اثر متقابل پتاسیم و بُر بر عملکرد و جذب عناصر کم‌مصرف در تربچه (*Raphanus sativus* L.) در شرایط تنش شوری

مریم جودکی[۱]، حسین شریعتمداری[۱] و مهران شیروانی[۱]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۱۲/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۱۳)

چکیده

به علت استفاده بی‌رویه از منابع آب آبیاری بی‌کیفیت، بسیاری از زمین‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران با پدیده شوری مواجه هستند. از آنجا که شوری موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود باید به دنبال راه‌کارهایی برای مقابله با آثار سوء نمک بر رشد گیاهان در این خاک‌ها بود. یکی از این راه‌کارها، جلوگیری از تجمع نمک در گیاهان به صورت فیزیولوژیک و افزایش مقاومت آنها به شوری است. این پژوهش گلخانه‌ای با هدف بررسی اثر متقابل پتاسیم و بُر بر عملکرد و جذب برخی عناصر کم‌مصرف در ریشه و اندام هوایی گیاه تربچه تحت تنش شوری انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه سطح پتاسیم (۱، ۴ و ۸ میلی‌مولار)، سه سطح بُر (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر) و سه سطح شوری (۱، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) در محیط کشت ماسه کوارتز با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل پتاسیم و بُر بر عملکرد وزن‌تر و خشک اندام هوایی، عملکرد وزن‌تر ریشه و همچنین جذب عناصر بُر، آهن، مس، روی و منگنز در سطوح مختلف شوری معنی‌دار حداکثر عملکرد وزن‌تر و خشک ریشه و اندام هوایی مربوط به سطح پتاسیم ۸ میلی‌مولار بود. همچنین، بیشترین جذب عناصر بُر، آهن و منگنز در اندام هوایی و بیشترین جذب بُر، آهن و مس جذب عناصر کم‌مصرف بُر، آهن، منگنز و مس در ریشه، در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، نسبت به شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر بود. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، حداکثر عملکرد اندام هوایی و جذب بُر در ریشه، جذب روی در اندام هوایی و جذب منگنز در ریشه و اندام هوایی، در حضور ۸ میلی‌مولار پتاسیم و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر بُر مشاهده شد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر نیز جذب بُر و منگنز در اندام هوایی و بُر و آهن در ریشه، در حضور ۴ میلی‌مولار پتاسیم و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر بُر مشاهده شد. بر اساس نتایج این پژوهش، سطوح شوری و غلظت متفاوت پتاسیم و بُر، بر اثر متقابل این دو عنصر، در نهایت بر عملکرد و جذب عناصر کم‌مصرف در گیاه اثرگذارند.

کلمات کلیدی: بُر، تغذیه، پتاسیم، تربچه، شوری

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: jodakymaryam@yahoo.com

مقدمه

میزان پتاسیم در خاک‌ها متغیر است. در نواحی مرطوب، خاک‌هایی که با آب رودخانه آبیاری می‌شوند، به علت اضافه شدن پتاسیم محلول در آب، نسبت به خاک‌هایی که نیازی به آبیاری ندارند پتاسیم بیشتری دارند. پتاسیم نقش به‌سزایی در گیاهان بازی می‌کند و تا کنون مطالعات زیادی در رابطه با اثرهای پتاسیم بر گیاهان مختلف انجام شده است. گوپتا و همکاران (۱۴) بیان کردند که پتاسیم، با تنظیم فتوسنتز، موجب بهبود عملکرد و رشد گیاه تحت تنش کم‌آبی می‌شود. مطالعات اشرف و خانم (۸) نیز نشان داد که رقابت پتاسیم با سدیم یکی از مکانیزم‌های فیزیولوژیک مهم تحمل تنش شوری در گیاهان می‌باشد. طبق گزارش چرل (۱۲)، پتاسیم در تعادل پتانسیل غشاء سلولی، فعال نمودن برخی آنزیم‌ها و تنظیم فشار اسمزی در گیاهان نقش مهمی را بازی می‌کند. در بین کمبودهای عناصر کم‌مصرف، کمبود بُر پس از آهن و روی، بزرگترین خسارت را به گیاهان وارد می‌سازد و در برخی گیاهان صدمه آن از تمام عناصر کم‌مصرف دیگر بیشتر است. بُر، بر مقاومت گیاهان در تنش اثر مثبتی دارد. میزان نیاز گیاهان مختلف به بُر و اثر آن در رشد و عملکرد گیاهان باعث شد که بررسی‌های متعددی تا کنون روی میزان نیاز گیاهان به این عنصر انجام گیرد. به عنوان نمونه، طبق مطالعات پاسپیسیل (۱۷) به کار بردن ۵۰ لیتر در هکتار ترکیب ۳٪ نیتروژن و ۴٪ بُر، رشد و عملکرد ریشه چغندرقند را افزایش داد. مسئله دیگری که در تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح است مسئله شوری و کم‌آبی است. امروزه، به علت استفاده بی‌رویه از منابع طبیعی و به‌کارگیری مدیریت نامناسب آبیاری، قسمت اعظم زمین‌های کشاورزی مناطق خشک با پدیده شوری مواجه هستند (۱۵). بنابراین، با نبود آب مناسب برای آبشویی خاک‌های شور باید به دنبال راه‌کارهایی برای کشت گیاهان و افزایش تولید در این خاک‌ها بود. یکی از این راه‌کارها، ممانعت از تجمع نمک در گیاهان به صورت فیزیولوژیک و افزایش مقاومت آنها به شوری است (۲). پتاسیم و بُر نقش مهمی در تشکیل دیواره سلولی گیاهان و فعالیت آنزیم ATP-ase در انتقال آب و یون‌ها دارند (۳، ۵ و ۱۳). به همین دلیل، در این پژوهش، از این دو عنصر مهم برای افزایش مقاومت تربچه به شوری استفاده شده است. از طرفی، رابطه این عناصر در گیاه با سدیم آنتاگونیستی بوده و می‌توانند موجب افزایش مقاومت به شوری تربچه شوند.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل با سه سطح بُر (۰/۱ ، ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر از منبع H_3BO_3)، سه سطح پتاسیم (۱، ۴ و ۸ میلی‌مولار از منابع KH_2PO_4، KNO_3، K_2HPO_4 و K_2SO_4) و سه سطح شوری (هدایت الکتریکی ۱، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر از منبع NaCl) و با تیمار شاهد (۴ میلی‌مولار پتاسیم، ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر بُر و هدایت الکتریکی برابر ۱ دسی‌زیمنس بر متر) با سه تکرار، در گلخانه مرکز پژوهشی کشت بدون خاک، گروه خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، انجام شد. برای آماده‌سازی گلدان‌ها، ابتدا ماسه از جنس شن کوارتزی که با مشخصات موجود در جدول ۱ تهیه شده بود، با آب شهری شسته شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در اسید کلریدریک ۳٪ قرار گرفت. سپس، بستر ماسه با آب شهری و با آب مقطر شسته شده و در آون با دمای $105\ ^{\circ}C$ به مدت ۲۴ ساعت خشک شد (۴ و ۲۱). در ته هر گلدان یک لایه کاغذ صافی قرار داده و در حدود یک کیلوگرم ماسه استریل شده به عمق ۲ سانتی‌متر در هر گلدان ریخته شد (۲۱).

