{**}$ | $0.55^{*}$ | $0.66^{*}$ | $-0.65^{*}$ | $-0.58^{**}$ | $0.50^{**}$ | 0.13ns | 1 | | | |
| 11 | Root Calcium | $0.28^{**}$ | $-0.43^{**}$ | -0.07ns | -0.04ns | $0.3^{*}$ | $-0.53^{*}$ | $-0.43^{**}$ | $0.28^{**}$ | -0.16ns | $0.30^{*}$ | 1 | | |
| 12 | Shoot $K^+/Na^+$ ratio | $0.40^{**}$ | $0.18^{ns}$ | $0.53^{**}$ | $0.07^{ns}$ | $0.30^{**}$ | $-0.81^{**}$ | $-0.62^{**}$ | $0.66^{**}$ | $0.28^{*}$ | $0.53^{*}$ | $0.3^{*}$ | 1 | |
| 13 | Root $K^+/Na^+$ ratio | $0.48^{**}$ | $-0.10^{ns}$ | $0.18^{ns}$ | $-0.3^{*}$ | $-0.07^{ns}$ | $-0.48^{**}$ | $-0.50^{**}$ | $0.07^{ns}$ | $0.78^{**}$ | $0.3^{*}$ | $0.28^{*}$ | $0.28^{*}$ | 1 |

ns, * and ** are non–significant and significant at 5 and 1% probability level, respectively.

**تعداد گلچه بارور**

با افزایش شدت تنش شوری از صفر به ۲۰۰ میلی مولار، تعداد گلچه های بارور به طور معنی داری کاهش پیدا کرد (جدول ۳). در این زمینه گزارش شده است تنش شوری بر درصد زنده مانی دانه گرده اثر منفی می گذارد. با این حال گزارش شده است $Na^+$ در سلولهای دانه گرده یا بساک تجمع نمی یابد که نشان می دهد کاهش زنده مانی دانه گرده به دلیل اثرات سمیت یونی نیست بلکه بخاطر کاهش سنتز مواد فتوسنتزی در برگ ها و انتقال کربوهیدرات های محلول از ساقه به سمت گل آذین است (Razzaq et al., 2019). بین تعداد گلچه بارور و غلظت سدیم ریشه همبستگی منفی و معنی داری (در سطح ۱٪) وجود داشت(جدول ۴). در تنش شوری ۲۰۰ میلی مولار، لاین ترکیبی (Ka/b)(Cr/b)($F_6$) و لاین اولیه La/b کمترین درصد کاهش تعداد گلچه های بارور (به ترتیب با ۱۹ و ۲۸ درصد کاهش) نسبت به شاهد (شوری صفر میلی مولار)، در بین ژنوتیپ های مورد مطالعه از خود نشان دادند. به طورکلی دانه گرده‌ی ژنوتیپ های متحمل در مقایسه با ژنوتیپ های حساس به میزان کمتری در مواجهه با شوری عقیم می گردند و حتی در این زمینه پیشنهاد شده میزان زنده مانی دانه گرده می تواند معیاری برای ارزیابی مقاومت به شوری باشد (Razzaq et al., 2019).

**وزن هزار دانه**

لاین تریتی‌پایرم (Ka/b) دارای بالاترین میانگین برای وزن هزار دانه (۳۴/۶۶ گرم) بود، ولی از این لحاظ با تریتیکاله (۳۲/۹۳ گرم) اختلاف معنی‌دار نداشت و لاین تریتی‌پایرم اولیه St/b کمترین میانگین (۲۲/۴۱ گرم) را برای این صفت دارا بود (جدول ۲). به طورکلی وزن هزار دانه با افزایش شدت تنش شوری به ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار به طور معنی داری نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول۳). این نتایج بیانگر تاثیر منفی تنش شوری بر وزن هزار دانه می باشد که با نتایج بدست آمده توسط سایر محققین مطابقت داشت (Duggan et al., 2000; Goudarzi and Pakniyat, 2008). کاهش در تولید مواد فتوسنتزی و محدودیت در انتقال این مواد به دانه، از عوامل کاهش وزن هزار دانه طی تنش در مرحله پرشدن دانه می‌باشند (Duggan et al., 2000). در این راستا بین وزن هزار دانه و غلظت سدیم ریشه و اندام هوایی همبستگی منفی و معنی دار (در سطح ۱٪) و با نسبت $K^+/Na^+$ اندام هوایی همبستگی مثبت و معنی دار مشاهده شد (جدول ۴).

