بررسی سرعت رشد و غلظت عناصر غذایی شاخساره سیب‌زمینی در سطوح مختلف روی، فسفر و رطوبت خاک

رحیم مطلبی‌فرد [۱]، نصرت‌اله نجفی [۲] و شاهین اوستان [۲]
۱- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی همدان ایران، ۲- دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

چکیده
این آزمایش به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه عامل روی، فسفر و رطوبت خاک و با سه تکرار و در مجموع با ۸۱ گلدان در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. در این آزمایش اثرهای کود روی صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم Zn بر کیلوگرم خاک، کود فسفر صفر ، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم P بر کیلوگرم خاک و رطوبت خاک FC۷/۰ ، FC۸/۰- FC-FC۹/۰ و FC۵/۰ - FC۶/۰- بر سرعت رشد و غلظت عناصر غذایی شاخساره سیب‌زمینی بررسی شد. بلافاصله بعد از اعمال سطوح رطوبت خاک، غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی درشاخساره تعیین شد. نتایج نشان داد که تنش شدید کمبود آب باعث کاهش ۳ برابری و ۱۲ درصدی سرعت رشد ساقه و آهن شاخساره و افزایش ۳۴، ۱۱ و ۱۸ درصدی غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مقایسه با آبیاری کامل شد. مصرف ۲۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک غلظت روی شاخساره را ۸۵ درصد در مقایسه با عدم مصرف روی افزایش داد. مصرف ۶۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک باعث کاهش ۱۰ و ۱۱ درصدی غلظت نیتروژن و آهن شاخساره و افزایش ۷۸ و ۱۹ درصدی سرعت رشد ساقه و غلظت فسفر شاخساره در مقایسه با عدم مصرف آن شد.

واژه‌های کلیدی: تنش کمبود آب، روی، عناصر پرمصرف، فسفر.

مقدمه
میانگین بارندگی سالیانه کشور ما ۲۵۰ میلی‌متر در سال است که حدود یک سوم میانگین بارندگی جهانی است. از طرفی ریزش‌های محدود هم از توزیع مناسب برخوردار نیست و عمدتاً در زمستان و بهار صورت می‌گیرد. بنابراین، عمده محصولات کشاورزی ما در دوره رشد خود دوره‌های مختلف تنش آب را با شدت‌های متفاوت تجربه می‌کنند و زیان ناشی از این کمبود آب بسیار زیاد و غیرقابل توصیف است. کمبود آب مهم‌ترین عامل کاهش‌دهنده تولید گیاهان زراعی مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۷). در این شرایط، بر اثر اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژی گیاهی، شدت فتوسنتز و عملکرد گیاهان کاهش می‌یابد. کمبود آب از راه‌های مختلف باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود. تولید ماده خشک گیاه به‌علت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در فتوسنتز در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد (شیلپی و تونجا، ۲۰۰۵). تنش کمبود آب به‌علت کاهش تورژسانس سلول‌ها و ممانعت از رشد سلولی باعث کاهش توسعه سطح برگ می‌شود. کمبود آب می‌تواند غلظت عناصر غذایی را در گیاهان تحت تأثیر قرار دهد. افزایش یا کاهش غلظت عنصر غذایی به نوع عنصر، رقم و اندام گیاه بستگی دارد. کمبود آب میزان جذب و انتقال عناصر غذایی از ریشه به شاخساره را کاهش می‌دهد، چون میزان تعرق گیاه و انتقال عناصر غذایی از خاک به سطح ریشه را کم می‌کند و به انتقال فعال و تراوایی غشاهای سلولی آسیب می‌زند (یونجای و اشمیدهالتر، ۲۰۰۵). کمبود آب در خاک می‌تواند غلظت عناصر غذایی در گیاه را از طریق کاهش آب قابل‌استفاده گیاه در خاک، با تغییر ویژگی‌های خاک و فعالیت‌های آنزیمی، با کاهش رشد گیاه و با تغییر شدت فتوسنتز و تنفس و تغییر ظرفیت گیاهان برای مصرف عناصر تحت تأثیر قرار دهد. از طرفی تغذیه گیاه می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در بهبود اثرهای سوء تنش کمبود آب داشته باشد.

