نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۶، ص. ۸۹۹-۸۸۶

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2017, p. 886-899

تأثیر روی و فسفر بر عملکرد، جذب عناصر غذایی و کارایی زراعی روی در سیب‌زمینی

رحیم مطلبی فرد[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۸

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر سولفات روی بر عملکرد، غلظت عناصر غذایی و بازیابی و کارایی زراعی روی در مقادیر مختلف فسفر خاک، بر روی سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم آگریا در استان همدان انجام شد. در این تحقیق سه قطعه آزمایشی با مقادیر مختلف فسفر قابل جذب انتخاب و پژوهش با ۹ تیمار و سه تکرار و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. قطعات شامل دو قطعه با فسفر کم (۱۵-۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک با و بدون کوددهی فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل)) و یک قطعه با فسفر زیاد (۲۵-۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بدون کوددهی فسفر) بود. تیمارهای روی شامل مصرف خاکی مقادیر صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰و ۱۲۰ کیلو گرم در هکتار سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$) و محلول پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته قبل و یک هفته بعد از گلدهی بود. بعد از برداشت عملکرد غده و شاخساره، میزان جذب روی و غلظت عناصر غذایی در بخش‌های مختلف سیب‌زمینی اندازه‌گیری و بازیابی و کارایی زراعی روی محاسبه شد. نتایج نشان داد که عملکرد سیب‌زمینی تحت تأثیر تیمارهای مختلف روی قرار گرفته است. کاربرد ۴۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار بیشترین و تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی یک هفته بعد از گلدهی کمترین عملکرد غده را موجب شده‌اند و اختلاف این دو تیمار ۱۷ درصد بود. محلول‌پاشی با سولفات روی یک هفته بعد از گلدهی عملکرد مشابه با تیمار شاهد داشت و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد وجود نداشت. کاربرد مقادیر بیش از ۸۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی یا محلول‌پاشی آن، روی جذب شده در غده را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند و محلول‌پاشی با سولفات روی یک هفته بعد از گلدهی با ۸۰ درصد افزایش در مقایسه شاهد، بیشترین روی جذب شده در غده را داشت. غلظت روی غده و شاخساره در سطح یک درصد تحت تأثیر تیمارهای مختلف روی قرار گرفت. بیشترین غلظت روی در شاخساره و غده در شرایط محلول‌پاشی با سولفات روی یک هفته بعد از گلدهی و کمترین آن در شرایط عدم مصرف روی مشاهده شد. این تیمار به‌ترتیب باعث افزایش ۱۶۰ و ۲۴ درصدی روی شاخسارها و غده سیب‌زمینی در مقایسه با شاهد شد. عملکرد غده و شاخساره در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر معنی‌دار قطعات با فسفر مختلف قرار گرفتند. مصرف فسفر و یا غلظت بالای آن در خاک عملکرد غده و شاخساره را افزایش دادند و باعث کاهش غلظت اکثر عناصر غذایی غده و شاخساره شدند. با افزایش مصرف خاکی کود روی به بیش از ۴۰ کیلوگرم در هکتار کارایی زراعی آن به‌طور معنی‌دار و بیش از دو برابر کاهش پیدا کرد. بیشترین کارایی زراعی روی در شرایط محلول‌پاشی سولفات روی مخصوصاً در زمان قبل از گلدهی مشاهده شد و این افزایش در تیمار محلول‌پاشی قبل از گلدهی حداقل ۶ برابر تیمار مصرف خاکی روی بود. بازیابی روی در تمام سطوح مصرف خاکی روی کمتر از دو درصد بود که به بالای ۲۰ درصد در تیمارهای محلول‌پاشی سولفات روی افزایش یافت. برای دستیابی به حداکثر عملکرد سیب‌زمینی در خاکهای مشابه مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی قابل توصیه است. در شرایط مصرف فسفر و یا فسفر بالای خاک این توصیه باید افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: غده سیب‌زمینی، غلظت عناصر غذایی، محلول‌پاشی، مصرف خاکی

مقدمه

سیب‌زمینی یکی از محصولات زراعی مهم دنیا می‌باشد که با ۳۸۵ میلیون تن تولید بعد از برنج، گندم و ذرت رتبه چهارم را به خود اختصاص داده است (۱۱). در ایران این محصول با حدود ۱/۳ درصد از سطح زیر کشت آبی کشور، ۶/۷ درصد از کل تولیدات زراعی (دیم و آبی) کشور را به میزان ۴/۶ میلیون تن به خود اختصاص داده است و در بین محصولات مصرفی جامعه بعد از گندم و گوجه‌فرنگی رتبه سوم را از نظر تولید دارد. از ۱۵۹ هزار هکتار سطح زیر کشت سیب‌زمینی در کشور، استان همدان با ۲۱۰۳۷ هکتار مقام دوم را دارا می‌باشد. بیش‌ترین میزان عملکرد در واحد سطح در کشور با ۴۳/۲ تن در هکتار مربوط به همین استان می‌باشد (۲). با توجه به سرانه

۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: motalebifard@gmail.com
DOI: 10.22067/jsw.v31i3.54513

Archive of SID
www.SID.ir

مصرف سیب‌زمینی در ایران (بیش از ۴۵ کیلوگرم در سال) که بعد از گندم بیش‌ترین سهم را در سبد غذایی مردم کشور دارد (۱۰)، اطلاع از غلظت عناصر غذایی مختلف در این محصول بسیار مفید می‌باشد و با غنی‌سازی مواد غذایی پرمصرفی مانند سیب‌زمینی می‌توان گام مؤثری در راستای امنیت و سلامت غذایی مردم برداشت.

عنصر روی دارای نقش‌های کارکردی و ساختاری در واکنش‌های آنزیمی می‌باشد و بیش از ۷۰ آنزیم دارای روی شناسایی شده است (۱). حدود ۲۸۰۰ پروتئین برای فعالیت و پایداری خود به روی نیاز دارند (۸).

کمبود روی یکی از کمبودهای معمول عناصر کم‌مصرف در گیاهان مناطق آب و هوایی مختلف دنیا به ویژه خشک و نیمه‌خشک که خاک غالب آن‌ها قلیایی است، می‌باشد. در یک برنامه وسیع ارزیابی اراضی، بیش از ۵۰ درصد نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از ۲۵ کشور، دارای روی کم‌تر از حد بحرانی بودند (۷). سی درصد از خاک‌های جهان که عمدتاً هم آهکی هستند دچار کمبود روی می‌باشند (۹). در ایران هم در یک بررسی که توسط تهرانی و همکاران (۳۸) در ۶ استان کشور از جمله استان همدان انجام شد بیش از ۷۰ درصد از اراضی آبی کشور دارای روی کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم بودند. دلایل زیادی برای بروز کمبود روی در خاک‌های ایران وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به آهکی بودن خاک‌ها، کمبود مواد آلی، بی‌کربنات بالای آب آبیاری، عدم توجه به مصرف روی در عمده اراضی و مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی مانند فسفر، اشاره کرد (۲۰).

مصرف نامتعادل فسفر هم می‌تواند منجر به بروز کمبود روی گردد چرا که بین فسفر و روی در اکثر محصولات اثر متقابل منفی بر روی عملکرد مشاهده شده است. اولین بار بارنته (۲۱) گزارش‌هایی در زمینه اثر متقابل روی و فسفر ارائه داد (۲۱). رسوب فسفر با روی یکی از عامل‌هایی است که باعث کاهش شکل قابل‌استفاده هر دو عنصر می‌شود (۲۱).

