

## تأثیر تنش شوری بر رشد، تعادل یونی و اثرات متقابل یون‌ها در ارقام حساس و مقاوم کلزا (*Brassica napus* L.) Effect of Salt Stress on Growth, Ionic Homeostasis and Ions Interaction in Sensitive and Tolerant Genotypes of Rapeseed (*Brassica napus* L.)

وحید اطلسی پاک<sup>۱\*</sup>، مجید نبی پور<sup>۲</sup> و موسی مسکرباشی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۱۳

### چکیده

تنش شوری مانع از رشد شده و موجب به هم خوردن تعادل یونی در گیاه می‌شود. واکنش گیاهان مختلف به تنش شوری در سطوح سلولی متفاوت است. به منظور بررسی اثرات سطوح مختلف تنش شوری بر رشد، میزان کلروفیل و غلظت عناصر معدنی در سه رقم کلزا، آزمایشی در سال ۱۳۸۷ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به اجرا درآمد. طرح آزمایشی بکار رفته، اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی بود. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح مختلف شوری و رقم بودند. در این آزمایش، مقادیر یون‌های مختلف در اندام‌های هوایی و ریشه سه رقم کلزا در کشت هیدروپونیک و تحت سه سطح مختلف شوری (صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول) در اتاقک رشد مورد بررسی قرار گرفت. تیمار شوری از مرحله چهار برگی بر گیاهچه‌ها اعمال و تا مرحله هشت برگی ادامه داشت. نتایج نشان داد که ارقام مقاوم کلزا توانایی بیشتری در تجمع یون‌های سمی (سدیم و کلر) در اندام‌های هوایی خود دارند. با افزایش شوری، مقدار کلر در اندام‌های هوایی همه رقم‌ها افزایش یافته و با افزایش مقدار کلر مقدار نیترات کاهش یافت. با افزایش شوری، مقدار کلسیم در اندام‌های هوایی و ریشه‌های همه ارقام افزایش نشان داد و افزایش بیشتر مقدار کلسیم در ریشه ارقام مقاوم باعث افزایش مقاومت به شوری گردید. افزایش سدیم در اندام‌های هوایی ژنوتیپ حساس باعث کاهش مقدار کلروفیل و نیز کاهش عملکرد کوانتومی فتوسنتز دو گردید. نتایج نشان داد که تجمع بالای سدیم و کلر در اندام‌های هوایی با مقاومت به شوری در ارقام کلزا در این آزمایش مرتبط می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کلروفیل، مقاوم به شوری، یون سدیم و کلر

۱. استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور

۲. دانشیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

Email: v.atlassi@gmail.com

\*: نویسنده مسئول

تعادل یونی در اثر تنش شوری و نیز افزایش  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  باعث کاهش جذب  $\text{Ca}^{2+}$  می‌شود (سودیر و مورتی<sup>۱۲</sup>، 2004). نتایج تحقیقات نشان داده است که تحت تنش شوری ژنوتیپ‌هایی از گوجه‌فرنگی که قادر به جذب مقدار بیشتری از  $\text{Ca}^{2+}$  از محیط هستند نسبت  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  در اندام‌های هوایی آنها پایین است (داسگان<sup>۱۳</sup> و همکاران، 2002).

علاوه بر  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Mg}^{2+}$  از عناصری است که نقش بهبوددهندگی آن در ایجاد تعادل یونی در گیاهان تحت تنش شوری به اثبات رسیده است (شابالا<sup>۱۴</sup> و همکاران، 2005).

تحت تنش شوری،  $\text{Mg}^{2+}$  باعث کاهش مقدار  $\text{Na}^+$  در گیاه شده، از این رو باعث افزایش نسبت  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  می‌شود (تستر و داونپرت، 2003 و شابالا و همکاران، 2005). محققین گزارش کرده‌اند که یکی از مکانیسم‌های بهبوددهندگی  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$  تحت تنش شوری حفظ نسبت بالای  $\text{K}^+$  در سیتوسول از طریق تنظیم سیستم انتقال  $\text{K}^+$  در عرض غشای پلاسمایی می‌باشد (شابالا و همکاران، 2005).

در گیاهانی که قادر به انتقال و تجمع یون‌های سمی ( $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$ ) در واکوئل نیستند افزایش  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  در سیتوسول باعث تغییر غلظت‌های  $\text{K}^+$  و  $\text{NO}_3^-$  شده و سبب اختلال در فعالیت‌های متابولیکی سلول می‌شوند (آگاری و همکاران، 2007). غلظت بالای سدیم در اثر تنش شوری در سیتوسول باعث تخریب سریع‌تر کلروفیل شده (حسین<sup>۱۵</sup> و همکاران، 2003) و تولید گونه‌های اکسیژن فعال را نیز سبب می‌شود که آنها نیز به نوبه خود باعث صدمه به غشاءها و نیز ماکرومولکول‌هایی از قبیل رنگدانه‌های فتوسنتزی و پروتئین‌ها می‌شوند (آشرف و علی<sup>۱۶</sup>، 2008). تخریب و کاهش کلروفیل در نتیجه افزایش سدیم، باعث افزایش (Minimal fluorescence from dark Fo) می‌شود (بیکرو و روزنگویست<sup>۱۷</sup>، 2004)، که این افزایش، نشانه غیرفعال‌شدن فتوسیستم دو می‌باشد و به کاهش عملکرد کوآنزومی در شرایط تاریکی منجر می‌شود (زلاتو و یوردانوف<sup>۱۸</sup>، 2004). هدف از این مطالعه، بررسی تعادل (هوموستازی) یونی در گیاه کلزا و نیز نحوه تجمع یون‌ها و اثرات متقابل بین آنها تحت تنش شوری می‌باشد.

تنش شوری یکی از عوامل مهم محدودکننده تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. تأثیر مضر شوری بر گیاهان، نتیجه تنش اسمزی و نیز تأثیر ویژه یونی است (زانگ<sup>۱</sup> و همکاران، 2001؛ آپس و بلوم‌والد<sup>۲</sup>، 2002). تنش ویژه یونی نتیجه تغییر  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  و نیز تغییر غلظت  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  است (بلوم‌والد<sup>۳</sup>، 2000).

اثرات مضر شوری بر ریشه گیاهان، نتیجه سمیت یونهای  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  می‌باشد (تستر و داونپرت<sup>۴</sup>، 2003؛ حسین<sup>۵</sup> و همکاران، 2008). با ورود  $\text{Na}^+$  از طریق مسیرهای  $\text{K}^+$ ، نسبت‌های یونی در گیاهان تغییر خواهد کرد، از این رو، یکی از راهکارهای حفظ نسبت بالای  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  در گیاهان انتقال یون  $\text{Na}^+$  و تجمع آن در واکوئل می‌باشد (بلوم‌والد، 2000)، هم‌چنین این امر باعث می‌شود که غلظت فیزیولوژیکی  $\text{K}^+$  در سیتوسول حفظ و غلظت  $\text{Na}^+$  در سیتوسول به زیرآستانه سمیت کاهش یابد (حسین و همکاران، 2008).

افزایش جذب  $\text{Cl}^-$  در سیتوسول، باعث کاهش  $\text{NO}_3^-$  که در ساخت پرولین در گیاه شرکت دارد شده و از این رو باعث صدمه به گیاه می‌شود (آگاری<sup>۶</sup> و همکاران، 2007). از این رو انتقال و تجمع  $\text{Cl}^-$  در داخل واکوئل، جهت سازگاری و تحمل به شوری ضروری است (نیو<sup>۷</sup> و همکاران، 1995). کلزا به لحاظ مقاومت به شوری در گروه گیاهان نسبتاً مقاوم قرار می‌گیرد (مس<sup>۸</sup> و هافمن، 1977). محمد<sup>۹</sup> و همکاران (2006) عقیده دارند که مقاومت به شوری در گیاه کلزا مرتبط با توانایی آن در تجمع  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  در واکوئل یاخته‌های اندام هوایی می‌باشد.  $\text{Ca}^{2+}$  نیز نقش مهمی در بافت‌های گیاهی داشته و تنظیم و کارکرد  $\text{Na}^+$  و  $\text{K}^+$  را تحت تأثیر قرار می‌دهد (پروسلی<sup>۱۰</sup> و همکاران، 1995). نقش  $\text{Ca}^{2+}$  در سازگاری به تنش شوری بسیار پیچیده است اما در هر حال تعادل این کاتیون در داخل سلول جهت سازگاری به تنش، ضروری به نظر می‌رسد (نیو و همکاران، 1995). زمانی که گیاه تحت تأثیر شوری، با کمبود  $\text{Ca}^{2+}$  مواجه می‌شود، (هانگ بو<sup>۱۱</sup> و همکاران، 2008)، در واقع به‌هم‌خوردن

1. Zhang *et al.*
2. Apse and Blumwald
3. Blumwald
4. Tester and Davenport
5. Hussain *et al.*
6. Agari *et al.*
7. Niu *et al.*
8. Mass and Hoffman
9. Mokhamed *et al.*
10. Procelli *et al.*
11. Hong-Bo *et al.*

12. Sudhir and Murthy
13. Dasgan *et al.*
14. Shabala *et al.*
15. Hussain
16. Ashraf and Ali
17. Baker and Rosenqvist
18. Zlatev and Yordanov

فناوری تولیدات گیاهی / جلد دوازدهم / شماره دوم / زمستان ۹۱  
محاسبات آماری توسط نرم‌افزارهای SAS و MSTATC انجام  
شد و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL رسم گردید.  
مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

### نتایج

#### ۱- وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه

در هر سه رقم با افزایش تنش شوری، ماده خشک اندام‌های  
هوایی و ریشه کاهش پیدا کرد (شکل ۱) ولی این کاهش در  
اندام‌های هوایی و ریشه رقم MHA9716 به‌طور معنی‌داری  
بیشتر از دو رقم دیگر بود. همانطور که در جدول ۱ ملاحظه  
می‌گردد اثرات اصلی از این نظر معنی‌دار و اثر متقابل ماده  
خشک ریشه غیرمعنی‌دار شد. مقدار کاهش ماده خشک در  
بالاترین سطح شوری نسبت به شاهد در هر سه رقم در جدول  
۳ نیز نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می‌گردد تفاوت  
بین شاهد و بالاترین سطح شوری در هر سه رقم وجود دارد.

