"مجله علوم زراعی ایران"
جلد سیزدهم، شماره ۱ بهار ۱۳۹۰

برهمکنش تنش خشکی و پتاسیم بر جذب و انتقال یون پتاسیم در دو رقم متحمل و حساس به خشکی کلزا (*Brassica napus* L.)

Interaction effect of potassium and drought stress on potassium ion uptake and transport in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars

بهروز صالحی اسکندری[۱]، بهمن خلدبرین[۲] و علی مرادشاهی[۳]

چکیده

صالحی اسکندری، ب.، ب. خلدبرین و ع. مرادشاهی. ۱۳۹۰. برهمکنش تنش خشکی و پتاسیم بر جذب و انتقال یون پتاسیم در دو رقم متحمل و حساس به خشکی کلزا (*Brassica napus* L.). **مجله علوم زراعی ایران. ۱۳ (۱) ۶۰-۴۹.**

جهت شناسایی برخی سازوکارهای تحمل به تنش خشکی در دو رقم حساس و متحمل به خشکی کلزا، آزمایشی در محیط آب‌کشت با چهار سطح تنش خشکی، حاصل از پلی‌اتیلن‌گلیکول انجام شد. حساس و متحمل بودن ارقام براساس وزن خشک ساقه و ریشه مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بررسی اثر تنش خشکی برجذب و انتقال یون پتاسیم، گیاهچه‌های ۸ روزه ارقام متحمل و حساس به فلاسک‌های حاوی ۵ میلی‌مولار کلرید پتاسیم منتقل و با استفاده از غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن‌گلیکول، تنش خشکی در چهار سطح (صفر ، ۰/۲۹- ، ۰/۴۸- و ۰/۷۱- مگاپاسکال) اعمال گردید. درآزمایش دیگر اثر غلظت‌های کلرید پتاسیم (صفر، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ میلی مولار) در تیمار خشکی متوسط پلی‌اتیلن‌گلیکول (۰/۴۸- مگاپاسکال) بر رشد گیاهچه‌های ارقام حساس و متحمل مورد مطالعه قرار گرفت. این دو آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با سه تکرار انجام شدند. اندازه‌گیری میزان پتاسیم ریشه و ساقه نشان داد که میزان یون پتاسیم در ریشه هر دو رقم با افزایش تنش خشکی، کاهش معنی‌داری داشت و در برگ‌ها با افزایش تنش خشکی کاهش بیشتری نشان داد. در تنش خشکی شدید، میزان یون پتاسیم رقم حساس نسبت به گروه شاهد، به علت نشت یونی، کاهش بیشتری نشان داد. میزان جذب و انتقال یون پتاسیم در رقم متحمل، در تمام سطوح تنش بیشتر از رقم حساس بود. ارزیابی نتایج مربوط به اثر غلظت‌های مختلف پتاسیم در خشکی متوسط نشان داد که در محیط‌های فاقد پتاسیم، رقم حساس برخلاف رقم متحمل دارای نشت یونی از ریشه بود، ولی با افزایش یون پتاسیم محیط میزان آن در ریشه و برگ هر دو رقم افزایش یافت و این افزایش در غلظت پایین (۲/۵ میلی‌مولار) پتاسیم مشهودتر بود. با توجه به نقش پتاسیم در تنظیم اسمزی و رفع آسیب اکسایشی، به نظر می‌رسد که پتاسیم می‌تواند در افزایش تحمل کلزا در برابر تنش خشکی کم و متوسط نقش موثر داشته باشد. میزان پتاسیم ساقه و ریشه در رقم متحمل بیشتر از رقم حساس بود که نشان دهنده وابستگی جذب و انتقال پتاسیم به ژنوتیپ است.

واژه‌های کلیدی: پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ ، تنش خشکی، غشای سلولی، کلزا و یون پتاسیم.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۸/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۶/۲۴

۱- عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور شاهین شهر (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: behsalehi@yahoo.com)
۲- استاد دانشگاه شیراز
۳- استادیار دانشگاه شیراز

مقدمه

بخش وسیعی از کشور ایران در دامنه نوسانات کمربندی پرفشار جنب حاره عرض ۲۳ تا ۴۰ درجه شمالی قرار دارد، جغرافیای ایران دارای تابستان‌های گرم وخشک بوده و بارندگی آن، عموماً به ماه‌های آبان تا اردیبهشت ماه سال بعد محدود می‌گردد (Nazemosadat, 2001). برای بررسی اثرات تنش کم آبی (با استفاده از تنظیم پتانسیل اسمزی) در محیط آب‌کشت (هیدروپونیک)، نیاز به موادی است که با مولکول‌های آب در محیط کشت درگیر شده و آن‌ها را از دسترس گیاه خارج نماید و در ضمن وجود این مواد در محیط کشت، فرایندهای بیولوژیکی گیاه را تحت تاثیر قرار ندهد، بدین منظور لاجرورف و همکاران (Lagerwerff *et al*.,1961) از بین ۱۳ ترکیب مختلف شیمیایی که اغلب آن‌ها پلیمرهایی هستند که در صنعت پلاستیک استفاده می‌شوند، پلی‌اتیلن‌گلیکول ۲۰۰۰ را به دلیل حلالیت بالا و چسبندگی کم آن توصیه کردند.

با خشک شدن خاک، پتانسیل ماتریک گیاهان منفی‌تر شده و آن‌ها قادر به جذب آب از محیط می شوند. گیاهان با تجمع مواد محلول در سلول، پتانسیل آبی خود را بدون تغییر در آماس، کاهش می دهند. اغلب این املاح سازگار شامل قند های محلول و الکلی (سوربیتول)، بتائین، اسیدهای آلی، اسیدهای آمینه (پرولین وگلیسین) و یون‌هایی مانند پتاسیم (K^+) می‌باشند (Bournoville and Bonnemain, 1996; Taize and Ziger, 1999).

