



<https://ijpb.ui.ac.ir/?lang=en>
IRANIAN JOURNAL OF PLANT BIOLOGY
E-ISSN: 2322-2204
Vol. 14, Issue, No. 1, Spring 2022
Document Type: Research Paper
Received: 15/07/2022 Accepted: 04/03/2023

The effects of NaCl on ion content and compatible solutes in Canola (*Brassica napus* L.) cultivars

Nasser Abbaspour^{*1}, Maryam Mousavian kalat¹

¹ Department of Biology, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia. Iran

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of salinity caused by sodium chloride on the content of ions and understand the level of resistance in four varieties of Canola (*Brassica napus* L.) namely Talaye, Sarigol, Zarafam, and Opera. The plants were grown in hydroponic solution (1/4 strength Hoagland solution) and greenhouse conditions. When the plants reached the 5-leaf stage, they were treated with concentrations of 0 (control), 50, 75, and 100 mM sodium chloride for 14 days and then harvested. In order to measure the content of nutritional elements of the plant organs, extracts of the desired organs were prepared.

The results of the experiments showed that with increasing salinity, the potassium content of shoots and roots decreased in all 4 cultivars in response to salinity stress, while the content of chlorine and sodium increased. The highest increase of chlorine and sodium elements in response to salinity stress was observed in Talaye and Sarigol cultivars, about 1000 times more than the control plants. The increase in the sodium content of the shoot was higher than that of the root and it increased about 800 times in the roots of Talaye and Sarigol cultivars, it increased about 800 times. Proline and glycine betaine contents of leaves increased in response to salt stress. The amount of soluble sugar in shoot and root also increased in some cultivars, so in the treatment of 100 mM, its amount in the leaves of Talaye variety increased by 43% and in Sarigol by 80%. According to the obtained results, it can be concluded that among the cultivars studied, Opera and Zarafam cultivars have better performance under salt stress than the other two cultivars, and the performance of Sarigol is weaker than other cultivars.

Introduction

Salinity is a widespread environmental stress that restricts crop production worldwide. Soils in Iran, particularly in arid and semi-arid zones, are affected by salinity stress.

* Corresponding Author: n.abbaspour@urmia.ac.ir



Under salt stress, plants show reduced water potential, ion toxicity, and ion uptake interference. Crop plants mainly respond to salinity using various mechanisms, including avoidance or tolerance. Almost all crops are glycophytes and cannot inhibit Na^+ and Cl^- accumulation in shoots and its out-coming damage to leaf tissues (Munns and Tester, 2008). Tolerant plants produce different osmolytes, such as soluble sugars, proline, glycine betaine, and toxic ion compartmentation. Canola is one of the most important oilseed crops used for edible oil production due to the lower content of saturated fatty acids (Brand *et al.*, 2001). Iran has a potential capacity of up to 5 million tons/year of canola production, while it is not more than 190 thousand tons/year (Zarafshani *et al.*, 2017). McNeilly and Ashraf (2004) concluded that salt-tolerant rapeseeds have lower concentrations of sodium and chlorine in their aerial parts when faced with salinity. Plant species show different capacities of tolerance when exposed to high salinity. This study was conducted to investigate the effect of salinity caused by sodium chloride on the content of ions and to determine salt tolerance ability in four varieties of Canola (*Brassica napus* L.): Talaye, Sarigol, Zarfam, and Opera. This study aimed to determine the salt tolerance capacity of four different cultivars of rapeseed considering, the content of ions, and the effects of chlorine and sodium ions on physiological and biochemical parameters.

Materials and Methods

One-week-old seedlings of the above mentioned four cultivars of canola were transferred to $\frac{1}{4}$ strength Hoagland solution and grown for five weeks under greenhouse conditions and different NaCl treatments (0, 50, 75, and 100 mM).

100 mg ground dry mass of shoots and roots were added to hot water. Then, each extract (10 ml) was used to determine K^+ , Na^+ , and Cl^- ions content using flame photometry and chloride analyzer based on titration with silver ions methods. The soluble sugars were measured in the samples extracted by ethanol based on the Dubois *et al.* (1954) method. The proline contents of leaves and roots were determined using Bates *et al.* (1973). The extracts of leaves and roots in sulfosalicylic acid (3%) were transferred to toluene after adding acetic acid, phosphoric acid and, ninhydrin reagents to the mixture. Then, the optical density of the upper part of the solution was read at 520 nm using a spectrophotometer. All calculations were made according to a standard curve plotted by known different concentrations of proline. The glycine betaine contents were measured according to Grattan and Grieve (1983). Ground dry mass of leaves and roots were incubated in sulfuric acid and dichloroethane for 1 and 2.5 hours, respectively, and the optical density of the extracts was determined at 360 nm

Results and Discussion

In this study, salinity stress has increased the sodium content of shoots and roots in all four cultivars. This increase is more in Talayah and Sari-Gol cultivars than the other two cultivars. Also, the sodium content of the shoots is higher than the roots. In some cultivars of the rapeseed plant, the barrier mechanisms that prevent sodium from entering the roots, less Na accumulation in the aerial organs, and maintaining high ratios of potassium to sodium, especially in young photosynthetic tissues, probably have increased tolerance to salinity (Atlasi Pak, 2016). However, in all cultivars, the potassium contents of root and shoot significantly decreased under different salinity. Other researchers also considered the increase of sodium absorption in the roots and its competition with potassium absorption under salt stress as the cause of the decrease in

the amount of potassium in the roots (Mittal and Dubey, 1991). The reduction of potassium in the roots and shoots has also been reported in rapeseed under salinity. The researchers stated that the amount of potassium in the shoot is directly related to the growth rate as brassica species that have more ability to retain potassium will be more tolerant to salinity (He and Cramer, 1993). The results of the present research showed that the chlorine content of aerial parts and roots increased with the application of salinity. It was also observed that the amount of chlorine in aerial parts is about 3 times higher than the sodium content of aerial parts. It could be due to the higher inhibitory effects of Cl on plant growth rather than Na in Canola (Teakle and Tyerman 2010). According to the results obtained in this study, changes in osmolytes concentrations showed different patterns. This variation was higher in soluble sugars than the others. However, proline and glycine betaine contents increased with increasing salinity in all cultivars. Various studies showed a positive relationship between the accumulation of osmolytes, such as GB and proline, and stress tolerance in plants. Some studies showed that an increase in the concentration of these two osmolytes under stress is not an adaptive stress response. The accumulation of GB in response to salinity has been found in many crops, including corn (*Sorghum bicolor*) (Weimberg *et al.*, 1984).

Conclusion

According to the results, salinity treatment causes changes in the ion content of roots and shoots including a higher content of Na and Cl and a lower content of K. In addition, based on the highest amounts of chlorine in aerial organs in all four cultivars (3 times greater than Na), it can be concluded that the decrease in growth in all cultivars could be related to chlorine toxicity, and sodium has intensified the effects. Proline and glycine betaine contents increased under salt stress in four cultivars. Overall, the results showed that Opera and Zarafam cultivars have higher capacities to tolerate salinity than the others.

Keywords: Ion, cultivars content, salinity, canola, osmolytes

تأثیر کلرید سدیم بر محتوای یونی و محلول‌های سازگار در ارقام مختلف کلزا (*Brassica napus* L.)

سیده مریم موسویان کلات^۱، ناصر عباس‌پور^{۱*}

^۱ گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر شوری ناشی از کلرید سدیم بر محتوای یون‌ها و درک میزان مقاومت در چهار رقم کلزا (*Brassica napus* L.) به نام‌های طلایه، ساری‌گل، زرفام و آپرا، انجام شد. گیاهان در محلول هیدروپونیک (محلول هوگلند با قدرت یک چهارم) و شرایط گلخانه‌ای رشد یافتند. هنگامی که گیاهان به مرحله ۵ برگی رسیدند با غلظت‌های ۰ (شاهد)، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به مدت ۱۴ روز تیمار و سپس برداشت شدند. به منظور اندازه‌گیری محتوای عناصر غذایی اندام‌های گیاه عصاره‌ی اندام‌های مورد نظر تهیه شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش شوری، محتوای پتاسیم اندام هوایی و ریشه در هر ۴ رقم در پاسخ به تنش شوری کاهش یافت، در حالیکه محتوای کلر و سدیم افزایش یافت. بیشترین میزان افزایش عناصر کلر و سدیم در پاسخ به تنش شوری در ارقام طلایه و ساری‌گل، حدود ۱۰۰۰ برابر بیشتر از گیاهان کنترل مشاهده شد. افزایش محتوای سدیم اندام هوایی بیشتر از ریشه بود و در ریشه‌ی ارقام طلایه و ساری‌گل، حدود ۸۰۰ برابر افزایش نشان داد. محتوای پرولین و گلايسين بتائين برگ در پاسخ به تنش شوری افزایش یافت. میزان قند محلول برگ و ریشه نیز در برخی ارقام افزایش پیدا کرد به‌طوری‌که در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار، میزان آن در اندام هوایی در رقم طلایه ۴۳ درصد و در ساری‌گل ۸۰ درصد افزایش یافت. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان به این نتیجه رسید که در میان ارقام مورد مطالعه، ارقام آپرا و زرفام نسبت به دو رقم دیگر عملکرد بهتری تحت تنش شوری دارند و عملکرد رقم ساری‌گل ضعیف‌تر از سایر ارقام است.