#### ۲- عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس سدیم و پتاسیم در جدول ۱ نشان داد  
که اثرات اصلی و متقابل از این نظر معنی‌دار بود. تفاوت بین  
مقادیر مختلف شوری از این نظر در ریشه و اندام هوایی در  
ارقام مختلف نیز در شکل ۱ نشان داده شده است. در این  
آزمایش افزایش شوری منجر به افزایش  $Na^+$  در اندام‌های  
هوایی و ریشه در ارقام مقاوم (MHA4921 و Hyola 401) و  
رقم حساس (MHA9716) گردید. مقدار  $Na^+$  اندام‌های هوایی  
دو رقم مقاوم در سطح‌های شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول،  
بیشتر از رقم حساس بود (شکل ۱). همان‌طوری که مشاهده  
می‌شود در سطح‌های شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول، مقدار  
تجمع  $Na^+$  در ریشه رقم حساس، روند افزایشی داشته و این  
افزایش بیشتر از دو رقم مقاوم بوده است (جدول ۳).

با افزایش شوری مقدار  $K^+$  در اندام‌های هوایی هر سه رقم  
کاهش پیدا کرد (شکل ۱). اما به‌طوری‌که در شکل نیز دیده  
می‌شود این کاهش در رقم حساس (MHA9716) بیشتر از دو  
رقم مقاوم بوده است. کاهش  $K^+$  در ریشه رقم مقاوم  
MHA4921 مشاهده نشد اما در رقم Hyola401 با افزایش  
شوری، میزان  $K^+$  ریشه، در بالاترین سطح شوری کاهش یافت  
(جدول ۴). با افزایش شوری مقدار  $K^+$  ریشه رقم حساس نیز  
کاهش چشمگیری از خود نشان داد (شکل ۱). اثرات اصلی و  
متقابل در ریشه از این نظر معنی‌دار ولی اثر متقابل رقم و  
تنش در اندام هوایی غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج نشان داد که با افزایش میزان شوری، مقدار  $Ca^{2+}$  در  
اندام‌های هوایی رقم حساس MHA9716 و رقم مقاوم

این آزمایش در سال ۱۳۸۷ در دانشکده کشاورزی  
دانشگاه شهید چمران اهواز به اجرا درآمد. طرح آزمایشی در  
قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح کاملاً تصادفی اجرا شد.  
آبیاری به‌عنوان عامل اصلی دارای ۳ سطح شوری  
(صفر (شاهد)، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول)، و عامل فرعی نیز شامل  
رقم‌های حساس (MHA9716) و مقاوم (MHA4921 و Hyola  
401) گیاه کلزا بود (اطلسی‌پاک<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). بذور  
جوانه‌زده در منافذ تعبیه شده در صفحات یونولیتی با ضخامت  
۲ سانتی‌متر قرار داده شدند. گیاهچه‌ها در اتاقک رشد به مدت  
۲ هفته تا مرحله ۴ برگگی (استقرار ریشه‌ها)، در دمای ۱۸/۲۴  
درجه سانتی‌گراد (روز/شب)، رطوبت  $55 \pm 5$  درصد، طول روز  
۱۴ ساعت و شدت تشعشع ۴۵۰ میکرومول بر مترمربع بر  
ثانیه، بدون اعمال تنش در محلول غذایی هوگلند به رشد  
طبیعی خود ادامه دادند.

محلول غذایی هوگلند نیز توسط پمپ آکواریوم هوادهی شده،  
تنش شوری در مرحله ۴ برگگی اعمال شد (شرف و علی، ۲۰۰۸).  
محیط کشت هر هفته تعویض و میزان pH، روزانه آنها با استفاده  
از بافرهای NaOH و HCl در سطح ۵/۸ - ۵/۵ تنظیم گردید.  
تیمارهای شوری از زمان ۴ برگگی به مدت ۳۰ روز (شرف و  
شریف، ۱۹۹۸؛ قاسم<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۳؛ محمد و همکاران،  
۲۰۰۶؛ شرف و علی، ۲۰۰۸) با استفاده از نمک NaCl (مرک)  
اعمال شد. پس از گذشت ۳۰ روز (مرحله هشت برگگی)  
پارامترهای مورد نظر در ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شد.  
مقدار سدیم و پتاسیم پس از هضم توسط دستگاه نشر شعله  
ای (Jenway-pfp7) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (شرف و علی،  
۲۰۰۸). مقدار کلسیم و منیزیم نیز از طریق تیتراسیون به‌دست  
آمد (تاکر و کرتز<sup>۳</sup>، ۱۹۶۱). نیترات ( $NO_3^-$ ) نیز پس از استخراج با  
استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و مقادیر آن با  
منحنی‌های استاندارد، مورد محاسبه قرار گرفت (ریچی و  
همکاران، ۱۹۶۷). درصد کلر نیز با روش تیتراسیون توسط نیترات  
نقره محاسبه شد (بزاک<sup>۴</sup>، ۱۹۷۰). کلروفیل a و b با استفاده از  
استون ۸۰٪ استخراج شده و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت  
شد (هلدن<sup>۵</sup>، ۱۹۶۷).

1. Atlassi Pak *et al.*
2. Qasim *et al.*
3. Tucker and Kurtz
4. Bozcuk
5. Holden

Hyola401 روند افزایشی مشابهی داشت. در شرایط تنش شوری مقدار  $Ca^{2+}$  در اندام‌های هوایی دو رقم فوق تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). در رقم Hyola401 بین شوری صفر و ۱۵۰ میلی‌مول اختلاف وجود داشت (شکل ۲). مقدار  $Ca^{2+}$  در اندام‌های هوایی تحت تنش شوری رقم مقاوم MHA4921 دارای روند مشخصی نبود. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود بین تیمارها تفاوت معنی‌داری از لحاظ مقدار  $Ca^{2+}$  اندام‌های هوایی مشاهده نشد. مقدار  $Ca^{2+}$  در اندام‌های هوایی در بالاترین سطح شوری (150 mM) در رقم MHA4921 به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو رقم دیگر بود (جدول ۴). مقدار  $Ca^{2+}$  در ریشه هر سه رقم با افزایش شوری، افزایش یافت و این افزایش در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول چشمگیر بود. در ضمن در شوری ۱۵۰ میلی‌مول افزایش  $Ca^{2+}$  در ریشه دو رقم مقاوم بیشتر از رقم حساس بود (شکل ۲). نتایج تجزیه واریانس در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد اثرات اصلی معنی‌دار و اثرات متقابل غیرمعنی‌دار است. مقایسه بین میانگین‌ها در ارقام و سطوح مختلف شوری در جدول ۴ آمده است. در این آزمایش مقدار  $Ca^{2+}$  در اندام‌های هوایی با افزایش غلظت NaCl افزایش یافت. در ریشه نیز مقدار  $Ca^{2+}$  با افزایش شوری افزایش نشان داد و این افزایش، در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول معنی‌دار بوده است. بین رقم حساس MHA9716 و نیز رقم مقاوم Hyola401 از نظر مقدار  $Ca^{2+}$  اندام‌های هوایی اختلاف چندانی مشاهده نشد (جدول ۳).