قبل از کاشت، ابتدا بذرهای تربچه (*Raphanus sativus*) به مدت ۴ دقیقه در هیپوکلریت سدیم ۵٪ قرار داده و سه بار با آب دی‌یونیزه شده یا آب مقطر استریل شسته شد. سپس، ۶ عدد بذر در عمق یک سانتی‌متری بستر هر گلدان قرار گرفتند (۲۱). محلول‌های غذایی طبق فرمول چلیک و همکاران (۱۱) ساخته شد و pH آنها با HCl یا NaOH ۰/۱ مولار روی ۰/۱ ± ۵/۵ و EC آنها توسط ترکیبات موجود در جدول ۲ بین ۱۴۰۷-۹۸۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تنظیم شد.

جدول ۱. مشخصات ماسه مورد استفاده

نام اکسید	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
درصد	۹۸/۱۰	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۱۵	۰/۰۶

جدول ۲. ترکیب شیمیایی و غلظت عناصر در محلول غذایی پایه

عنصر غذایی	غلظت در محلول (میلی‌مولار)	منابع عنصر غذایی
N	۶	KNO_3, $Ca(NO_3)_2$
P	۱	KH_2PO_4, K_2HPO_4
Ca	۳	$Ca(NO_3)_2$, $CaSO_4.2H_2O$, $Ca(OH)_2$
Mg	۲	$MgSO_4.7H_2O$, MgO
S	۲	K_2SO_4, $CaSO_4.2H_2O$, $MgSO_4.7H_2O$
	میکرومولار	
Fe	۹۰	FeEDDHA(٪۶ Fe)
Zn	۲	$ZnSO_4.7H_2O$
Mn	۲	$MnSO_4.4H_2O$
Cu	۱	$CuSO_4.5H_2O$
Na	۰/۱	NaCl
Cl	۰/۱	NaCl
Mo	۰/۰۵	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$

محلول‌های غذایی ذخیره برای هر عنصر به طور جداگانه در ظروف پلاستیکی آماده و در یخچال نگهداری شدند. محلول‌های غذایی به کار رفته در سطوح مختلف B و K و در شرایط شوری متفاوت با حجم‌های متفاوت با هم ترکیب و استفاده شدند (۱۱). تیمارهای بُر و پتاسیم یک هفته بعد از کاشت گیاه و تیمارهای شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب در پایان مرحله دو برگی و در پایان مرحله چهار برگی اعمال شدند. علت این امر، رشد مطلوب گیاه و مقاومت آن در برابر بر هم خوردن تعادل ناگهانی عناصر بود. این آزمایش در گلخانه با دوره نوری ۱۰:۱۴ (تاریکی: روشنایی) در دمای بین ۱۰ تا ۲۸ درجه سلسیوس انجام شد. در پایان مرحله دو برگی، گیاهان تنک و چهار گیاه تربچه در هر گلدان باقی ماند. بعد از گذشت ۴۵ روز، گیاهان برداشت شدند. ریشه و اندام هوایی آنها با آب مقطر شسته و بعد از خروج آب اضافی گیاهان و اندازه‌گیری وزن‌تر اندام هوایی و ریشه، درون پاکت‌های کاغذی به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس درون آون خشک و در نهایت وزن خشک ریشه و اندام هوایی تعیین شد. عصاره‌های گیاهی به روش خاکسترگیری خشک و هضم با اسید کلریدریک ۲ نرمال تهیه و غلظت عناصر آهن، روی، منگنز و مس در عصاره‌ها به وسیله دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل AA۲۰۰ اندازه‌گیری شد. غلظت عنصر بُر موجود در نمونه‌ها نیز به روش خاکسترگیری خشک و هضم با اسید سولفوریک ۰/۳۶ نرمال به روش Azomethine-H و به کمک دستگاه طیف‌سنج

جدول ۳. اثر متقابل شوری، پتاسیم و بُر بر وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی

EC[e] (dS/m)	پتاسیم (mM)	بُر (mg/L)	عملکرد تر اندام هوایی(g/pot)	عملکرد خشک اندام هوایی (g/pot)	عملکرد تر ریشه (g/pot)	عملکرد خشک ریشه (g/pot)
		۰/۱	۴/۷۳l	۰/۸۴f-i	۴/۸۲g	۰/۷۳f-i
	۱	۰/۲	۵/۱۵i–l	۰/۹f-i	۴/۶۹g	۰/۶۵g-k
		۰/۳	۴/۸۴kl	۰/۸۲f-i	۵/۲۳fg	۰/۶۷g-k
		۰/۱	۵/۸۳g–j	۰/۹۶ef	۵/۰۶g	۰/۶i-k
۱	۴	۰/۲	۴/۹jkl	۰/۸۲f-i	۴/۷۷g	۰/۶۸g-k
		۰/۳	۵/۰۲i–l	۰/۷۵hi	۶/۵۶def	۰/۹۰b-e
		۰/۱	۸/۷۶bc	۱/۲۵abc	۸/۰۲bc	۰/۹۹abc
	۸	۰/۲	۸/۵۳cd	۱/۲۶abc	۸/۷۱b	۱/۰۵a
		۰/۳	۸/۴۳cd	۱/۳۲ab	۸/۳۹b	۱/۰۴ab
		۰/۱	۵/۶۱h–l	۰/۸۷e–h	۵/۲۹efg	۰/۶۷g-k
	۱	۰/۲	۵/۸۸ghi	۰/۸۳f–i	۵/۲۹efg	۰/۶۰i-l
		۰/۳	۶/۶۲fg	۰/۹۴efg	۴/۷۵g	۰/۵۸jkl
		۰/۱	۵/۹۷ghi	۰/۷۹ghi	۴/۵۱g	۰/۴۹l
۴	۴	۰/۲	۴/۷۵l	۰/۶۹i	۴/۴۰g	۰/۵۸jkl
		۰/۳	۵/۱۷i–l	۰/۸۴f–i	۵/۰۰g	۰/۶۹g-j
		۰/۱	۹/۵۱ab	۱/۲۲bc	۱۰/۴۹a	۰/۹۵a-d
	۸	۰/۲	۱۰/۴۲a	۱/۳۹a	۶/۹۵cd	۰/۸۷c-f
		۰/۳	۸/۵۷bcd	۱/۲۱bc	۶/۶۱de	۰/۸۸cde
		۰/۱	۵/۷۴g–j	۱/۰۲de	۵/۰۳g	۰/۵۸jkl
	۱	۰/۲	۷/۱۹ef	۰/۸۷e–h	۴/۵۷g	۰/۶۷jkl
		۰/۳	۶/۱۶gh	۰/۸۶e–h	۴/۸۲g	۰/۵۴kl
		۰/۱	۷/۶۴de	۱/۰۲def	۵/۲۷fg	۰/۶۲h-l
۸	۴	۰/۲	۶/۱۴gh	۰/۹۳efg	۴/۵۲g	۰/۵۹i-l
		۰/۳	۶/۲۴gh	۰/۸۶e–h	۴/۵۸g	۰/۵۹i-l
		۰/۱	۹/۸۳bc	۱/۲۱bc	۶/۸۶cd	۰/۷۶e-h
	۸	۰/۲	۸/۴۷cd	۱/۱۵cd	۶/۷۰cd	۰/۷۸efg
		۰/۳	۸/۹۷bc	۱/۲۶abc	۶/۹۱cd	۰/۸۴def
LSD (۰/۰۵)		$LSD_K= LSD_B= LSD_{EC}$	۰/۳۳	۰/۰۵۵	۰/۴۴	۰/۰۴۹
		$LSD_{K*B}= LSD_{B*EC}= LSD_{K*EC}$	۰/۵۵	۰/۰۹۵	۰/۷۶۸	۰/۰۸۵

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

LSD (۰/۰۵): مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل اختلاف معنی‌دار، در سطح آماری ۵٪

نوری، در طول موج ۴۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۱۰ و ۱۶). در نهایت، مقدار عناصر جذب شده از حاصل ضرب عملکرد خشک گیاه در غلظت عنصر محاسبه شد. داده‌های حاصل از آزمایش تیمارهای طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل، که در مجموع ۸۱ تیمار بودند، با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه آماری شدند و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش LSD انجام شد (۱۸).

نتایج و بحث

عملکرد وزن تر و خشک گیاه

اثر پتاسیم بر عملکرد وزن‌تر و خشک ریشه و اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. با توجه به جدول ۳، افزایش سطح پتاسیم موجب افزایش معنی‌دار عملکرد وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی شد. از آنجایی که پتاسیم به طور مستقیم و غیر مستقیم در بسیاری از اعمال حیاتی گیاه نقش دارد، موجب افزایش عملکرد در گیاه می‌شود (۶). برهمکنش پتاسیم و شوری نیز بر عملکرد وزن تر ریشه و اندام هوایی به ترتیب در سطح ۵٪ و ۱٪ معنی‌دار بود. در سه سطح شوری ۱، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، به کار بردن غلظت پتاسیم بین ۴ و ۸ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر افزایش عملکرد تر اندام هوایی داشت. پتاسیم موجب تأمین انرژی مورد نیاز برای جذب عناصر می‌شود. به این ترتیب، مانع مصرف انرژی لازم برای فعالیت‌های ضروری انرژی‌خواه در گیاه می‌شود و رشد گیاه با مشکل مواجه نمی‌شود (۱). اثر متقابل بُر و شوری بر عملکرد وزن تر ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، افزایش سطح بُر از ۰/۱ به ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر موجب کاهش معنی‌دار عملکرد وزن تر ریشه شد. برهمکنش پتاسیم، بُر و شوری نیز بر عملکرد وزن تر اندام هوایی و ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، در حضور ۸ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیهٔ گیاه با بُر بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش وزن تر ریشه شد. همچنین، اثر متقابل پتاسیم و شوری بر عملکرد وزن خشک اندام هوایی در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. در هر سه سطح شوری، افزایش سطح پتاسیم از ۴ به ۸ میلی‌مولار موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد. اثر متقابل پتاسیم، بُر و شوری بر عملکرد وزن خشک اندام هوایی در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم، حضور بُر بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش و بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر موجب کاهش معنی‌دار عملکرد خشک اندام هوایی شد. علت این امر احتمالاً از طرفی سمیت پتاسیم و بُر در گیاه و از طرف دیگر تنش شوری و اختلال در جذب عناصر و کاهش رشد گیاه است. افزایش سطح شوری نیز در سطح ۱٪ اثر معنی‌داری بر عملکرد وزن خشک ریشه داشت و با افزایش شوری، عملکرد ریشه کاهش یافت. علت این امر را نیز می‌توان حساس بودن گیاه تربچه به تنش شوری و اختلال در فعالیت‌های متابولیسمی گیاه دانست.