واژه‌های کلیدی: اسمولیت‌های سازگار، تنش شوری، کشت هیدروپونیک، کلزا، یون

مقدمه

کلروپلاست فراوان است که در آن نقش حیاتی در تنظیم اسمزی و حفاظت غشای تیلاکوئید ایفا می‌کند (Ashraf and Mc Neilly, 2004). سیستم‌های دفاعی گیاهان در مقابله با تنش شوری شامل هوموستازی یونی، بیوستتز اسمولیت‌ها، محفظه‌بندی (compartmentation) یون‌های سمی و سیستم‌های زدایندگی گونه‌های اکسیژن فعال است (Niu *et al.*, 1995; Ashraf and Harris, 2004; Ashraf and Ali, 2008; Stepien and Johnson, 2009). هوموستازی را گرایش سلول یا موجود زنده به حفظ تعادل یا ثبات (حتی در واکنش به تحریکات محیطی) بیان کرده‌اند (Niu *et al.*, 1995). تحمل به شوری فرآیند پیچیده‌ای است که از طریق سازگاری در دامنه‌ی وسیعی از سازوکارهای فیزیولوژیک حاصل می‌شود (Stepien and Johnson, 2009). غلظت Na^+ و Cl^- داخل سلولی در سلول‌های گیاهی توسط پروتئین‌های ناهموسی Na^+/K^+ تنظیم می‌شود که علاوه بر غشای پلاسمایی، در تونوپلاست (غشای واکوئل) نیز قرار دارند. افزایش سدیم باعث کاهش کاتیون‌های دیگر در گیاه و به هم زدن تعادل کاتیونی گیاه می‌شود. این افزایش همچنین، باعث کاهش میزان کلسیم، منیزیم و پتاسیم در گیاه می‌شود (Mir Mohammadi Meybodi and GhareYazi, 2002). در گیاهان زراعی شوری بسیاری از فرآیندهای دخیل در رشد و نمو را تحت تأثیر قرار می‌دهد. Ashraf and Mc Neilly (2004) در مطالعات خود بر روی کلزا به این نتیجه رسیدند که وارسته‌های متحمل به شوری در هنگام مواجهه با شوری دارای غلظت سدیم و کلر کمتر در بخش هوایی خود هستند.

تنش شوری یکی از عوامل اصلی محدود کننده تولیدات کشاورزی است (Egamberdieva *et al.*, 2019). تخمین زده شده است که در حال حاضر ۲۰ درصد از زمین‌ها تحت تأثیر شوری قرار دارند و بیش از ۲۵ درصد از زمین‌های زیر کشت در ۲۵ سال آینده در سراسر جهان تحت تأثیر نمک تخریب می‌شوند. (Cheng *et al.*, 2016). دلیل اصلی ممانعت از رشد در اثر شوری، مشکلاتی است که در جذب مواد معدنی دیگر در رقابت با Na^+ به وجود می‌آید (Mir Mohammadi Meybodi and GhareYazi, 2002). گیاه در دو مرحله نسبت به تنش شوری واکنش می‌دهد: مرحله‌ی اول، مرحله‌ی اسمزی نام دارد که در این مرحله، از رشد برگ‌های جوان ممانعت می‌شود. مرحله‌ی دوم، که با سرعت کمتری انجام شده و مرحله‌ی یونی نام دارد، موجب پیری برگ‌های بالغ می‌شود (Munns and Tester, 2008). سلول گیاهی در مواجهه با شوری با استفاده از انرژی حاصل از تولیدات فتوسنتزی و در واکنش به پتانسیل آب پایین، در محلول سیتوپلاسم سلولی خود مواد آلی با وزن مولکولی کم نظیر فروکتان، ساکارز (قندها)، پرولین و سایر مواد ایجاد کننده‌ی اسمز را می‌سازند (Mir Mohammadi Meybodi and GhareYazi, 2002). مشاهده‌ی تجمع مواد محلول به ویژه پرولین و قندها تحت شرایط تنش متداول است. پرولین به عنوان حفاظت کننده‌ی آنزیمی استفاده می‌شود که در ساختمان درشت مولکول‌ها شرکت می‌کند و منبع مهم انرژی و نیتروژن برای مواجهه با شوری است (Pezeshki and Chambers, 1986). گلایسین بتائین (GB) نیز از دیگر مواد محلول سازگار و به‌طور اصلی در

حاوی محلول غذایی هوگلند با غلظت یک هشتم منتقل و با پمپ هوادهی شدند. هنگامی که دانه رست‌ها به میزان مناسبی رشد کردند و برای انتقال به هوگلند آماده شدند به تشتک‌های حاوی محلول هوگلند با قدرت یک هشتم منتقل و با پمپ هوادهی شدند. به منظور تهیه‌ی محلول غذایی ابتدا محلول‌های اولیه بر حسب مولار از هر یک از ۴ نمک زیر به طور جداگانه تهیه شدند. برای تهیه یک لیتر محلول هوگلند کامل، میزان ۶ میلی لیتر KNO_3 (۱-مولار)، ۴ میلی لیتر $Ca(NO_3)_2$ (۱-مولار)، ۱ میلی لیتر $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (۱-مولار) و ۲ میلی لیتر $NH_4H_2PO_4$ (۱-مولار) را با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شد. برای تهیه‌ی محلول عناصر میکرو، میزان ۱/۸۶۳ گرم KCl ، ۰/۷۷۲ گرم H_3BO_3 ، ۰/۰۶۲ گرم $CuSO_4 + 6H_2O$ ، ۰/۱۹۶ گرم $MnSO_4$ ، ۰/۲۸۲ گرم $ZnSO + 7H_2O$ ، ۰/۰۴۰ گرم H_2MoO_4 در یک لیتر آب مقطر حل شد و برای هر لیتر هوگلند کامل، مقدار ۲ میلی لیتر از آن استفاده شد. همچنین، به ازای هر لیتر محلول غذایی تمام قدرت ۰/۱۶۷ گرم کلات آهن (Fe-EDDHA) استفاده شد. پس از گذشت ۶ روز، غلظت محلول غذایی به یک چهارم افزایش یافت. گیاهان به مدت ۵ هفته در این شرایط رشد کردند و محلول غذایی آن‌ها هر ۴ روز یکبار تعویض شد. با رسیدن گیاهان به رشد مناسب، تیمار $NaCl$ در چهار سطح شاهد ذکر شده در بالا اعمال شد. هر تیمار شامل سه تکرار و دو هفته پس از تیمار، هنگامی که گیاهان حدوداً ۶۰ روزه بودند، برداشت انجام شد.

کلزا (*Brassica napus L.*) از گیاهان تیره‌ی شب بو، یک گیاه نیمه متحلل به شوری محسوب می‌شود و از این نظر تا حدی مشابه گندم است. در بین گونه‌های مختلف جنس *Brassica*، گونه‌ی *B. napus* در مقایسه با *B. campestris*، *B. nigra* و *junicea* دو گونه‌ی دیگر دارای تحمل به شوری بالاتری است (Shahbazi et al., 2011). واریته‌های کلزا نسبت به تحمل تنش شوری متفاوت هستند و هدف ما از انجام این آزمایش بررسی میزان مقاومت چهار رقم گیاه کلزا به تنش شوری، تغییرات ایجاد شده در گیاه و محتوای یون‌ها و تأثیر یون‌های کلر و سدیم بر روی شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی از قبیل اندازه‌گیری اسمولیت‌ها در ارقام مورد مطالعه است.