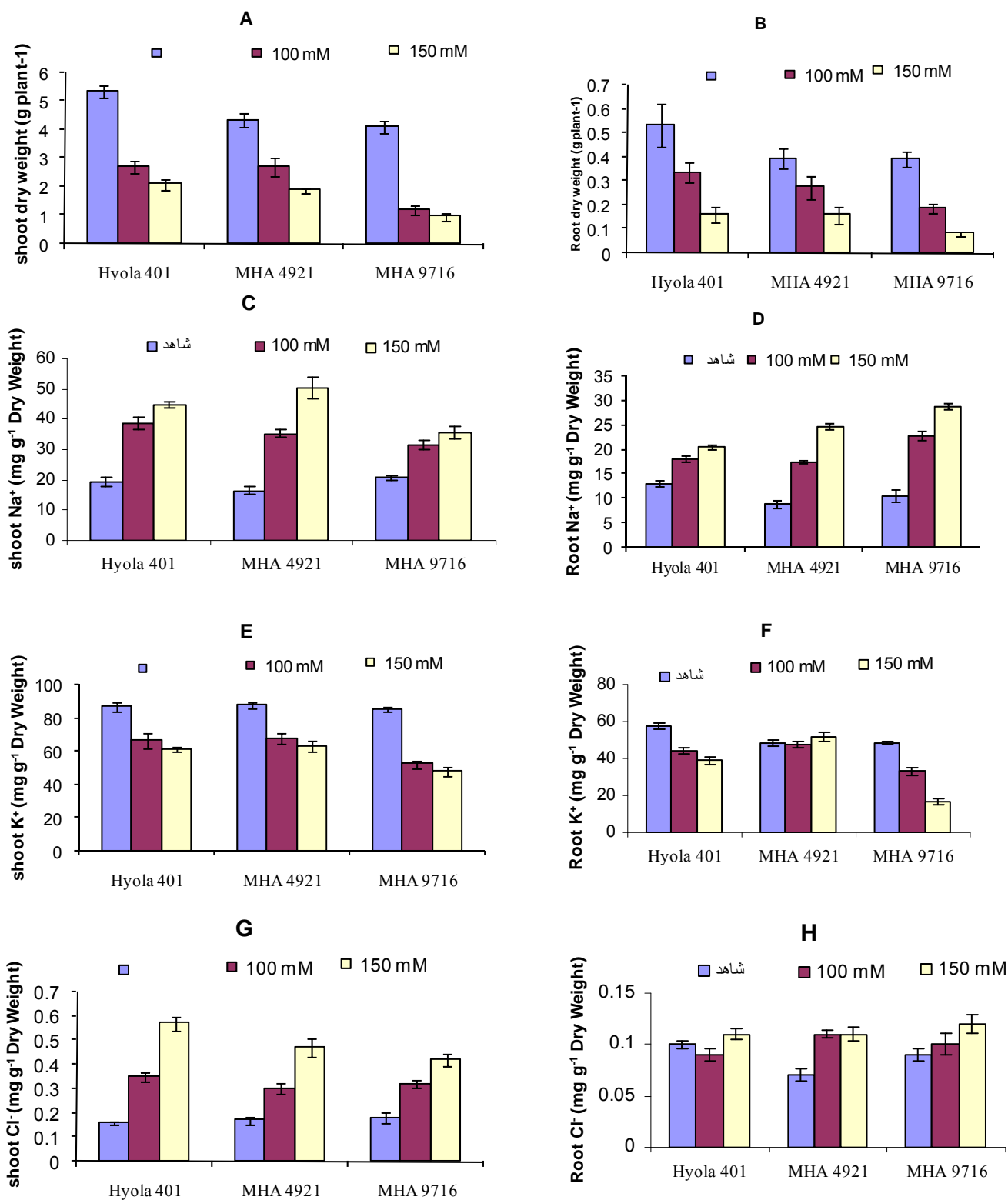
تغییرات  $Mg^{2+}$  در اندام‌های هوایی و ریشه هر سه رقم، تحت سطوح مختلف تنش شوری در شکل ۲ نشان داده شده است. افزایش شوری موجب کاهش  $Mg^{2+}$  در ریشه هر سه رقم گردید. در اندام‌های هوایی نیز در رقم MHA4921 مقدار  $Mg^{2+}$  با افزایش شوری کاهش پیدا کرد ولی در رقم Hyola401 مقدار  $Mg^{2+}$  در دو سطح شوری بیشتر از شاهد بود. در MHA9716 نیز اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف شوری از نظر میزان  $Mg^{2+}$  وجود نداشت (شکل ۲). اثرات اصلی ریشه از این نظر معنی‌دار و اثرات متقابل آن غیر معنی‌دار بود. در اندام هوایی نیز اثرات اصلی و متقابل غیر معنی‌دار شد (جدول ۲). روند تغییرات در ارقام و سطوح مختلف شوری در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش شوری مقدار  $Cl^-$  در اندام‌های هوایی هر سه رقم افزایش پیدا کرد. این افزایش در رقم مقاوم Hyola401 بیشتر از دو رقم دیگر بود (شکل ۱). بین رقم حساس MHA9716 و رقم مقاوم MHA4921 از نظر مقدار  $Cl^-$  در اندام‌های هوایی تفاوت چشمگیری مشاهده نشد (جدول ۳). مقدار  $Cl^-$  در ریشه هر

سه رقم، با افزایش شوری افزایش پیدا کرد و اختلاف معنی‌داری بین رقم‌ها از این نظر مشاهده نشد. چنانچه در جدول ۱ مشاهده می‌گردد اثرات اصلی در اندام هوایی و ریشه از این نظر معنی‌دار و اثرات متقابل غیرمعنی‌دار بود. با افزایش شوری مقدار  $NO_3^-$  در اندام‌های هوایی در هر سه رقم کاهش معنی‌داری یافت. ولی این کاهش در رقم حساس (MHA9716) و به ویژه در تیمار ۱۵۰ میلی‌مول بیشتر از دو رقم مقاوم بود (شکل ۲). همان‌طور که در جدول ۱ آمده است اثرات اصلی معنی‌دار و اثرات متقابل غیرمعنی‌دار شد. تفاوت بین سطوح مختلف شوری با شاهد در جدول ۳ نشان داده شده است.

### ۳- مقدار کلروفیل و فلورسانس کلروفیل

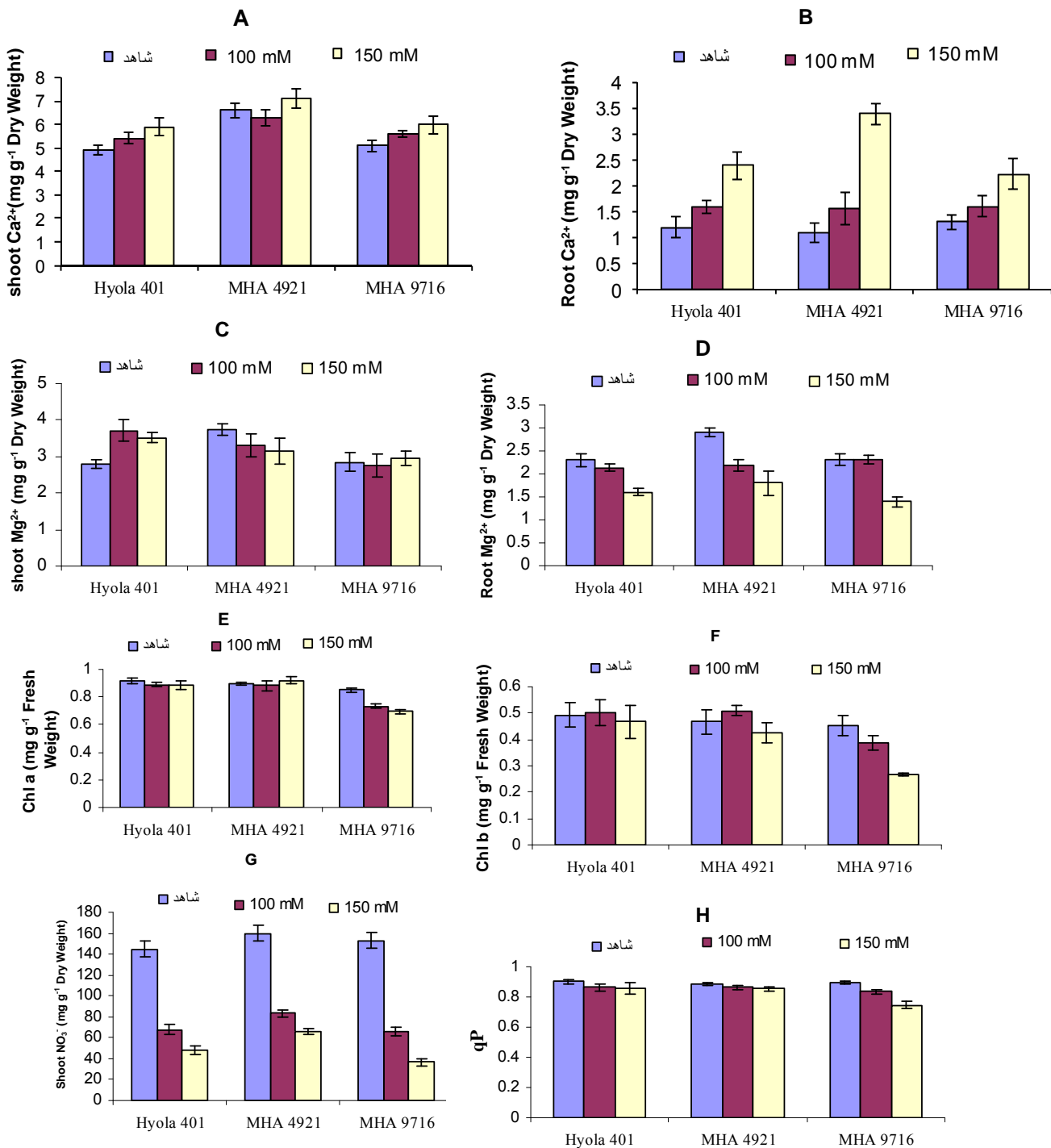
کلروفیل a و b تحت تنش شوری در رقم حساس کاهش داشت (شکل ۲). در دو رقم مقاوم، کلروفیل a تحت تنش شوری تغییری نداشت ولی کلروفیل b در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مول کاهش نشان داد. اثرات اصلی در هر دو صفت معنی‌دار ولی اثرات متقابل در مورد کلروفیل b غیرمعنی‌دار شد (جدول ۳).