جذب بُر در گیاه

پتاسیم در سطح ۱٪ اثر معنی‌داری بر جذب بُر در اندام هوایی داشت. با توجه به جدول ۴، بیشترین جذب بُر در اندام هوایی مربوط به سطح ۴ میلی‌مولار پتاسیم بود. این در حالی است که افزایش غلظت بُر در محیط کشت موجب افزایش معنی‌دار جذب بُر در سطح آماری ۱٪ در ریشه شد. اثر متقابل پتاسیم و شوری نیز بر جذب بُر در ریشه و اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در سه سطح شوری ۱، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با غلظت بین ۱ و ۴ میلی‌مولار پتاسیم موجب افزایش جذب بُر در اندام هوایی شد. برهمکنش بُر و شوری در سطح ۱٪ اثر معنی‌داری بر جذب بُر در ریشه داشت. در شوری ۱، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، با به کار بردن بُر، افزایش معنی‌داری در جذب بُر توسط ریشه مشاهده شد. یکی از علل احتمالی این امر می‌تواند خسارت به غشاء سلولی و افزایش انتشار بُر به داخل سلول ریشه باشد. تحت تنش شوری و غلظت زیاد بُر، جذب بُر در گیاه تربچه، که گیاهی حساس به شوری است، از جذب

جدول ۴. اثر متقابل شوری، پتاسیم و بُر بر جذب بُر و آهن توسط ریشه و اندام هوایی

EC (dS/m)	پتاسیم (mM)	بُر (mg/L)	جذب بُر در اندام هوایی (µg/pot)	جذب بُر در ریشه (µg/pot)	جذب آهن در اندام هوایی (µg/pot)	جذب آهن در ریشه (µg/pot)
		۰/۱	۶۱/۴۸ ij	۱۱۲/۱۳b–e	۳۰/۵۰i–f	۱۳۴/۷۲ijk
	۱	۰/۲	۷۰/۲۱e–h	۱۰۱/۹۱d-g	۲۷/۶۷hij	۲۰۹/۴۴b–h
		۰/۳	۸۹/۰۴ab	۸۹/۹۱f-j	۳۹/۷۵bc	۱۹۲/۷۸d–j
		۰/۱	۹۰/۲۸ab	۷۹/۰۵h-l	۲۹/۷۵f–i	۱۸۶/۶۷d–i
۱	۴	۰/۲	۸۱/۹۷bc	۵۵/۰۴m	۳۳/۵c–h	۲۲۵a–g
		۰/۳	۷۰/۷۱efg	۱۲۶/۵۶abc	۳۱/۶۷d–i	۱۸۰/۲۸f–k
		۰/۱	۶۴/۷۷f–i	۱۳۲/۰۴ab	۲۳jk	۱۶۱/۶۷g–k
	۸	۰/۲	۷۳/۹۵cde	۹۱/۷۱e-i	۳۴/۲۵c–h	۱۸۳/۰۶e–k
		۰/۳	۷۱/۵۹def	۱۲۶/۱۷abc	۳۰/۸۳e–i	۱۴۶/۱۱h–k
		۰/۱	۵۷/۶۳ij	۷۳/۷۳i-m	۳۶/۰۸b–f	۱۷۸/۳۳f–k
	۱	۰/۲	۹۰/۸۱a	۶۲/۴۶klm	۲۸hij	۱۲۴/۷۲jk
		۰/۳	۶۲/۳۸hij	۶۸/۶۲j-m	۳۸/۱۷bcd	۱۹۱/۹۴d–j
		۰/۱	۷۲/۶۳def	۸۰/۹۰g-k	۲۸/۸۳g–j	۲۹۲/۲۲a
۴	۴	۰/۲	۷۰/۲۹e–h	۷۲/۳۵i-m	۳۴/۹۲c–g	۲۳۵a–f
		۰/۳	۸۹/۱۴ab	۹۶/۲۴d-h	۴۱/۸۳ab	۲۰۸/۶۱b–g
		۰/۱	۹۲/۳۱a	۷۹/۲۶h-l	۲۸/۳۳g–j	۲۴۳/۶۱a–f
	۸	۰/۲	۵۸/۹۵ij	۵۸/۷۶lm	۲۹g–j	۲۲۰/۵۶a–g
		۰/۳	۷۹/۶۰cd	۸۲/۰۹g-k	۳۷/۴۲b–e	۲۵۳/۶۱a–e
		۰/۱	۸۸/۷۱ab	۸۴/۲۴g-k	۳۶/۱۷b–f	۲۴۰/۲۸a–f
	۱	۰/۲	۷۲/۶۹def	۷۸/۸۰h-l	۲۸/۵۸g–j	۲۷۵/۵a–d
		۰/۳	۸۱/۳۷bc	۱۱۵/۶۰a-d	۱۶/۷۵k	۲۷۵ab
		۰/۱	۶۳/۲۶g–j	۸۲/۱۸g-k	۴۷/۹۲a	۱۲۲/۲۲jk
۸	۴	۰/۲	۹۰/۸۱a	۱۰۷/۴۹c-f	۴۰bc	۱۱۲/۵k
		۰/۳	۹۵/۴۴a	۱۳۴/۴۹a	۲۸/۳۳g–j	۲۹۱/۳۹a
		۰/۱	۹۰/۸۱a	۸۲/۹۶g-k	۲۵/۵ij	۲۶۷/۵abc
	۸	۰/۲	۷۱/۵۹def	۹۹/۸۰d-h	۲۷/۸۳hij	۱۵۳/۸۹g–k
		۰/۳	۵۶/۵۹j	۸۳/۲۵g-k	۳۴/۰۸c–i	۱۹۶/۹۵c–i
LSD (۰/۰۵)		$LSD_K= LSD_B= LSD_{EC}$	۲/۶۹	۷/۲۸	۲/۲۳	۵۶/۵۱
		$LSD_{K*B}= LSD_{B*EC}= LSD_{K*EC}$	۴/۶۵	۱۲/۶۲	۳/۸۶	۹۷/۹۴

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

LSD (۰/۰۵): مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل اختلاف معنی‌دار، در سطح آماری ۵٪

فعال به غیرفعال (انتشار) تغییر می‌کند (۷). اثر متقابل پتاسیم، بُر و شوری نیز بر جذب بُر در ریشه و اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، در غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار جذب بُر در ریشه و اندام هوایی شد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، و در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم، با افزایش غلظت بُر در محیط کشت، جذب بُر در اندام هوایی به صورت معنی‌داری کاهش یافت. احتمالاً علت کاهش جذب بُر، عدم انتقال آن از ریشه به اندام هوایی در اثر اختلال در جذب آب در اثر شوری و یا کاهش تبخیر و تعرق در گیاه بوده است (۶ و ۲۰). در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، در سطوح ۱ و ۴ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر اثر معنی‌داری بر افزایش جذب بُر توسط ریشه داشت، زیرا بین پتاسیم و بُر در گیاه رابطه سینرژیسم وجود دارد.