**عملکرد بیولوژیک**

لاین ترکیبی اولیه تریتی‌پایرم (Ka/b)(Cr/b)($F_6$) بیشترین (۱۴/۱۱ گرم) و لاین اولیه تریتی‌پایرم La/b کمترین (۵/۸۵ گرم) میزان عملکرد بیولوژیک داشتند. (جدول ۲) و به طور کلی افزایش شدت شوری باعث کاهش معنی دار عملکرد بیولوژیک گردید (جدول ۳). لاین ترکیبی تریتی‌پایرم اولیه (۶ F)(Ka/b)(Cr/b) در شرایط تنش شوری بیشترین و رقم گندم کرسو کمترین میانگین عملکرد بیولوژیک را نشان دادند (جدول ۵). با افزایش سطح تنش شوری، تفاوت معنی‌داری بین لاین‌های اولیه و ترکیبی اولیه تریتی‌پایرم از نظر عملکرد بیولوژیک مشاهده نگردید. بین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در واحد آزمایشی همبستگی مثبت و معنی داری مشاهده شد اما بین عملکرد بیولوژیک و غلظت سدیم ریشه و اندام هوایی همبستگی معنی داری وجود نداشت (جدول ۴).

**عملکرد دانه در واحد آزمایشی**

لاین ترکیبی اولیه تریتی‌پایرم (Ka/b)(Cr/b)($F_6$) دارای بالاترین (۱۵/۹۴ گرم) و لاین تریتی‌پایرم اولیه La/b دارای کمترین (۳/۴ گرم) میزان عملکرد دانه در واحد آزمایشی بودند (جدول ۲). کلیه ارقام و لاین‌ها در تیمار شاهد (عدم وجود شوری) بیشترین و در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، کمترین عملکرد دانه در واحد آزمایشی را نشان دادند (جدول ۵). مشابه با نتایج این تحقیق، کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش توسط محققین مختلفی گزارش شده است (Kalhoro et al., 2016; El-Hendawy, et al., 2005; EL Sabagh et al., 2021). از دلایل احتمالی کاهش عملکرد در شرایط تنش شوری در پژوهش حاضر می توان به کاهش توان فتوسنتزی گیاه بعلت نقص در عملکرد صحیح روزنه های گیاه و همچنین فتواکسیداسیون رنگیزه‌ها و کاهش میزان کلروفیل در برگ در اثر تنش های اکسیداتیو و همچنین سمیت یونها و تنش اسمزی اشاره کرد که در این زمینه لازم است تحقیقات بیشتری صورت گیرد.

**غلظت سدیم اندام هوایی و ریشه**

بر اساس نتایج حاصله، گندم کرسو و تریتیکاله دارای بیشترین و لاین تریتی‌پایرم F5 و F6 دارای کمترین میزان سدیم در اندام هوایی بودند (جدول ۲). در مورد غلظت سدیم ریشه نتایج تا حدودی با اندام هوایی متفاوت بود به طوری که لاین تریتی‌پایرم St/b دارای بیشترین و لاین‌های تریتیکاله و

**Table 5: Interaction of salinity levels and genotypes on mean comparison of some agronomical traits and ion distribution under different salinity levels**