تحت تنش شوری فلورسانس کلروفیل دستخوش تغییراتی گردید. عملکرد کوآنتومی در شرایط تاریکی (Fv/Fm) در رقم حساس، تحت تنش شوری کاهش یافت. ولی در ارقام مقاوم، بین تیمارها از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳). عملکرد کوآنتومی در شرایط روشنایی در همه ارقام با افزایش تنش شوری کاهش یافت ولی در رقم حساس این کاهش قابل توجه بود (جدول ۴). تغییرات خاموشی فتوشیمیایی (qp) نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. در رقم حساس خاموشی فتوشیمیایی با افزایش تنش دارای روند کاهشی معنی‌دار بود. اثرات اصلی برای هر دو صفت، در سطح ۵ درصد معنی‌دار و اثرات متقابل غیرمعنی‌دار بود. نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف در سطوح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار در جداول ۱ و ۲ آمده است.



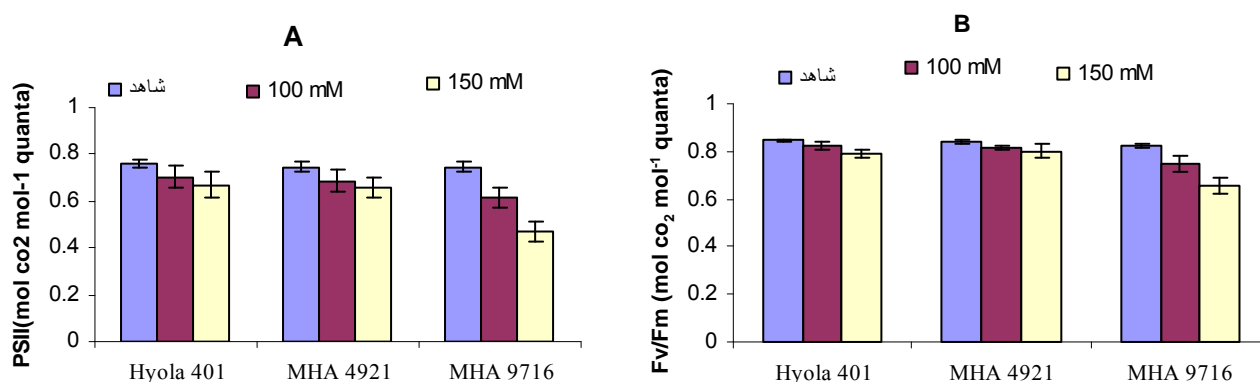
شکل ۱: مقدار ماده خشک اندام هوایی (A) و ریشه (B)، سدیم اندام هوایی (C) و ریشه (D)، پتاسیم اندام هوایی (E) و ریشه (F) و کلر اندام هوایی (G) و ریشه (H) در سه رقم کلزا (*B. napus*). گیاهچه‌ها سه هفته پس از رشد به مدت ۳۰ روز تحت تنش شوری قرار گرفتند. تیمار شوری در هر رقم به ترتیب از چپ به راست: صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول می‌باشد. بارها در شکل خطای استاندارد است

Fig 1: Shoot(A) and Root(B) dry weight, Shoot(C) and Root(D) K<sup>+</sup>, Shoot(E) and Root(F) Na<sup>+</sup> and Shoot(G) and Root(H) Cl<sup>-</sup> of three genotypes of rapeseed (*B. napus*). Three-week-old plants were exposed to salt for 30 days. Plants were subjected (in following sequence on graph) to: 0, 100, 150 mM NaCl



شکل ۲: مقدار کلسیم اندام هوایی (A) و ریشه (B)، منیزیم اندام هوایی (C) و ریشه (D)، مقدار نیترات در اندام هوایی (E)، خاموشی فتوشیمیایی (F) و کلروفیل a (G) و b (H) سه رقم کلزا (*B. napus*). گیاهچه‌ها سه هفته پس از رشد به مدت ۳۰ روز تحت تنش شوری قرار گرفتند. تیمار شوری در هر رقم به ترتیب از چپ به راست: صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول می‌باشد. بارها در شکل خطای استاندارد است

Fig 2: Shoot(A) and Root(B)  $Ca^{2+}$ , Shoot(C) and Root(D)  $Mg^{2+}$ , Shoot  $NO_3^-$  (E), qp(F), Chlorophyll a(G) and b(H) of three genotypes of rapeseed (*B. napus*). Three-week-old plants were exposed to salt for 30 days. Plants were subjected (in following sequence on graph) to: 0, 100, 150 mM NaCl



شکل ۳: عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط روشنایی (A) و تاریکی (B) (Fv/Fm) و در سه رقم کلزا (*B. napus*). گیاهچه‌ها سه هفته پس از رشد به مدت ۳۰ روز تحت تنش شوری قرار گرفتند. تیمار شوری در هر رقم به ترتیب از چپ به راست: صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول می‌باشد. بارها در شکل خطای استاندارد است

Fig 3: Quantum yield of PSII from light adapted ( $\Phi$ PSII)(B) and dark adapted leaf (Fv/Fm)(A) of three genotypes of rapeseed (*B. napus*). Three-week-old plants were exposed to salt for 30 days. Plants were subjected (in following sequence on graph) to: 0, 100, 150 mM NaCl

#### بحث

در گونه *Brassica carinata* نیز مقایسه ارقام مختلف تحت تنش شوری نشان‌دهنده ارتباط مستقیم ماده خشک ریشه با مقاومت به شوری می‌باشد (اشرف و شریف<sup>۴</sup>، ۱۹۹۸). کاهش فراهمی مواد فتوسنتزی (اشرف<sup>۵</sup>، ۲۰۰۴) و ممانعت از گسترش سلول (چاوز<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۹) تحت تنش شوری را عامل کاهش ماده خشک، معرفی کرده‌اند. با افزایش تنش شوری در هر سه رقم، مقدار  $Na^+$  در اندام‌های هوایی و ریشه افزایش یافت (شکل ۱). افزایش  $Na^+$  در اندام‌های هوایی رقم حساس MHA9716 کمتر از دو رقم دیگر بود. مقدار تجمع  $Na^+$  در اندام‌های هوایی بیشتر از ریشه‌ها می‌باشد. انتقال و تجمع یون‌های سمی ( $Cl^-$  و  $Na^+$ ) در واکوئل، این امکان را به گیاهان می‌دهد که از NaCl به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی استفاده کرده و با کاهش پتانسیل اسمزی خود بتوانند آب را به سهولت جذب کنند (بلوم والد، ۲۰۰۰؛ تستر و داونپرت، ۲۰۰۳). هم‌چنین به‌منظور جلوگیری از توقف رشد ریشه و یا مرگ سلول،  $Na^+$  اضافه در اندام‌های هوایی باید از سلول خارج شوند و یا اینکه به واکوئل منتقل شوند (زو<sup>۷</sup>، ۲۰۰۳). دولپه‌ای‌ها تحت تنش شوری،  $Na^+$  بیشتری در اندام‌های هوایی خود ذخیره می‌کنند و نیز قادر هستند تا  $Na^+$  را به واکوئل خود انتقال داده در صورتی که تک‌لپه‌ای‌ها دارای ظرفیت کمتری

در بیشتر گونه‌های زراعی، با مقایسه خصوصیات فیزیولوژیک گیاهان در مرحله گیاهچه‌ای می‌توان در مورد مقاومت به شوری آنها قضاوت کرد (داسگان و همکاران، ۲۰۰۲). در این رابطه فرانکوئیس<sup>۱</sup> (۱۹۹۴) اظهار داشت که تحت استرس شوری در کلزا، عملکرد دانه متناسب با کاهش مقدار ماده خشک در مرحله رویشی کاهش داشته است. حفظ ماده خشک اندام‌های هوایی یکی از ملاک‌های مناسب جهت سنجش تحمل به شوری محسوب می‌شود (شانون<sup>۲</sup>، ۱۹۹۸). در مورد گیاه کلزا (*B. napus*) نیز تجمع بیشتر ماده خشک در شرایط تنش شوری از ملاک‌های تحمل معرفی شده است (فرانکوئیس، ۱۹۹۴؛ قاسم و همکاران، ۲۰۰۳؛ اشرف و مک نیلی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴؛ محمد و همکاران، ۲۰۰۶؛ اشرف و علی، ۲۰۰۸). در این تحقیق نیز مقدار ماده خشک اندام‌های هوایی، در رقم حساس (MHA9716) کاهش بیشتری از خود نشان داد. علاوه بر ماده خشک اندام‌های هوایی، ماده خشک ریشه نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت (شکل ۱). کاهش بیشتر ماده خشک ریشه تحت تنش شوری در ارقام حساس در گیاه کلزا مشاهده شده است (اشرف و علی، ۲۰۰۸) و ارقام مقاوم در پایان دوره تنش دارای ماده خشک بیشتری در ریشه بوده‌اند.