نتایج متفاوت و گاهاً متناقضی توسط پژوهشگران مختلف در مورد اثر مصرف روی و فسفر بر شکل قابل‌استخراج یکدیگر گزارش شده است (۳۱). مندل و مندل (۲۲) گزارش نمودند که مصرف همزمان روی و فسفر باعث تغییر شکل عنصر روی مصرف شده از حالت محلول و قابل‌استخراج به حالت پیوند یافته با سزکوئی‌اکسیدها شد. زاهدی‌فر و همکاران (۴۱) نشان دادند که با مصرف فسفر، رهاسازی روی از سطوح ذرات خاک کاهش یافت. از طرفی گزارش شده است که اثر متقابل روی و فسفر عمدتاً در داخل گیاه اتفاق می‌افتد. واکنش میان فسفر و روی عمدتاً مربوط به مقادیر زیاد فسفر و یا کاربرد آن در خاکهای دارای کمبود روی می‌باشد (۲۰). وقتی روی و فسفر در حد توازن در گیاه وجود دارند در کنار هم سبب افزایش عملکرد می‌شوند. ولی وقتی بین فسفر و روی توازنی وجود نداشته باشد این دو عنصر دارای اثر متقابل می‌شوند (۲۵). مقدار زیاد فسفر بر روی بعضی از فعالیتهای متابولیکی روی در داخل گیاه تأثیر می‌گذارد. کاهش در ساخت بعضی از کمپلکس‌های اسیدهای آلی که عامل انتقال دهندهٔ روی در گیاه هستند می‌تواند به عنوان دلیلی برای اثر متقابل فسفر و روی در سطوح بالای فسفر باشد. در حضور فسفر زیاد، انتقال دهنده‌های روی در گیاه غیر فعال می‌شوند و با افزایش فسفر ساخت آنزیمهای که روی در آنها دخالت دارد متوقف می‌گردد (۳۹). در شرایط زیادی فسفر ۴۰ درصد روی جذب شده در ریشه‌ها از نقل و انتقال بازمانده و ۲۰ درصد دیگر آن در نوک ساقه‌ها (برآمدگی، ورم ساقه) گرفتار می‌شود. این عمل می‌تواند به علت اثر رقت، اثر متقابل کلسیم موجود در کودهای فسفر با روی و عوامل فیزیولوژیکی اشاره شده باشد (۲۰). نتایج تحقیق موستوئی و همکاران (۲۷) در گندم نشان داد که اثر متقابل روی و فسفر در داخل گیاه اتفاق می‌افتد و غلظت روی ریشه و ساقه و جذب روی با مصرف فسفر کاهش می‌یابد. این کاهش، برای ریشه ۵۲ درصد و برای ساقه ۵۳ درصد مشاهده گردید. ایشان نتیجه گرفتند که عمده اثر متقابل فسفر و روی در انتقال روی به برگ‌ها صورت می‌گیرد.

در مورد تأثیر روی بر عملکرد و کیفیت محصول سیب‌زمینی پژوهش‌هایی انجام شده است که می‌توان به پژوهش تایا و همکاران (۳۷)، بای‌بوردی و ملکوتی (۶) اشاره کرد. در مورد اثر متقابل روی و فسفر پژوهش‌هایی توسط ترهان و شرما (۳۹)، باربن و همکاران (۴) و عروجی و گلچین (۳۰) انجام گرفته است ولی اکثر این پژوهش‌ها در شرایط گلخانه‌ای انجام شده است و بازیابی و کارایی زراعی کود روی مصرفی در عمده این پژوهش‌ها بررسی نشده است. درحالی که اطلاع از سرنوشت کودهای مصرفی بسیار مهم بوده و می‌تواند در توصیه کودی مؤثر بسیار مفید باشد. لذا هدف این پژوهش بررسی بازیابی و کارایی زراعی کود روی مصرفی در مقادیر مختلف مصرف آن و مصرف فسفر و همچنین بررسی اثر متقابل روی و فسفر مصرفی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های کیفی سیب‌زمینی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تجرک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان و در سری خاکهای تجرک با مشخصات Fine mixed mesic calcixerollic xerochrepts , به مدت دو سال اجرا گردید. برای اجرای پژوهش در هر سال دو قطعه زمین که یک قطعه دارای فسفر قابل‌جذب ۱۵–۱۰ و دیگری دارای فسفر قابل‌جذب ۲۵–۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و روی قابل‌جذب آنها کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم بود، انتخاب گردید (۱، ۱۶). سپس قطعه با فسفر ۱۵–۱۰ میلی گرم در کیلو گرم به دو قطعه تقسیم و در یکی از قطعات کود فسفر مصرف نگردید (قطعه ۱) و در قسمت دیگر آن بر اساس آزمون

Archive of SID

www.SID.ir

خاک ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل مصرف شد (قطعه ۲). در قطعه با فسفر ۲۵-۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک با توجه به عدم نیاز خاک فسفر مصرف نگردید (قطعه ۳). در هر دو سال سعی شد قطعات طوری انتخاب شود که حتی‌المقدور به‌جز فسفر در سایر ویژگی‌های خاک تفاوت نداشته باشند که جدول ۱ مؤید این موضوع است. قبل از کاشت از هر تکرار و در هر سال نمونه مرکب خاک تهیه و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک به‌روش اولسن (۱۶)، روی، آهن، منگنز و مس قابل‌جذب گیاه در خاک با عصاره‌گیر DTPA (۳۶)، پتاسیم قابل‌جذب گیاه در خاک به‌روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (۱۶)، بافت خاک به‌روش هیدرومتری (۱۴)، کربن آلی به‌روش اکسایش تر، pH خاک در سوسپانسیون ۱:۱ آب به خاک، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) محلول ۱:۱ آب به خاک و کربنات کلسیم معادل خاک به‌روش خنثی-سازی با اسید و تیتر کردن با سود (۳۶) تعیین شدند. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود در دو سال اجرای آزمایش برای یکنواختی ماده آزمایشی قطعات متفاوتی برای اجرای پژوهش انتخاب گردید ولی در هر سال قطعات آزمایشی طوری انتخاب شدند که به جز فسفر در سایر ویژگی‌های خاک تفاوت چندانی نداشته باشند. خاک‌های مورد نظر عمدتاً دارای روی کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، بدون مشکل شوری و قلیائیت و مواد آلی بسیار پایین بودند (جدول ۱).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1: Some of the physical and chemical properties of the studied soil

	قطعه Location	Cu	Mn	Zn	Fe	K	P	EC (dS/m)	pH	OC	CCE	بافت خاک Soil texture
		(mg/kg)								%		
سال اول First year	قطعه یک Location 1	0.51	7.5	0.85	2.6	124	9.8	0.43	8.05	0.23	18	لوم Loam
	قطعه دو Location 2	0.55	9.2	0.72	3.0	159	10.0	0.39	8.13	0.30	18	لوم Loam
	قطعه سه Location 3	0.54	9.6	0.70	2.6	146	24.5	0.39	8.20	0.26	19.5	لوم Loam
سال دوم Second year	قطعه یک Location 1	0.89	13.6	1.10	2.7	237	7.8	0.36	8.15	0.35	15.1	لوم رسی‌شنی Sandy clay loam
	قطعه دو Location 2	0.73	10	1.00	1.9	240	8.4	0.38	8.19	0.40	15.3	لوم رسی‌شنی Sandy clay loam
	قطعه سه Location 3	0.54	8.6	0.90	1.5	213	26.0	0.42	8.13	0.39	16.7	لوم رسی‌شنی Sandy clay loam

قابلیت هدایت الکتریکی:EC ؛کربن آلی خاک :OC ؛کربنات کلسیم معادل :CCE

این آزمایش در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی اجرا شد. سه قطعه فسفر در قالب محیط در نظر گرفته شدند (چون قطعه با فسفر بالا عملاً نمی‌توانست کنار دو قطعه دیگر قرار گیرد). ۹ سطح روی در هر قطعه به‌صورت بلوکهای کامل تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفتند. عملیات آماده سازی زمین شامل شخم (در پاییز) و دیسک و ماله (در بهار قبل از کاشت) انجام شد. سطوح روی شامل مصرف مقادیر صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلوگرم سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$) به صورت خاکی و محلول پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته بعد از گلدهی؛ توصیه کودی برای سایر عناصر غذایی به جز فسفر و روی بر اساس آزمون خاک انجام شد. تمام کودهای پرمصرف و کم‌مصرف توصیه شده (کود اوره ۴۰۰ کیلوگرم، سوپر فسفات تریپل ۲۰۰ کیلوگرم (فقط در یکی از قطعات با فسفر پایین مصرف شد)، سولفات پتاسیم ۲۰۰ کیلوگرم، سولفات آهن ۵۰ کیلو گرم، سولفات منگنز ۵۰ کیلو گرم و سولفات روی بر اساس تیمارهای پژوهش) همراه با یک سوم کود ازته قبل از کاشت و به صورت پایه مصرف گردید و دوسوم مابقی کودهای ازته طی دو تقسیط (در زمان خاکدهی پای بوته و قبل از گلدهی) و به صورت سرک مصرف گردید. مصرف خاکی کودهای روی قبل از کاشت همراه بقیه کودها و تیمارهای محلول پاشی با غلظت ۵ در هزار سولفات روی و در دو تیمار یک هفته قبل از گلدهی و یک هفته بعد از گلدهی انجام شد.