یکی از وظایف اصلی پتاسیم نقش حمایتی آن در جلوگیری از تخریب سلول در برابر گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) است. کلروپلاست ها در تولید و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در تنش‌های محیطی از جمله خشکی، یخ زدگی، کمبود عناصرغذایی و شوری نقش دارند، این گونه‌های فعال اکسیژن به‌شدت سمّی بوده و باعث تخریب غشاهای سلولی، کاهش میزان کلروفیل، کلروزه و نکروزه شدن برگ‌ها می‌شوند. پتاسیم به‌وسیله افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدکننده این گونه‌های فعال را خنثی می‌نماید (Hu and Schmidhalter, 2005). کمبود پتاسیم، به‌علت کاهش هدایت روزنه‌ای، افزایش مقاومت مزوفیلی، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن باعث کاهش فتوسنتز شده و در شرایط نوری شدید نیاز به جذب پتاسیم، به منظور بالا بردن راندمان دستگاه فتوسنتزی و انتقال فراورده‌های فتوسنتزی به اندام‌های ذخیره‌ای، افزایش می‌یابد (Cakmak, 2005; Hu and Schmidhalter, 2005).

تنش خشکی موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تثبیت دی اکسید کربن می‌گردد که این کاهش منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن شده و در نهایت احیاء دی اکسید کربن در تنش کم‌آبی به‌شدت کاهش می‌یابد (Hu and Schmidhalter, 2005). اگر تنش خشکی با کمبود پتاسیم همراه شود، این صدمه‌ها شدیدتر خواهد شد و پتاسیم تحمل به کم‌آبی را درگیاهان القاء می‌نماید (Zheng et al., 2008). هدف از این پژوهش بررسی اثر متقابل تنش خشکی و پتاسیم برجذب و انتقال این عنصر در دو رقم متحمل و حساس کلزا بوده است.

مواد و روش‌ها

بذر دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) متحمل و حساس به خشکی با نام‌های آگایی (Ag) (متحمل) و PO4 (حساس) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس تهیه گردید.

در این آزمایش، ابتدا به منظور تأیید حساسیت و تحمل رقم‌های کلزا نسبت به خشکی، بذرها با محلول هیپوکلریت‌سدیم ۱۰ درصد به مدت ۱۵ دقیقه ضد عفونی شده و سپس چندین بار با آب معمولی شستشو داده شدند. بذرها به‌مدت سه روز در تاریکی و در

دمای آزمایشگاه بر روی سبدهای کشت، درون ظرف پلاستیکی حاوی آب معمولی قرار داده شدند. پس از آن گیاهچه‌ها به اتاق کشتی با دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی ، ۸ ساعت تاریکی و شدت نور ۷۰۰۰ لوکس منتقل شدند. پس از ۶ روز، گیاهچه‌ها به لیوان‌های پلاستیکی به قطر ۸/۵، ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر و حجم ۳۳۰ میلی‌لیتر حاوی محلول غذایی هوگلند، با یک دوم غلظت منتقل گردیدند. سپس به محلول غذایی مقادیر مختلف پلی اتیلن گلیکول۶۰۰۰ اضافه گردید تا پتانسیل‌های اسمزی صفر ، ۰/۱۴- ،۰/۴۸- و ۰/۷۱- مگاپاسکال براساس معادله میشل و کافمن حاصل شود (Michel and Kaufmann, 1973).محلول‌های غذایی در هر ساعت ۱۵ دقیقه هوا دهی شدند. برای ثابت نگه داشتن پتانسیل‌اسمزی، هر روز مقدار آب مصرف شده با آب مقطر جایگزین می‌شد. ۹ روز پس از شروع تیمارها، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه گیاهچه‌های ۱۶ روزه دو رقم اندازه گیری و ثبت شدند. به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر جذب و انتقال یون پتاسیم، گیاهچه‌های۸ روزه به فلاسک‌های ۱۳۰ میلی‌لیتری حاوی ۰/۵ میلی‌مولار سولفات کلسیم (جهت حفظ تمامیت غشاء) انتقال داده شدند. با افزودن مقدار معین پلی‌اتیلن‌گلیکول در زمان مشخص پتانسیل‌های اسمزی صفر، ۰/۲۹- ، ۰/۴۸- و ۰/۷۱- مگاپاسکال تهیه گردید، به فلاسک حاوی گیاهچه‌های کلزا ، ۵ میلی‌مولار کلرید پتاسیم افزوده و به مدت ۲۴ ساعت، روی شیکر با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه در دمای آزمایشگاه با شدت نور ۷۰۰۰ لوکس قرار داده شدند.

در آزمایش دیگر اثر غلظت‌های صفر، ۲/۵، ۵ ، ۷/۵ و۱۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم درتنش خشکی متوسط (۰/۴۸- مگاپاسکال) بر میزان جذب و انتقال پتاسیم در دو رقم متحمل و حساس بررسی گردید. گیاهچه‌های ۸ روزه به فلاسک‌های ۱۳۰ میلی‌لیتری که حاوی ۰/۵ میلی‌مولار سولفات کلسیم بود انتقال داده شدند، با افزودن مقدار معین پلی اتیلن گلیکول در زمان مشخص، پتانسیل اسمزی ۰/۴۸- مگاپاسکال تهیه گردید، سپس غلظت‌های مختلف کلرید پتاسیم (ذکر شده در بالا) به آن افزوده و با همان شرایط آزمایش قبلی به مدت۲۴ ساعت روی شیکر قرار داده شدند. در این آزمایش‌ها فلاسک‌های حاوی آب مقطر (شاهد) نیز به‌منظور تعیین میزان یون پتاسیم درون‌بافتی در نظر گرفته شد. به آب مقطر ظرف کنترل مربوط به تیمار پلی اتیلن گلیکول نیز سولفات کلسیم نیم مولار اضافه گردید. پس از ۲۴ ساعت، گیاهچه‌ها از محلول خارج شده و ریشه‌ها کاملا با آب مقطر شستشو داده شدند. برای مبادله یون‌های سطح ریشه با یون کلسیم، ریشه‌ها به مدت دو دقیقه در محلول ۱۰۰ میلی‌مولار نیترات کلسیم به‌آرامی حرکت داده شده و مجدداً چند بار با آب مقطر شستشو گردیدند. ریشه‌ها و ساقه‌ها از یکدیگر جدا شده و سپس تمام بافت ریشه و ۵ یا ۶ عدد از ساقه‌ها، در کاغذ صافی‌های جداگانه به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشکانده شدند. سپس بخش‌های هوایی و ریشه‌ها توزین شده و به‌طور جداگانه در لوله‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک با pH= ۴ به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند.