تغذیه گیاهی می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در تعدیل اثرات سوء تنش کمبود آب داشته باشد. روی از عناصری است که در پایداری غشاهای پلاسمایی و روابط آبی گیاه و جلوگیری از تأثیر سوء گونه‌های فعال اکسیژن نقش دارد (چاخماق، ۲۰۰۰). تأثیر مثبت فسفر در افزایش رشد در شرایط تنش کمبود آب به‌علت افزایش کارایی مصرف آب، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز، پایداری بالای دیواره سلولی و تأثیر آن در روابط آبی گیاه گزارش شده است (یونجای و اشمیدهالتر، ۲۰۰۵). مطالعه در زمینه نقش تنش خشکی بر غلظت عناصر غذایی گیاهان مختلف و همچنین بررسی نقش عناصر روی و فسفر بر غلظت عناصر غذایی مخصوصاً در شرایط تنش کمبود آب بسیار محدود است. لذا، پژوهش حاضر برای بررسی اثر روی و فسفر بر ویژگی‌های رشد و غلظت عناصر غذایی سیب‌زمینی در شرایط مختلف رطوبت خاک اجرا شد.

مواد و روش‌ها
این تحقیق در گلخانه ایستگاه تحقیقات کشاورزی خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در طی سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه فاکتور روی در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم Zn بر کیلوگرم خاک از منبع $ZnSO_4.7H_2O$)، فسفر در سه سطح (صفر، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم P بر کیلوگرم خاک خشک

از منبع $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ و رطوبت خاک در سه سطح (FC-FC۹/۰، FC۸/۰-FC۷/۰ و FC۶/۰-FC۵/۰) و با سه تکرار و در مجموع با ۸۱ گلدان اجرا شد. رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) با استفاده از دستگاه صفحات تحت فشار در مکش ۳/۰ بار تعیین شد. توصیه کودی برای سایر عناصر غذایی بر مبنای آزمون خاک انجام و به‌صورت محلول به خاک گلدانها افزوده و خوب مخلوط شد. سپس مقدار ۱۰ کیلوگرم از خاک مورد نظر به هر یک از گلدان‌ها ریخته و دو غده بذری سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum L.*) رقم آگریا کشت شد. رطوبت خاک گلدان‌ها تا شروع گلدهی در ۵±۹۴ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. سطوح مختلف رطوبت خاک از جمله تیمارهای تنش کمبود آب از شروع گلدهی و بهمدت سه هفته اعمال گردید. در طول آزمایش رطوبت خاک گلدان‌ها از طریق توزین کنترل گردید. این کار در طول تحقیق هر روز و در زمان اعمال سطوح رطوبت خاک صبح و عصر انجام شد. با اندازه‌گیری طول ساقه سیب‌زمینی در سه مرحله اول، وسط و انتهای اعمال سطوح رطوبت خاک سرعت نسبی رشد ساقه محاسبه گردید. در پایان اعمال سطوح رطوبت خاک، شاخساره برداشت و در آون در دمای C ۷۰ خشک و با محاسبه درصد ماده خشک آسیاب گردید. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی از روش خشک‌سوزانی و حل کردن خاکستر در مخلوط اسید کلریدریک و اسید نیتریک استفاده گردید. در پایان، تجزیه آماری داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵% انجام و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

با افزایش تنش کمبود آب سرعت رشد ساقه از ۱/۶ میلی‌متر در روز برای تیمار آبیاری کامل به ۹/۱ میلی‌متر در روز در تیمار تنش شدید کمبود آب کاهش یافت (۱) که بیانگر کاهش بیش از ۳ برابری سرعت رشد بر اثر اعمال تنش شدید کمبود آب بود. سعید و النادی (۱۹۹۷) گزارش کردند که با کاهش تعداد دفعات آبیاری از ۲۵ به ۱۳ بار در یونجه سرعت رشد ساقه حدود ۵۰ درصد کاهش یافت. تنش کمبود آب با تأثیر بر جذب عناصر غذایی، هدایت روزنه‌ای (در این پژوهش همبستگی مثبت و معنی‌دار بین هدایت روزنه‌ای و سرعت نسبی رشد ساقه ($r=۷۳۸/۰^{**}$) وجود داشت) و شدت فتوسنتز، سرعت رشد ساقه را کاهش داد.