جذب آهن در گیاه

اثر پتاسیم بر جذب آهن در اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. اثر متقابل پتاسیم و شوری نیز بر جذب آهن در ریشه و اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. با توجه به جدول ۴، در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، افزایش غلظت پتاسیم از ۱ به ۴ میلی‌مولار، موجب افزایش معنی‌دار جذب آهن در ریشه شد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با پتاسیم بین ۱ و ۴ میلی‌مولار در اندام هوایی موجب افزایش و در ریشه موجب کاهش معنی‌دار جذب آهن توسط ریشه شد زیرا سدیم با کاهش ظرفیت غشاء سلولی مانع جذب بُر توسط ریشه می‌شود. اثر متقابل بُر و شوری نیز بر جذب آهن توسط ریشه و اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر اثر معنی‌داری بر افزایش جذب آهن در اندام هوایی و کاهش جذب آهن در ریشه داشت، که احتمالاً دلیل آن کاهش رشد و اندازه ریشه گیاه در این شوری است (۲۲). در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار جذب آهن توسط ریشه و کاهش معنی‌دار جذب آهن در اندام هوایی شد، که دلیل آن احتمالاً کاهش رشد ریشه در اثر سمیت بُر و سدیم و کاهش جذب آب اسمزی در اثر شوری و عدم انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی است. اثر متقابل پتاسیم، بُر و شوری نیز بر جذب آهن توسط ریشه و اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و ۱ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار جذب آهن در اندام هوایی شد و در سطح ۴ و ۸ میلی‌مولار پتاسیم نیز تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر اثر معنی‌داری بر افزایش جذب آهن در اندام هوایی داشت. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، و در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیهٔ گیاه با بُر موجب افزایش معنی‌دار جذب آهن در اندام هوایی شد که ممکن است علت این افزایش، کاهش نسبت Na/K و افزایش جذب بُر با تأمین انرژی لازم برای جذب بُر در سلول، توسط پتاسیم باشد (۹). در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، در سطح ۴ میلی‌مولار پتاسیم نیز تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر اثر معنی‌داری بر جذب آهن در ریشه داشت و در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر موجب کاهش معنی‌دار جذب آهن توسط ریشه شد.

جذب روی در گیاه

اثر بُر بر جذب روی در ریشه و اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. طبق جدول ۵، با افزایش بُر، جذب روی در ریشه افزایش، ولی در اندام هوایی کاهش یافت. در سطوح زیاد بُر، رابطه بین روی و بُر آنتاگونیسم بود و بنابراین منجر به کاهش جذب روی در اندام هوایی شد (۱۹). علت این امر، اختلال در انتقال روی از ریشه به اندام هوایی به دلیل کاهش تبخیر و تعرق بود. اثر متقابل پتاسیم و شوری نیز در ریشه و اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر، با افزایش غلظت پتاسیم در محلول

جدول ۵. اثر متقابل شوری، پتاسیم و بُر بر جذب روی و مس توسط ریشه و اندام هوایی

EC (dS/m)	پتاسیم (mM)	بُر (mg/L)	جذب روی در اندام هوایی (µg/pot)	جذب روی در ریشه(µg/pot)	جذب مس در اندام هوایی (µg/pot)	جذب مس در ریشه (µg/pot)
		۰/۱	۷/۹g–c	۹/۷۸m–h	۵/۰۲abc	۱۹/۴e–j
	۱	۰/۲	۷/۴۴d–i	۱۱/۴۴d–h	۴/۳۳c–g	۲۶/۱b
		۰/۳	۷/۳۷d–k	۸/۳۴m	۴/۶۸b–e	۱۹/۱f–j
		۰/۱	۸/۷۸abc	۹/۲۹i–m	۵/۳۳ab	۲۳/۵۹b–e
۱	۴	۰/۲	۶/۵i–m	۸/۶۵lm	۴/۴۹b–f	۱۷/۳۷ij
		۰/۳	۷/۰۶f–l	۱۱/۴۸d–h	۳/۴۹g–j	۲۱d–j
		۰/۱	۶/۶۲h–m	۱۴/۸۵ab	۲/۴kl	۲۴/۵۳bcd
	۸	۰/۲	۷/۰۷f–l	۹/۶۸h–m	۳/۵۷g–j	۱۶/۷۴j
		۰/۳	۶/۹۱g–l	۱۳/۲۴bcd	۴/۶۵b–e	۲۵/۵۶bc
		۰/۱	۸b–f	۸/۲۸m	۳/۴۵g–j	۱۷/۵۹hij
	۱	۰/۲	۷/۴۷d–j	۸/۸klm	۳/۶۵f–j	۲۳/۷۴bcd
		۰/۳	۶/۳۳lm	۱۰/۱۲g–m	۲/۹۹jkl	۱۸/۹۲f–j
		۰/۱	۶/۸۳h–l	۱۳/۶۴abc	۴/۸۳a–d	۳۳/۹۶a
۴	۴	۰/۲	۸/۲۸bcd	۱۲/۰۹c–g	۴/۶۶b–e	۳۴/۱۱a
		۰/۳	۴/۱۹n	۱۰/۹۸e–j	۳/۵g–j	۱۹/۰۹f–j
		۰/۱	۶/۳۷klm	۱۲/۱۴c–g	۳/۳۳hij	۲۵/۷۸bc
	۸	۰/۲	۶/۵۶h–m	۱۰/۷۹e–k	۲/۳۸kl	۱۸/۳۸g–j
		۰/۳	۹/۳۳a	۱۱/۲۱d–i	۳/۸۹e–h	۲۳/۹۲bcd
		۰/۱	۷/۰۴f–l	۱۲/۸۱b–e	۳/۵۴g–j	۲۲/۵۷b–g
	۱	۰/۲	۷/۵۳e–h	۱۱/۵۸c–h	۳/۷۲f–j	۲۶/۷۳b
		۰/۳	۵/۶۷m	۱۵/۶۶a	۲/۱۱l	۲۴/۰۸bcd
		۰/۱	۷/۲۴e–l	۱۲/۴۴c–f	۴/۰۵d–h	۲۱/۷۴c–h
۸	۴	۰/۲	۸/۹۵ab	۱۲/۱۵c–g	۳/۱۵ijk	۲۲/۸۷b–f
		۰/۳	۸/۸۹abc	۱۱/۵d–h	۴/۱۹c–h	۲۰/۶۸e–j
		۰/۱	۶/۴۴j–m	۱۰/۵۳f–l	۳/۵g–j	۲۲/۹۶b–f
	۸	۰/۲	۸/۸۲abc	۸/۹۶j–m	۵/۷a	۱۷/۲۴ij
		۰/۳	۸/۱۲b–e	۱۲/۱۵c–g	۳/۷۱f–j	۲۱/۱۳d–i
LSD (۰/۰۵)		LSDK= LSDB= LSDEC	۰/۳۳	۰/۷	۰/۲۹	۱/۴۳
		LSDK*B= LSDB*EC= LSDK*EC	۰/۵۸۳	۱/۲۱	۰/۵۱	۲/۴۷