طول هر کدام از کرت‌ها در این آزمایش ۸ متر و عرض آنها ۳ متر بود و از پشته‌های ۷۵ سانتی‌متری با فاصله بوته ۲۰ سانتیمتر بر

Archive of SID

www.SID.ir

روی یک پشته برای کاشت و با تراکم ۶۶۵۰۰ غده در هکتار استفاده شد که غده‌ها در عمق حدود ۶ سانتی‌متر کشت گردیدند. رقم استفاده شده در تحقیق آگریا و با اندازه بذری با قطر (۵۵–۴۵ میلی‌متر) بود. فاصله بین دو کرت یک پشته ۷۵ سانتی‌متری بود و کاشت کرتهای آزمایشی با استفاده از کارنده نیمه اتوماتیک شرکت سبز دشت مدل PS2 با قابلیت تنظیم فاصله بین شیار بازکن‌ها و لوله‌های سقوط انجام شد. آزمایش دارای سه تکرار با فاصلهٔ ۲ متر از هم بود.

حدود یک ماه بعد از پایان گلدهی، شاخساره یک خط از هر کدام از کرت‌ها جهت اندازه گیری وزن خشک آن برداشت شد. همزمان یک نمونه کامل از هر کدام از کرت‌ها و در زمان برداشت هم یک نمونه غده از هر کرت تهیه و قسمتی از آن در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت خشک گردید. سپس غلظت عناصر غذایی فسفر، آهن، روی و منگنز در شاخساره و غده پس از خشک-سوزانی همراه با مخلوط اسیدکلریدریک و اسیدنیتریک (۴۰) تعیین گردید. فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (۱۶) و آهن، روی و منگنز توسط دستگاه جذب اتمی (۳۲) اندازه‌گیری شد.

کارایی زراعی با استفاده از معادله (۱) محاسبه گردید (۱۲):

$$\text{کارایی زراعی} = (D_f-D_u)/X_a \qquad (۱)$$

که در این معادله، D_f عملکرد غده سیب‌زمینی در تیمار کود داده شده در هکتار، D_u عملکرد غده سیب‌زمینی در سطح شاهد در هکتار و X_a مقدار کود روی مصرف شده در هکتار بود.

بازیابی روی مصرف شده نیز با استفاده از معادله (۲) محاسبه گردید (۱۲):

$$\text{بازیابی کودها} = ((U_f- U_u)/ X_a)\times 100 \qquad (۲)$$

که در این معادله، U_f مقدار جذب عنصر مورد نظر در شاخساره و غده در هکتار و در تیمار کود داده شده و U_u مقدار جذب عنصر مورد نظر در شاخساره و غده در هکتار و در شاهد و X_a مقدار روی خالص مصرف شده در هکتار بود.

تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای MSTATC و SPSS انجام شد. ابتدا آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها انجام و در صورت نیاز از تبدیل مناسب برای داده‌های غیرنرمال استفاده شد. سپس مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد غده و شاخساره: همانطور که در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود اثر اصلی قطعه‌های فسفر و تیمارهای روی بر عملکرد غده و اثر اصلی قطعه‌های فسفر بر عملکرد شاخساره در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ولی اثر متقابل قطعه‌های فسفر و کود روی بر عملکرد شاخساره معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی کود روی نشان داد که مصرف ۴۰ کیلوگرم کود روی در هکتار باعث افزایش معنی‌دار ۱۷ و ۱۵ درصدی عملکرد در مقایسه با تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته بعد از گل‌دهی و شاهد شد. (جدول ۳). تفاوت سطح شاهد (عدم مصرف روی) و مصرف خاکی ۶۰ کیلوگرم سولفات روی و محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته بعد از گل‌دهی از نظر عملکرد غده در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نبود. همه سطوح مصرف خاکی کود روی باعث افزایش عملکرد غده در مقایسه با شاهد و محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته بعد از گل‌دهی شدند. تفاوت بین سطوح مصرف خاکی روی معنی‌دار نبود و همه این سطوح در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). همچنین در شرایط محلول‌پاشی هم اختلاف معنی‌دار بین قبل و بعد از گلدهی وجود داشت. محلول‌پاشی با سولفات روی قبل از گلدهی بیشترین و بعد از گلدهی کمترین عملکرد غده را نشان دادند و روند مشابهی در عملکرد خشک شاخساره نیز مشاهده شد که نشان می‌دهد زمان محلول‌پاشی در دستیابی به عملکرد مطلوب بسیار مهم می‌باشد. روی در تولید نشاسته و کربوهیدرات نقش دارد زیرا بر اثر کمبود روی شدت فتوسنتز کاهش می‌یابد و کلروپلاست غیرطبیعی می‌شود (۱). این نقش‌ها باعث می‌شود که با مصرف روی رشد گیاه افزایش پیدا کند. افزایش عملکرد غده با افزایش مصرف روی تا حد آستانه در این پژوهش همچنین می‌تواند به‌دلیل نقش‌های مهم روی در نفوذپذیری غشاءهای پلاسمایی، روبش گونه‌های احیایی اکسیژن، روابط آبی گیاه و هدایت روزنه‌ای بوده باشد (۳۳). بای‌بوردی و ملکوتی (۶) با مصرف ۱۵ کیلوگرم سولفات روی در هکتار بر روی سیب‌زمینی و عروجی و گلچین (۳۰) با مصرف ۱۵ میلی‌گرم و مطلبی‌فرد و همکاران (۲۶) با مصرف ۱۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک بر روی سیب‌زمینی نتایج مشابه این تحقیق را گزارش کردند.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که قطعه‌های مختلف فسفر از نظر عملکرد غده سیب زمینی در دو گروه آماری مختلف قرار گرفتند (جدول ۴). بیشترین عملکرد غده سیب‌زمینی در قطعه‌ی با فسفر پایین همراه با کوددهی فسفره و کمترین آن در قطعه با فسفر پایین و بدون کوددهی فسفر بدست آمد این قطعه باعث افزایش ۱۴ درصدی عملکرد غده در مقایسه با قطعه یک (فسفر پایین بدون فسفر) گردید و دو قطعه دو و سو (فسفر پایین با کوددهی فسفر و فسفر بالا بدون کوددهی فسفر) از نظر عملکرد غده در گروه آماری یکسان قرار گرفتند ولی در شرایط فسفر بالا و بدون کوددهی فسفر عملکرد غده اندکی کاهش یافت (۵ درصد در مقایسه با قطعه دوم).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در سیب‌زمینی در دو سال

Table 2: The analysis of variance for measured attributes of potato during two years

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی Degree of freedom	عملکرد خشک شاخساره Stem dry yield	عملکرد غده Tuber yield	جذب روی شاخساره Stem Zn uptake	جذب روی غده Tuber Zn uptake
سال Year	1	117777141**	675**	16825^{ns}	158^{ns}
قطعات فسفر Location	4	15550531**	200**	14678^{ns}	^{ns}۲۷۴۸
تکرار Replication	12	1004624^{ns}	84.2**	15788*	6545**
روی Zn	8	1019146^{ns}	82.7**	98896**	7970**
سال × روی Year×Zn	8	846543^{ns}	36.5^{ns}	37126**	2197^{ns}
فسفر× روی P×Zn	32	983536**	29.9^{ns}	7299^{ns}	1883^{ns}
خطا Error	96	1090981	28.5	7994	2054
ضریب تغییرات (%) Coefficient of Variation		21.95	14	22.5	24.3

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns, * and ** are non-significant, significant at p≤0.05 and p≤0.01, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های تاثیر سطوح کود سولفات روی بر عملکرد و میزان جذب روی در غده و شاخساره سیب‌زمینی رقم آگریا

Table 3: Means comparison of zinc fertilizer levels effect on tuber and shoot yield, and Zn uptake of potato cv. Agria

تیمار سولفات روی Zinc sulfate treatments (kg/ha)	جذب روی شاخساره Stem Zn uptake (g/ha)	جذب روی غده Tuber Zn uptake (g/ha)	عملکرد شاخساره Stem yield (kg/ha)	عملکرد غده Tuber yield (kg/ha)
0	190.4 d	131.8 a	4303 a	34974 c
20	245.8 cd	169.4 bc	4777 a	39198 a
40	280.5 c	167.8 bc	5055 a	40110 a
60	278.4 c	175.5 bc	4844 a	37828 abc
80	308.0 bc	193.3 a	4918 a	38190 ab
100	276.1 c	187.4 ab	4661 a	39937 a
120	274.1 c	183.2 ab	5005 a	38352 ab
محلول پاشی سولفات روی یک هفته قبل از گلدهی Leaf spraying of zinc sulfate one week before flowering	361.1 b	190.3 a	4746 a	40058 a
محلول پاشی سولفات روی یک هفته بعد از گلدهی Leaf spraying of zinc sulfate one week after flowering	452.5 a	193.5 a	4526 a	34305 c

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Different letters in a column of each experimental factors show significant differences in Duncan's multiple range test at p≤0.05.