جدول ۱- مقایسه میانگین‌های سرعت نسبی رشد ساقه و غلظت عناصر غذایی شاخساره سیب‌زمینی در سطوح مختلف رطوبت خاک، روی و فسفر

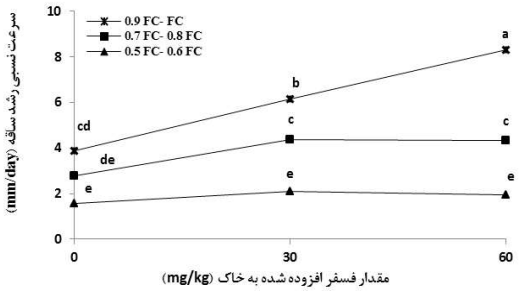
فاکتور	سطوح	نیتروژن شاخساره	پتاسیم شاخساره	فسفر شاخساره	سرعت نسبی رشد ساقه	روی شاخساره	آهن شاخساره
		(%)			((mm/day	(mg/kg)	(mg/kg)
رطوبت خاک	FC-FC۹/۰	b۱۰/۲	b۶۴/۵	b۲۲/۰	a۱/۶	a ۳/۴۸	a ۹/۲۵۰
	FC۸/۰-FC۷/۰	b۲۳/۲	b۶۷/۵	ab۲۳/۰	b۸/۳	a ۱/۴۵	a ۳/۲۵۱
	FC۶/۰-FC۵/۰	a۸۳/۲	a۲۴/۶	a۲۶/۰	c۹/۱	a ۲/۴۷	b ۲/۲۲۴
Zn (mg/kg)	۰	a۳۷/۲	a۹۷/۵	a۲۵/۰	a۸/۳	c۹/۳۱	a۷/۲۴۰
	۱۰	a۴۲/۲	a۷۵/۵	a۲۳/۰	a۳/۴	b۷/۴۹	a۸/۲۳۸
	۲۰	a۳۷/۲	a۸۲/۵	a۲۴/۰	a۷/۳	a۱/۵۹	a۸/۲۴۶
P (mg/kg)	۰	a۵۱/۲	a۶۹/۵	b۲۱/۰	b۷/۲	a۵/۴۹	a۵/۲۵۴
	۳۰	ab۳۶/۲	a۸۹/۵	a۲۴/۰	a۲/۴	a۵/۴۵	ab۳/۲۴۳
	۶۰	b۲۹/۲	a۹۶/۵	a۲۵/۰	a۸/۴	a۶/۴۵	b۵/۲۲۸

در هر ستون و فاکتور، میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی دار ندارند ($p<۰۵/۰$)

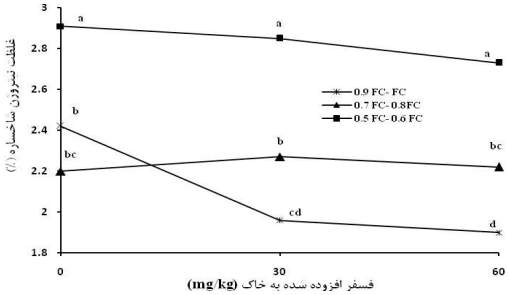
مقایسه میانگین‌های سرعت نسبی رشد ساقه برای سطوح فسفر نشان داد که مصرف فسفر باعث افزایش سرعت نسبی رشد ساقه تا ۷۸ درصد شد (جدول ۱)، هرچند تفاوت بین تیمار عدم مصرف فسفر و سطوح ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک غیرمعنی‌دار بود و سطوح فسفر در یک گروه آماری از نظر سرعت نسبی رشد ساقه قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌های سرعت نسبی رشد ساقه برای ترکیب‌های تیماری رطوبت خاک و فسفر نشان داد که بیش‌ترین سرعت نسبی رشد ساقه (۳/۸ میلی‌متر در روز) از تیمار آبیاری کامل و مصرف ۶۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و کم‌ترین آن (۵/۱ میلی‌متر در روز) از تیمار FC۵/۰-FC۶/۰ و عدم مصرف فسفر به‌دست آمد (شکل ۱) که بیانگر اختلاف بیش از ۵ برابری بین این دو تیمار بود. تفاوت بین سطوح فسفر مصرفی از نظر اثر بر سرعت نسبی رشد ساقه در شرایط تنش شدید کمبود آب غیرمعنی‌دار و در تنش متوسط فقط تفاوت مصرف و عدم مصرف فسفر معنی‌دار بود و تفاوت سطوح فسفر مصرفی فقط در تیمار آبیاری کامل معنی‌دار بود یعنی فسفر قادر نبود از کاهش