تعیین میزان یون پتاسیم اندام‌های هوایی و ریشه‌ها به روش شعله سنجی طیفی صورت گرفت. بدین منظور ابتدا جذب محلول‌های استاندارد تعیین و سپس طیف جذب محلول‌های پتاسیم در ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک مربوط به هر تیمار توسط دستگاه شعله سنجی اندازه‌گیری گردید، میزان یون پتاسیم مشخص شده در این روش، از میزان یون درون بافتی کسر گردید تا میزان جذب یون پتاسیم توسط گیاه بدست آید. میزان جذب یون پتاسیم (با توجه به تیمار پتاسیم برحسب میلی‌مول (C(mM) توسط بافت مورد مطالعه گیاه بر حسب میلی‌مول در کیلوگرم وزن خشک در ساعت با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید (Namjoo, 2003).

رابطه (۱) میزان جذب $(mmol.kg^{-1}.Dw.hr^{-1}) = [C(mM) \times 10\ ml\ /\ DW(\ kg)]\ /24$

این آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با سه تکرار انجام شد و تجزیه وتحلیل آماری کلیه داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SPSS 9 و مقایسه میانگین ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. جهت رسم نمودارها و منحنی استاندارد از برنامه Excel 2000 استفاده شد.

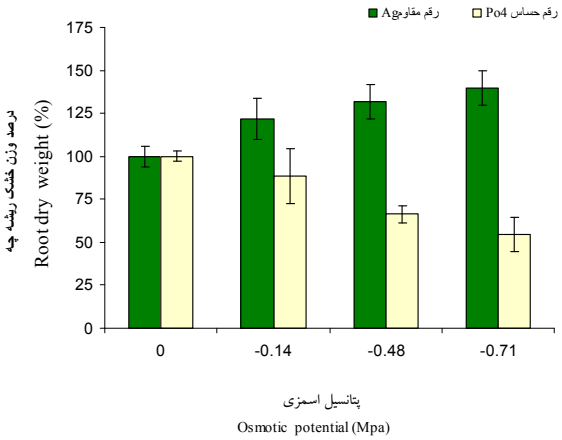
نتایج

اثر تنش خشکی بر وزن خشک ریشه‌چه

وزن خشک ریشه‌چه در رقم آگایی (Ag) در تمام تیمارها بر خلاف رقم PO4 با کاهش پتانسیل اسمزی، افزایش نشان داد که این افزایش از فقط در اولین سطح تنش(۰/۱۴- مگاپاسکال) معنی‌دار بود (شکل ۱). با کاهش پتانسیل اسمزی، وزن خشک ریشه‌چه رقم حساس (PO4) کاهش یافت. این کاهش درتنش خشکی متوسط و شدید (۰/۴۸- و ۱/۱۷- مگاپاسکال) معنی‌دار نبود.

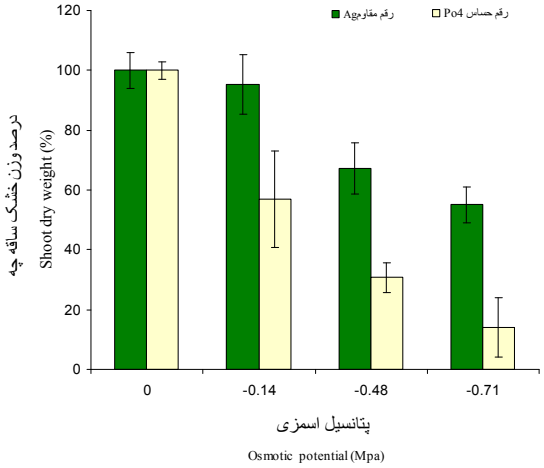
اثر تنش خشکی بر وزن خشک ساقه‌چه

نتایج تغییرات وزن خشک ساقه‌چه نشان داد که وزن خشک ساقه‌چه در هر دو رقم با کاهش پتانسیل اسمزی نسبت به گروه شاهد کاهش یافت (شکل۲). در پایین‌ترین سطح تنش خشکی (پتانسیل اسمزی ۰/۱۴- مگاپاسکال) این کاهش در رقم حساس در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. با کاهش پتانسیل اسمزی و افزایش تنش، وزن خشک ساقه‌چه در هر دو رقم نسبت به گروه شاهد کاهش معنی‌داری را نشان داد. در تمام پتانسیل‌های اسمزی رقم متحمل (Ag) کمترین و رقم حساس (PO4) بیشترین کاهش وزن خشک را داشتند.