| Salinity | Genotype | Flag Leaf Area ($cm^2$) | No. of Fertile Florets | Biological Yield (g) | Grain Yield in Experimental Unit (g) | Shoot Sodium (mg/g) | Root Sodium (mg/g) | Shoot Potassium (mg/g) | Root Potassium (mg/g) | $K^+/Na^+$ ratio in Shoot | $K^+/Na^+$ ratio in Roots |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Ka/b | 11.73 b-d | 31.10 de | 11.21 b | 7.00 i-k | 43.67 jk | 42.48 jk | 23.96 bc | 6.43 f-h | 0.56 b | 0.16 c-e |
| | St/b | 13.41 b | 19.60 ijk | 9.41 d-f | 5.29 k-m | 83.91 hi | 107.74 g-i | 15.95 gh | 8.72 d | 0.19 de | 0.08 d-g |
| | La/b | 12.72 bc | 16.00 lm | 5.07 ij | 4.72 l-n | 43.80 jk | 18.28 l | 13.54 h-j | 22.02 a | 0.33 c | 1.26 a |
| | (Ka/b) (Cr/b) ($F_4$) | 9.96 e-h | 31.96 cd | 9.95 b-e | 10.83 ef | 33.24 k | 14.76 l | 19.96 d-f | 8.87 d | 0.60 b | 0.21 c |
| | (Ka/b) (Cr/b) ($F_5$) | 10.12 d-g | 33.63 cd | 8.05 fg | 12.09 de | 34.50 k | 41.80 jk | 24.43 b | 8.76 d | 0.74 a | 0.023 c |
| | (Ka/b) (Cr/b) ($F_6$) | 10.93 d-f | 34.93 c | 13.55 a | 21.68 a | 68.79 h-j | 43.03 gk | 27.56 a | 8.15 de | 0.41 e | 0.19 cd |
| | Kerso durum wheat | 18.70 a | 26.20 fg | 8.51 efg | 8.02 h-j | 56.31 i-k | 23.36 kl | 19.02 d-f | 10.59 c | 0.34 c | 0.46 b |
| | Triticale (line: $Ma_{45}$) | 11.60 c-e | 54.00 a | 14.82 a | 17.22 b | 128.54 f | 26.30 kl | 20.36 d-f | 2.94 lm | 0.16 d-f | 0.13 c-f |
| 100 | Ka/b | 8.66 g-j | 27.00 f | 11.31 b | 10.69 e-g | 127.27 f | 128.95 e-g | 17.71 fg | 5.38 h-j | 0.14 e-g | 0.04 fg |
| | St/b | 10.56 d-f | 16.80 jkl | 10.23 b-d | 4.17 mn | 120.68 fg | 177.62 c | 13.66 h-j | 7.22 ef | 0.11 e-h | 0.04 fg |
| | La/b | 8.61 g-j | 13.02 mn | 6.19 hj | 3.6 m-o | 143.44 ef | 165.60 cd | 8.85 k | 14.64 b | 0.06 gh | 0.09 d-g |
| | (Ka/b) (Cr/b) ($F_4$) | 8.28 h-j | 28.20 ef | 10.40 b-d | 8.86 g-i | 165.18 c-e | 136.03 ef | 17.65 fg | 7.0 e-g | 0.11 e-h | 0.05 e-g |
| | (Ka/b) (Cr/b) ($F_5$) | 8.61 g-j | 27.53 f | 9.51 c-f | 9.15 f-h | 91.91 gh | 99.60 hi | 20.70 de | 5.91 f-h | 0.23 d | 0.06 e-g |
| | (Ka/b) (Cr/b) ($F_6$) | 9.97 e-h | 27.13 f | 14.64 a | 15.37 bc | 147.48 d-f | 86.16 i | 23.36 cd | 6.09 f-h | 0.14 e-g | 0.07 e-g |
| | Kerso durum wheat | 11.24 c-e | 23.20 gh | 6.06 i | 6.28 j-l | 208.81 b | 62.13 j | 14.60 hi | 6.91 e-g | 0.07 gh | 0.12 c-g |
| | Triticale (line: $Ma_{45}$) | 9.37 f-i | 41.93 b | 11.07 bc | 13.69 cd | 164.76 c-e | 50.05 j | 16.00 gh | 1.85 mn | 0.10 f-h | 0.04 fg |
| 200 | Ka/b | 6.08 lm | 20.33 hi | 10.47 b-d | 12.34 de | 163.78 c-e | 162.53 cd | 16.05 gh | 3.81 kl | 0.10 f-h | 0.02 fg |
| | St/b | 8.17 i-k | 13.30 mn | 11.33 b | 3.65 m-o | 172.03 c-e | 213.70 b | 11.33 jk | 5.51 hi | 0.07 gh | 0.02 fg |
| | La/b | 5.36 m | 11.49 n | 6.26 hi | 1.89 o | 181.76 bc | 240.97 a | 5.23 l | 10.25 c | 0.03 h | 0.04 fg |
| | (Ka/b) (Cr/b) ($F_4$) | 6.51 k-m | 25.76 fg | 10.44 b-d | 7.19 ij | 212.43 b | 150.59 de | 15.55 gh | 5.73 g-i | 0.07 gh | 0.04 fg |
| | (Ka/b) (Cr/b) ($F_5$) | 7.48 j-l | 20.13 h-k | 10.71 b-d | 3.37 no | 180.49 b-d | 126.84 fg | 17.81 e-g | 4.03 kl | 0.14 e-g | 0.03 fg |
| | (Ka/b) (Cr/b) ($F_6$) | 8.74 g-j | 20.16 hij | 14.12 a | 10.79 ef | 123.93 fg | 126.18 fg | 15.94 gh | 4.49 i-k | 0.09 f-h | 0.04 fg |
| | Kerso durum wheat | 6.1 lm | 16.73 kl | 3.58 j | 3.85 mn | 268.95 a | 119.67 f-h | 8.47 k | 4.04 j-l | 0.03 h | 0.03 fg |
| | Triticale (line: $Ma_{45}$) | 9.97 e-h | 27.80 ef | 7.68 gh | 8.46 hi | 192.18 bc | 115.13 f-h | 12.55 ij | 1.37 n | 0.06 gh | 0.01 fg |
| LSD (5%) | | 1.74 | 3.42 | 1.59 | 1.89 | 33.85 | 22.0 | 2.91 | 1.35 | 0.08 | 0.12 |