معنی‌دار سرعت نسبی رشد ساقه جلوگیری نماید. بین رطوبت خاک و فسفر از نظر سرعت نسبی رشد ساقه عمدتاً اثر متقابل هم‌افزایی یا سینرژیستی وجود داشت.

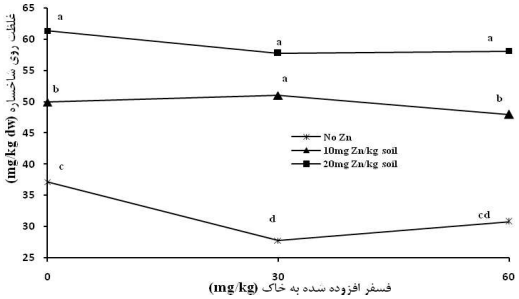
با افزایش تنش کمبود آب غلظت عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شاخساره سیب‌زمینی افزایش یافت و بیش‌ترین غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره از شرایط تنش شدید کمبود آب و به‌ترتیب با ۸۳/۲، ۲۴/۶ و ۲۶/۰ درصد به‌دست آمد که در شرایط آبیاری کامل به‌ترتیب ۳۴، ۱۱ و ۱۸ درصد غلظت این عناصر کاهش یافت (جدول ۱). نتایج نشان داد که غلظت نهایی عناصر غذایی در شرایط تنش کمبود آب، به نسبت کاهش جذب عنصر غذایی به کاهش وزن خشک گیاه بستگی دارد. اگر کاهش رشد شدیدتر از کاهش جذب باشد، عناصر غذایی در گیاه تجمع می‌یابند و اگر کاهش جذب شدیدتر باشد، غلظت عناصر غذایی کاهش می‌یابد (سامارا و مولن، ۲۰۰۴). مطالعات ساروار و همکاران (۱۹۹۱) در مورد پاسخ رقم‌های مختلف گندم به تنش کمبود آب نشان داد که غلظت عناصر پرمصرف تحت تنش کمبود آب افزایش می‌یابد (اکرم و همکاران، ۲۰۰۸) که این افزایش عمدتاً به‌دلیل اثر تغلیظ است. همچنین در شرایط تنش کمبود آب ممکن است معدنی‌شدن مواد آلی خاک کاهش یافته و در نتیجه جذب و انتقال عناصر وابسته به مواد آلی مانند نیتروژن و فسفر از ریشه به شاخساره نیز کاهش یابد (تانگویلیق و همکاران، ۱۹۸۷). کاهش غلظت نیتروژن بر اثر تنش کمبود آب در سایر گیاهان از جمله گندم، سویا، برنج و ذرت مشاهده شده است (اکرم و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۱- میانگین‌های سرعت نسبی رشد تحت اثر ترکیب‌های تیماری فسفر و رطوبت خاک



شکل ۲- میانگین‌های غلظت نیتروژن شاخساره تحت اثر ترکیب‌های تیماری فسفر و رطوبت خاک



شکل ۳- میانگین‌های غلظت روی شاخساره تحت اثر ترکیب‌های تیماری فسفر و روی

با افزایش مصرف فسفر غلظت نیتروژن شاخساره کاهش یافت. کم‌ترین غلظت نیتروژن شاخساره (۲۹/۲ درصد) با مصرف ۶۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک مشاهده شد که در مقایسه با شرایط عدم مصرف فسفر غلظت نیتروژن شاخساره ۱۰ درصد کاهش یافت (جدول ۱). کاهش غلظت نیتروژن شاخساره با مصرف فسفر به‌دلیل افزایش سریع رشد شاخ و برگ سیب‌زمینی و اثر رقت بود. با افزایش مصرف فسفر بر خلاف نیتروژن غلظت فسفر شاخساره افزایش معنی‌دار نشان داد بیش‌ترین غلظت فسفر شاخساره (۲۵/۰ درصد) در شرایط مصرف ۶۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک و کم‌ترین آن (۲۱/۰ درصد) در شرایط عدم مصرف فسفر مشاهده شد که نشانگر افزایش ۱۹ درصدی غلظت فسفر شاخساره بر اثر مصرف فسفر بود (جدول ۱). جدول ۱ همچنین نشان می‌دهد که تفاوت بین سطوح ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم فسفر از نظر غلظت فسفر شاخساره معنی‌دار نبود.