مواد و روش‌ها

تهیه و کشت بذر

این آزمایش به منظور بررسی تأثیر شوری بر برخی صفات فیزیولوژیک چهار رقم کلزا (طلایه، ساری گل، زرفام و آپرا) در شرایط کنترل شده‌ی آزمایشگاهی در گلخانه‌ی گروه زیست‌شناسی دانشگاه ارومیه در سال ۱۳۹۰ انجام شد. بذرهای مرکز مطالعات نهال و بذر استان البرز (کرج) فراهم شدند. تنش شوری با استفاده از محلول کلرید سدیم و در چهار سطح شاهد (۰)، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی مولار اعمال شد. ابتدا بذرهای به‌طور جداگانه با آب ژاول ۱۰ درصد به مدت ۱۰ الی ۱۵ دقیقه ضدعفونی و سپس با استفاده از آب مقطر شسته و به منظور جوانه زنی در پتری دیش‌های حاوی آب مقطر قرار داده شدند. پس از گذشت ۴ روز که دانه رست‌ها به میزان مناسبی رشد کردند، به تشتک‌های

تهیه عصاره گیاهی

اندازه‌گیری شد. اساس کار این دستگاه بر تیتراسیون اتوماتیک یون‌های کلر موجود در نمونه‌ها است که توسط یون‌های نقره‌ی حاصل از الکترودهای متصل به دستگاه به صورت کلرید نقره رسوب پیدا می‌کنند. به دستگاه ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره‌ی تهیه شده به محلول بافر اسیدی تزریق و الکترودهای دستگاه آنالیزور کلر در داخل آن قرار داده شدند. عدد خوانده شده از دستگاه میزان کلر بر حسب میلی‌گرم بر لیتر است.

اندازه‌گیری میزان قند محلول

اندازه‌گیری قند از روش Dubois et al. (1956) با اندکی تغییر استفاده شد. مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اتانول روی ۰/۰۴ گرم از ماده‌ی خشک برگ و ریشه ریخته شد، درب لوله‌ها بسته و به منظور آزاد شدن قندهای محلول، به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شدند. پس از گذشت یک هفته، ابتدا نمونه‌ها در دور ۶۰۰۰ سانتریفیوژ و به ۲ میلی‌لیتر آن به ترتیب ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه شد. سپس شدت رنگ حاصل، با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای تهیه‌ی منحنی استاندارد غلظت‌هایی از گلوکز (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر) تهیه و طیف جذبی آن‌ها تعیین شد.

اندازه‌گیری محتوای پرولین

میزان پرولین آزاد در برگ و ریشه‌ی نمونه‌های شاهد و تحت تیمار با روش Bates et al. (1973) سنجیده شد. ۰/۰۴ ماده‌ی خشک ریشه و اندام هوایی با ۵ میلی‌لیتر سولفوسالیسیک اسید ۳ درصد ساییده و سپس به منظور آزاد شدن پرولین به مدت ۷۲ ساعت در یخچال با دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شد.

برای این منظور، ۱۰۰ میلی‌گرم از ماده‌ی خشک پودر شده‌ی ریشه و اندام هوایی به‌طور جداگانه از کلیه‌ی تیمارها توزین و در لوله‌ی آزمایش ریخته شد. سپس به هر یک از لوله‌ها ۱۰ میلی‌گرم آب مقطر اضافه شد. این لوله‌ها به مدت ۱ ساعت در بن ماری جوشان حرارت داده شدند. پس از خنک شدن در هوای اتاق، به مدت ۲۰ دقیقه در دور ۵۰۰۰ سانتریفیوژ و محلول رویی به لوله‌ی آزمایش جدید منتقل و دوباره با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. این محلول به‌عنوان عصاره‌ی خام برای اندازه‌گیری میزان عناصر استفاده شد (Abbaspour, 2008).

اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم

میزان سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر (مدل فاطر ۴۰۵، شرکت فاطر الکترونیک ایران، ایران) اندازه‌گیری شد. لازم است دستگاه قبل از اندازه‌گیری سدیم، توسط محلول‌هایی از سدیم کلراید ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و در مورد پتاسیم با محلول‌هایی از پتاسیم کلراید ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کالیبره شود. برای قرائت محتوای سدیم و پتاسیم نمونه‌ها توسط فلیم فتومتر محلول‌های استاندارد تهیه شد. محلول استاندارد سدیم و پتاسیم در غلظت‌های ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از NaCl و KCl تهیه شد. با قرار دادن اعداد خوانده شده از دستگاه در منحنی استاندارد مربوطه، غلظت سدیم و پتاسیم به دست آمد.

اندازه‌گیری میزان یون کلر

میزان کلر با استفاده از دستگاه Chloride Analyzer (مدل Corning 926, Sherwood, UK)

مدت ۲۰ دقیقه با دور ۶۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. محلول رویی دور ریخته شد و ۶ میلی لیتر دی کلرو اتان بر روی رسوبات ته لوله ریخته و با ورتکس هم زده شد. لوله‌ها به مدت ۲/۵ ساعت در دمای آزمایشگاه قرار داده شدند و در این مدت نیز با فواصل ۳۰ دقیقه‌ای توسط ورتکس هم زده می شدند. پس از گذشت زمان ذکر شده، جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۶۵ نانومتر خوانده شد. برای رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰) میلی گرم بر لیتر گلاسیسین بتائین استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

برای کاهش خطا، نمونه برداری و آزمایش‌ها به صورت ۳ تکرار انجام شد. ارزیابی داده‌های آماری با نرم افزار SPSS نسخه‌ی ۱۶ انجام شد. اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) محاسبه شد. بررسی نتایج آزمایش‌ها و رسم منحنی‌ها بر مبنای مقایسه‌ی میانگین‌ها و انحراف معیار ($Mean \pm SD$) انجام و گروه‌بندی تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) با آزمون دانکن (Duncan) انجام شد.

نتایج

اثر شوری بر محتوای سدیم

با افزایش غلظت نمک، محتوای سدیم اندام هوایی افزایش یافت. در همه‌ی ارقام محتوای سدیم اندام هوایی در تیمار ۵۰ میلی مولار نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری ($P < 0.05$) یافت. ولی با افزایش سطوح شوری تا ۱۰۰ میلی مولار، تنها در دو رقم طلایه و ساری گل افزایش سدیم معنی‌دار بود.

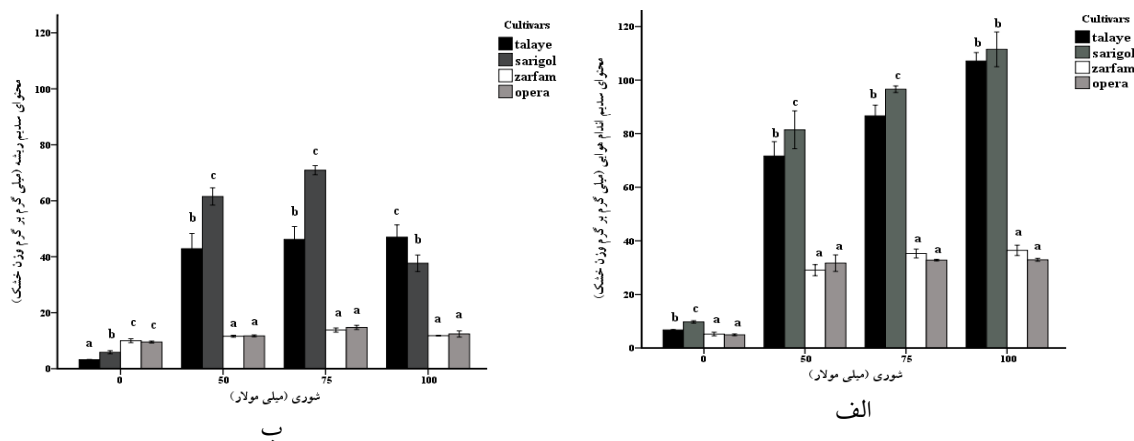
پس از ۷۲ ساعت نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ و سپس به ۲ میلی لیتر از محلول رویی، ۲ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال و ۲ میلی لیتر معرف نین هیدرین (شامل ۲۰ میلی لیتر اسید فسفریک ۶ مولار، ۳۰ میلی لیتر استیک اسید گلاسیال و ۱/۲۵ گرم نین هیدرین) اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه قرار داده شدند. پس از سرد شدن روی هر نمونه ۴ میلی لیتر تولوئن اضافه و به هم زده شد. پس از تشکیل دو فاز، جذب فاز رویی برای هر نمونه در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-visible (WPA مدل S2100) اندازه گیری شد. برای رسم منحنی استاندارد از محلول پرولین با غلظت‌های (۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵) میکروگرم بر لیتر استفاده شد.