In each column, means with the same letter(s) are not significantly different at 5% probability level ($P<0.05$).

گندم کرسو دارای کمترین غلظت سدیم در ریشه بودند (جدول ۲). با افزایش سطح شوری، میزان تجمع سدیم در اندام هوایی و ریشه به طور معنی داری افزایش یافت (جدول ۳) که منطبق با نتایج بدست آمده توسط دیگر محققان در این زمینه است (EL Sabagh et al., 2021; Kalhoro et al., 2016). اثر متقابل ژنوتیپ با شوری نشان داد که گندم کرسو در تنش شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار بیشترین غلظت سدیم اندام هوایی را دارا بود در حالی که لاین تریتی‌پایروم (۵(Ka/b) (Cr/b) (F) و (۶(F) (Cr/b) (Ka/b) به ترتیب در شرایط تنش شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نمک، کمترین میزان تجمع یون سدیم در اندام‌های هوایی را دارا بودند (جدول ۵). بر اساس گزارش Atlassi Pak (2018) ژنوتیپ‌های متحمل دارای غلظت کمتر سدیم اندام های هوایی در شرایط تنش شوری بوده و به طور کلی بازداری از انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی و همچنین تحمل غلظت های بالای سدیم در اندام های هوایی دو مکانیزم تعیین کننده تحمل به شوری می باشند.

در پژوهش حاضر، لاین‌های مختلف تریتی‌پایروم نسبت به گندم کرسو و تریتیکاله میزان بیشتری سدیم در ریشه تجمع داده بودند در حالی که غلظت این عنصر در اندام هوایی آن ها بسیار کمتر از دو گونه مذکور بود. بنابراین ممکن است لاین‌های تریتی‌پایروم واجد مکانیسم‌هایی برای جلوگیری از انتقال سدیم به قسمت‌های هوایی باشند. با این حال در گیاهان مختلف مکانیسم‌های مختلف دیگری از جمله جلوگیری از ورود یون‌ها به ریشه، انباشت یون ها در واکوئل، فعال کردن سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، بیوسنتز ترکیبات محافظ اسمزی و تنظیمات هورمونی نیز برای مقابله با تنش شوری شناسایی شده است (Gupta and Huang, 2014). در این زمینه Yang et al. (۲۰۲۲) نیز گزارش دادند با انتقال ژن TaLEA2-1 از تریتی‌پایرم به گندم و فوق بیان آن، ارتفاع بوته، رشد ریشه ها و فعالیت آنزیم کاتالاز و نهایتاً مقاومت به شوری در گندم افزایش یافت. لذا ممکن است در تریتی‌پایرم مکانیزم های متنوع دیگری به جز ممانعت از انتقال سدیم به قسمت‌های هوایی برای مقابله با تنش شوری نیز وجود داشته باشد که در این زمینه لازم است تحقیقات بیشتری صورت گیرد.