شکل ۲ نشان می‌دهد که بیش‌ترین غلظت نیتروژن شاخساره در شرایط تنش شدید کمبود آب مشاهده شد که با دو شرایط دیگر رطوبت خاک تفاوت معنی‌دار داشت. در سطوح FC۵/۰-FC۶/۰ و FC۷/۰-FC۸/۰ رطوبت خاک تفاوت معنی‌داری بین سطوح فسفر مصرفی از نظر نیتروژن شاخساره مشاهده نشد. در شرایط آبیاری کامل با مصرف فسفر غلظت نیتروژن شاخساره کاهش معنی‌داری نشان داد ولی اختلاف بین سطوح ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک معنی‌دار نبود و این دو سطح از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند. دلایل مقادیر بیش‌تر نیتروژن شاخساره در شرایط تنش شدید کمبود آب در بالا توضیح داده شد. کاهش غلظت نیتروژن شاخساره در شرایط آبیاری کامل احتمالاً به‌دلیل اثر رقت بود چرا که مصرف فسفر در شرایط آبیاری کامل باعث

افزایش سریع و شدید رشد شاخساره شد (نتایج نشان داده نشده است) و این افزایش طوری بود که سرعت جذب نیتروژن کمتر از سرعت رشد شاخ و برگ بود و غلظت نیتروژن شاخساره کاهش یافت.

با افزایش شدت تنش کمبود آب غلظت آهن شاخساره سیب‌زمینی کاهش یافت. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت آهن شاخساره سیب‌زمینی به‌ترتیب در سطوح رطوبت خاک تنش متوسط کمبود آب با ۳/۲۵۱ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم ماده خشک گیاه و FC۶/۰-FC۵/۰ با ۲/۲۲۴ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم ماده خشک گیاه مشاهده شد. تنش شدید کمبود آب باعث کاهش ۱۲ درصدی غلظت آهن شاخساره در مقایسه با شرایط آبیاری کامل و تنش متوسط کمبود آب شد. تفاوت سطوح رطوبت خاک FC-FC۹/۰ و FC۶/۰-FC۵/۰ از نظر غلظت آهن شاخساره در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نبود (جدول ۱).

با افزایش مصرف فسفر غلظت آهن شاخساره سیب‌زمینی کاهش یافته است. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت آهن شاخساره سیب‌زمینی به‌ترتیب در شرایط عدم مصرف فسفر با ۵/۲۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه و مصرف ۶۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک با غلظت آهن ۵/۲۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه مشاهده شد. با مصرف ۶۰ میلی‌گرم فسفر غلظت آهن شاخساره به‌ترتیب ۶ و ۱۱ درصد در مقایسه با سطوح ۳۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک و عدم مصرف فسفر کاهش نشان داد (جدول ۱). کاهش غلظت آهن شاخساره احتمالاً به‌دلیل اثر متقابل آهن و فسفر بوده است. نتایج نشان داد که آهن قابل‌استخراج با فسفر در طی دوره انکوباسیون کاهش می‌یابد و این کاهش در روزهای پایانی انکوباسیون شدیدتر است. به‌طور معمول پذیرفته شده است که فسفر با تشکیل فسفاتهای آهن شکل قابل‌استخراج آن را کم می‌کند (Motalebifaard et al., ۲۰۱۳).