اندازه‌گیری گلاسیسین بتائین

۰/۰۲۵ گرم از ماده‌ی خشک برگ توزین و در لوله‌های آزمایش ریخته شدند و سپس به آن‌ها ۱۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. برای مدت ۲۴ ساعت لوله‌ها در شیکر قرار داده شدند. سپس محلول را صاف کرده و از عصاره‌ی استخراج شده طبق روش (Grieve and Grattan 1983) برای اندازه‌گیری میزان گلاسیسین بتائین استفاده شد. به این صورت که ۰/۲۵ میلی لیتر از عصاره‌ی نمونه‌های شاهد و تیمار در لوله‌های شیشه‌ای ریخته و سپس به آن‌ها ۰/۲۵ میلی لیتر اسیدسولفوریک ۲ نرمال اضافه شد. لوله‌ها به مدت ۱ ساعت در آب یخ قرار داده شدند و پس از گذشت زمان تعیین شده مقدار ۰/۲ میلی لیتر از ترکیب KI-I₂ به آن‌ها اضافه و پس از هم زدن با دستگاه ورتکس، در دمای ۴ درجه‌ی سانتیگراد قرار داده شدند. پس از گذشت ۱۶ ساعت، نمونه‌ها به

ساری گل نسبت به دو رقم دیگر بیشتر است. به طوری که بیشترین میزان سدیم ریشه در رقم ساری گل و کمترین میزان آن در ارقام زرفام و اپرا است همچنین، مقایسه‌ی میانگین تیمارها نشان داد که کمترین میزان سدیم ریشه در شاهد و بیشترین آن در تیمار ۷۵ میلی مولار است (شکل ۱-ب).

بیشترین محتوای سدیم اندام هوایی در رقم ساری گل و کمترین آن در ارقام زرفام و اپرا بود. مقایسه‌ی میانگین تیمارها مشخص نمود که کمترین محتوای سدیم اندام هوایی در شاهد و بیشترین آن در تیمار ۱۰۰ میلی مولار بوده است (شکل ۱-الف). آنالیز داده‌ها نشان داد که با افزایش شوری، محتوای سدیم ریشه افزایش یافت. این افزایش در دو رقم طلایه و



شکل ۱- محتوای سدیم اندام هوایی (الف) و ریشه (ب) (میلی گرم بر گرم وزن خشک) در چهار رقم کلزا (طلایه، ساری گل، زرفام، اپرا) در سطوح مختلف شوری (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی مولار سدیم کلرید). مقادیر، میانگین ۳ تکرار \pm انحراف معیار ($P < 0.05$) را نشان می‌دهد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 1- Sodium content of shoot [A] and root [B] (mg/g dry weight) in four canola cultivars (Talaye, Sari-Gol, Zarfameh, Opera) at different salinity levels (0, 50, 75 and 100 mM sodium chloride). Values represent the mean of 3 replicates \pm standard deviation ($P < 0.05$). The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level.

پتاسیم اندام هوایی در ارقام اپرا و زرفام و کمترین میزان آن در رقم ساری گل بود (شکل ۲-الف). نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که شوری موجب کاهش محتوای پتاسیم ریشه شد. بیشترین محتوای پتاسیم ریشه در شاهد و کمترین آن در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ میلی مولار مشاهده شد. مقایسه‌ی میانگین ارقام نیز مشخص نمود که بیشترین میزان پتاسیم ریشه در رقم اپرا است و میان سایر ارقام از این نظر تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۲-ب).

اثر شوری بر محتوای پتاسیم

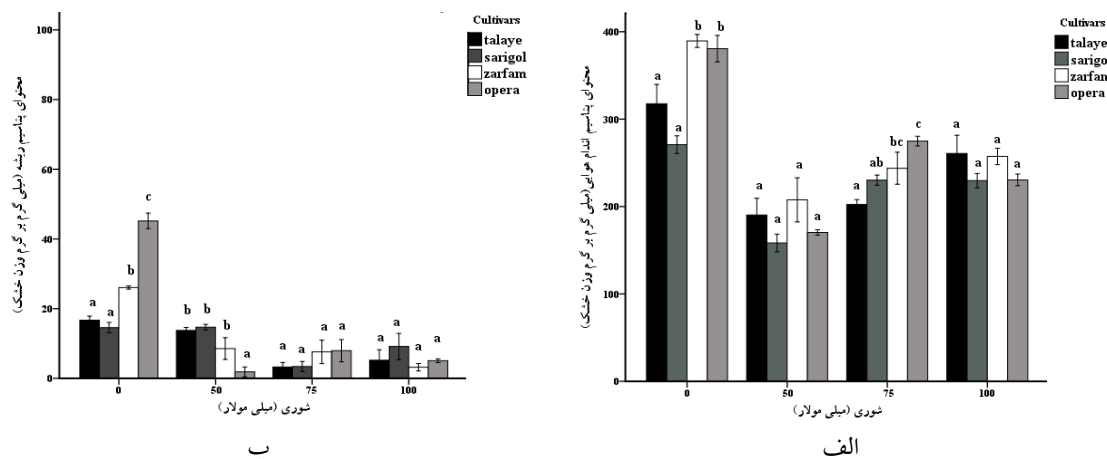
باتوجه به نتایج به دست آمده از آنالیز داده‌ها، مشاهده شد که تأثیر شوری بر کاهش محتوای پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار ($P < 0.05$) در هر چهار رقم مورد آزمایش، افزایش سطح شوری تا ۵۰ میلی مولار موجب کاهش معنی‌داری در محتوای پتاسیم اندام هوایی شد. بیشترین میزان پتاسیم در شاهد و کمترین محتوای پتاسیم اندام هوایی در تیمار ۵۰ میلی مولار مشاهده شد. در بررسی میانگین داده‌ها در مقایسه‌ی رقم‌ها نیز مشاهده شد که بیشترین میزان

در شاهد بود. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان کلر اندام هوایی برای هر چهار رقم مورد بررسی، در تیمار ۷۵ میلی‌مولار بود. همچنین، بالاترین محتوای کلر ریشه در رقم زرفام و کمترین مقدار آن در ارقام طلایه و ساری گل بود (شکل ۳-ب).

اثر شوری بر میزان قند محلول برگ و ریشه
نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که افزایش میزان شوری موجب افزایش محتوای قند برگ در ارقام طلایه و ساری گل شد. در دو رقم ذکر شد.

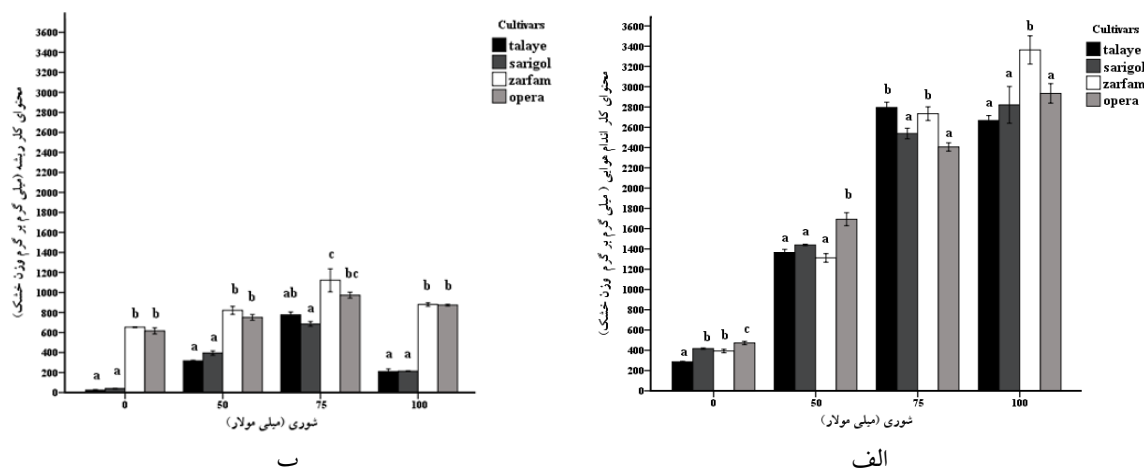
اثر شوری بر محتوای کلر

شوری تأثیر معنی‌داری ($P < 0.05$) بر افزایش محتوای کلر اندام هوایی داشت. به طوری که کمترین میزان کلر اندام هوایی در شاهد و بیشترین میزان آن در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار بود. مقایسه‌ی میان ارقام نشان داد که از نظر افزایش محتوای کلر اندام هوایی، تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) میان ارقام طلایه، ساری گل و اپرا وجود ندارد. همچنین، بیشترین افزایش کلر اندام هوایی در رقم زرفام است (شکل ۳-الف). افزایش شوری موجب افزایش محتوای کلر ریشه شد، به طوری که کمترین میزان کلر ریشه