افزایش عملکرد غده در شرایط مصرف فسفر و یا وجود فسفر بالا در خاک دلایل متعددی داشت. اولاً در شرایط فسفر کافی کربوهیدرات‌ها و مواد فتوسنتزی به مقدار کافی تولید شده و ماده خشک کافی بر ای ذخیره تولید می‌شود (۲۴). ثانیاً با وجود فسفر کافی افزایش انتقال فراورده‌های فتوسنتز به ریشه باعث افزایش عملکرد می‌شود (۴۲). ثالثاً فسفر کافی باعث افزایش طول ریشه و استولون‌ها شد (۴۱) که این خود منجر به افزایش تعداد غده و عملکرد آن شد. تأثیر فسفر بر افزایش عملکرد سیب‌زمینی با نتایج پژوهش فلیشر و همکاران (۱۳) در مورد تأثیر مصرف ۰/۲ گرم سوپرفسفات تریپل بر گلدان بر روی سیب‌زمینی مطابقت داشت. در قطعه با فسفر

Archive of SID

www.SID.ir

بالا و بدون کوددهی فسفر عملکرد غده در مقایسه با قطعه دوم (فسفر پایین با کوددهی فسفر) اندکی کاهش یافت هرچند این کاهش معنی‌دار نبود. احتمال دارد در قطعه سوم به‌دلیل فسفر زیادتر اثر متقابل بین فسفر و سایر عناصر غذایی باعث شده است که عملکرد غده سیب‌زمینی کاهش یابد.

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های تاثیر قطعات مختلف فسفر بر عملکرد و میزان جذب روی در غده و شاخساره سیب‌زمینی رقم اگریا

Table 4: Means comparison of phosphorus conditions effect on tuber and shoot yield, and Zn uptake of potato cv. Agria

	جذب روی شاخساره Stem Zn uptake (g/ha)	جذب روی غده Tuber Zn uptake (g/ha)	عملکرد خشک شاخساره Stem dry yield (kg/ha)	عملکرد غده Tuber yield (kg/ha)
فسفر پایین بدون فسفر Low soil P and without P application	286 a	165 a	4010 b	35374 c
فسفر پایین با فسفر Low soil P and soil application of P	315 a	193 a	4996 a	40324 a
فسفر بالا بدون فسفر High soil P and without P application	287 a	187 a	5269 a	38619 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Different letters in a column of each experimental factors show significant differences in Duncan's multiple range test at $p\leq 0.05$.

با بررسی مقایسه میانگین‌های عملکرد خشک شاخساره در قطعه‌های مختلف فسفر مشخص گردید که در قطعه سوم بیشترین و در قطعه اول کم‌ترین عملکرد خشک شاخساره به دست آمد (جدول ۴). قطعه‌های فسفر پایین با کوددهی فسفر و فسفر بالا بدون کوددهی فسفر به‌ترتیب باعث افزایش ۲۵ و ۳۲ درصدی عملکرد خشک شاخساره در مقایسه با قطعه فسفر پایین و بدون کوددهی فسفره شدند (جدول ۴) ولی تفاوت دو قطعه دوم و سوم از نظر عملکرد خشک شاخساره معنی‌دار نبود. به‌نظر می‌رسد همان دلایلی که در مورد تأثیر فسفر بر عملکرد غده سیب‌زمینی ذکر شد در مورد عملکرد خشک شاخساره نیز صادق باشد. چرا که در شرایط فسفر کافی کربوهیدرات‌ها و مواد فتوسنتزی به مقدار کافی تولید شده و مواد غذایی لازم برای توسعه شاخساره سیب‌زمینی فراهم است (۲۴). ثانیاً فسفر کافی باعث افزایش رشد و توسعه ریشه شد (۴۱) و رشد و توسعه ریشه با جذب بهتر آب و مواد غذایی به افزایش عملکرد شاخساره منجر شد. ثالثاً فسفر کافی به‌دلیل نقشش سوخت و ساز، تقسیم و رشد سلول، تنفس و فتوسنتز (۲۳) باعث رشد بهتر شاخساره سیب‌زمینی شد. مایر و همکاران (۱۹) گزارش کردند که مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات معمولی بیشترین وزن شاخساره را در سیب‌زمینی به وجود آورد.

جذب روی غده و شاخساره: با بررسی تجزیه واریانس داده‌ها مشخص گردید که به جز اثر اصلی کود روی هیچ یک از اثرهای اصلی و متقابل بر جذب روی غده معنی‌دار نبود (جدول ۲). همچنین به جز اثر اصلی کود روی و اثر متقابل سال×کود روی بر جذب روی شاخساره سایر اثرهای اصلی و متقابل بر جذب روی شاخساره معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین جذب روی غده در سطح محلول‌پاشی با سولفات روی یک هفته بعد از گلدهی و کمترین آن در شرایط عدم مصرف روی به‌دست آمد. محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته بعد از گلدهی باعث افزایش ۴۷ درصدی جذب روی غده در مقایسه با شرایط عدم مصرف روی گردید (جدول ۳). با افزایش مصرف خاکی کود روی جذب روی غده به‌طور خطی افزایش نشان داد و بین سطوح کود روی مصرف شده به‌شکل خاکی و جذب روی غده رابطه خطی معنی‌دار ($Y=0.385(Zn)+149.5$, $r=0.81^*$) وجود داشت و با افزایش مصرف خاکی سولفات روی جذب روی غده نیز افزایش یافت. افزایش جذب روی غده با مصرف آن می‌تواند در بهبود کیفیت غده سیب‌زمینی و امنیت غذایی جامعه نقش اساسی داشته باشد چرا که سیب‌زمینی با سرانه مصرف ۴۵ کیلوگرم در سال بعد از گندم پرمصرف‌ترین محصول در سبد غذایی ایرانیان است (۱۲) و غنی‌سازی محصولی مانند سیب‌زمینی با عناصر مهم از جمله روی که کمبود آن در مناطق مختلف مشهود است (۲۰) می‌تواند به حفظ سلامت جامعه کمک نماید. تمام سطوح سولفات روی، جذب روی غده را در مقایسه با شاهد (عدم مصرف روی) به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. ولی افزایش جذب روی غده در شرایط محلول‌پاشی با سولفات روی یک هفته بعد از گلدهی بارزتر از سایر سطوح بود. چرا که یک هفته بعد از گلدهی غده‌ها تشکیل شده‌اند و در این مرحله بیشتر پرشدن غده اتفاق می‌افتد در نتیجه روی محلول‌پاشی شده در این مرحله بیشتر

Archive of SID

www.SID.ir

به‌غده‌ها منتقل گردید و باعث افزایش غلظت روی غده و جذب روی آن گردید.

میانگین‌های جذب روی شاخساره در سطوح مختلف کود روی اختلاف معنی‌دار باهم داشتند. بیشترین جذب روی شاخساره در شرایط محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته بعد از گلدهی و کمترین آن در شرایط عدم مصرف روی مشاهده گردید. محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته بعد از گلدهی باعث افزایش ۲/۳۷ برابری جذب روی شاخساره در مقایسه با شرایط عدم مصرف روی گردید. بین سطوح مختلف مصرف خاکی روی اختلاف معنی‌دار از نظر جذب روی شاخساره مشاهده نگردید و سطوح ۲۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). تیمارهای محلول‌پاشی کود سولفات روی جذب روی بیشتری در شاخساره در مقایسه با تیمارهای مصرف خاکی قرار داشتند که نشان می‌دهد برای افزایش غلظت عناصر در شاخساره محلول‌پاشی عناصر مؤثرتر از مصرف خاکی بود. این نتیجه در پژوهش اسدی کنگرشاهی و همکاران(۳) بر روی نارنگی نیز تأیید گردید. آن‌ها نیز نتیجه گرفتند که بهترین روش برای افزایش غلظت روی در میوه و برگ نارنگی محلول‌پاشی می‌باشد.

میزان روی جذب شده توسط غده و شاخساره در سطح ۵ درصد تحت تأثیر قطعات با فسفر مختلف قرار نگرفت (جدول ۲) ولی از یک روند مشابه تبعیت می‌کرد به طوری که با افزایش کود فسفره به خاک در قطعه با فسفر پایین میزان کل روی جذب شده در غده افزایش پیدا کرد (جدول ۴) ولی در قطعه با فسفر بالا این میزان به مقدار قابل ملاحظه‌ای در هر دو ویژگی کاهش پیدا کرد که این موضوع بیانگر آن است که وقتی میزان فسفر خاک کم است مصرف کود فسفره به علت افزایش عملکرد، افزایش سطح ریشه‌ها و تارهای کشنده باعث افزایش جذب روی می‌شود ولی وقتی سطح فسفر خاک به میزان بالاتری افزایش پیدا می‌کند میزان کل روی جذب شده به علت اثر متقابل فسفر و روی کاهش پیدا می کند تأثیر فسفر در کاهش جذب روی و اثر متقابل آنها با نتایج تحقیقات موستوی و همکاران (۲۷) بر روی گندم مطابقت نشان داد.