4. Ashraf and Sharif  
5. Ashraf  
6. Chaves et al.  
7. Zhu

1. Francois  
2. Shannon  
3. Ashraf and McNeilly

جهت ذخیره  $\text{Na}^+$  در واکوئل می‌باشند (تستر و داوونپرت، 2003). در گیاه کلزا مقاومت به شوری بستگی به توانایی گیاه به تجمع یون‌های سمی ( $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$ ) در واکوئل دارد (مخمد و همکاران، 2006). ارقام مقاوم در این آزمایش توانایی بیشتری در انتقال سدیم به داخل واکوئل داشته‌اند. همچنین با افزایش تنش شوری، مقدار  $\text{Cl}^-$  در اندام‌های هوایی ارقام مقاوم افزایش پیدا کرده است. به نظر می‌رسد که ارقام مقاوم در آزمایش حاضر توانایی بیشتری در مدیریت و کنترل یون‌های سمی داشته‌اند. نیو و همکاران (1995) نیز معتقدند که انتقال  $\text{Cl}^-$  به داخل واکوئل از طریق  $\text{H}^+$ -ATP‌آزهای واکوئلی موجب کاهش سمیت این عنصر در سیتوسول می‌شود. نتایج نشان داد که با افزایش شوری مقدار  $\text{Na}^+$  در ریشه رقم MHA9716، افزایش بیشتری نسبت به دو رقم مقاوم داشته است. احتمالاً رقم حساس با حفظ مقدار بیشتری از  $\text{Na}^+$  در ریشه خود مانع ورود آن به اندام هوایی شده و از این طریق سمیت ناشی از افزایش  $\text{Na}^+$  در اندام هوایی را کاهش داده است. به نظر می‌رسد ارقام مقاوم ضمن تجمع یون‌های سمی و مدیریت آنها در اندام‌های هوایی، از این یون‌ها به‌عنوان محافظت‌کننده‌های اسمزی استفاده کرده‌اند. محققین با انتقال ژن  $\text{AtNHX1}$  در کلزا (مسئول تولید آنتی‌پورتر  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  واکوئلی) موجب کاهش تجمع  $\text{Na}^+$  در سیتوسول، و انتقال آن به واکوئل شده و از این طریق باعث افزایش تحمل به شوری در گیاهان ترانس ژنیک کلزا گردیده‌اند (زانگ و همکاران، 2001). در آزمایش مخمد و همکاران (2006)، تحت تنش شوری، تجمع  $\text{Na}^+$  در اندام‌های هوایی رقم مقاوم کلزا نسبت به رقم حساس بیشتر بوده است. از آنجا که  $\text{Cl}^-$  با  $\text{NO}_3^-$  دارای رابطه منفی می‌باشد (ساتوس<sup>1</sup> و همکاران، 2001؛ آگاری و همکاران، 2007) نتایج نشان داد که افزایش  $\text{Cl}^-$  تحت تنش شوری باعث کاهش  $\text{NO}_3^-$  در اندام‌های هوایی گردیده است (شکل ۲). احتمالاً کاهش میزان تعرق در اثر افزایش غلظت  $\text{NaCl}$  و نیز اثرات بازدارندگی  $\text{Cl}^-$  بر عملکرد ناقل‌های  $\text{NO}_3^-$  در ریشه، موجب کاهش جذب نیترات گردیده است (یاو<sup>۲</sup> و همکاران، 2008). از طرفی افزایش مقدار  $\text{Cl}^-$  در سیتوسول و افزایش سمیت آن باعث می‌شود  $\text{NO}_3^-$  موجود در سیتوسول صرف تولید پروتئین در گیاه شده و از این طریق نیز موجبات کاهش  $\text{NO}_3^-$  در اندام‌های هوایی فراهم می‌گردد (آگاری و همکاران، 2007). نتایج این آزمایش نشان داد که کاهش  $\text{NO}_3^-$  در اندام‌های هوایی در رقم حساس بیشتر بوده است (شکل ۲). انتقال  $\text{Cl}^-$  از سیتوسول به واکوئل در ارقام مقاوم و کاهش اثرات سمی  $\text{Cl}^-$  در سیتوسول در این ارقام،

موجب کاهش کمتر  $\text{NO}_3^-$  در اندام‌های هوایی شده است. فرانکوویس (1994) نیز افزایش  $\text{Cl}^-$  در اندام‌های هوایی رقم مقاوم کلزا را در نتیجه افزایش شوری گزارش نمود. همچنین اشرف<sup>۳</sup> و همکاران (2001) مشاهده کردند که در کلزا، مقدار  $\text{Cl}^-$  با افزایش غلظت شوری افزایش یافت. به نظر می‌رسد که در ارقام مختلف آزمایش حاضر ریشه پس از جذب کلر، راهکاری جهت نگهداری آن نداشته و آن را به اندام‌های هوایی گیاه منتقل ساخته است، ارقام مقاوم با مدیریت  $\text{Cl}^-$  در اندام‌های هوایی، اثرات سمیت آن را کاهش داده‌اند (شکل ۱). از جمله ملاک‌های مقاومت به شوری، توانایی گیاه در حفظ سطوح بالای  $\text{K}^+$  تحت تنش شوری می‌باشد (بلوم والد و همکاران، 2000). یکی از راهکارهای گیاه جهت حفظ سطوح بالای  $\text{K}^+$  در سلول، انتقال و تجمع  $\text{Na}^+$  در واکوئل بوده که از این طریق می‌تواند نسبت  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  سیتوسول را افزایش دهد (اشرف و علی، 2008). چنانچه در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت  $\text{NaCl}$  مقدار  $\text{K}^+$  در اندام‌های هوایی هر سه رقم روند کاهشی داشته است ولی این کاهش در ارقام مقاوم کمتر بوده است. در دو رقم MHA9716 و Hyola401 افزایش شوری باعث کاهش غلظت  $\text{K}^+$  در ریشه گردید ولی در رقم MHA4921 نوسانات  $\text{K}^+$  دارای روند افزایشی بوده است. کاهش نسبت  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  در سیتوسول رقم حساس، باعث اختلال در فرایندهای آنزیمی شده و سنتز پروتئین‌ها در سیتوسول را با مشکل مواجه می‌کند (تستر و داوونپرت، 2003؛ هوای<sup>۴</sup> و همکاران، 2003). نوسانات  $\text{Ca}^{2+}$  سیتوسولی یکی از واکنش‌ها نسبت به افزایش  $\text{Na}^+$  می‌باشد (تستر و داوونپرت، 2003). تأثیر بهبوددهندگی  $\text{Ca}^{2+}$  نقش مهمی در ثبات غشاء و کنترل خاصیت انتخابی در جذب و انتقال یون‌ها ایفا می‌کند (داسگان و همکاران، 2002). افزایش  $\text{Ca}^{2+}$  در اثر تنش شوری در اندام‌های هوایی گیاه کلزا توسط محققین دیگر (فرانکوویس و همکاران، 1994؛ پروسلی و همکاران، 1995؛ اشرف و همکاران، 2001) گزارش شده است.

سیدیک<sup>۵</sup> و همکاران (2008) نیز در یک رقم از کلزا، افزایش  $\text{Ca}^{2+}$  را در اثر تنش شوری مشاهده کردند. محققین دیگر نیز (داوونپرت و تستر، 2000) گزارش کردند که در شرایط هیدروپونیک، افزایش  $\text{Ca}^{2+}$  اثرات مضر شوری بر ریشه گیاه جو را کاهش داده است. در گیاه تحت تنش شوری، ABA تولید می‌شود. ABA باعث فعال شدن ژن‌هایی می‌شود که مسئول سنتز کانال‌های پروتئینی انتقال  $\text{Ca}^{2+}$  (آنتی-