شکل۱- اثر تنش خشکی بر درصد وزن خشک ریشه‌چه دو رقم حساس و متحمل کلزا نسبت به گروه شاهد

Fig.1. Effect of drought stress on root dry weight (%) of sensitive and tolerant canola cultivars. Each point is mean ±SE



شکل۲- اثر تنش خشکی بر درصد وزن خشک ساقه‌چه دو رقم حساس و متحمل کلزا نسبت به گروه شاهد

Fig.2. Effect of drought stress on shoot dry weight (%) of sensitive and tolerant canola cultivars. Each point is mean ± SE

اثر تنش خشکی برجذب یون پتاسیم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مربوط به اثر تنش خشکی بر جذب یون پتاسیم در دو رقم حساس و متحمل نشان دادکه جذب این یون در محیطی با غلظت ۵ میلی‌مولار یون پتاسیم توسط ریشه گیاهچه‌های رقم متحمل (Ag) در حضور پتانسیل‌های اسمزی ۰/۲۹- ،

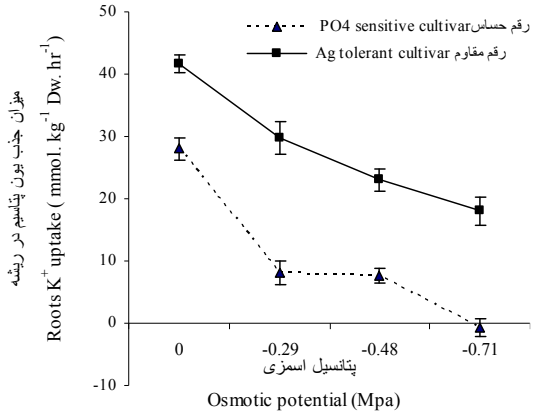
۰/۴۸- و ۰/۷۱- مگاپاسکال نسبت به گروه شاهد کاهش یافت (شکل۳ و جدول ۱). به عبارت دیگر با کاهش پتانسیل اسمزی جذب یون پتاسیم نیز کاهش یافت، به‌طوری که در کمترین پتانسیل اسمزی (۰/۷۱- مگاپاسکال) کمترین جذب یون مشاهده گردید. این تفاوت‌ها در تمام پتانسیل‌های اسمزی نسبت به سایر تیمارها معنی‌دار بود.

میانگین جذب یون پتاسیم توسط ریشه گیاهچه‌های رقم حساس (PO4) با کاهش پتانسیل‌های اسمزی بیشتر کاهش یافت. در پتانسیل اسمزی ۰/۷۱- مگاپاسکال و غلظت پتاسیم محیطی ۵ میلی‌مولار، علاوه بر این‌که جذب پتاسیم صورت نگرفته بلکه مقدار کمی پتاسیم (۰/۷ میلی‌مول در کیلوگرم وزن خشک) نیز از ریشه خارج شد. مقایسه جذب یون پتاسیم توسط ریشه گیاهچه‌های رقم حساس و متحمل به کم آبی در واکنش به پتانسیل اسمزی نشان داد که در گروه شاهد و تمام پتانسیل های اسمزی جذب یون پتاسیم توسط ریشه گیاهچه‌های رقم متحمل بیشتر از رقم حساس بود که این تفاوت‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار بودند.

اثر تنش خشکی بر میزان یون پتاسیم اندام‌های هوایی

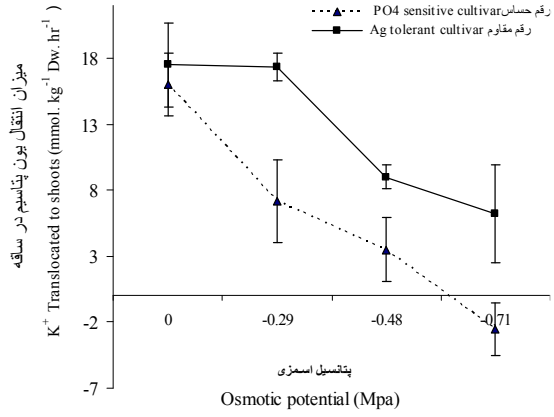
اثر تنش خشکی بر میزان یون پتاسیم برگ گیاهچه‌های رقم حساس و متحمل کلزا نشان داد که تنش خشکی کم (پتانسیل اسمزی ۰/۲۹- مگاپاسکال) بر میزان یون پتاسیم، اندام‌های هوایی رقم متحمل اثر معنی‌داری نداشت، ولی در پتانسیل‌های اسمزی پایین‌تر نسبت به گروه شاهد کاهش در میزان یون پتاسیم مشاهده شد (شکل ۴ و جدول ۱). این تفاوت‌ها نسبت به پتانسیل اسمزی بالاتر نیز معنی‌داربود. میزان پتاسیم در برگ گیاهچه‌های رقم حساس با افزایش تنش خشکی کاهش بیشتری نشان داد. ولی در تنش خشکی شدید (پتانسیل اسمزی ۰/۷۱- مگاپاسکال) به‌علت نشت یون پتاسیم، میزان یون پتاسیم نسبت به گروه شاهد ۲۵ درصد کاهش یافت.

مقایسه میزان پتاسیم اندام‌های هوایی رقم حساس و متحمل نشان داد که میانگین پتاسیم برگ گیاهچه‌های رقم حساس و متحمل در تیمار شاهد معنی‌دار نبود. در سایر پتانسیل‌های اسمزی همواره میزان پتاسیم رقم متحمل (Ag) بیشتر از رقم حساس (PO4) بود.



شکل۳- اثر پتانسیل اسمزی بر میزان جذب یون پتاسیم توسط ریشه دو رقم حساس و متحمل به کم آبی گیاهچه‌های کلزا. هر عدد میانگین سه تکرار ± (std× $t^2_{0.025}$) است

Fig.3. Effect of osmotic potential on root K^+ uptake of sensitive and tolerant canola cultivars. Each point is the mean of three repetition ± (std× $t^2_{0.025}$)



شکل۴- اثر پتانسیل اسمزی بر میزان انتقال یون پتاسیم به اندام های هوایی دو رقم حساس و متحمل به کم آبی گیاهچه‌های کلزا. هر عدد میانگین سه تکرار ± (std×$t^2_{0.025}$) است

Fig.4. Effect of Osmotic potential on K^+ translocated to the shoots of sensitive and tolerant canola cultivars . Each point is the mean of three repetition ± (std× $t^2_{0.025}$)

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تاثیر سطوح تنش خشکی بر میزان جذب پتاسیم از ریشه و انتقال آن به ساقه در دو رقم کلزا