غلظت عناصر غذایی شاخساره و غده: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی سطوح روی فقط بر غلظت روی شاخساره در سطح یک درصد و روی غده در سطح ۵ درصد معنی‌دار و بر سایر غلظت‌های عناصر غذایی غیر معنی‌دار بود. اثر اصلی قطعه‌های فسفر بر غلظت همه عناصر غذایی اندازه‌گیری شده عمدتاً در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل قطعه‌های فسفر و کود روی بر غلظت هیچ‌کدام از عاصر غذایی اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت فسفر، آهن و منگنز شاخساره و غده در سطوح مختلف کود روی اختلاف معنی‌دار باهم نداشتند و در گروه آماری یکسان قرار گرفته و هیچ روند منطقی در در این سطوح از نظر این عناصر مشاهده نگردید (جدول ۶). با افزایش روی مصرفی غلظت روی شاخساره و غده سیب‌زمینی روند افزایشی نشان داد. محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته بعد از گلدهی بیشترین و عدم مصرف روی کمترین غلظت روی شاخساره را داشتند و این تفاوت ۲/۶ برابر بود. تمام سطوح روی باعث افزایش غلظت آن در مقایسه با شرایط عدم مصرف روی گردیدند ولی این افزایش در شرایط مصرف خاکی ۸۰ کیلوگرم روی در هکتار و تیمارهای محلول‌پاشی معنی‌دار شد. غلظت روی غده هم از روندی مشابه روند غلظت روی شاخساره پیروی کرد و حداکثر مقادیر آن در شرایط محلول‌پاشی روی و مصرف خاکی ۸۰ کیلوگرم روی در هکتار مشاهده شد. محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته بعد از گلدهی با ۴۹ درصد افزایش نسبت به تیمار عدم مصرف کود روی بیشترین غلظت روی غده را به خود اختصاص دادند و تمام تیمارهای روی به‌طور قابل ملاحظه‌ای غلظت روی غده را افزایش دادند (جدول ۶). شجاعی و جواهری (۳۵) گزارش نمودند که مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و دو بار محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت پنج در هزار دو هفته بعد از سبز شدن و در مرحله ۵۰ درصد گلدهی بیشترین غلظت روی برگ سیب‌زمینی را نشان داد.

مقایسه میانگین‌های غلظت فسفر شاخساره و غده نشان داد که با افزایش مصرف فسفر و یا غلظت آن در خاک فسفر شاخساره و غده افزایش یافته است و هر دو قطعه‌های با فسفر بالا و فسفر پایین با کوددهی فسفر باعث افزایش معنی‌دار غلظت فسفر شاخساره و غده نسبت به قطعه با فسفر پایین و بدون کوددهی فسفر گردیدند. بیشترین غلظت فسفر شاخساره در قطعه با فسفر بالا و بدون کوددهی فسفر و کمترین آن در قطعه با فسفر پایین و بدون کوددهی فسفر مشاهده گردید که ۱۷ درصد افزایش را در این شرایط نشان می‌دهد (جدول ۷). غلظت بالای فسفر در خاک بیشتر از مصرف آن از طریق کود فسفر باعث افزایش غلظت فسفر شاخساره گردید. وقتی غلظت فسفر در خاک بالا باشد به‌دلیل توزیع یکنواختی که دارد به‌سهولت جذب ریشه شده و مصرف می‌شود در صورتی که ۲۰۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل اگر فرضاً کامل هم به فرم قابل جذب در آید باعث افزایش حدود ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در فسفر قابل‌جذب می‌گردد که با ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر در قطعه با فسفر بالا ۲۵ درصد فاصله دارد. غلظت فسفر غده هم روندی مشابه روند غلظت فسفر شاخساره داشت. با افزایش فسفر به قطعه با فسفر پایین (قطعه دوم) و یا وجود فسفر بالا در خاک (قطعه سوم) غلظت فسفر غده افزایش ۱۲ درصدی نشان داد (جدول ۷).

با بررسی مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که هر دو قطعه با فسفر بالا و فسفر پایین با کوددهی فسفر (قطعه دوم و سوم) باعث کاهش معنی‌دار غلظت آهن، روی و منگنز شاخساره (به‌ترتیب ۲۵، ۳۴ و ۳۴ درصد) و غلظت آهن، روی و منگنز غده (به‌ترتیب ۱۷، ۷ و ۱۱ درصد)

Archive of SID

www.SID.ir

شدند. تفاوت دو قطعه دوم و سوم به جز روی شاخساره در سایر غلظت‌های شاخساره و غده معنی‌دار نبود (جدول ۷). تأثیر قطعات مختلف فسفر بر آهن شاخساره در سطح یک درصد معنی دار گردید. قطعه اول بیشترین و قطعه دو کمترین میزان آهن شاخساره را به خود اختصاص دادند که بیانگر کاهش ۲۵ درصدی غلظت آهن شاخساره در اثر مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل بود. کاهش غلظت آهن شاخساره در اثر مصرف فسفر و یا غلظت بالای آن در خاک اثر متقابل فسفر و آهن را اثبات می‌کند. تأثیر کوددهی فسفره بیشتر از فسفر موجود در خاک بود. با این‌حال کاهش غلظت عناصر غذایی در شرایط با فسفر بالا (قطعه دوم و سوم) باعث نشد که غلظت عناصر کم‌مصرف به پایین‌تر از حد مطلوب آن‌ها در غده (به‌ترتیب ۹، ۱۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک غده برای منگنز، آهن و روی و ۰/۱۳ درصد برای فسفر (۲۸)) و یا حدبحرانی آن‌ها برای شاخساره (۰/۲ درصد برای فسفر و به‌ترتیب ۷۰، ۳۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه برای آهن، منگنز و روی شاخساره (۵، ۱۵)) کاهش یابد. ولی غلظت منگنز غده در تمام قطعه‌های با فسفر متفاوت پایین‌تر از حد مطلوب برای غده سیب‌زمینی بود که با توجه به زیاد بودن غلظت منگنز در شاخساره سیب‌زمینی در این پژوهش احتمالاً دلایل ژنتیکی می‌تواند در این غلظت پایین منگنز غده سیب‌زمینی نقش داشته باشد و با توجه به کاهش بیشتر منگنز غده با مصرف فسفر، لازم است به اثر متقابل بین فسفر و منگنز توجه بیشتری مبذول گردد.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) غلظت عناصر غذایی شاخساره و غده سیب‌زمینی رقم آگریا در دو سال

Table 5: The analysis of variance for leaf and tuber nutrients concentration of potato cv. Agria during two years

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی Degree of freedom	منگنز غده Tuber Mn	روی غده Tuber Zn	آهن غده Tuber Fe	منگنز شاخساره Leaf Mn	روی شاخساره Leaf Zn	آهن شاخساره Leaf Fe	فسفر غده Tuber P	فسفر شاخساره Leaf P
سال Year	1	259**	0.066^{ns}	1309**	359957**	30867**	622232**	0.000^{ns}	0.114**
قطعات فسفر Location	4	11.2**	۶۶*	718**	20934**	2800**	50553**	0.013**	0.3**
تکرار Replication	12	4.6**	56.9**	308*	2345**	1806*	22433*	0.001^{ns}	0.002^{ns}
روی Zn	8	0.56^{ns}	50*	165^{ns}	769^{ns}	9359**	12918^{ns}	0.001^{ns}	0.001^{ns}
سال × روی Year×Zn	8	1.16^{ns}	44.7^{ns}	236^{ns}	972^{ns}	2423**	11334^{ns}	0.003^{ns}	0.001^{ns}
فسفر× روی P×Zn	32	0.79^{ns}	25.3^{ns}	131^{ns}	935^{ns}	271^{ns}	4093^{ns}	0.001^{ns}	0.001^{ns}
خطا Error	96	1.22	23.2	171	975	499	9514	0.002	0.001
ضریب تغییرات (%) Coefficient of Variation		15	22.4	26.7	18.9	26.7	27.2	15.0	12.3

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns, * and ** are non-significant, significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively

کاهش غلظت آهن، منگنز و روی شاخساره و غده با مصرف فسفر به‌دلیل اثر متقابل بین فسفر و این عناصر غذایی بود. مصرف فسفر بیشتر و یا غلظت بالای آن در خاک اولاً باعث کاهش حلالیت این عناصر غذایی در خاک به‌دلیل رسوب با فسفر (۱۷) و واکنش بیشتر با ترکیب‌های خاک و کاهش آزادسازی از آن‌ها (۴۲) شد. مندل و مندل (۲۲) گزارش کردند که کود فسفر تبدیل شکل‌های محلول آهن به شکل‌های نامحلول را تقویت کرد. این نقش فسفر احتمالاً با تغییر فاکتور ظرفیت آن انجام شده است (۳۱). ثانیاً فسفر اضافی حجم میکوریز ریشه را کاهش داده و جذب این عناصر را کم می‌کند (۱۸). ثالثاً فسفر باعث افزایش عملکرد شاخساره و غده شد و این افزایش به‌دلیل اثر رقت باعث کاهش غلظت عناصر آهن، منگنز و روی در شاخساره و غده شد. رابعاً فسفر زیادی باعث می‌شود آهن، منگنز و روی جذب شده در ریشه مانده و به بخش‌های دیگر منتقل نگردند (۲۷). همچنین مقدار زیاد فسفر بر برخی از فعالیت‌های متابولیکی در داخل گیاه تأثیر می‌گذارد. کاهش در ساخت بعضی کمپلکس‌های اسیدهای آلی که عامل انتقال دهندهٔ این عناصر مخصوصاً روی در گیاه هستند می‌تواند به‌عنوان دلیلی برای اثرهای متقابل فسفر و این عناصر در سطوح بالای فسفر باشند. در حضور فسفر زیاد انتقال‌دهنده‌های آن‌ها در گیاه غیرفعال می‌شوند. گزارش شده است که در شرایط زیادی فسفر، ۴۰ درصد روی جذب شده در ریشه‌ها از انتقال بازمانده و ۲۰ درصد دیگر آن در نوک ساقه‌ها گرفتار می‌شود (۲۰). نتایج تحقیق موستوی و همکاران (۲۷) بر روی گندم نشان داد که اثر

Archive of SID

www.SID.ir

متقابل روی و فسفر در داخل گیاه اتفاق می‌افتد و غلظت روی ریشه و ساقه و جذب روی آن‌ها با مصرف فسفر کاهش می‌یابد و این کاهش۵۲ درصد برای ریشه و ۵۳ درصد برای ساقه بود. آنان نتیجه گرفتند که عمده اثرهای متقابل فسفر و روی در انتقال روی به شاخساره‌ها صورت می‌گیرد.

جدول ٦ - مقایسه میانگین‌های تاثیر سطوح مختلف کود سولفات روی بر غلظت عناصر غذایی شاخساره و غده سیب‌زمینی رقم اگریا

Table 6: Means comparison of zinc fertilizer levels effect on stem and tuber nutrients concentration of potato cv. Agria

تیمار سولفات روی Zinc sulfate treatments (kg/ha)	منگنز غده Tuber Mn	روی غده Tuber Zn	آهن غده Tuber Fe	منگنز شاخساره Leaf Mn	روی شاخساره Leaf Zn	آهن شاخساره Leaf Fe	فسفر غده Tuber P	فسفر شاخساره Leaf P
		(mg/kg dw)					٪	
0	7.29 a	18.9 d	43 a	160 a	46 d	a 244	0.28 a	0.25 a
20	7.22 a	20.5 cd	44 a	165 a	52cd	a 272	0.28 a	0.25 a
40	7.50 a	19.9 cd	40 a	166 a	58 cd	a 244	0.28 a	0.27 a
60	7.19 a	22.2 bcd	45 a	179 a	60 cd	a 212	0.28 a	0.27 a
80	7.40 a	24.2 b	45 a	174 a	67 c	a 229	0.29 a	0.26 a
100	7.49 a	21.8 bcd	49 a	162 a	61 cd	a 217	0.27 a	0.26 a
120	7.41 a	22.5 bcd	41 a	163 a	59 cd	a 237	0.29 a	0.26 a
محلول‌پاشی سولفات روی یک هفته قبل از گلدهی Leaf spraying of zinc sulfate one week before flowering	7.66 a	22.8 bc	39 a	160 a	88 b	a 235	0.30 a	0.25 a
محلول‌پاشی سولفات روی یک هفته بعد از گلدهی Leaf spraying of zinc sulfate one week after flowering	7.10 a	28.2 a	44 a	160 a	120 a	a 297	0.28 a	0.27 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Different letters in a column of each experimental factors show significant differences in Duncan's multiple range test at $p\leq0.05$

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بازیابی روی در تمام سطوح مصرف خاکی زیر دو درصد و در سطوح محلولپاشی روی حدود ۲۰ درصد بود. بیش‌ترین و کم‌ترین بازیابی روی به‌ترتیب در محلول‌پاشی با سولفات روی با غلظت ۵ در هزار یک هفته بعد از گلدهی و مصرف ۱۲۰ کیلوگرم سولفات روی در خاک مشاهده شد (جدول ۸) که نشان می‌دهد بین این دو تیمار حدود ۷۰ برابر تفاوت در بازیابی کود روی وجود داشت. بازیابی بالای کود روی در روش محلولپاشی به علت تماس مستقیم آن با شاخساره و کاهش تثبیت آن در خاک بود. ملکوتی و لطف‌الهی (۲۰) به نقل از یثربی و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که حداکثر جذب روی در سال اول و برای ذرت ۵ درصد است. بازیابی روی به عوامل زیادی از جمله میزان کود روی مصرفی، نوع گیاه، میزان فسفر خاک و مصرف شده به صورت کود، اسیدیته و میزان آهک خاک، غلظت عناصر دارای اثر متقابل با روی مانند آهن و منگنز، میزان موادآلی خاک و غلظت اولیه روی خاک و روش مصرف آن دارد. با مصرف زیاد کود سولفات روی، احتمالاً به‌علت رسوب روی با آنیون‌های سولفات و کربنات و جذب آن بر سطح اکسیدهای آبدار آهن و منگنز، آهک و سطوح سزکوئی اکسیدهای کم‌تر بلوری شده که تمایل زیادی برای جذب روی دارند بازیابی آن به شدت کاهش یافت (۲۲).

کاهش بازیابی روی با افزایش مصرف خاکی آن احتمالاً دلایل مختلفی داشت: ۱) روی زیاد، میزان واکنش آن با اجزای مختلف خاک که در بالا اشاره شد افزایش داد؛ ۲) با افزایش مصرف روی، جذب روی غده و شاخساره با همان نسبت افزایش نیافت در نتیجه جذب کل روی در شرایط مصرف زیاد آن کاهش یافت؛ ۳) در شرایط فراهمی بالای روی بخشی از آن در ریشه متوقف شد و به مناطق مورد نیاز انتقال نیافت؛ ۴) احتمالاً به‌دلیل اثر متقابل آنتاگونیستی بین عناصر غذایی مختلف و روی از جذب بیشتر روی جلوگیری شد؛ ۵) با افزایش میزان کود روی مصرفی به‌علت افزایش زیر کسر فرمول محاسبه بازیابی روی و عدم افزایش زیادتر صورت به مقدار متناسب درصد بازیابی روی کاهش پیدا کرد. میزان کود روی مصرفی در تیمارهای پژوهش از ۲۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار متفاوت بود (شش برابر) در حالی که میزان کل روی جذب شده در غده و شاخساره در تیمارهای مصرف زیاد روی در این حد بالا نرفت. به‌نظر می‌رسد این دلایل باعث شد تا بازیابی روی در شرایط مصرف زیادتر آن کاهش

Archive of SID

www.SID.ir

یابد. با توجه به این نتایج مشاهده می‌شود که عمده کـود مصـرفی در خاک باقی می‌ماند و برای کشت‌های بعدی قابل استفاده می‌باشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های تاثیر قطعات مختلف فسفر بر غلظت عناصر غذایی شاخساره و غده سیب‌زمینی رقم اگریا

Table 7: Means comparison of phosphorus conditions effect on stem and tuber nutrients concentration of potato cv. Agria