**غلظت پتاسیم اندام هوایی و ریشه**

به طورکلی بیشترین مقدار پتاسیم اندام هوایی (۲۱/۶۲ میلی گرم بر گرم) در لاین تریتی‌پایرم (۶ F)(Cr/b) (Ka/b) و کمترین میزان (۹/۲۰ میلی گرم بر گرم) در لاین تریتی‌پایرم La/b مشاهده شد (جدول ۲). کمترین میزان پتاسیم ریشه در هر دو غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار شوری در لاین تریتیکاله Ma۴۵ و بیشترین میزان آن در لاین تریتی‌پایروم La/b وجود داشت (جدول ۵). غلظت پتاسیم اندام هوایی با افزایش شدت شوری در تمامی نمونه های مورد آزمایش کاهش یافت (جدول ۳). کاهش یون پتاسیم به علت بالا رفتن غلظت نمک در گیاهان دیگر نیز گزارش شده است (Faghih et al., 2019). کاهش یون پتاسیم، رشد و فعالیت فیزیولوژیکی یک گیاه را در مرحله رویشی و زایشی مختل می‌نماید. بنابراین، این احتمال وجود دارد که گیاهانی که قادر به حفظ نسبت بالاتری از پتاسیم در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های مشابه هستند، به تنش شوری متحمل تر باشند (Rascio et al., 2001) هرچند که برای اثبات این موضوع نیاز به تحقیقات گسترده تری است.

**غلظت کلسیم اندام هوایی و ریشه**

لاین تریتی‌پایرم (۶ F)(Cr/b) (Ka/b) دارای بالاترین غلظت کلسیم اندام هوایی و گندم کرسو دارای بالاترین غلظت این عنصر در ریشه بود، در حالی که لاین تریتی‌پایرم (۵ F)(Cr/b) (Ka/b) دارای کمترین غلظت کلسیم در اندام هوایی و لاین تریتی‌پایرم (۴ F)(Cr/b) (Ka/b) دارای کمترین میزان آن در ریشه بود (جدول ۲). با افزایش شدت تنش شوری، کلسیم اندام هوایی و ریشه به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). امروزه کاملاً مشخص شده است که کلسیم در حفظ پایداری غشای سلولی و نفوذپذیری آن نقش دارد (Hamann, 2012). افزایش غلظت سدیم در محیط ریشه موجب کاهش فعالیت و قابلیت دسترسی کلسیم در غشای سلولی ریشه شده و در نتیجه افزایش انتقال $Na^+$ به اندام‌های هوایی را به دنبال خواهد داشت. کاهش کلسیم در اندام هوایی گندم نان در محیط متأثر از غلظت های بالای نمک در مطالعات قبلی هم گزارش شده است (Meneguzzo et al., 2000).

**نسبت $K^+/Na^+$ در اندام هوایی و ریشه**

به طور کلی بالاترین میزان نسبت $K^+/Na^+$ در تیمار شاهد و کمترین نسبت آن در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار نمک مشاهده شد (جدول ۳). کاهش نسبت $K^+/Na^+$ در اثر تنش تا کنون توسط تعداد زیادی از محققین گزارش شده است (Meneguzzo et al., 2009; Wang et al., 2013; Assaha et al., 2017). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که لاین تریتی‌پایرم (۵ F)(Cr/b) (Ka/b) در سطوح شوری

صفر، ۱۰۰ و همچنین ۲۰۰میلی مولار، بالاترین نسبت $K^+/Na^+$ را در اندام هوایی دارا بود (جدول ۵). کمترین میزان این نسبت در شرایط تنش ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار شوری، مربوط به گندم دورم کرسو و لاین La/b بود (جدول ۵). میزان بالاتر نسبت $K^+/Na^+$ در اندام هوایی لاین تریتی‌پایرم (۵ (Ka/b) (Cr/b)(F احتمالاً ناشی از توانایی بهتر این ژنوتیپ در جلوگیری از ورود سدیم به ریشه و یا توانایی بالاتر در جذب و نگهداری $K^+$ در اندام هوایی بوده است.