Table 1. Analysis of variance for K^+ uptake and K^+ translocation to the shoots in drought stress treatments in sensitive and tolerant canola cultivars

			میانگین مربعات (MS)	
S.O.V منابع تغییر		درجه آزادی d.f	میزان جذب پتاسیم ریشه K^+ uptake	میزان انتقال پتاسیم به ساقه K^+ translocation to the shoots
Cultivar (C)	رقم	1	1814.820**	280.098**
Drought (D)	خشکی	3	740.490**	280.944**
C×D	رقم × خشکی	3	18.690**	26.212*
Error	خطای آزمایش	16	3.432	6.369
CV(%)	ضریب تغییرات		9.5	23.6

*, **: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۲- اثر پتانسیل‌های اسمزی پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ بر نسبت پتاسیم ساقه به ریشه (درصد) در دو رقم حساس و متحمل کلزا

Table 2. Effect of osmotic potentials (PEG6000) on K^+ shoot: root (%) in sensitive and tolerant canola cultivars

ارقام کلزا Canola cultivars		پتانسیل های اسمزی پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ Osmotic potentials PEG (MPa)			
		0	-0.29	-0.48	-0.71
Drought sensitive (PO4)	رقم حساس	57.14 b	88.51 a	46.1 c	-*
Drought tolerant (Ag)	رقم متحمل	41.96 c	58.1 b	39.13 cd	34.44 d

* علامت منفی به علت نشت یون از ریشه است

*Negative value is due to transudation of K^+ from roots

اثر پتانسیل‌های اسمزی بر نسبت پتاسیم اندام‌های هوایی به ریشه

نتایج تغییرات نسبت درصد پتاسیم ساقه‌چه به ریشه‌چه نشان داد که در هر دو رقم با شروع تنش خشکی (۰/۲۹- مگاپاسکال)، درصد پتاسیم ساقه‌چه به ریشه‌چه نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافت ولی در تنش خشکی متوسط (۰/۴۸-مگاپاسکال) انتقال پتاسیم از ریشه به ساقه نسبت به گروه شاهد کاهش یافت و این کاهش فقط در رقم حساس در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش خشکی شدید (۰/۷۱- مگاپاسکال) میزان انتقال پتاسیم را در هر دو رقم کاهش داد که این کاهش در رقم متحمل به‌جز تنش خشکی متوسط، در بقیه تیمارها معنی‌دار بود.

اثر غلظت‌های پتاسیم بر جذب یون پتاسیم

نتایج تغییرات میزان جذب یون پتاسیم توسط ریشه تحت تیمارهای مختلف پتاسیم و تنش خشکی متوسط (پتانسیل اسمزی ۰/۴۸- مگاپاسکال) نشان داد که در هر دو رقم با افزایش غلظت پتاسیم میزان جذب یون نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌داری یافت، ولی این افزایش در بقیه تیمارها در رقم حساس معنی‌دار نبود و در رقم متحمل نیز به‌جز غلظت ۱۰ میلی‌مولار، بقیه تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵ و جدول۴). رقم متحمل در تمام تیمارها، میزان جذب پتاسیم بیشتری نسبت به رقم حساس داشت و در تیمار پتاسیم صفر، برخلاف رقم حساس، نشت پتاسیم مشاهده نشد.

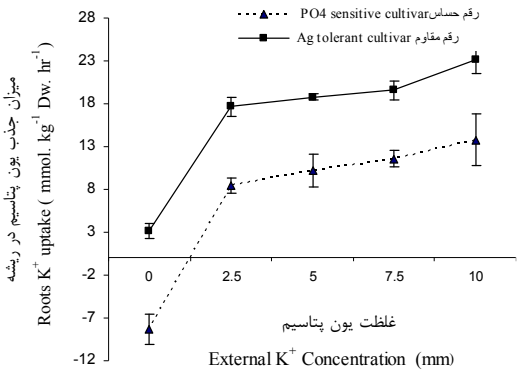
اثر غلظت‌های پتاسیم بر میزان یون پتاسیم در اندام‌های هوایی

نتایج میزان پتاسیم اندام‌های هوایی در تنش خشکی متوسط نشان داد که میانگین یون پتاسیم در

برگ گیاهچه‌های هر دو رقم با افزایش غلظت پتاسیم در تیمارها افزایش یافت (شکل ۶). این افزایش در رقم متحمل به‌جز گروه شاهد معنی‌دار نبود، ولی در رقم حساس تمام غلظت‌ها به‌جز تیمار ۱۰ میلی‌مولار پتاسیم در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵ و جدول۳). مقایسه میزان یون پتاسیم برگ گیاهچه‌ها در غلظت‌های مختلف پتاسیم حاوی پتانسیل اسمزی ۰/۴۸- مگاپاسکال نشان داد که میانگین یون پتاسیم برگ گیاهچه‌های حساس و متحمل فقط در تیمار پتاسیم صفر با هم اختلاف معنی‌دار نداشته و در سایر غلظت‌ها میزان یون پتاسیم رقم متحمل به‌صورت معنی‌داری بیشتر از رقم حساس بود.

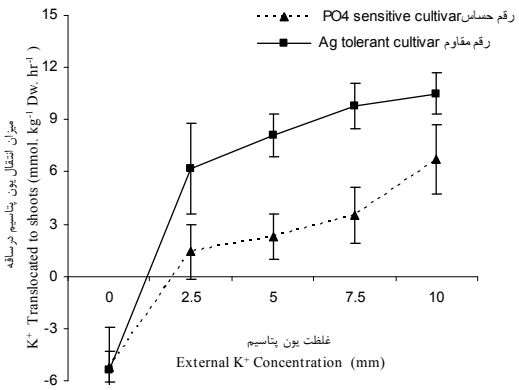
اثر غلظت‌های پتاسیم در تنش خشکی متوسط بر نسبت پتاسیم اندام‌های هوایی نسبت به ریشه