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

LSD (۰/۰۵): مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل اختلاف معنی‌دار، در سطح آماری ۵٪

غذایی، مقدار روی جذب شده در اندام هوایی کاهش و توسط ریشه افزایش یافت. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با پتاسیم بین ۱ و ۴ میلی‌مولار در اندام هوایی موجب کاهش و در ریشه موجب افزایش جذب روی شد. در این شوری، به کار بردن پتاسیم با غلظت بین ۴ و ۸ میلی‌مولار موجب افزایش معنی‌دار جذب روی در اندام هوایی شد و در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر به کار بردن پتاسیم با غلظت بین ۱ و ۴ میلی‌مولار در اندام هوایی موجب افزایش و در ریشه موجب کاهش جذب روی شد و بین ۴ و ۸ میلی‌مولار پتاسیم موجب کاهش معنی‌دار جذب روی در گیاه شد. اثر متقابل بُر و شوری نیز بر مقدار روی جذب شده در اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، به کار بردن غلظت بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، به دلیل سمیت بُر و سدیم، موجب کاهش معنی‌دار جذب روی در اندام هوایی شد. همچنین، در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش معنی‌دار جذب روی توسط ریشه شد، که دلیل آن می‌تواند رابطه آنتاگونیسم بین بُر و سدیم و اثر متقابل هم‌افزایی روی و بُر در ریشه گیاه باشد (۲۲). اثر متقابل پتاسیم، بُر و شوری نیز بر جذب روی در ریشه و اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر، در سطح ۴ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر، موجب کاهش معنی‌دار جذب روی در اندام هوایی شد. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، در سطح ۱ میلی‌مولار پتاسیم، موجب کاهش و در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم موجب افزایش معنی‌دار جذب روی در اندام هوایی شد و در سطح ۴ میلی‌مولار پتاسیم، به کار بردن غلظت بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر موجب کاهش معنی‌دار جذب روی در اندام هوایی شد. در اندام هوایی، در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، در سطح ۱ میلی‌مولار پتاسیم و تغذیه گیاه با بیش از ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر بُر، جذب روی به دلیل سمیت سدیم به صورت معنی‌داری کاهش یافت. ولی در سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار، به کار بردن بُر با غلظت بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر، در محیط کشت موجب افزایش جذب روی در اندام هوایی شد. در ریشه نیز در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر، در سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش معنی‌دار جذب روی در ریشه شد. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، در سطح ۴ میلی‌مولار، تغذیه گیاه با بُر موجب کاهش جذب روی در ریشه شد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، و در سطوح ۱ و ۸ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش معنی‌دار جذب روی در ریشه شد.

جذب مس در گیاه

اثر پتاسیم بر جذب مس در ریشه و اندام هوایی به‌ترتیب در سطوح ۵٪ و ۱٪ معنی‌دار بود. طبق جدول ۵، بیشترین مس جذب شده در اندام هوایی و ریشه مربوط به تیمار ۴ میلی‌مولار پتاسیم بود. اثر متقابل پتاسیم و شوری نیز بر جذب مس در ریشه و اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر، به کار بردن پتاسیم در محیط کشت با غلظت بین ۴ و ۸ میلی‌مولار، جذب مس را در اندام هوایی کاهش داد. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با پتاسیم با غلظت بین ۱ و ۴ میلی‌مولار موجب افزایش جذب مس در ریشه و اندام هوایی شد و بین ۴ و ۸ میلی‌مولار موجب کاهش معنی‌دار جذب مس در ریشه و اندام هوایی شد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با پتاسیم بین ۱ و ۴ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر افزایش جذب مس در اندام هوایی داشت. در حالی که جذب مس در ریشه با افزایش غلظت پتاسیم کاهش یافت. احتمالاً علت این امر، انتقال مس از ریشه به اندام هوایی در حضور پتاسیم در گیاه می‌باشد. اثر متقابل بُر و شوری نیز بر جذب مس در ریشه و اندام هوایی به ترتیب در سطوح ۱٪ و ۰/۰۵، معنی‌دار بود. در شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس

جدول ۶. اثر متقابل شوری، پتاسیم و بُر بر جذب منگنز توسط ریشه و اندام هوایی

EC (dS/m)	پتاسیم (mM)	بُر (mg/L)	جذب منگنز در اندام هوایی (µg/pot)	جذب منگنز در ریشه (µg/pot)
		۰/۱	۷۷/۵۸ab	۱۰۰fg
	۱	۰/۲	۴۶g–j	۱۳۹/۲۵cde
		۰/۳	۴۸/۴۲f–i	۱۳۷/۷۵cde
		۰/۱	۸۳/۳۳a	۱۴۱/۰۰cde
۱	۴	۰/۲	۳۵/۸۳j	۹۸/۰۸g
		۰/۳	۶۳/۴۲cd	۱۱۲/۵۸cfg
		۰/۱	۳۶/۸۳j	۱۳۹/۵۸cde
	۸	۰/۲	۶۱/۰۸de	۱۳۱/۸۳d–g
		۰/۳	۵۹/۴۲de	۱۸۹/۸۳ab
		۰/۱	۵۹/۶۷de	۱۳۵/۱۷def
	۱	۰/۲	۵۸/۰۸def	۱۳۸/۰۸cde
		۰/۳	۳۹/۴۲ij	۹۸/۵۰g
		۰/۱	۵۹/۶۷de	۱۷۲/۴۲bc
۴	۴	۰/۲	۵۸/۰۸def	۱۷۱/۹۲bc
		۰/۳	۳۹/۴۲ij	۱۴۲/۹۲cde
		۰/۱	۴۳/۵۸hij	۱۸۹/۲۹ab
	۸	۰/۲	۴۰/۷۵hij	۱۴۰/۰۸cde
		۰/۳	۷۸/۸۳ab	۲۱۸/۸۳a
		۰/۱	۴۰/۷۵hij	۱۴۶/۰۸bcd
	۱	۰/۲	۴۴hij	۱۳۹/۵۰cde
		۰/۳	۳۸/۹۲ij	۱۹۵/۲۵ab
		۰/۱	۵۶/۰۸d–g	۱۲۱/۴۲d–g
۸	۴	۰/۲	۶۳cd	۱۳۹/۵۸cde
		۰/۳	۷۸/۱۷ab	۱۵۱/۷۵cd
		۰/۱	۳۸/۶۷ij	۱۴۰/۳۳cde
	۸	۰/۲	۷۲/۰۸bc	۱۲۰/۰۸d–g
		۰/۳	۵۰/۵۸e–h	۱۲۲/۱۷d–g
LSD (۰/۰۵)	$LSD_K= LSD_B= LSD_{EC}$		۳/۶۱	۱۱/۷۹
	$LSD_{K*B}= LSD_{B*EC}= LSD_{K*EC}$		۶/۲۵	۲۰/۴۴