3. Ashraf *et al.*  
4. Hoai *et al.*  
5. Siddiqui *et al.*

1. Santos *et al.*  
2. Yao *et al.*



افزایش گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) شده در نتیجه موجب تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود (شرف و علی، 2008). هم‌چنین در اثر افزایش  $\text{Na}^+$ ، آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه آسیب دیده و کلروپلاست تخریب می‌شود (شرف و نقوی<sup>۹</sup>، 1992). در آزمایش حاضر افزایش  $\text{Na}^+$  در رقم حساس موجب خسارت به رنگدانه‌ها گردید. کاهش کلروفیل در رقم حساس موجب کاهش عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II شد. کاهش عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II تحت تنش شوری در گیاهچه‌های گیاهان مختلف از جمله *Brassica* (میسرا<sup>۱۰</sup> و همکاران، 2001)، گندم (زیر<sup>۱۱</sup> و همکاران، 2003)، سویای وحشی (کاو<sup>۱۲</sup> و همکاران، 2003) و آراییدوسپیس (استپین و جانسون، 2009) گزارش شده است. خاموشی فتوشیمیایی (qp) که مقیاسی جهت ارزیابی نحوه عملکرد واکنش‌های فتوسیستم II می‌باشد (تیاپونگ و همکاران، 2004) در این آزمایش در رقم حساس، کاهش یافت که خود تأییدی بر این مطلب است که مراکز واکنش فتوسیستم II در اثر تنش شوری دچار اختلال شده است. زیرا تغییرات عملکرد کوآنتومی II در شرایط روشنایی ( $\Phi\text{PSII}$ ) در راستای تغییرات qp صورت می‌گیرد (بیکر و رزنکوویست، 2004). ارقام مختلف کلزا در مقابله با تنش شوری راهکارهای مختلفی را بروز می‌دهند که هر یک از آنها می‌تواند به کاهش اثرات مضر شوری منجر شود. هم‌چنین برخی از این راهکارها در مقاوم سازی ارقام نسبت به شوری دارای کارایی بیشتری بوده که در نهایت برآیند آنها تعیین‌کننده میزان مقاومت می‌باشند. بروز یک راهکار به تنهایی ممکن است ایجاد کننده مقاومت به شوری نباشد که این موضوع در رقم حساس در این آزمایش مشاهده می‌شود.

پورترهای  $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^+$  هستند و از این طریق مقدار  $\text{Ca}^{2+}$  داخل سلول افزایش می‌یابد (هانگ بو و همکاران، 2008). از طرفی، افزایش  $\text{Ca}^{2+}$  داخل سلول باعث فعال شدن کالمودالین (CAM) شده که به نوبه خود موجبات تولید پروتئین‌های ناقل  $\text{Na}^+$  و  $\text{K}^+$  را فراهم می‌سازد و در نهایت باعث خروج  $\text{Na}^+$  و ورود  $\text{K}^+$  به داخل سلول می‌شود (ماتیوس و آمتمان<sup>۱</sup>، 1999). از طرف دیگر کانال‌های غیر انتخابی ورود  $\text{Na}^+$  به داخل سلول توسط  $\text{Ca}^{2+}$  بسته شده و از این طریق نیز از ورود  $\text{Na}^+$  (به روش غیر فعال) به سلول ممانعت می‌شود (داسگان و همکاران، 2002؛ شابلا و همکاران، 2005). افزایش کلسیم تحت تنش شوری باعث کاهش اثرات مضر سدیم می‌شود و نتایج این آزمایش افزایش کلسیم را تحت تنش شوری در ارقام مختلف، خصوصاً در ارقام مقاوم نشان داد.  $\text{Mg}^{2+}$  مانند  $\text{Ca}^{2+}$  از طریق مسدود کردن کانال‌های ورود  $\text{Na}^+$  باعث کاهش اثرات مضر شوری در گیاهان می‌شود (شابلا و همکاران، 2005). در این آزمایش مقدار  $\text{Mg}^{2+}$  در ریشه ارقام مختلف کاهش نشان داد (شکل ۲)، به نظر می‌رسد افزایش سدیم در همه ارقام مانع از جذب منیزیم توسط ریشه شده است. مقدار منیزیم در اندام هوایی رقم Hyola401 افزایش نشان داد که می‌تواند عامل مقاومت محسوب گردد. در رقم MHA9716 تغییرات چندانی از این نظر مشاهده نشد ولی این روند در رقم MHA4921 نزولی بود (شکل ۲). استوا و کایماکانوا<sup>۲</sup> (2008) دلیل کاهش کلروفیل a و b در اثر تنش شوری را کمبود برخی از عناصر عنوان کرده‌اند که منیزیم می‌تواند یکی از این عناصر باشد. در این تحقیق، در بالاترین سطح شوری، کاهش کلروفیل در رقم MHA9716 بیش از دو رقم دیگر می‌باشد (شکل ۲). کاهش کلروفیل می‌تواند ناشی از افزایش تخریب کلروفیل و نیز بازداری از سنتز آن باشد. (زو<sup>۳</sup> و همکاران، 2007؛ استوا و کایماکانوا، 2008). کاهش کلروفیل تحت تنش شوری در گندم تتراپلوئید (مانز و جیمز<sup>۴</sup>، 2003)، برنج (سلطان<sup>۵</sup> و همکاران، 1999) *Brassica oleracea* (باتاچریا<sup>۶</sup> و همکاران، 2004)، آراییدوسپیس (استپین و جانسون<sup>۷</sup>، 2009)، *Brassica juncea* (فاسم، 1998) و سورگوم (نتوندو<sup>۸</sup> و همکاران، 2004) گزارش شده است. به عقیده محققین، افزایش سدیم سیتوسولی باعث

9. Ashraf and Naqvi  
10. Misra et al.  
11. Zair et al.  
12. Kao et al.

1. Maathuis and Amtmann  
2. Stoeva and Kaymakanova  
3. Zhao et al.  
4. Munns and James  
5. Sultana et al.  
6. Bhattacharya et al.  
7. Stepien and Johnson  
8. Netondo et al.

جدول ۱: تجزیه واریانس مربوط به صفات مورد مطالعه

Table1: Mean squares from analysis of variance of data for traits under study

TDM	RDM	Shoot Na <sup>+</sup>	Root Na <sup>+</sup>	Shoot Cl <sup>-</sup>	RootCl <sup>-</sup>	Shoot Ca <sup>2+</sup>	Root Ca <sup>2+</sup>	Shoot NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	df	Source of variation
g <sup>-1</sup> plant	g <sup>-1</sup> plant	mg/g <sup>-1</sup> DW	mg/ g <sup>-1</sup> DW	mg/ g <sup>-1</sup> DW	mg/ g <sup>-1</sup> DW	mg/g <sup>-1</sup> DW	mg/g <sup>-1</sup> DW	mg/g <sup>-1</sup> DW	درجه آزادی	منابع تغییر
ماده خشک	ماده خشک	سدیم اندام	سدیم ریشه	کلر اندام هوایی	کلر ریشه	کلسیم اندام	کلسیم ریشه	نیترات اندام		
اندام هوایی	ریشه	هوایی				هوایی		هوایی		
22.2**	0.21**	1428**	422**	5.7**	0.04*	637*	2047**	26075**	2	Salt treatments(S)
3.9**	0.03*	71 <sup>ns</sup>	38**	0.18 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	1680**	187 <sup>ns</sup>	876*	2	تیمار شوری Cultivar(C)
0.37*	0.004 <sup>ns</sup>	73*	26**	0.14 <sup>ns</sup>	0.007 <sup>ns</sup>	63 <sup>ns</sup>	141 <sup>ns</sup>	115 <sup>ns</sup>	4	رقم C×S

جدول ۲: جدول تجزیه واریانس مربوط به صفات مورد مطالعه

Table2: Mean squares from analysis of variance of data for traits under study

Shoot Mg <sup>2+</sup>	Root Mg <sup>2+</sup>	Shoot K <sup>+</sup>	Root K <sup>+</sup>	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Fv/Fm	ΦPSII	qp	df	Source of variation
mg/g <sup>-1</sup> DW	mg/g <sup>-1</sup> DW	mg/g <sup>-1</sup> DW	mg/g <sup>-1</sup> DW	mg/g <sup>-1</sup> FW	mg/g <sup>-1</sup> FW	عملکرد کوآنتومی	عملکرد کوآنتومی	خاموشی	درجه	منابع تغییر
منیزیم اندام هوایی	منیزیم ریشه	پتاسیم اندام هوایی	پتاسیم ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b	در تاریکی	در روشنایی	فتوشیمیایی	آزادی	
17 <sup>ns</sup>	770**	2193**	564**	0.008*	0.02*	0.01*	0.05*	0.01*	2	Salt treatments(S)
327 <sup>ns</sup>	94 <sup>ns</sup>	331*	708**	0.05*	0.03*	0.01*	0.02*	0.006*	2	تیمار شوری Cultivar(C)
194 <sup>ns</sup>	52 <sup>ns</sup>	53 <sup>ns</sup>	243**	0.006*	0.006 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	4	رقم G×S

جدول ۳: مقایسه میانگین های صفات اندازه گیری شده در ارقام و سطوح مختلف شوری  
Table 3: Effect of salinity leveles on some parameters in cultivares differing in salt tolerance