داده‌های حاصل از تغییرات نسبت پتاسیم ساقه به ریشه در تنش خشکی متوسط(۰/۴۸- مگاپاسکال) نشان داد که به‌جز گروه شاهد، با افزایش غلظت پتاسیم، میزان پتاسیم در اندام‌های هوایی رقم حساس افزایش داشت، به‌طوری‌که هر تیمار نسبت به تیمارهای قبل



شکل۵- اثر غلظت‌های پتاسیم در تنش خشکی متوسط بر جذب یون پتاسیم توسط ریشه گیاهچه‌های دو رقم حساس و متحمل به کم‌آبی کلزا. هر عدد میانگین سه تکرار ± (std× $t^2_{0.025}$) است

Fig .5. Effect of external K^+ concentration in medium drough on K+ uptake by the roots of sensitive and tolerant canola cultivars. Each point is the mean of three repetition ± (std× $t^2_{0.025}$)



شکل ۶- اثر غلظت‌های پتاسیم تنش خشکی متوسط بر میزان انتقال پتاسیم به اندام‌های هوایی دو رقم حساس و متحمل به کم‌آبی کلزا. هر عدد میانگین سه تکرار ± (std× $t^2_{0.025}$) است

Fig.6. Effect of external K^+ concentration in medium drought on K+ translocated to the shoots of sensitive and tolerant canola cultivars. Each point is the mean of three repetition ± (std× $t^2_{0.025}$)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف پتاسیم در تنش خشکی متوسط بر میزان جذب پتاسیم از ریشه و انتقال آن به ساقه در دو رقم کلزا

Table .3. Analysis of variance for K^+ uptake and translocation to the shoots in medium drought stress treatments in sensitive and tolerant canola cultivars

			میانگین مربعات (MS)	
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	میزان جذب پتاسیم ریشه K^+ uptake	میزان انتقال پتاسیم به ساقه K^+ translocation to the shoots
Cultivar (C)	رقم	1	679.728**	126.075**
Potassium (K^+)	پتاسیم	4	434.213**	173.898**
C× K^+	رقم × پتاسیم	4	4.331 ns	10.050*
Error	خطای آزمایش	20	2.361	2.920
CV(%)	ضریب تغییرات		13.01	22.98

ns: Non-significant

ns: غیر معنی‌دار

*, **: Significant at 5 and 1% probabilitylevels, respectively

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴- اثر غلظت های پتاسیم در تنش خشکی متوسط(۰/۴۸- مگا پاسکال) پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ بر نسبت پتاسیم ساقه به ریشه در دو رقم حساس و متحمل کلزا

Table .4.Effect of K^+concentrations on K^+ shoot: root (%) of sensitive and tolerant canola cultivars in medium drought stress (-0.48 MPa) (PEG 6000)

ارقام کلزا Canola Cultivars		غلظت‌های پتاسیم K^+ concentrations (mM)				
		0	2.5	5	7.5	10
Drought Sensitive (PO4)	رقم حساس	-*	16.67 f	22.55 e	30.17 d	48.55 a
Drought Tolerant (Ag)	رقم متحمل	-*	35.02 c	43.1 b	50 a	45.5 ab

* علامت منفی به علت نشت یون از ریشه است

*Negative value is due to transudation of K^+ from roots

خود افزایش معنی‌دار نشان داد (جدول۴). میزان انتقال پتاسیم از ریشه به برگ گیاهان رقم متحمل در تنش خشکی متوسط تا غلظت ۷/۵ میلی‌مول پتاسیم افزایش یافت. تیمار ۱۰ میلی‌مول پتاسیم برخلاف رقم حساس، میزان انتقال پتاسیم به برگ‌ها را نسبت به تیمار ۷/۵ میلی‌مول کاهش داد که این اختلاف معنی‌دار نبود. مقایسه میزان انتقال پتاسیم از ریشه به برگ‌ها درخشکی متوسط دو رقم نشان داد که در تمام غلظت‌های پتاسیم میزان انتقال در رقم متحمل بیشتر از رقم حساس بود که این تفاوت‌ها در تمام غلظت‌ها به‌جز در تیمار ۱۰میلی‌مول معنی‌دار بود.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاهش وزن خشک ساقه‌چه که با افزایش تنش رابطه خطی داشت، مشاهده شد (شکل ۱). رقم متحمل کمترین کاهش وزن را در بیشترین تنش خشکی (۰/۷۱- مگاپاسکال) داشت. کاهش وزن ساقه گیاهان تحت تنش همراه با کاهش رشد طولی سلول هاست که از کاهش فشار آماس و حجم سلول‌ها ناشی شده (Boyer,1988) و یا به‌دلیل مسدود شدن آوند های چوبی و آبکش از هرگونه انتقال ممانعت می‌شود (Lovisolo and Schuber, 1998). در این آزمایش تغییرات چشمگیری در افزایش وزن خشک ریشه رقم متحمل تحت تنش خشکی کم (۰/۱۴- مگاپاسکال) نسبت به گروه شاهد مشاهده شد (شکل ۲). این نتایج با یافته‌های ویو و کوسگروف (Wu and Cosgrove, 2000) مطابقت دارد. آنها گزارش کردند که ریشه‌ها در پتانسیل آبی ۰/۰۲ - مگاپاسکال تا ۱/۶- مگاپاسکال، قادر به رشد می‌باشند. در آزمایش آنها اگرچه میزان رشد ریشه‌ها در پتانسیل‌های پایین (نزدیک به۱/۶- مگاپاسکال) کاهش یافت، ولی رشد ساقه در پتانسیل‌های پایین کاملاً متوقف شده بود. در آزمایشی که روی دو گونه گندم انجام شد، مشخص گردید که گونه‌های متحمل و حساس به کم‌آبی در پاسخ به تنش خشکی، افزایش قابل توجهی در وزن خشک و تعداد ریشه‌های فرعی داشتند که این افزایش در رقم متحمل همواره به‌صورت معنی‌داری بیشتر از رقم حساس بود (Abdalla and Khoshiban, 2007). گزارش شده است که در گیاهان تحت تنش خشکی، با افزایش نسبت وزن ریشه به وزن اندام هوایی، توانایی آنها برای جذب آب از خاک افزایش یافته و این موضوع منجر به افزایش تحمل گیاه به خشکی می‌شود (Mataa *et al*., 1997; Prior *et al*., 1997) تغییرات وزن خشک ریشه و ساقه (شکل ۱ و ۲) در کلیه تیمارهای تنش خشکی در آزمایش حاضر، متحمل و حساس بودن ارقام را مورد تائید قرار داد.