شکل ۲- محتوای پتاسیم اندام هوایی (الف) و ریشه (ب) (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در چهار رقم کلزا (طلایه، ساری گل، زرفام و اپرا) در سطوح مختلف شوری (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید). مقادیر، میانگین ۳ تکرار \pm انحراف معیار ($P < 0.05$) را نشان می‌دهد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است. (مقیاس نمودار به ریشه در محور y ها ۱/۴ اندام هوایی مربوط است)

Figure 2- Potassium content of shoots [A] and roots [B] (mg/g dry weight) in four canola cultivars (Talaye, Sari-Gol, Zarafam and Opera) at different salinity levels (0, 50, 75 and 100 mM sodium chloride). The values show the average of 3 repetitions \pm standard deviation ($P < 0.05$). The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level. (The scale of the diagram related to the root on the y-axis is 1.4 aerial part)



شکل ۳- محتوای کلر اندام هوایی (الف) و ریشه (ب) (میلی گرم بر گرم وزن خشک) در چهار رقم کلزا (طلایه، ساری گل، زرافام و اپرا) در سطوح مختلف شوری (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی مولار سدیم کلرید). مقادیر، میانگین ۳ تکرار \pm انحراف معیار ($P < 0.05$) را نشان می‌دهد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 3- Chlorine content of shoots [A] and roots [B] (mg/g dry weight) in four canola cultivars (Talaye, Sari-Gol, Zarafam and Opera) at different salinity levels (0, 50, 75 and 100 mM sodium chloride). The values show the average of 3 repetitions \pm standard deviation ($P < 0.05$). The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level

به طوری که برای همه‌ی ارقام کمترین میزان پرولین برگ در شاهد مشاهده شد. بیشترین محتوای پرولین برگ برای ارقام طلایه، زرافام و اپرا در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ میلی مولار بود، در حالی که در رقم ساری گل بیشترین محتوای آن در تیمار ۵۰ میلی مولار مشاهده شد. مقایسه‌ی میانگین ارقام آشکار ساخت که بالاترین محتوای پرولین برگ در ارقام طلایه و ساری گل و پایین‌ترین میزان آن در رقم زرافام است. لازم به ذکر است که میان رقم اپرا و سایر ارقام تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) مشاهده نشد (شکل ۵- الف)

افزایش شوری در محیط رشد ارقام مورد بررسی در این آزمایش ابتدا موجب کاهش محتوای پرولین ریشه در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ میلی مولار و به دنبال آن باعث افزایش میزان پرولین ریشه در تیمار ۱۰۰ میلی مولار شد. کمترین محتوای پرولین ریشه به تیمار ۷۵ میلی مولار و بیشترین آن به شاهد و تیمار

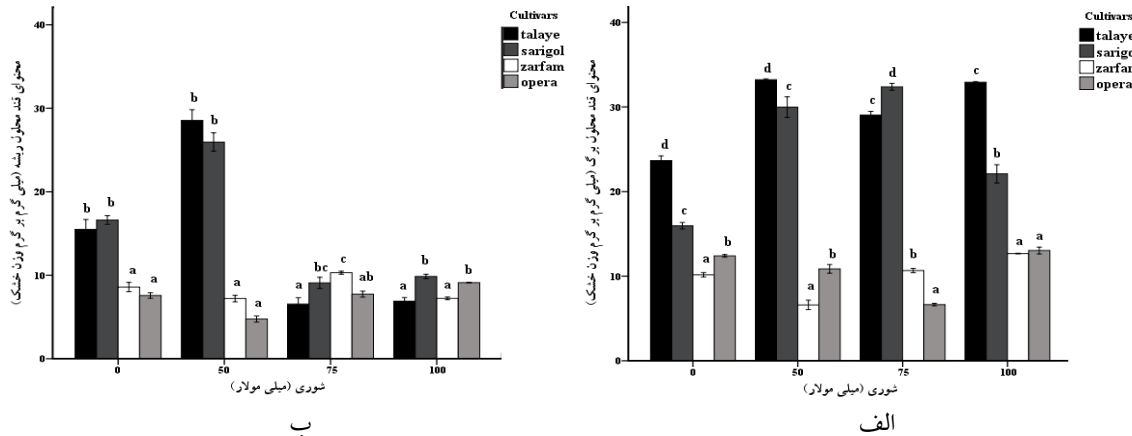
کمترین محتوای قند محلول اندام هوایی در شاهد بود. ولی در ارقام اپرا و زرافام روند منظمی مشاهده نشد و در محتوای قند محلول اندام هوایی نوسان مشاهده شد (شکل ۴- الف). افزایش شوری موجب ایجاد تغییراتی در محتوای قند محلول ریشه شد. در ارقام طلایه و ساری گل افزایش شوری تا سطح ۵۰ میلی مولار باعث افزایش محتوای قند محلول ریشه شد و به دنبال آن در تیمارهای بالاتر این فاکتور کاهش یافت که البته این کاهش در دو تیمار ۷۵ و ۱۰۰ میلی مولار معنی‌دار ($P < 0.05$) نبود. لازم به ذکر است در ارقام اپرا و زرافام تغییرات القاء شده‌ی شوری بر محتوای قند محلول ریشه روند منظمی نداشت و دارای نوسان بود (شکل ۴- ب).

اثر شوری بر محتوای پرولین برگ و ریشه

نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها نشان داد که شوری موجب افزایش محتوای پرولین برگ می‌شود.

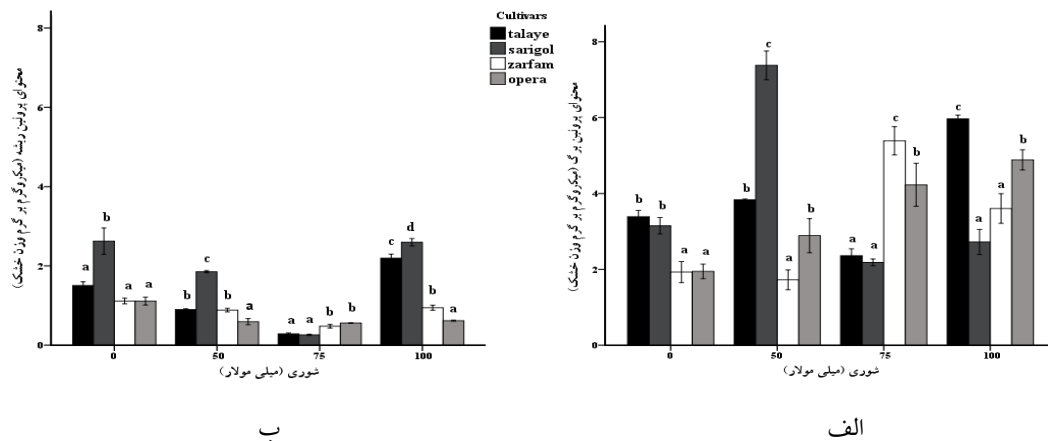
رقم ساری گل و کمترین آن به ارقام زرفام و اپرا متعلق است. همچنین، میان رقم طلایه با سایر ارقام نیز تفاوت معنی دار وجود داشت (شکل ۵-ب).

۱۰۰ میلی مولار مربوط بود. به این معنی که هیچگونه تفاوت معنی داری ($P < 0.05$) میان شاهد و تیمار ۱۰۰ میلی مولار مشاهده نشد. نتایج حاصل از مقایسه‌ی ارقام نشان داد که بیشترین محتوای پرولین ریشه به



شکل ۴- محتوای قند محلول برگ (الف) و ریشه (ب) (میلی گرم بر گرم وزن خشک) در چهار رقم کلزا (طلایه، ساری گل، زرفام و اپرا) در سطوح مختلف شوری (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی مولار سدیم کلرید). مقادیر میانگین ۳ تکرار \pm انحراف معیار ($P < 0.05$) را نشان می دهد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure4- Soluble sugar content of leaf [A] and root [B] (mg/g dry weight) in four canola cultivars (Talaye, Sari-Gol, Zarafam and Opera) at different salinity levels (0, 50, 75 and 100 mM sodium chloride). The values show the average of 3 repetitions \pm standard deviation ($P < 0.05$). The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level.



شکل ۵- محتوای پرولین برگ (الف) و ریشه (ب) (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در چهار رقم کلزا (طلایه، ساری گل، زرفام و اپرا) در سطوح مختلف شوری (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی مولار سدیم کلرید). مقادیر میانگین ۳ تکرار \pm انحراف معیار ($P < 0.05$) را نشان می دهد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure5- Proline content of leaves [A] and roots [B] ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in four canola cultivars (Talaye, Sari-Gol, Zarafam and Opera) at different salinity levels (0, 50, 75 and 100 mM sodium chloride). The values show the average of 3 repetitions \pm standard deviation ($P < 0.05$). The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level.