میانگین های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ فاقد اختلاف معنی دار هستند.

LSD ۰/۰۵ : مقایسه میانگین ها با روش حداقل اختلاف معنی دار، در سطح آماری ۵٪.

بر متر، به کار بردن غلظت بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر در ریشه، موجب کاهش معنی‌دار جذب مس شد. احتمالاً، علت این امر، سمیت ناشی از سدیم است و در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر نیز این روند در اندام هوایی مشاهده شد، که علت آن می‌تواند عدم انتقال مس از ریشه به اندام هوایی در اثر شوری، تنش اسمزی و اختلال در جذب آب باشد. همچنین، با افزایش غلظت بُر در محیط کشت، در اثر سمیت بُر و آسیب به سلول‌های ریشه، جذب مس توسط ریشه کاهش می‌یابد. بنابراین، انتقال مس به اندام هوایی نیز کاهش می‌یابد (۲۲). اثر متقابل پتاسیم، بُر و شوری نیز بر جذب مس در اندام هوایی و ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر، در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر موجب افزایش معنی‌دار جذب مس در اندام هوایی در سطح ۱٪ شد. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم نیز تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار جذب مس در اندام هوایی شد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، در سطوح ۱ و ۴ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، جذب مس را در اندام هوایی افزایش داد. ولی در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم، موجب کاهش معنی‌دار جذب مس در اندام هوایی شد. در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر، در سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، جذب مس را در ریشه افزایش داد. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، در سطح ۱ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، به علت کمبود پتاسیم، موجب کاهش معنی‌دار جذب مس در ریشه شد و در سطح ۴ میلی‌مولار پتاسیم نیز تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، موجب کاهش معنی‌دار جذب مس در ریشه شد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر با غلظت بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر موجب کاهش معنی‌دار جذب مس در ریشه شد. احتمالاً غلظت زیاد پتاسیم و سدیم موجب بر هم خوردن تعادل عناصر و در نتیجه جذب مس در سلول‌های ریشه شد.

جذب منگنز در گیاه

اثر پتاسیم بر جذب منگنز در اندام هوایی و ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. طبق جدول ۶، بیشترین جذب منگنز در اندام هوایی در سطح ۴ میلی‌مولار و در ریشه در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم مشاهده شد. اثر بُر نیز بر جذب منگنز در اندام هوایی و ریشه به ترتیب در سطوح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود و بیشترین جذب منگنز مربوط به سطح ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر بُر بود. اثر متقابل پتاسیم و شوری نیز بر جذب منگنز در اندام هوایی و ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با پتاسیم، بین ۴ و ۸ میلی‌مولار، موجب کاهش معنی‌دار جذب منگنز در اندام هوایی شد این احتمال وجود دارد که در این شوری، جذب آب و انتقال عناصر مختل شده است. در این شوری، در ریشه نیز افزایش غلظت پتاسیم، جذب مس را افزایش داد. اثر متقابل بُر و شوری نیز بر جذب منگنز در اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار ولی در ریشه غیرمعنی‌دار در شوری ۱ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش معنی‌دار جذب منگنز در اندام هوایی شد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر، جذب منگنز را در اندام هوایی افزایش داد. اثر متقابل پتاسیم، بُر و شوری نیز بر جذب منگنز در اندام هوایی و ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. به گونه‌ای که در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر، در سطح ۱ میلی‌مولار پتاسیم، موجب کاهش و در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم، موجب افزایش معنی‌دار جذب منگنز شد. در سطح ۴ میلی‌مولار پتاسیم نیز تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش معنی‌دار جذب منگنز در اندام هوایی شد. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، به کار بردن بُر با غلظت بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم، به دلیل نقش پتاسیم در انتقال عناصر به برگ‌ها موجب افزایش معنی‌دار

جذب منگنز در اندام هوایی شد و در سطح ۴ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش معنی‌دار جذب منگنز در اندام هوایی شد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر نیز در سطح ۴ و ۸ میلی‌مولار پتاسیم، به کاربردن بُر در محیط کشت، جذب منگنز را در اندام هوایی افزایش داد. بیشترین مقدار منگنز جذب شده در ریشه مربوط به شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم و سطح ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر بُر بود. در شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر، در سطح ۱ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش معنی‌دار جذب منگنز در ریشه شد. در حالی که در سطح ۴ دسی‌زیمنس بر متر، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر، موجب کاهش جذب منگنز در ریشه شد و در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش معنی‌دار جذب منگنز در ریشه شد. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، در سطوح ۱ و ۴ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، موجب کاهش معنی‌دار جذب منگنز در ریشه شد و در سطح ۸ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر، موجب کاهش و بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش معنی‌دار جذب منگنز در ریشه شد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، در سطح ۱ میلی‌مولار پتاسیم، تغذیه گیاه با بُر بین ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش معنی‌دار جذب منگنز در ریشه شد. احتمالاً علت این امر سمیت سدیم و آسیب به سلول‌های ریشه گیاه و جذب غیر انتخابی منگنز توسط ریشه گیاه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که برهمکنش دو عنصر پتاسیم و بُر بر عملکرد گیاه و جذب عناصر در ریشه و اندام هوایی، بسته به غلظت دو عنصر پتاسیم و بُر در محلول غذایی، در شرایط مختلف شوری، متفاوت است.