یکی از علائم تنش خشکی حاصل از کم‌آبی یا شوری در گیاهان، پژمرده شدن آن‌ها به دلیل کمبود پتاسیم بوده (Cakmak, 2005) و میزان پژمردگی به ژنوتیپ گیاه بستگی دارد (Ashraf and O'Leary, 1996). در این پژوهش نیز کاهش میزان جذب و انتقال پتاسیم در گیاهان تحت

تنش خشکی مشاهده شد که همواره میزان پتاسیم رقم متحمل بیشتر از رقم حساس بود (شکل۳ و ۴). پتاسیم عمدتاً در گیاهان به عنوان یک تنظیم کننده اسمزی مهم محسوب شده و ۵۰ - ۳۰ درصد از پتانسیل اسمزی بافت‌های برگی مسن بوسیله پتاسیم تنظیم می شود (Zheng *et al.*, 2008). در این پژوهش کاهش میزان انتقال یون پتاسیم از ریشه به ساقه رقم متحمل، در خشکی متوسط و شدید مشاهده شد (جدول۲) که نشان دهنده اهمیت تنظیم اسمزی در ریشه برای کاهش پتانسیل آبی ریشه و افزایش جذب آب می‌باشد. در مقابل میزان انتقال یون پتاسیم در خشکی کم، افزایش یافت. گزارش‌های مشابهی مبنی بر افزایش نیاز گیاه به یون پتاسیم همراه با انباشته شدن آن در برگ گیاهان ناشی از دوره طولانی مدت خشکی وجود دارد که نشان‌دهنده نقش این یون در تنظیم عملکرد روزنه‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان دربرگ‌ها می‌باشد (Cakmak, 2002).

ما و همکاران (Ma *et al.*, 2004) عنوان کردند که سهم انباشتگی یون پتاسیم در تنظیم اسمزی القاء شده توسط تنش خشکی برگ‌های بالغ سه ژنوتیپ کلزا، حدود ۲۵ درصد بوده است. گزارش‌های دیگری این سهم را در ارقام گندمی که توانایی تنظیم اسمزی بالایی دارند، حدود ۷۸ درصد بیان کرده‌اند (Morgan, 1992). بنابراین به نظر می رسد که سهم پتاسیم در تنظیم اسمزی کلزا پایین می‌باشد و این گیاهان با تجمع تنظیم کننده‌های اسمزی دیگر آن را جبران می نمایند. در این تحقیق نیز احتمالاً به‌همین دلیل، در تنش خشکی کم، میزان انتقال یون پتاسیم از ریشه به برگ هر دو رقم افزایش یافته تا از تولید رادیکال‌های آزاد و در نهایت صدمه و آسیب سلول‌های گیاهی جلوگیری نماید. اگر تنش خشکی شدید باشد پلاسمولیز کامل انجام شده و محتوی سلول‌ها به بیرون تراوش می‌کند، در نتیجه سلول‌ها از بین می‌روند (Bournoville and Bonnemain, 1996). بنابراین کاهش پتاسیم در پتانسیل‌های اسمزی پایین ممکن است به‌وسیله قندهای شش کربنه جبران گردد. در این آزمایش در پتانسیل ۰/۷۱- مگاپاسکال در برگ رقم حساس کلزا نه تنها جذبی صورت نگرفت، بلکه نسبت به گروه شاهد کاهش پتاسیم نیز مشاهده گردید که به نظر می‌رسد به علت پلاسمولیز، محتوای پتاسیمی سلول‌ها به بیرون تراوش کرده است.

پتاسیم علاوه بر تنظیم اسمزی، تنظیم عملکرد روزنه‌ها در چندین فرایند فیزیولوژیک دیگر مانند فتوسنتز، تخلیه فراورده‌های فتوسنتزی در بافت‌های مخزن، فعالیت آنزیم‌ها ، سنتز پروتئین ، توازن بار و کاهش جذب یون‌هایی مثل سدیم و آهن در خاک‌های شور و غرقابی نقش دارد (Cakmak, 2005; Hu and Schmidhalter 2005). در آزمایش حاضر تحت تنش خشکی متوسط، با افزایش غلظت پتاسیم، میزان جذب و انتقال آن در هر دو رقم افزایش یافت و میزان انتقال در رقم متحمل همواره بیش از رقم حساس بود (شکل‌های ۵، ۶و جدول ۴). نتایج سایرتحقیقات نشان داده است که افزایش غلظت پتاسیم در شرایط تنش شوری، باعث کاهش اثرات این تنش در دو رقم حساس و متحمل گندم می‌شود (Zheng *et al.*, 2008).

با توجه به صدمات مخرب و غیر قابل جبران تنش خشکی شدید، به‌علت نشت یون پتاسیم از ریشه، کاهش مشهود انتقال یون پتاسیم به اندام‌های هوایی در رقم حساس کلزا مشاهده گردید. بنابراین به نظر می‌رسد که می‌توان از کود پتاسیم در تنش خشکی ملایم و متوسط برای تخفیف اثرات مخرب ناشی از این تنش استفاده نمود. نقش و عملکرد اصلی یون پتاسیم در اندام‌های هوایی که بیشتر در معرض تنش قرار دارند، محسوس‌تر است. اثرات متفاوت خشکی شدید بر جذب و انتقال یون پتاسیم در دو رقم حساس و متحمل نشان می‌دهد که جذب و انتقال آن وابسته به ژنوتیپ است. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات تکمیلی، آزمایش در سطح مزرعه و با استفاده از ارقام گیاهی

مختلف با ارزیابی پارامترهای فیزیولوژیکی بیشتر انجام شود.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله برخود لازم می‌دانند از زحمات آقای دکتر حمید دهقان زاده، سرکار خانم مهندس مریم مظاهری، سرکار خانم مهندس هاجر قربان‌نژاد نی‌ریزی و آقای مهندس منصور خراتی تشکر و قدردانی نمایند.