TDM g <sup>-1</sup> plant ماده خشک اندام هوایی	RDM g <sup>-1</sup> plant ماده خشک ریشه	Shoot Na <sup>+</sup> mg/g <sup>-1</sup> DW سدیم اندام هوایی	Root Na <sup>+</sup> mg/g <sup>-1</sup> DW سدیم ریشه	Shoot Cl <sup>-</sup> mg/g <sup>-1</sup> DW کلر اندام هوایی	RootCl <sup>-</sup> mg/g <sup>-1</sup> DW کلر ریشه	Shoot Ca <sup>2+</sup> mg/g <sup>-1</sup> DW کلسیم اندام هوایی	Root Ca <sup>2+</sup> mg/g <sup>-1</sup> DW کلسیم ریشه	Shoot NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/g <sup>-1</sup> DW نیترات اندام هوایی	Salinity -شوری (میلی مولار)	Cultivar رقم
5.3 <sup>a</sup>	0.53 <sup>a</sup>	19 <sup>e</sup>	13 <sup>f</sup>	0.16 <sup>e</sup>	0.10 <sup>ab</sup>	4.9 <sup>d</sup>	1.2 <sup>d</sup>	144 <sup>a</sup>	0	
2.7 <sup>c</sup>	0.33 <sup>bc</sup>	38 <sup>bc</sup>	18 <sup>e</sup>	0.35 <sup>cd</sup>	0.09 <sup>b</sup>	5.4 <sup>cd</sup>	1.6 <sup>c</sup>	67 <sup>b</sup>	100	Hyola 401
2.08 <sup>d</sup>	0.16 <sup>de</sup>	44 <sup>ab</sup>	20 <sup>d</sup>	0.57 <sup>a</sup>	0.11 <sup>ab</sup>	5.9 <sup>bcd</sup>	2.4 <sup>b</sup>	48 <sup>b</sup>	150	
4.3 <sup>b</sup>	0.39 <sup>ab</sup>	16 <sup>e</sup>	8 <sup>g</sup>	0.17 <sup>e</sup>	0.07 <sup>c</sup>	6.6 <sup>ab</sup>	1.1 <sup>d</sup>	160 <sup>a</sup>	0	
2.7 <sup>c</sup>	0.27 <sup>bcd</sup>	35 <sup>cd</sup>	17 <sup>e</sup>	0.30 <sup>d</sup>	0.11 <sup>ab</sup>	6.3 <sup>abc</sup>	1.5 <sup>c</sup>	83 <sup>b</sup>	100	MHA 4921
1.8 <sup>d</sup>	0.15 <sup>de</sup>	50 <sup>a</sup>	24 <sup>b</sup>	0.47 <sup>b</sup>	0.11 <sup>ab</sup>	7.1 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	66 <sup>b</sup>	150	
4.1 <sup>b</sup>	0.39 <sup>ab</sup>	18 <sup>e</sup>	10 <sup>g</sup>	0.18 <sup>e</sup>	0.09 <sup>bc</sup>	5.1 <sup>d</sup>	1.3 <sup>cd</sup>	153 <sup>a</sup>	0	
1.1 <sup>e</sup>	0.18 <sup>cde</sup>	34 <sup>d</sup>	22 <sup>c</sup>	0.32 <sup>d</sup>	0.10 <sup>ab</sup>	5.6 <sup>bcd</sup>	1.6 <sup>c</sup>	66 <sup>b</sup>	100	MHA 4026
0.95 <sup>e</sup>	0.08 <sup>f</sup>	36 <sup>cd</sup>	28 <sup>a</sup>	0.42 <sup>bc</sup>	0.12 <sup>a</sup>	6 <sup>bcd</sup>	2.2 <sup>b</sup>	32 <sup>c</sup>	150	

Means values within a column followed by the same letter are not significantly different(p=0.05)

حروف مشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی دار نیستند(p=۰/۰۵)

\*\*,\*=Significant at 0.01 and 0.05 levels, respectively (Duncan's test)

\*\* و \* = به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ (آزمون دانکن)

ns = non-significant

ns= غیرمعنی دار

جدول ۴: مقایسه میانگین های صفات اندازه گیری شده در ارقام و سطوح مختلف شوری  
 Table 4: Effect of salinity leveles on some parameters in cultivares differing in salt tolerance

Shoot Mg <sup>2+</sup> mg g <sup>-1</sup> DW منیزیم اندام هوایی	Root Mg <sup>2+</sup> mg g <sup>-1</sup> DW منیزیم ریشه	Shoot K <sup>+</sup> mg g <sup>-1</sup> DW پتاسیم اندام هوایی	Root K <sup>+</sup> mg g <sup>-1</sup> DW پتاسیم ریشه	Chlorophyll a mg g <sup>-1</sup> FW کلروفیل a	Chlorophyll b mg g <sup>-1</sup> FW کلروفیل b	Fv/Fm عملکرد کوآنتومی در تاریکی	ΦPSII عملکرد کوآنتومی در روشنایی	qp خاموشی فتوشیمیایی	Salinity شوری (میلی مولار)	Cultivar رقم
2.8 <sup>de</sup>	2.3 <sup>b</sup>	87 <sup>a</sup>	57 <sup>a</sup>	0.91 <sup>a</sup>	0.49 <sup>a</sup>	0.84 <sup>a</sup>	0.76 <sup>a</sup>	0.90 <sup>a</sup>	0	Hyola 401
3.7 <sup>a</sup>	2.1 <sup>bc</sup>	66 <sup>b</sup>	44 <sup>cd</sup>	0.88 <sup>a</sup>	0.50 <sup>a</sup>	0.82 <sup>a</sup>	0.70 <sup>ab</sup>	0.86 <sup>a</sup>	100	
3.5 <sup>ab</sup>	1.6 <sup>d</sup>	61 <sup>b</sup>	39 <sup>d</sup>	0.88 <sup>a</sup>	0.46 <sup>a</sup>	0.79 <sup>ab</sup>	0.66 <sup>ab</sup>	0.85 <sup>a</sup>	150	
3.7 <sup>a</sup>	2.9 <sup>a</sup>	87 <sup>a</sup>	48 <sup>bc</sup>	0.89 <sup>a</sup>	0.46 <sup>a</sup>	0.84 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>	0.88 <sup>a</sup>	0	MHA 4921
3.3 <sup>bc</sup>	2.1 <sup>bc</sup>	68 <sup>b</sup>	47 <sup>bc</sup>	0.88 <sup>a</sup>	0.50 <sup>a</sup>	0.81 <sup>a</sup>	0.68 <sup>ab</sup>	0.86 <sup>a</sup>	100	
3.1 <sup>bcd</sup>	1.8 <sup>cd</sup>	63 <sup>b</sup>	51 <sup>b</sup>	0.92 <sup>a</sup>	0.42 <sup>a</sup>	0.80 <sup>a</sup>	0.65 <sup>ab</sup>	0.85 <sup>a</sup>	150	
2.8 <sup>de</sup>	2.3 <sup>b</sup>	85 <sup>a</sup>	48 <sup>bc</sup>	0.85 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	0.82 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>	0.89 <sup>a</sup>	0	MHA 4026
2.7 <sup>ef</sup>	2.3 <sup>b</sup>	52 <sup>c</sup>	33 <sup>e</sup>	0.73 <sup>b</sup>	0.38 <sup>ab</sup>	0.74 <sup>b</sup>	0.61 <sup>b</sup>	0.83 <sup>a</sup>	100	
2.9 <sup>de</sup>	1.4 <sup>d</sup>	48 <sup>c</sup>	16 <sup>f</sup>	0.69 <sup>b</sup>	0.26 <sup>b</sup>	0.65 <sup>c</sup>	0.47 <sup>c</sup>	0.74 <sup>b</sup>	150	

Means values within a column followed by the same letter are not significantly different(p=0.05)

حروف مشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی دار نیستند(p=۰/۰۵).