هموستازی یون های سدیم و پتاسیم و حفظ مقادیر بالاتر پتاسیم نسبت به سدیم به عنوان یکی از عوامل احتمالی در مقاومت گیاهان به شوری معرفی شده است (Assaha et al., 2017). هرچند غلظت‌های بالای سدیم برای گیاه سمی است و این عنصر به عنوان یک عامل مهم در حساسیت به شوری مطرح می‌باشد، مشخص شده که نسبت پتاسیم به سدیم عامل موثرتری در شرایط تنش شوری بوده و این صفت یکی از عوامل تعیین کننده‌ی میزان مقاومت/حساسیت گیاه به شوری می‌باشد (Wang et al., 2013). به عبارتی در برخی از گیاهان حساس به شوری، غلظت‌های بالای سدیم باعث کاهش جذب پتاسیم که به عنوان یک عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاه مدنظر است، می‌شود و متعاقباً کمبود پتاسیم در گیاه باعث نقص در کارکردهای صحیح گیاه می‌گردد. در این زمینه حتی حساسیت به شوری به میزان زیادی به کمبود عنصر پتاسیم در گیاه نسبت داده می شود و اصلاح گیاهان برای مقاومت به شرایط کمبود پتاسیم به عنوان یکی از اهداف اصلاحی گیاهان مد نظر می‌باشد (Assaha et al., 2017). وجود ارتباط بین نسبت بالای $K^+/Na^+$ و تحمل به شوری در گندم دوروم در مطالعات قبلی هم گزارش شده است (Meneguzzo et al., 2000). در این زمینه Santa-Maria and Epsetin (۲۰۰۱) گزارش دادند ژنوتیپ‌های متحمل با انتقال محدود سدیم به اندام هوایی، از انتخاب‌گری بالاتری برای $K^+$ نسبت به $Na^+$ برخوردار بوده‌اند، بنابراین ژنوتیپ‌هایی که کمترین میزان نسبت پتاسیم به سدیم را دارند، احتمالاً فاقد این قابلیت بوده و انتظار می رود به شوری حساس تر باشند. البته بایستی توجه داشت که علاوه بر این مورد، مکانیزم های دیگری مانند تحمل اسمزی سلول، توان محفظه بندی سدیم در سلول ها و غیره نیز ممکن است دخیل باشند که برای مشخص شدن اهمیت آن ها لازم است تحقیقات بیشتری صورت گیرد.

## نتیجه‌گیری

وجود همبستگی منفی بین غلظت سدیم اندام هوایی و ریشه با صفت سطح برگ پرچم نشان می دهد احتمالاً با افزایش شوری، سطح فتوسنتزکننده و میزان تولید مواد فتوسنتزی کاهش یافته و متعاقباً تعداد گلچه‌ی بارور، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در واحد آزمایشی در ارقام و لاین های مورد مطالعه نیز کاهش یافته است. به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که احتمالاً لاین‌های مختلف تریتی-پایروم مورد مطالعه در مقایسه با گندم دورم کرسو و لاین تریتیکاله Ma45 توانایی بیشتری در تحمل تنش شوری داشتند. به نظر می‌رسد احتمالاً یکی از مکانیسم‌های تحمل لاین‌های تریتی‌پایروم در برابر غلظت‌های بالای شوری، جلوگیری از انتقال یون‌های سدیم به بخش‌های هوایی بوده که برای تأیید این موضوع لازم است پژوهش های تکمیلی در سطوح مختلف بیوشیمیایی و مولکولی انجام شود.

## سپاسگزاری

از حمایت‌های معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهرکرد سپاسگزاری می‌گردد.

## References

Assaha, D., Ueda, A., Saneoka, H., Al-Yahyai, R., & Yaish, M.W. (2017). The role of $Na^+$ and $K^+$ transporters in salt stress adaptation in glycophytes. *Frontiers in physiology*, 8, 509.

Atlassi Pak, V. (2018) Evaluation of sodium accumulation in leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Plant Productions*, 41(1): 43-56. [In Persian]

Duggan, B.L., Domitruk, D.R., & Flower, D.B. (2000) Yield component variation in winter wheat grown under drought stress. *Journal of Plant Science*, 80, 739-745.

EL Sabagh, A., Islam, M.S., Skalicky, M., Ali Raza, M., Singh, K., Anwar Hossain, M., 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., Habib Ur Rahman, M., Ullah, N., & Arshad, A. (2021). Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: adaptation and management strategies. *Frontier in Agronomy*, 3, 661932.