اثر شوری بر محتوای گلايسين بتائين برگ

نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که تنها میان شاهد و تیمار ۷۵ میلی‌مولار تفاوت معنی‌دار وجود دارد. کمترین میزان گلايسين بتائين در شاهد و تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار و بیشترین مقدار آن در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار مشاهده شد. مقایسه میانگین ارقام نیز نشان داد که کمترین میزان گلايسين بتائين در رقم طلايه وجود دارد و میان سایر ارقام تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) مشاهده نشد (شکل ۶).

بحث

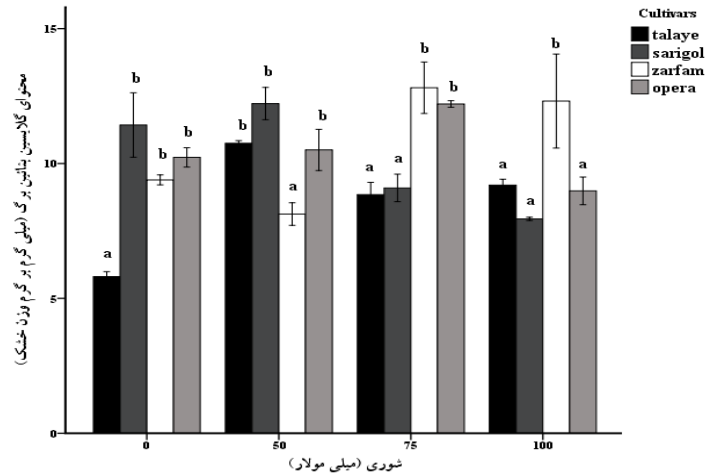
اثر شوری بر محتوای سدیم

در این تحقیق، تنش شوری موجب افزایش محتوای سدیم اندام هوایی و ریشه در هر ۴ رقم مورد آزمایش شده است، به طوری‌که این افزایش در ارقام طلايه و ساری گل بیشتر از دو رقم دیگر است. همچنین، محتوای سدیم اندام هوایی بیشتر از ریشه است. محتوای سدیم ریشه گیاهان مورد آزمایش در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار، نسبت به شاهد بالاتر بود ولی از دو تیمار دیگر کمتر بود. دلیل این موضوع را می‌توان به این صورت بیان کرد که گیاهان در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار نمک سریع‌تر از تیمارهای دیگر آسیب می‌بینند و زودتر دچار پژمردگی می‌شوند و بنابراین، نمی‌توانند سدیم بیشتری را به اندام‌های هوایی خود انتقال دهند. در گیاه کلزا، مکانیسم‌های ممانعتی که مانع ورود سدیم به ریشه، تجمع کمتر آن در اندام هوایی و حفظ نسبت‌های بالایی از پتاسیم به سدیم به ویژه در بافت‌های فتوسنتز کننده جوان باعث افزایش تحمل به شوری شده است (Atlasi Pak, 2016).

در شرایط شوری ملایم محیط ریشه گیاهان (کمتر از ۵۰ میلی‌مولار)، سدیم و کلر وارد سلول‌های ریشه شده و شیب الکترواستاتیکی را در نقطه‌ی تماس با محلول خارجی کاهش می‌دهند. اگرچه غشاهای گیاهی نسبت به سدیم نفوذپذیری کمتری از پتاسیم دارند، سلول‌های ریشه در معرض سدیم خارجی بالا باید با یک پمپ فعال برگشتی همراه باشند تا بتوانند سدیم را از سیتوپلاسم برگردانند. همچنین، این پمپ کارآمد سدیم باید در تونوپلاست نیز باشد تا سدیم را در محلول واکوتل در مقابل شیب سیتوپلاسم جای دهد.

سلول‌های برگ گیاهان مقاوم باید توانمندی خروج مؤثر سدیم از محلول آپوپلاستی را دارا بوده و آن را در عرض غشاء تونوپلاست عبور داده و آن را بر خلاف شیب غلظت در واکوتل ذخیره نمایند (Basra and Basra, 1977). با در نظر گرفتن این موضوع، افزایش محتوای سدیم اندام هوایی و ریشه در هر ۴ رقم مورد آزمایش در اثر تنش شوری به خوبی توجیه می‌شود. بعضی از گونه‌ها مانند ذرت و آفتابگردان با استفاده از سازوکار دفع (Exclusion)، سدیم را از برگ‌هایشان حذف کرده، برخی دیگر آن را در ریشه یا ساقه‌ی خود جمع می‌کنند (Hirsch et al., 1998). تاکنون مکانیسم‌های بیولوژیک و مولکولی در گیاهان مقاوم به شوری به خوبی شناخته نشده‌اند اما معلوم شده است که تحمل به شوری تا حد زیادی به تجمع کم سدیم در بافت گیاه مربوط است. افزایش توانایی در جذب انتخابی پتاسیم از محیطی که دارای مقادیر بالای سدیم است ممکن است اهمیت زیادی در تحمل به شوری داشته باشد (Baibordi et al., 2010). Maghsoumi Holasoo and Pour Akbar (2014) در مطالعات خود بر روی تأثیرات شوری بر

گندم به این نتیجه رسیدند که همراه با افزایش شوری، میزان سدیم در اندام هوایی و ریشه افزایش پیدا کرد، که با نتایج به دست آمده از تحقیق پیش رو بر روی گیاه کلزا یکسان است.



شکل ۶- محتوای گلايسين بتاين برک (میلی گرم بر گرم وزن خشک) در چهار رقم کلزا (طلایه، ساری گل، زرفام و اپرا) در سطوح مختلف شوری (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی مولار سدیم کلرید). مقادیر میانگین ۳ تکرار \pm انحراف معیار ($P < 0.05$) را نشان می‌دهد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 6- Leaf glycine betaine content (mg/g dry weight) in four canola cultivars (Talaye, Sari-Gol, Zarafam and Opera) at different salinity levels (0, 50, 75 and 100 mM sodium chloride). The values show the average of 3 repetitions \pm standard deviation ($P < 0.05$). The same letters indicate no significant difference at the 5% probability level.

گونه‌هایی از Brassica که توانایی بیشتری در حفظ

پتاسیم داشته باشند تحمل بیشتری نسبت به شوری خواهند داشت (He and Cramer, 1993).

یون کلر

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با اعمال شوری، محتوای کلر اندام هوایی افزایش یافته است. این افزایش در محتوای کلر، در ریشه‌ی ارقام مورد مطالعه در این آزمایش نیز مشاهده شده بود. لازم به ذکر است محتوای کلر ریشه در تیمار ۱۰۰ میلی مولار نسبت به تیمارهای ۵۰ و ۷۵ میلی مولار کاهش یافته است. همچنین، مشاهده شد که میزان کلر اندام هوایی حدود ۳ برابر بیشتر از محتوای سدیم اندام هوایی است و با توجه به این انباشتگی،

یون پتاسیم

محتوای پتاسیم اندام هوایی و ریشه در ۴ رقم مورد بررسی در این تحقیق، تحت تأثیر شوری کاهش یافته بود. احتمالاً با توجه به وجود رقابت بین سدیم و پتاسیم، افزایش غلظت سدیم در محیط ریشه تحت شرایط شوری، باعث محدودیت در جذب پتاسیم شده است. دیگر محققان نیز افزایش جذب سدیم در ریشه و رقابت آن با جذب پتاسیم تحت تنش شوری را عامل کاهش میزان پتاسیم در ریشه دانستند (Mittal and Dubey, 1991). کاهش پتاسیم ریشه و اندام هوایی نیز تحت شرایط شوری در گیاه کلزا گزارش شده است. پژوهشگران بیان نمودند که میزان پتاسیم در اندام هوایی با میزان رشد ارتباط مستقیم داشته و تحت شرایط شوری،