- Agari, S., Shimoda, T., Shimizu, Y., Baumann, K., Sunagava, H., Kondo, A., Oenu, O., Nakahara, T., Nose, A. and Cushman, J. C. 2007. Salt tolerance, salt accumulation, and ionic homeostasis in an epidermal bladder-cell-less mutant of the common ice plant *Mesembryanthemum crystallinum*. *Journal of Experimental Botany* 58(8): 1957-1967.
- Apse, M. P. and Blumwald, E. 2002. Engineering salt tolerance in plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 13: 146-150.
- Ashraf, M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora*, 199: 361-376.
- Ashraf, M. and Naqvi, M. I. 1992. Effect of varying Na /Ca ratios in salin sand culture on some physiological parametes of four Brassica species. *Acta Physiologiae Plantarum*, 14 (4): 197-205.
- Ashraf, M. and Sharif, R. 1998. Does salt tolerance vary in a potential oil-seed crop *Brassica carinata* at different growth stages? *Journal of Agronomy & Crop Science*, 181: 103-115.
- Ashraf, M., McNeilly, T. and Nazir, M. 2001. Comparative salt tolerance of amphidiploid and diploid Brassica species. *Plant Science* 160: 683-689.
- 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 and Experimental Botany*, 63: 266-273.
- Ashraf, M. and McNeilly, T. 2004. Salinity tolerance in some brassica oilseeds. *Critical Review of Plant Science*, 23: 154-174.
- Atlassi Pak, V., Nabipour, M. and Meskarbashee, M. 2009. Effect of salt stress on chlorophyll content, fluorescence, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> ions content in rape plants (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Agricultural Research*, 3(2): 28-37.
- Baker, N. R. and Rosenqvist, E. 2004. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55(403): 1607-1621.
- Bhattacharya, R. C., Maheswari, M., Dineshkumar, V., Kirti, P. B., Bhat, S. R. and Chopra, V. L. 2004. Transformation of *Brassica oleracea* var. capitata with bacterial beta gene enhances tolerance to salt stress. *Scientia Horticulturae*, 100: 215-227.
- Blumwald, E. 2000. Sodium transport and salt tolerance in plants. *Current Opinion in Cell Biology*, 12: 431-434.
- Bozcuk, S. 1970. Water and salt relations of statics species with particular reference to the problem of halophytes. Ph.D. Thesis University of Sussex, UK.
- Chaves, M. M., Flexas, J. and Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103: 551-560.
- Dasgan, H. Y., Aktas, H., Abak, K. and Cakmak, I. 2002. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. *Plant Science*, 163: 695-703.
- Davenport, R. J. and Tester, M. 2000. A weakly voltage-dependent, nonselective cation channel mediates toxic sodium influx in wheat. *Plant Physiology*, 122: 823-834.
- Francois, L. E. 1994. Growth, seed yield and oil content of canola grown under saline conditions, *Agronomy Journal*, 86: 233-237.
- Hoai, N. T. T., Shim, I. S., Kobayashi, K. and Kenji, U. 2003. Accumulation of some nitrogen compound in response to salt stress and their relationships with salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Plant Growth Regulation*, 41: 159-164.
- Holden, M. 1976. Chlorophylls. In TW goodwin, ed. *Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments*, Academic Press, New York 2(1): 1-37.
- Hong-Bo, S., Li-Ye, C., Ming-An, S., Shi-Qing, L. and Ji-Cheng, Y. 2008. Bioengineering plant resistance to abiotic stress by the global calcium signal system. *Biotechnology Advances*, 26: 503-510.
- Husain, S., Munns, R. and Condon, A. G. 2003. Effect of sodium exclusion trait on chlorophyll and growth of durum wheat in saline soil. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54: 589-597.
- Hussain, T. M., Chanrasekhar, T., Hazara, M., Sultan, Z., Saleh, B. K. and Gopal, G. R. 2008. Recent advances in salt stress biology a review. *Biotechnology and Molecular Biology Review*, 3(1): 008-0013.
- Kao, W. Y., Tsai, T. T. and Shih, C. N. 2003. Photosynthetic gas exchange and chlorophyll a fluorescence of three wild soybean species in response to NaCl treatments. *Photosynthetica*, 41(3): 415-419.
- Maathuis, F. J. M. and Amtmann, A. 1999. K<sup>+</sup> Nutrition and Na<sup>+</sup> toxicity: The basis of cellular K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ratios. *Annals of Botany*, 84: 123-133.
- Mass, E. V. and Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance-Current assessment. U.S salinity laboratory. Agricultural Research Service. U.S Department of Agriculture. Riverside. California. 103(2): 115-134.
- Misra, A. N., Srivastava, A. and Strasser, J. R. 2001. Utilization of fast chlorophyll fluorescence technique in assessing the salt/ion sensitivity of mung bean and Brassica seedling. *Journal of Plant Physiology*, 158: 1173-1181.

- Mokhamed, A. M., Raldugina, G. N., Kholodova, V. P. and Kuznetsov, V. V. 2006. Osmolyte accumulation in different rape genotypes under sodium chloride salinity. *Russian Journal of Plant Physiology*, 53(5): 649-655.
- Munns, R. and James, R. A. 2003. Screening method for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant Soil*, 253: 201-218.
- Netondo, G. W., Onyango, J. C. and Beck, E. 2004. Sorghum and salinity: II. gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Science*, 44: 806-811.
- Niu, X., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M. and Pardo, J. M. 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*, 109: 735-742.
- Porcelli, C. A., Boem, F. H. G. and Lavado, R. S. 1995. The K/Na and Ca/Na ratios and rapeseed yield, under soil salinity or sodicity. *Plant and Soil*, 175: 251-255.
- Qasim, A. A. 1998. Effect of salinity on growth, proline accumulation and chlorophyll content during vegetative growth, flowering and seed formation of *Brassica juncea* L., *Agricultural Science*, 10(2): 145-152.
- Qasim, M., Ashraf, M., Jamil, M. A., Ashraf, M. Y., Rehman, S. U. and Rha, E. S. 2003. Water relations and leaf gas exchange properties in some elite canola (*Brassica napus*) lines under salt stress. *Annals Apply of Biology*, 142: 307-316.
- Rieger, M. and Litvin, P. 1998. Ion selective electrodes for measurement of sodium and chloride in salinity experiments. *Journal of Plant Nutrition*, 21: 205-215.
- Richie, H., Lowe, J. and Hamilton, L. 1967. Rapid method for determination of nitrate in plant and soil extracts. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 15(2): 359-361.
- Santos, C. L. V., Campos, A., Azevedo, H. and Calderia, G. 2001. In situ and in vitro senescence induced by KCl stress: nutritional imbalance, lipid peroxidation and antioxidant metabolism. *Journal of Experimental Botany*, 52(355): 351-360.
- Shabala, S., Shabala, L., Volkenburgh, E. V. and Newman, L. 2005. Effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves. *Journal of Experimental Botany*, 56(415): 1369-1378.
- Shannon, M. C. 1998. Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy*, 60: 75-119.
- Siddiqui, Z. S., Khan, M. A., Kim, B. G., Huang, J. S. and Kwon, T. R. 2008. Physiological responses of *Brassica napus* genotypes to combined drought and salt stress. *Plant stress*, 2(1): 78-83.
- 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.
- Stoeva, N. and Kaymakanova, M. 2008. Effect of salt stress on the growth and photosynthesis rate of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 9(3): 385-392.
- Sudhir, P. and Murthy, S. D. S. 2004. Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Photosynthetica*, 42(4): 481-486.
- Sultana, N., Ikeda, T. and Itoh, R. 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter. *Environmental and Experimental Botany*, 42: 211-220.
- Tester, M. and Davenport, R. 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91: 503-527.
- Thioyapong, P., Melkonian, J., Wolf, D. W. and Steffens, J. C. 2004. Suppression of polyphenol oxidases increases stress tolerance in tomato. *Plant Science*, 167: 693-703.
- Tucker, B. B. and Kurtz, L. T. 1961. Calcium and magnesium determinations by edta titrations. *Soil Science Society of America*, 25: 27-29.
- Yao, J., Shi, W. M. and Xu, W. F. 2008. Effects of salt stress on expression of nitrate transporter and assimilation-related genes in tomato roots. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55(2): 232-240.
- Zair, I., Chlyah, A., Sabounji, K., Tittahsen, M. and Chlyah, H. 2003. Salt tolerance improvement in some wheat cultivars after application of in vitro selection pressure. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 73: 237-244.
- Zhang, H. X., Hodson, J. N., Williams, J. P. and Blumwald, E. 2001. Engineering salt tolerant *Brassica* plants: characterization of yield and seed oil quality in transgenic plants with increased vacuolar sodium accumulation. *Academic Science, USA* 98: 12832-12836.
- Zhao, G. Q., Ma, B. L. and Ren, C. Z. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence and ion content of naked oat in response to salinity. *Crop Science*, 47: 123-131.
- Zhu, J. K. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 6: 441-445.
- Zlatev, Z. S. and Yordanov, I. T. 2004. Effect of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 30(3-4): 3-18.

## Effect of Salt Stress on Growth, Ionic Homeostasis and Ions Interaction in Sensitive and Tolerant Genotypes of Rapeseed (*Brassica napus* L.)

Atlassi Pak<sup>1\*</sup>, V., Nabipour<sup>2</sup>, M. and Meskarbashee<sup>2</sup>, M.

### Abstract

Salt stress inhibits plant growth and impair ionic homeostasis. Plant response to salinity stress is different at the cellular levels. In order to investigate the effect of salinity levels on growth, chlorophyll and ions content, an experiment was conducted in 2008, at the college of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. The experiment was a split plot design on Completely Randomized Design. The treatments included three levels of salinity and cultivars. In this experiment, shoot and root ionic contents were studied in three genotypes of rape plants (*Brassica napus* L.) that grown hydroponically under three levels of salinity (0, 100, 150 mM NaCl) at growth chamber. Salinity treatments were imposed to seedlings at the 4 true-leaf stage by 8 true leaf stage. Results showed that salt tolerant genotypes had more ability to accumulate toxic ions (Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup>) in their shoots. By increasing salt, shoots Cl<sup>-</sup> content increased and accumulation of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> reduced with increasing Cl<sup>-</sup> in shoots of all genotypes. Concentrations of shoot and root Ca<sup>2+</sup> were increased by increasing salinity in all genotypes. In salt tolerant genotypes, more increasing root Ca<sup>2+</sup>, helped to improve salinity tolerance. Increase in shoots Na<sup>+</sup> in salt sensitive genotype, resulted in a decline in chlorophyll a and b and quantum yield of PSII. Results indicated that high Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> accumulations in the shoots, were associated with salt tolerance in rapeseed.

**Keywords:** Chlorophyll, Salt tolerant, Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> Ions

---

1. Assistant professor, Department of Agriculture, Payame Noor University

2. Associate professors, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz

\*: Corresponding author      Email: v.atlassi@gmail.com