El-Hendawy, S.E., Hua, Y., Yakout, G.M., Awad, A.M., Hafizb, S.H., & Schmidhalter, U. (2005). Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. *European Journal of Agronomy*, 22, 243–253.

Faghih, S., Zarei, A., & Ghobadi, C. (2019). Positive effects of plant growth regulators on physiology responses of *Fragaria* × *ananassa* cv. 'Camarosa' under salt stress. *International Journal of Fruit Science*. 19(1), 104-114.

Goudarzi, M., & Pakniyat, H. (2008). Evaluation of wheat cultivars under salinity stress based on some agronomic and physiological traits. *Journal of Agriculture and Social Sciences*, 4, 35–8.

Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 2014, 701596.

Hamann, T. (2012). Plant cell wall integrity maintenance as an essential component of biotic stress response mechanisms. *Frontier in Plant Science*, 3, 77.

Kalhoro, N.A., Rajpar, I., Kalhoro, S.A., Ali, A., Raza, S., Ahmed, M., Kalhoro, F.A., Ramzan, M. & Wahid, F. (2016). Effect of salts stress on the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *American Journal of Plant Science*, 7 (15), 2257-2271.

Kamyab, M., Kafi, M., Shahsavand, H., Goldani, M., & Shokouhifar, F. (2016). Exploring ion homeostasis and mechanism of salinity tolerance in primary tritipyrum lines (Wheat× *Thinopyrum bessarabicum*) in the presence of salinity. *Australian Journal of Crop Science*, 10(7), 911-919.

Kamyab, M., Kafi, M., Hassani, H. S., Goldani, M., & Shokouhifar, F. (2018). Tritipyrum (*'Triticum durum x Thinopyrum bessarabicum'*) might be able to provide an economic and stable solution against the soil salinity problem. *Australian Journal of Crop Science*, 12(7), 1159-1168.

Kumar, S., Beena, A.S., Awana, M., & Singh, A. (2017). Physiological, biochemical, epigenetic and molecular analyses of wheat (*Triticum aestivum*) genotypes with contrasting salt tolerance. *Frontier in Plant Science*, 8, 1151.

Ma, Y., Celeste Dias, M., & Freitas, H. (2020). Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontier in Plant Science*, 11, 591911.

Meneguzzo, S., Navari-Izzo, F., & Izzo, R. (2000). NaCl effects on water relations and accumulation of mineral nutrients in shoots, roots and cell sap of wheat seedling. *Journal of Plant Physiology*, 156, 711-716.

Mukhopadhyay, R., Sarkar, B., Jat, H.S., Sharma, P.C., & Bolan, N.S. (2021). Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*, 280, 111736.

Rahnama, A., Poustini, K., & Tavakkol Afshari, R. (2013). Short-term responses of stomatal conductance for screening wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) differing in salt tolerance for osmotic stress tolerance. *Plant Productions*, 36 (3), 93-105. [In Persian]

Rascio, A., Russo, M., Mazzucco, L., Plantani, C., Nicastro, G., & Fonz. N.D. (2001). "Enhanced osmo-tolerance of wheat selected for potassium accumulation. *Plant Science*, 160, 441-448.

Razzaq, M.K., Rauf, S., Khurshid, M., Iqbal, S., Bhat, J.A., Farzand, A., Riaz, A., Xing, G. and Gai, J. (2019). Pollen viability an index of abiotic stresses tolerance and methods for the improved pollen viability. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 32 (4), 609-624.

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.

Santa-Maria, G.E., & Epsetin, E. (2001). Potassium/sodium selectivity in wheat and amphiploid Cross wheat×Lophopym elongation. *Plant Science*, 160, 523-534.

Shahsevand Hassani, H. (1998). *Development and molecule cytogenetic studies of a new salt tolerant cereal, Tritipyrum*. PhD. Thesis, The University of Reading. UK.

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 7370-7390

Yang, Z., Mu, Y., Wang, Y., He, F., Shi, L., Fang, Z., Zhang, J., Zhang, Q., Geng, G. & Zhang, S. (2022). Characterization of a novel TtLEA2 gene from *Tritipyrum* and its transformation in wheat to enhance salt tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 13.