در گیاه آفتابگردان الگوی انباشتگی قند محلول، حتی در مدت بروز تحمل به شوری متفاوت است. در گیاهان بررسی شده در این تحقیق نیز محتوای قند دارای نوسان بود به‌طوریکه در ارقام اپرا و زرفام، با افزایش شوری ابتدا محتوای قند محلول برگ و ریشه کاهش و سپس افزایش می‌یابد. درحالی‌که در دو رقم دیگر (طلایه و ساری گل) ابتدا افزایش و به دنبال آن کاهش در محتوای قند محلول برگ و ریشه مشاهده شد. در این تحقیق نیز محتوای قند محلول در برگ نسبت به ریشه بیشتر بود. لازم به ذکر است که محتوای قند محلول برگ در ارقام طلایه و ساری گل به‌طور چشمگیری بالاتر از دو رقم دیگر بوده است که نشان دهنده‌ی حساسیت بالاتر این ارقام به شوری است. علاوه بر گزارش‌های بسیاری که بیان‌گر افزایش غلظت قندهای محلول در اثر تنش اسمزی است، گزارش‌هایی نیز مبنی بر کاهش غلظت قندهای محلول در اثر تنش شوری در گیاهان مختلف وجود دارد (Naeini et al., 2005; Qasim et al., 2003). افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش برای تنظیم اسمزی است (Hirsch et al., 1998). در اثر شوری، مقدار آب مصرفی گیاهان کاهش می‌یابد که به کاهش پتانسیل آب محیط ریشه و کاهش توان گیاه در جذب آب مربوط است. در اثر تنش، به علت تداخل واکنش‌های آب‌سازیک اسید و ایندول استیک اسید، مقدار ایندول استیک اسید کاهش یافته و در نتیجه، توسعه‌ی سلولی کم می‌شود و این امر باعث کاهش تبدیل کربوهیدرات‌های محلول به پلی ساکاریدهای ساختاری مثل سلولز و همی سلولز می‌شود و

برداشت می‌شود که در گیاهان مورد بررسی در این تحقیق احتمالاً تأثیر بازدارندگی یون کلر بر رشد گیاهان بیشتر از یون سدیم است.

سلول‌های گیاهان قادر به تحمل غلظت‌های بالای Cl^- نیستند. غلظت Cl^- درون سلول توسط برون ریزش Cl^- از غشا پلاسمایی و یا از طریق تونوپلاست به واکوئل، پایین نگهداشته می‌شود (White and Broadley, 2001). برای بعضی از گونه‌ها از جمله برنج، غلظت‌های Na^+ (و نه Cl^-) اندام هوایی و ریشه، دارای همبستگی منفی با تحمل نمک نیستند (Lin and Kao, 2001). درحالی‌که خلاف این قضیه برای گونه‌های دیگر صادق است. برای مثال در *Soybean*، برگ همبستگی منفی با تحمل شوری نشان داد ($R^2 = 0/9$)، اما همبستگی قابل توجهی با Na^+ وجود نداشت (Luo et al., 2005). برای گونه‌های متعددی از جمله *Hordeum marinum* دفع هر دو یون کلر و سدیم برای تحمل نمک مهم است (Islam et al., 2007). (Teakle and Teyerman, 2010) بیان کردند که تحمل شوری وابسته به توانایی‌های اختصاصی ژنوتیپ‌ها برای تنظیم انتقال Cl^- و Na^+ برای اجتناب از سمیت آن‌ها دارد و بسته به توانایی گیاهان برای به حداقل رساندن غلظت‌ها در سیتوپلاسم، هر دو یون می‌توانند سمی شوند. بعضی ژنوتیپ‌ها کارایی بیشتری در تنظیم انتقال Na^+ یا Cl^- (یا هر دو) دارند. تفاوت‌ها احتمالاً بازتاب مکانیسم‌های متفاوت توازن بار الکتریکی در داخل گیاه است (Luo et al., 2005).

محتوای قند محلول

چشمگیری افزایش یافت. (Ali et al., 1999) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که پرولین مانند یک مولکول تنظیمی و علامت دهنده است و هنگامی که گیاه در معرض تنش شوری قرار دارد به مقاومت آن به شوری عملکرد مضاعفی ببخشد. مطالعات بر روی تأثیر شوری بر ارقام گیاهان تیره‌ی روناس (Rubiaceae) نشان داد که ارقام متحمل‌تر مقادیر بالاتری از پرولین را در برگ‌های خود تجمع می‌دهند (Ashraf, 1989). همچنین، حاتمی و همکاران در مطالعات خود بر روی گیاه اسفرزه مشاهده کردند که میزان تجمع پرولین در گیاهچه‌های اسفرزه در پاسخ به تنش شوری همگام با سطح نمک افزایش پیدا کرد، به طوری که در همه سطوح شوری تغییر معنی‌داری از لحاظ آماری با نمونه شاهد مشاهده نشد (Hatami et al., 2021). در تحقیق پیش رو نیز، در اکثر تیمارها محتوای پرولین برگ افزایش یافت به طوری که بیشترین محتوای پرولین برگ در ارقام طلایه و ساری گل بود، کمترین آن در رقم زرفام مشاهده شد.

محتوای گلايسين بتائين

در مورد ۴ رقم کلزای بررسی شده در این پژوهش، کمترین محتوای گلايسين بتائين برگ در رقم طلایه مشاهده شد که با توجه به گزارش‌های محققان دیگر نشان دهنده‌ی حساسیت بیشتر این رقم به شوری است. گلايسين بتائين (GB) یکی از اسمولیت‌های آلی اصلی است که در پاسخ به تنش‌های محیطی در گونه‌های گیاهی مختلف انباشته می‌شود. درحالی‌که بسیاری از مطالعات رابطه‌ی مثبتی را بین انباشتگی GB و پرولین و تحمل تنش در گیاه نشان دادند، برخی محققان بیان

بنابراین، قندهای محلول در گیاه تجمع پیدا می‌کنند. (Qasim et al., 2003) با اعمال تیمارهای مختلف نمک (۲/۴، ۴/۰، ۸/۰ و $12/0 \text{ dsm}^{-1}$) بر روی دو رقم کلزا (Dunkeld و Cyclon) بیان کردند که تأثیر تنش شوری روی کاهش محتوای کل قند محلول برگ در رقم Dunkeld در مقایسه با رقم Cyclon بیشتر است. هرچند باید به این مطلب اشاره کرد که با افزایش شوری، در رقم Dunkeld ابتدا محتوای قند محلول افزایش و سپس در تیمارهای بالاتر کاهش می‌یابد. در رقم دیگر، روند کاهش و افزایش نوسانی است.

محتوای پرولین

در مطالعه‌ی حاضر، با افزایش سطوح شوری، محتوای پرولین برگ در همه‌ی ارقام افزایش یافت (لازم به ذکر است که در تیمار ۷۵ میلی‌مولار ارقام طلایه و ساری گل کاهش محتوای پرولین برگ مشاهده شد). اما در ریشه، با افزایش غلظت نمک تا ۷۵ میلی‌مولار محتوای پرولین ریشه کاهش یافت ولی در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش در میزان آن مشاهده شد. همچنین، در این آزمایش محتوای پرولین برگ بیشتر از محتوای پرولین ریشه بود. افزایش در پرولین به عنوان یک اسمولیت سازگار کننده‌ی متداول مهم در تنش‌های محیطی شناخته شده است. این اسید آمینه در مقایسه با سایر اسمولیت‌های سازگار کننده‌ی متداول مانند قندهای الکلی و معمولی از کارایی بالایی برای حفاظت در برابر تنش برخوردار است (Ali et al., 1999). (Toorchi et al., 2011) با مطالعه بر روی واکنش ۱۲ رقم کلزا به شوری دریافت که محتوای پرولین آزاد برگ‌ها با افزایش غلظت NaCl، به طور

ریشه و اندام هوایی افزایش و محتوای پتاسیم این اندام‌ها کاهش می‌یابد. همچنین، باتوجه‌به مقادیر عددی کلر اندام هوایی در هر چهار رقم که تقریباً سه برابر مقادیر سدیم است، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش رشد در همه‌ی ارقام به سمیت کلر مربوط است ولی در دو رقم طلایه و ساری‌گل میزان سدیم اندام هوایی نسبت به دو رقم دیگر بسیار بالاتر است. در این دو رقم مقادیر بالای سدیم موجب تشدید تأثیرات سمیت کلر بر گیاهان شده است. به عبارت دیگر، حساسیت بیشتر این دو رقم و تخریب برگ و ریشه را می‌توان به مجموع کلر و سدیم نسبت داد. با افزایش شوری، محتوای اسمولیت‌های پرولین و گلايسين بتائين برگ در چهار رقم افزایش یافت. در این تحقیق، باتوجه‌به مجموع نتایج به‌دست آمده، می‌توان به این نتیجه رسید که در میان ارقام مورد مطالعه، ارقام اپرا و زرقام نسبت به دو رقم دیگر عملکرد بهتری تحت تنش شوری دارند و عملکرد رقم ساری‌گل ضعیف‌تر است.

سپاسگزاری

از سرکار خانم دکتر محمدخانی به خاطر زحمات و راهنمایی‌هایشان کمال تشکر را داریم.