منابع مورد استفاده **References**

Abdalla, M. M. and E. Khoshiban. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticium aestivum* cultivars. J. Appl. Sci. Res. 3(12): 2062-2074.

Ashraf, M. and J. W. O'Leary. 1996. Responses of newly developed salttolerant genotype of spring wheat to salt stress: yield components and ion distribution. Agron. Crop Sci. 176: 91–101

Bournoville, C. G. and L. Bonnemain. 1996. Water deficit-induced changes in concentration proline and some other amino acides in the phloem sap of alfa alfa. Plant Physiol. 111: 109-113.

Boyer, J. S. 1988. Cell enlargement and growth – induced water potentials. Plant Physiol. 73: 311-316.

Cakmak, I. 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. Plant Soil. 247: 3–24.

Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. J. Plant Nut. Soil Sci. 168: 521–530.

Hu, Y. and U. Schmidhalter. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168: 541–549.

Lagerwerff, J. V. G. Ogata and H. E. Eagle. 1961. Control of osmotic pressure of culture solutions with Polyethylen Glycol. Science, 133: 1486-1787.

Lovisolo, C. and A. Schuber. 1998. Effects of water stress on vessel size xylem hydraulic conductivity in *Vitis vinifera L*. J. Exp. Bot. 49(321): 693-700.

Ma, Q., F. D. W. Turner, D. Levy and W. A. Cowling. 2004. Solute accumulation and osmotic adjustment in leaves of *Brassica* oilseeds in response to soil water deficit. Aus. J. Agron. Res. 55: 939–945.

Mataa, M., S. Tominaga and I. Kozaki. 1997. Relative effects of growth retardant (paclobutrazal) and water stress on tree growth and photosynthesis in ponkan (*Citrus reticulata* Blanco). J. Jap. Soc.Hort. Sci. 67: 1-28.

Michel, B. E. and R. K. Kaufmann. 1973. The osmotic potential of Polyethylen Glycol 6000. Plant Physiol. 67: 64-67.

Morgan, J. M. 1992. Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. Aust. J. Plant Physiol. 19: 67–76.

Namjoo, S. 2003. Comparison of biochemical and physiological responses of sensitive and tolerant cultivars of

wheat (*Tiriticum aestivum*) to saltity. MSc thesis in plant physiology, Shiraz University. (In Persian).

Nazemosadat, J. 2001. Are there rain? Shiraz University publishers. pp.12-18 . (In Persian)

Prior, S. A., G. B. Runion, R. J. Mitchell, H. H. Rogers and J. S. Amthor. 1997. Effects of atmospheric CO2 on long leaf pine: productivity and allocation as influenced by nitrogen and water. Tree Physiol. 17: 397-405.

Taize, L and E. Ziger. 1999. Plant Physiology. Sinauer Associates. Inc. publishers.

Wu, Y. and D. J. Cosgrove. 2000. Adaptive of root to low water potential by change in cell wall extensibility and cell wall proteins. J. Exp. Bot. 51: 1543-1553.

Zheng, Y., J. Aijun., N. Tangyuan., J. Xud., L. Zengjia and J. Gaoming. 2008. Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. J. Plant Physiol. 165: 1455-1465.

Interaction effect of potassium and drought stress on potassium uptake and transport in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars

Salehi Eskandari, B.[1], B. Kholdebarin[2] and A. Morad Shahi[3]

ABSTRACT

Salehi Eskandari, B., B. Kholdebarin and A. Morad Shahi. 2010. Interaction effect of potassium and drought stress on potassium ion uptake and transport in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. **Iranian Journal of Crop Sciences. 13 (1) 49-60. (In Persian)**

Drought stress is an ever-increasing problem that severely limits crop production worldwide particularly in arid and semi–arid areas. The effect of water stress simulated by polyethylene glycol-6000 (PEG 6000) on K^+ uptake and transport responses in two canola cultivars was studied. Based on their plumule and radicle dry weight, AG and PO4 cultivars were selected as the high and the low drought tolerant, respectively. The effect of drought stress (0, -0.29, -0.48 and -0.71 MPa) on K^+ uptake and transport in these two cultivars grown in nutrient solutions containing 5 mM KCl was studied. In a second experiment, the rate of K^+ uptake from different concentrations of KCl at a fixed water potential (-0.48 MPa) was also studied. Both of experiments were carried out in comletely randomized design in factorial layout with three replications. K^+ uptake was determined by flame photometry. Water stress reduced the rates of K^+ uptake by the two cultivars. However, the observed reduction was more pronounced in drought stress sensitive cultivar. The rate of K^+ uptake by the two cultivars increased by the increase in K^+ concentration. Increase in K^+ uptake was more pronounced in tolerant cultivar. In the absent of K^+, water stress caused K^+ endogenous leakage which was greater in sensitive cultivar indicating cell membrane damage by water stress. Results showed that under water stress K^+ uptake by canola cultivars was different and K^+ alleviated some deleterious effects of drought stress.

Key Word: Canola, Cell membrane, Drought stress, PEG 6000 and Potassium ion.

Received: October, 2009 Accepted: September, 2010

1- Faculty member, Payame Noor University of Isfahan, Isfahan, Iran. (Corresponding author)
(Email: behsalehi@yahoo.com)
2- Prof., Shiraz University, Shiraz, Iran
3- Assistant Prof , Shiraz University, Shiraz, Iran