حداکثر عملکرد گیاه مربوط به غلظت ۸ میلی‌مولار پتاسیم در محیط کشت بود. این درحالی ست که بُر اثر معنی‌داری بر عملکرد گیاه نداشت، که احتمالاً علت آن کاهش شدت تبخیر و تعرق گیاه و افزایش رطوبت نسبی گلخانه و رشد گیاه در فصل پاییز است (۲۱). جذب عناصر کم‌مصرف در ریشه گیاه نسبت به اندام هوایی بیشتر بود. بیشترین جذب عناصر بُر، آهن و مس در ریشه در غلظت ۴ میلی‌مولار و بیشترین جذب روی و مس در اندام هوایی در غلظت ۸ میلی‌مولار پتاسیم مشاهده شد. زیرا پتاسیم در انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی نقش به‌سزایی ایفا می‌کند. در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، حداکثر جذب بُر، آهن، روی و مس در ریشه و آهن و مس در اندام هوایی در غلظت ۴ میلی‌مولار پتاسیم و بیشترین جذب بُر و منگنز در ریشه و آهن، روی و منگنز در اندام هوایی در غلظت ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر بُر مشاهده شد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر نیز حداکثر جذب بُر، آهن، روی و منگنز در اندام هوایی و بُر و آهن در ریشه در حضور ۴ میلی‌مولار پتاسیم و بیشترین جذب بُر در ریشه و اندام هوایی و جذب آهن و منگنز در ریشه در حضور ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. به طور کلی، تحت تنش شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد گیاه با به کاربردن غلظت ۸ میلی‌مولار پتاسیم افزایش یافت و همچنین با توجه به اثر ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر بُر در محیط کشت بر جذب عناصر کم‌مصرف در این سطح شوری، می‌توان نتیجه گرفت که تیمار ۸ میلی‌مولار پتاسیم و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر بُر، در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، نسبت به سایر تیمارها بهتر بود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان که اعتبار پژوهشی و امکانات لازم جهت اجرای این طرح را فراهم ساخته‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. داداشی، م. ر.، ا. مجیدی هروان، ا. سلطانی و ع. نوری نیا. ۱۳۸۶. ارزیابی واکنش لاین‌های مختلف جو به تنش شوری. علوم کشاورزی ۱۳(۱): ۱۸۱-۱۹۱.

۲. کاوسی، م. ۱۳۷۴. طرح تعیین مدل پیش‌بینی عملکرد برنج در شوری‌های مختلف برای ارقام سپیدرود. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، ۲۳ ص.

۳. مجللی، ح. ۱۳۸۴. شیمی خاک. مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

۴. محقق، پ. ۱۳۸۸. تأثیر کاربرد سیلیسیم بر تحمل دو ژنوتیپ خیار در برابر پوسیدگی طوقه و ریشه ناشی از *phytophthora melonis*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. نادیان، ح. ۱۳۸۶. حاصلخیزی خاک و کودها. دانشگاه رامین، اهواز.

6. Adams, P. 1984.Potassium uptake by tomatoes in relation to the environment. J. Sci. Food Agric. 35: 294-295.
7. Anantawiroon, P., K.D. Subedi and B. Rerkasem. 1997. Screening wheat for boron deficiency. PP. 101-104. *In:* Beli, R.W. and B. Rerkasem (Eds.), Boron in Soils and Plants, Dordrecht Publishers, The Netherlands.
8. Ashraf, M. and A. Khanum. 1997. Relationship between ion accumulation and growth in two-spring wheat lines differing in salt tolerance at different growth stages. J. Agron. Crop Sci. 178: 39-51.
9. Badr, M.A. and A.M. Shafei. 2002. Salt tolerance in two wheat varieties and its relation to potassium nutrition. J. Agric. Res. 35: 115-128.
10. Bingham, F.T. 1982. Boron. PP. 431-447. *In:* Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
11. Celik, H., B. Bulent Asik and A. Vahap Katkat. 2010. Effects of potassium and iron on macroelement uptake of maize. J. Zemdirbyste-Agric. 97: 11-22.
12. Cherel, L. 2004. Regulation of K^+ channel activities in plants: From physiological to molecular aspects. *J.* Exp. Bot. 55: 337-51.
13. Ferrol, N., A.M. Belver, M. Roldan, P. Rodriguez-Gonzalez and J.P. Donnaire. 1993. Effects of boron on proton transport and membrane properties of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cell microsomes. J. Plant Physiol. 103: 763-769.
14. Gupta, A.S., G.A. Borkowitz and P.A. Pier. 1989. Maintenance of photosynthesis at low leaf water potential in wheat role of potassium status and irrigation history. J. Plant Physiol. 89: 1358-1365.
15. Heidari, M. and P. Jamshid. 2010. Interaction between salinity and potassium on grain yield, carbohydrate content and nutrient uptake in pearl millet. J. Agric. Biol. Sci. 5: 39-46.
16. Issam, I., H. Bashour and A. Sayegh. 2007. Methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions. FAO, Rome.
17. Pospišil, M., A. Pospišil and S. Sito. 2005. Foliar application of liquid fertilizer Fertina B to sugar beet. J. Listy Cukrovarnické a Reparské 121: 174-177.
18. SAS Institute. 1988. SAS/ STAT Users Guide. Release 6.03. Cary, NC.
19. Singh, J.P., D.J. Dahiya and R.P. Narwal. 1990. Boron uptake and toxicity in wheat in relation to zinc supply. J. Fert. Res. 24: 105-110.
20. Sturgul, S.J. 2010. Soil micronutrients from B to Z. Proc. of the 2010 Wisconsin Crop Management Conference.
21. Tariq, M. and C.J.B. Mott. 2006. Effect of applied boron on the accumulation of cations and their ratios to boron in radish (*Raphanus sativus L*). J. Soil Environ. 25: 40-47.
22. Tariq, M. and C.J.B. Mott. 2009. Effect of boron supply on the uptake of micronutrients by radish (*Raphanus sativus* L.). J. Agric. Biol. Sci. 1: 1-8.