	منگنز غده Tuber Mn	روی غده Tuber Zn	آهن غده Tuber Fe	منگنز شاخساره Leaf Mn	روی شاخساره Leaf Zn	آهن شاخساره Leaf Fe	فسفر غده Tuber P	فسفر شاخساره Leaf P
	(g/kg dw)						٪	
فسفر پایین بدون فسفر Low soil P and without P application	7.8 a	22.3 a	47 a	186 a	78 a	274 a	0.26 b	0.24 b
فسفر پایین با فسفر Low soil P and soil application of P	7.2 b	20.8 b	40 b	167 b	70 a	220 b	0.29 a	0.26 ab
فسفر بالا بدون فسفر High soil P and without P application	7.0 b	21.3 ab	42 b	141 b	58 b	233 ab	0.29 a	0.28 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Different letters in a column of each experimental factors show significant differences in Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

مقایسه میانگین‌های کارایی زراعی روی برای اثر اصلی کود روی نشان داد که با افزایش مصرف خاکی روی کارایی زراعی روی کاهش یافت. در شرایط مصرف خاکی کود روی بیش‌ترین و کم‌ترین کـارایی زراعی کود روی به‌ترتیب در شرایط مصرف خاکی ۲۰ و ۱۲۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار مشاهده شد. مصـرف ۱۲۰ کیلـوگرم سـولفات روی باعث کاهش بیش از ۵ برابری کارایی زراعی روی در مقایسه بـا شرایط مصرف ۲۰ کیلوگرم سولفات روی شد (جـدول ۸). بـا مصـرف بیشتر سولفات روی عملکرد به‌دلیل قانون بازده نزولی میچـرلیخ (۲۹) به‌همان نسبت افزایش پیدا نکرد و این کاهش باعـث کـاهش جـذب روی و کارایی زراعی آن شد. شـیوای و همکـاران (۳۴) هـم گـزارش نمودند که با افزایش مصرف روی از صفر تـا ۱۰ کیلـوگرم در هکتـار، کارایی زراعی روی مصرفی در برنج تا چهار برابر و بازیابی روی تـا ۳ برابر کاهش یافت.

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های تاثیر سطوح مختلف کود سولفات روی بر بازیابی و کارایی زراعی کود روی

Table 8: Means comparison of zinc fertilizer levels effect on zinc recovery and agronomic efficiency

تیمار سولفات روی Zinc sulfate treatments (kg/ha)	کارایی زراعی کود روی Agronomic efficiency of Zn fertilizer (kg Y/kg Zn fertilizer)	بازیابی کود روی Recovery of Zn fertilizer (%)
20	29.7 c	1.67 b
40	21.2 c	1.10 ab
60	9.6 d	0.71 bc
80	8.6 d	0.73 bc
100	7.7 d	0.40 c
120	5.2 d	0.33 c
محلول پاشی سولفات روی یک هفته قبل از گلدهی Leaf spraying of zinc sulfate one week before flowering	185 a	21 a
محلول پاشی سولفات روی یک هفته بعد از گلدهی Leaf spraying of zinc sulfate one week after flowering	51 b	24 a

نتیجه‌گیری کلی

از مجموع نتایج چنین بر می‌آید که برای افزایش عملکرد سیب-زمینی در شرایطی مثل استان همدان وجود حد مناسب فسفر در خاک و یا مصرف آن در قطعات با فسفر پایین الزامی می‌باشد. برای افزایش عملکرد سیب‌زمینی لازم است به مصـرف روی توجـه کـافی مبـذول گردد. در این میان هم می‌توان از مصرف خاکی ۴۰-۲۰ کیلو گـرم در هکتار روی استفاده نمود و یا می‌توان از محلول پاشی با سولفات روی ۵ در هزار و قبل از گلدهی استفاده نمود. مصرف روی بعـد از گلـدهی هیچ تأثیری بر عملکرد غده سـیب‌زمینـی نداشـت بنـابراین مشـاهده می‌شود که زمان محلول پاشی کود روی در سیب‌زمینـی بسـیار مهـم

Archive of SID

www.SID.ir

می‌باشد.

نکته قابل ذکر این است که برای غنی سازی غده سیب‌زمینی از عنصر روی و افزایش غلظت آن در غده مصرف میزان ۶۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار و یا محلول پاشی با سولفات روی لازم می‌باشد و مصرف ۴۰ کیلو گرم سولفات روی برای افزایش غلظت روی در غده کافی نمی‌باشد.

مصرف فسفر در خاک با فسفر کم و یا غلظت بالای آن در خاک باعث کاهش قابل توجه و معنی‌دار غلظت آهن، منگنز و روی غده و شاخساره سیب‌زمینی گردید. بنابراین در خاک‌هایی که غلظت این عناصر در حدود غلظت بحرانی آنها می‌باشد می‌بایست به مصرف این عناصر توجه لازم مبذول گردد. فسفر بالا باعث کاهش غلظت این عناصر در شاخساره و غده می‌گردد و احتمال دارد غلظت این عناصر را تا حد زیر بحرانی در گیاه کاهش و باعث افت عملکرد گردد.

بازیابی روی در تمام تیمارهای مصرف خاکی روی عمدتاً کمتر از دو درصد بود و چنانچه بر اساس تیمار توصیه شده این پژوهش در نظر بگیریم (مصرف ۴۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار) حدود ۱/۱ درصد می‌باشد. با مصرف ۴۰ کیلوگرم کود سولفات روی در هکتار در گیاه پرمصرفی مثل سیب‌زمینی کمتر از یک کیلوگرم آن در سال اول جذب غده و شاخساره شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود و چیزی در حدود ۳۹ کیلوگرم آن در خاک باقی مانده و برای کشت‌های بعدی ذخیره می‌شود. در خاکهای آهکی روی باقیمانده عمدتاً به فرم کربناته ذخیره شده و در کشت‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته بررسی‌های بیشتر و بررسی تأثیر روی مصرف شده در سالهای بعد بر روی قابل استفاده خاک ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

1- Alloway B.J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Second Edition. Published by IZA and IFA, France. 135 P.

2- Anonymous. 2013. Iran agriculture statistics, Jihade-Agriculture Ministry, Iran.

3- Asadi Kangarshahi A., Amiri N., Malakouti M.J., and Moradi B. 2007. Effect of amount and rate of zinc sulphate on yield and quality of tangerine cv. Oshno. Soil Water Science, 21(1):1-14. (in Farsi with English abstract)

4- Barben S.A., Hopkins B.G., Jolley V.D., Webb B.L., and Nicholas B.A. 2010. Phosphorus and zinc interactions in chelator-buffered solution grown russet Burbank potato. Journal of Plant Nutrition, 33:587-601.

5- Barker A.V., and Pilbean D.J. 2007. Handbook of Plant Nutrition. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, USA.

6- Baybourdi A., and Malakouti M.J. 2001. Effects of different zinc and phosphorus levels on cadmium concentration of two potato cultivars in Sarab. Water and Soil Journal, 25(1):25-38. (in Farsi with English abstract)

7- Cakmak I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species (a review). New Phytologist, 146:185-205.

8- Cakmak I., and Hoffland L. 2012. Zinc for the improvement of crop production and human health. Plant and Soil, 361:1-2.

9- Duffner A., Hoffland E., and Temminghoff E.J. M. 2012. Bioavailability of zinc and phosphorus in calcareous soils as affected by citrate exudation. Plant and Soil, 361:165-175.

10- Eskandari A., Khazaie N.R., Nezami A., and Kafi M. 2011. Effect of irrigation regime on yield and some quality attributes of potato (*Solanum tuberosum* L.). Water and Soil Journal, 25(2):240- 247. (in Farsi with English abstract)

11- FAO. 2014. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available in: http://faostat.fao.org/statistics.

12- Fageria N.K., Morais O.P., and Santos A.B. 2010. Nitrogen use efficiency in upland rice genotypes. Journal of Plant Nutrition, 33:1696-1711.

13- Fleisher D.H., Wang Q., Timlin D.J., Chun J.A., and Reddy V.R. 2012. Response of potato gas exchange and productivity to phosphorus deficiency and carbon dioxide enrichment. Crop Science, 52:1803-1815.

14- Gee G.W., and Bauder D. 1986. Particle size analysis. In: Dane J.H. and Topp G.C. (eds). Methods of Soil Analysis: Part4. Physical Methods. Soil Sci. Soc. Am. Book Ser. 5. Madison, WI, USA, pp. 255-292.

15- Gheibi M., and Malakouti M.J. 1997. Determination of Nutrients Critical Levels for Strategic Crops and Accurate Fertilizer Recommendation in Iran. Agricultural Education Publisher, Iran.

16- Jones J. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, LLC. USA.

17- Lambert R., Grant C., and Sauvé S. 2007. Cadmium and zinc in soil solution extracts following the application of phosphate fertilizers. Science of the Total Environment, 378:293-305.

18- Loneragan J F., and Webb M J. 1993. Interaction between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. Pp. 119-134. Robson, A.D. (ed.) Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Pub., Dordrecht.