References

Abbaspour, N. (2008) A comparative study of Cl⁻ transport across the roots of two grapevine rootstocks, K51-40 and Paulsen, differing in salt tolerance. PhD thesis, The University of Adelaide, Australia.

کردند که افزایش غلظت این دو اسمولیت تحت تنش، یک فرآورده و نه یک پاسخ سازشی به تنش است. انباشتگی GB در پاسخ به شوری، در بسیاری از گیاهان زراعی از جمله ذرت خوشه‌ای (*Sorghum bicolor*) یافت شده است (Weimberg et al., 1984). در این تحقیق نیز به‌طور کلی، شوری موجب افزایش گلايسين بتائين برگ در همه‌ی ارقام به جز رقم ساری‌گل شد. اما تغییر در محتوای آن در تیمارهای مختلف ارقام متفاوت است. به‌طور معمول در این گونه‌ها، ژنوتیپ‌های متحمل نسبت به ژنوتیپ‌های حساس، GB بیشتری را در پاسخ به شوری انباشته می‌کنند. هرچند که این رابطه عمومیت ندارد. برای مثال، همبستگی قابل توجهی میان انباشتگی GB و تحمل به شوری در گونه‌های مختلف گندم، *Agropyron* و *Elymus* مشاهده نشد (White and Broadley, 2001). تراکم GB در همه‌ی قسمت‌های *Sesbania aculeata* (لوبیای درختی از خانواده‌ی بقولات) به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالا بود که این امر ممکن است توانایی آن را برای تحمل تنش شوری بهبود بخشد (Brhada et al., 1997).

نتیجه‌گیری

بین ارقام مختلف کلزا از نظر مقاومت به شوری تفاوت وجود دارد و باتوجه‌به نتایج مشاهده شده مشخص شد که تیمار شوری موجب تغییر در محتوای یون‌های ریشه و اندام هوایی می‌شود. به‌طوری‌که با افزایش شوری محتوای سدیم و کلر Ali, G., Srivastava, P. S. and Iqbal, M. (1999) Proline accumulation, protein pattern and photosynthesis in regenerates

- grown under NaCl stress. *Plant Biology* 42: 89-95.
- Ashraf, M. (1989) The effect of NaCl on water relations, chlorophyll, and protein and proline contents of two cultivars of black gram (*Vigna mungo* L.). *Plant and Soil* 119: 205-210.
- Ashraf, M. and Ali. Q. (2008) Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). *Environmental Experimental Botany* 63: 266-273.
- Ashraf, M. and Harris. P. J. C. (2004) Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166: 3-16.
- Ashraf, M. and Mc Neilly, T. (2004) Salinity tolerance in *Brassica oilseed*. *Plant Science* 23:157-174.
- Atlasi Pak, V. (2016) Effect of salinity stress on growth and ion distribution in tolerant and sensitive rapeseed cultivars. *Iranian Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products* 20: 71-82 (in Persian).
- Baibordi, A., Seidtabtabai, S. J. and Ahmadof, A. (2010) NaCl salinity effect on qualitative, quantitative and physiological attributes of winter canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Water and Soil* 24: 334-346 (in Persian).
- Basra, A. S., Basra, R. K. (1997) Mechanisms of environmental stress resistance in plants (1st ed.). Routledge S. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal of Plant and Soil* 39: 205-207.
- Brhada, F., Poggi, M. C. and Le Rudulier, D. (1997) Choline and glycine betaine uptake in various strains of Rhizobia isolated from nodules of *Vicia faba* var. Major and *Cicer arietinum* L. Modulation by salt, chlorine and glycine betaine. *Current Microbiology* 34: 167-172.
- Cheng, X., Deng, G., Su, Y., Liu, J. J., Yang, Y. and Du, G. H. (2016) Protein mechanisms in response to NaCl-stress of salt-tolerant and salt sensitive industrial hemp based on iTRAQ technology. *Industrial Crops and Products* 83: 444-452.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Roberts, P. A. and Smith, F. (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 350-356.
- Egamberdieva, D., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S. D., Mishra, J. and Arora, N. K. (2019) Salt tolerant plant growth promoting rhizobacteria for enhancing crop productivity of saline soils. *Frontiers in Microbiology* 10(2791): 1-18.
- Hatami, E., Einali, A., Raissi, A., Piri, H. (2021) Pretreatment of psyllium (*Plantago ovata*) seeds with salicylic acid and physiological and biochemical responses of seedlings to salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology* 13(3): 21-42 (in Persian).
- He, T. and Cramer, G. R. (1993) Growth and ion accumulation of tow rapid-cycling *Brassica* species differing in salt tolerance. *Plant and Soil* 153: 19-31.
- Hirsch, M. R., Tiveron, M. C., Guillemot, F., Brunet, J. F. and Goridis, C. (1998) Control of noradrenergic differentiation and Phox2a expression by MASH1 in the central and peripheral nervous system. *Development* 125: 599-608.
- Grieve, C. M. and Grattan, S. R. (1983) Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil* 70: 303-307.
- Islam, S., Malik, A. I., Islam, A. K. M. R. and Colmer, T. D. (2007) Salt tolerance in a *Hordeum marinum*-*Triticum aestivum* amphiploid, and its parents. *Journal of Experimental Botany* 58: 1219-1229.
- Lin, C. C. and Kao, C. H. (2001) Relative importance of Na⁺, Cl⁻, and abscisic acid in NaCl induced inhibition of root growth of rice seedlings. *Plant and Soil* 237: 165-171.

- Luo, Q., Bingjun, Y. and Liu, Y. (2005) Differential selectivity to chloride and sodium ions in seedlings of *Glycine max* and *G. soja* under NaCl stress. *Journal of Plant Physiology* 162: 1003-1012.
- Maghsoumi Holasoo, S. and Pourakbar, L. (2014) The effects of salinity stress on the growth and some physiological parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Iranian Journal of Plant Biology* 19: 31-42 (in Persian).
- Mir Mohammadi Meybodi, A. M. and Ghare Yazdi, B. (2002) Physiologic and breeding aspects of salt stress. Esfahan University of Technology Press. Esfahan, Iran (In Persian).
- Mittal, R. and Dubey, R. S. (1991) Behaviour of peroxidases in rice: change in enzyme activity and isoforms in relation to salt tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry* 29: 31-40.
- Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-81.
- Naeini, M. R., Khoshgoftarmanesh, A. H., Lessani, H. and Fallahi, E. (2005) Effects of sodium chloride-induced salinity on mineral nutrients and soluble sugars in three commercial cultivars of pomegranate. *Journal of Plant Nutrition* 27(8):1319-1326.
- Niu, X., Bressan, R. A., Asegava, P. M. H. and Panta, J. M. (1995) Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology* 109: 735-742.
- Pezeshki, S. R. and Chambers, J. L. (1986) Effect of soil salinity on stomatal conductance and photosynthesis of green ash (*Fraxinus pennsylvanica*). *Canadian Journal of Forestry Research* 16: 569-573.
- Qasim, M., Ashraf, M., Amir, J., Ashraf, M., Shafiqurrehman. and Eui, S. R. (2003) Water relations and leaf gas exchange properties in some elite canola (*Brassica napus* L.) lines under salt stress. *Annual Application Biology* 142: 307-316.
- Shahbazi, M., Kiani, A. R. and Raeisi, S. (2011) Determination of salinity tolerance threshold in two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences* 13(1): 18-31 (In Persian).
- Stepien, P. and Johnson, N. G. (2009) Contrasting responses of photosynthesis to salt stress in the glycophyte *arabidopsis* and the halophyte *thellungiella*: Role of the plastid terminal oxidase as an alternative electron sink. *Plant Physiology* 149: 1154-1165.
- Teakle, N. and Tyerman, S. (2010) Mechanisms of Cl⁻ transport contributing to salt tolerance. *Plant Cell and Environment* 33: 566-589.
- Toorchi, M., Naderi, R., Kanbar., A. and Shakiba, M. R. (2011) Response of spring canola cultivars to sodium chloride stress. *Annals of Biological Research* 2(5): 312-322.
- Weimberg, R., Lerner, H. R. and Poljakoff-Mayber, A. (1984) Changes in growth and water soluble solute concentrations in *Sorghum bicolor* stressed with sodium and potassium. *Plant Physiology* 62: 472-480.
- White, P. J. and Broadley, M. R. (2001) Chloride in soil and its uptake and movement within the plant. *Review Annual Botany* 88: 967-988.
- Wyn Jones, R. G., Gorham, J. and McDonnell, E. (1984) Organic and inorganic solute contents as selection criteria for salt tolerance in the Triticeae. In: Staples (Eds. R., Toennissen, G. H.), *Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement*. 189-203, Wiley and Sons, New York.