با افزایش مصرف روی غلظت روی شاخساره سیب‌زمینی افزایش یافت (جدول ۱). کم‌ترین (۹/۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) و بیش‌ترین (۱/۵۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) غلظت روی شاخساره سیب‌زمینی به‌ترتیب در شرایط عدم مصرف روی و مصرف ۲۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک مشاهده شد. مصرف ۲۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک باعث افزایش به‌ترتیب ۵۶ و ۸۵ درصدی غلظت روی شاخساره در مقایسه با سطوح ۱۰ و صفر میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک شد. مصرف فسفر در تمام سطوح روی باعث کاهش غلظت روی شاخساره شد هرچند این کاهش فقط در شرایط عدم مصرف روی معنی‌دار بود و مصرف ۳۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک باعث کاهش معنی‌دار غلظت روی شاخساره در شرایط عدم مصرف روی شد (شکل ۳). اثر متقابل روی و فسفر از نظر غلظت همدیگر در گیاه در مطالعات مختلفی مانند باربن و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شده است.

منابع

- بابائیان، م.، م. حیدری و ا. قنبری. ۱۳۸۷. اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر تنظیم‌کننده‌های اسمزی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه آفتابگردان رقم آلستر در سه مرحله تنش خشکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی- علوم آب و خاک، جلد ۱۲، شماره ۴۶ الف، صفحه‌های ۱۱۹ تا ۱۲۹.
- Akram, N.A., Shahbaz M., and Ashraf M. ۲۰۰۸. Nutrient acquisition in differentially adapted populations of *cynodon dactylon L*. pers and *cencherus cillaris L*. under drought stress. Pakistan Journal of Botany, ۴۰(۴): ۱۴۳۳-۱۴۴۰.
- Barben, S.A., Hopkins B.G., Jolley V.D., Webb B.L., and Nicholas B.A. ۲۰۱۰a. Phosphorus and zinc interactions in chelator-buffered solution grown russet Burbank potato. Journal of Plant Nutrition, ۳۳: ۵۸۷-
- Cakmak, I. ۲۰۰۰. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species (a review). New Phytologist, ۱۴۶: ۱۸۵-۲۰۵.
- Motalebifard R., Najafi N., and Oustan S. ۲۰۱۳. Effects of Zinc Sulphate and Monocalcium Phosphate Fertilizers on Extractable Zn and Fe under Different Soil Moisture Conditions. Iran Agricultural Science, ۳۲(۲): ۷۱-۸۸.
- Saeed, I.A.M. and El-Nadi A.H. ۱۹۹۷. Irrigation effects on the growth, yield, and water use efficiency of alfalfa. Irrigation Science, ۱۷: ۶۳-۶۸.
- Samarah, N. and Mullen R. ۲۰۰۴. Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. Journal of Plant Nutrition, ۲۷(۵): ۸۱۵-۸۳۵.
- Shilpi, M. and Tuteja N. ۲۰۰۵. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archive Biochemistry and Biophysics, ۴۴۴: ۱۳۹-۱۵۸.
- Tanguilig, V.C., Yambao E.B., Tolle J.C.O., and De Datta S.K. ۱۹۸۷. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration and nutrient uptake of rice, maize and soybean. Plant and Soil, ۱۰۳: ۱۵۵-۱۶۸.
- Yuncai H. and Schmidhalter U. ۲۰۰۵. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, ۱۶۸: ۵۴۱-۵۴۹.

Abstract

This study was performed as a factorial experiment based on randomized complete blocks design with factors of Zn at three levels (۰, ۱۰ and ۲۰ mg Zn per kg dry soil), P at three levels (۰, ۳۰ and ۶۰ mg P per kg dry soil) and soil moisture at three levels (۰.۵FC-۰.۶FC, ۰.۷FC-۰.۸FC and ۰.۹FC-FC) using three replications and ۸۱ pots. The

soil moisture levels were imposed three weeks from the flowering until harvest. At the harvest, concentrations of N, P, K, Fe and Zn of potato tubers were measured. The results showed that severe water deficit reduced stem growth rate and stem Fe concentration more than ۳۰۰ and ۱۲ percent and increased shoot N, P, K concentrations about ۳۴, ۱۱, and ۱۸ percent comparing with full irrigated condition, respectively. Application of ۲۰ mg Zn per kg soil significantly (p<۰.۰۵) increased shoot Zn concentration more than ۸۵ percent. Application of ۶۰ mg P per kg soil decreased stem N and Fe concentrations about ۱۰ and ۱۱ percent and increased shoot growth rate and P concentration ۷۸ and ۱۹ percent comparing with without P application conditions, respectively.