19- Maier N.A., McLaughlin M.J., Heap M., Butt M., and Smart M.K. 2002. Effect of current-season application of calcitic lime and phosphorus fertilization on soil pH, potato growth, yield, dry matter content, and cadmium concentration. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 33:2145-2165.

Archive of SID

www.SID.ir

20- Malakouti M.J., and Lotfollahi M.A. 2000. The Role of Zinc on the Improvement of the Quality and Yield of Agricultural Crops and the Enhancement of Peoples Health. Agricultural Education Publisher, Iran.
21- Mandal L.N., and Haldar M. 1980. Influence of phosphorus and zinc application on the availability of zinc, copper, iron, manganese and phosphorus in waterlogged rice soil. Soil Science, 130:251-257.
22- Mandal B., and Mandal L.N. 1990. Effect of phosphorus application on transformation of zinc fraction in soil and on the zinc nutrition of lowland rice. Plant and Soil, 121:115-123.
23- Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. (2nd Ed). Academic Press, USA.
24- McArthur D.A.J., and Knowles N.R. 1993. Influence of species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus nutrition on growth, development, and mineral nutrition of potato (*Solanum tuberosum* L.). Plant Physiology, 102:771-782.
25- Mostashari M. 2001. Effects of zinc and iron with different phosphorus rate on corn yield in Qazvin province. 7th Iranian Soil Sci. Cong., Shahrekord, Iran. Pp. 527-528.
26- Motalebifard R., Najafi N., Oustan S., Nyshabouri M. R., and Valizadeh M. 2013. The combined effects of phosphorus and zinc on evapotranspiration, leaf water potential, water use efficiency and tuber attributes of potato under water deficit conditions. Scientia Horticulturae, 162:31-38.
27- Moustaui D., Verloo M., and Pauvels J. 1991. Contribution of the study of Phosphorus- zinc interaction. Pedologie, 41(3):251- 261.
28- Navarre D.A., Goyer A., and Shakya R. 2009. Nutritional value of potatoes: vitamin, phytonutrient and mineral content. In: Singh J. and Kaur L. (eds). Advances in Potato Chemistry and Technology. Elsevier Inc., pp. 395-424.
29- Nelson L.A., and Anderson R.L. 1977. Partitioning of soil test-crop response probability. *In*: Peck T.R. (ed). Soil Testing: Correlation and Interpreting the Analytical Results. Soil Sci. Soc. Am. Book Ser. 5. Madison, WI, USA, Pp. 19-38.
30- Oroji H., and Golchin A. 2010. The effects of zinc, manganese and copper on potato yield and leaf and tuber concentrations of phosphorus and iron. JWSS - Isfahan University of Technology, 16(61):221-230. (in Farsi with English abstract)
31- Rattan R.K., and Deb D.L. 1981. Self-diffusion of zinc and iron in soils as affected by pH, $CaCO_3$, moisture, carrier and phosphorus levels. Plant Soil, 63:377-393.
32- Ryan J.R., Stefan G., and Rashid A. 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual (2nd ed). ICARDA. Aleppo, Syria, 172 P.
33- Sharma C.P., Mehrotra S.C., Sharma P.N., and Bisht S.S. 1984. Water stress induced by zinc deficiency in cabbage. Current Science, 53:44-45.
34- Shivay Y.S., Kumar D., and Prasad R. 2008. Effect of zinc-enriched urea on productivity, zinc uptake and efficiency of an aromatic rice-wheat cropping system. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 81:229-243.
35- Shojaie K., and Javaheri S. 2004. Effect of time, rate and method of zinc sulphate application on yield and zinc uptake of two potato cultivars. Agr. Res. Iran 12(1): 191-198. (in Farsi with English abstract)
36- Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabaei M.A., Johnson C.T., and Sumner M.E. 1996. Methods of soil analysis. Part 3, chemical methods. Soil Sci. Soc. Am. Book Ser. 5. Madison, WI, USA.
37- Taya J., Malik J., Pandita M., and Khurana S. 1994. Fertilizer management in potato based cropping system 1: Growth and yield of potato. Journal of Indian Potato Association, 21:84-88.
38- Tehrani M.M., Pasandideh M., and Davoodi M.H. 2011. Determination of micronutrients distribution and recommendation in Guilan, Mazandaran, Kermanshah, East Azarbaijan, Hamedan and Esfahan irrigated land. Final report no. 1618, Soil and water Research Institute, kararj, Iran.
39- Trehan S.P., and Sharma R. C. 2003. Root-shoot ratio as indicator of zinc uptake efficiency of different potato cultivars. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 34(7&8):919-932.
40- Westerman L.Z. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. Am. Book Ser. 5. Madison, WI, USA.
41- Wishart J., George T.S., Brown L.K., Ramsay G., Bradshaw J.E., White P.J., and Gregory P.J. 2013. Measuring variation in potato roots in both field and glasshouse: the search for useful yield predictors and a simple screen for root traits. Plant and Soil, 368:231-249.
42- Wittenmayer L., and Merbach W. 2005. Plant responses to drought and phosphorus deficiency: contribution of phytohormones in root-related processes. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 168:531-540.
43- Zahedifar M., Karimian N., and Yasrebi J. 2010. Zinc desorption of calcareous soils as influenced by applied zinc and phosphorus and described by eight kinetic models. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 41(7):897-907.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2017, p. 886-899

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۶، ص. ۸۹۹-۸۸۶

Effects of Zinc and Phosphorus Levels on Yield, Nutrients Uptake and Zinc Recovery and Agronomic Efficiency in Potato

R. Motalebifard[1]*

Received: 16-05-2016
Accepted: 18-03-2017

Introduction: Potato production has fourth rank in the world after rice, wheat, and maize with the production of 321 million tons from 19.6 million hectares. In Iran this important crop has third rank after wheat and tomatoes with the production of 4.6 million tons. Potato is a temperate crop, growing and yielding well in cool and humid climates or seasons, but it is also cultivated in tropical to sub-polar climatic regions, and represents a major food crop in many countries. Potato is sensitive to nutrients deficiency especially phosphorus and zinc. At least one-third of the cultivated soils globally are estimated to contain too low amounts of bioavailable zinc for optimal crop production. In Iran more than 70 percent of irrigated soils suffer from zinc deficiency. Many reasons have role in mentioned deficiency such as calcareous and alkaline soils, lower organic carbon and higher application of phosphorus fertilizer. So, evaluation of zinc fertilizers efficiency is essential under different soil phosphorus conditions.

Materials and Methods: This project was carried out in order to investigate the effect of zinc sulfate levels on yield, nutrients concentration and zinc recovery and agronomic efficiency under different phosphorus conditions in potato (*Solanum tuberosum* L.) in Hamedan province (Tajarak station). The current research was done as a randomized complete block design with 9 treatments, three replications and three locations (with different soil phosphorus levels). The phosphorus locations were involved two locations with 10-15 mg available P per kg of soil (without or with phosphorus application) and a locations with 20-25 mg available P per kg of soil. Zinc treatments were consisted of soil application of 0, 20, 40, 60, 80, 100 and120 kg of zinc sulfate ($ZnSO_4.7H_2O$) per hectare and foliar spray of zinc sulfate at the rate of 5 grams per liter at one week before and one week after flowering. After harvesting, the tuber and shoot yield, tubers and shoot zinc uptake, nutrients concentration were measured in different parts of potato plant, and recovery and agronomic efficiency of applied zinc fertilizer were calculated.

Results and Discussion: The results showed that the zinc treatments significantly affected the tuber yield of potato. The application of 40 $kg.ha^{-1}$ zinc sulfate and foliar spray of Zn one week after flowering evidenced the highest and the lowest yield, respectively and the difference between these treatments were 17 percent. The differences between without Zn application and foliar spray of Zn one week after flowering were not significant on yield which showed that the time of fertilizer foliar application is very important and by delaying of foliar spray the yield could not increase. The zinc treatments affected significantly tuber zinc uptake and the foliar spray of Zn one week after flowering by 80 percent increase comparing with control, had the highest tubers zinc uptake. The tuber and shoot zinc concentration were significantly affected by the zinc sulfate levels. The highest and lowest concentration of zinc in shoot and tubers were observed in the foliar spray of Zn one week after flowering and control. This treatment caused 160 and 24 percent increasing in shoot and tubers zinc concentration in comparison with control. In spite of considered increase in zinc content by foliar application of zinc one week after flowering, the potato yield did not increase considerably. The tuber and shoot yield were affected significantly by different phosphorus locations (p<0.01). Application of phosphorus or higher concentration of it's in soil increased tuber and shoot yield and decreased the most of measured nutrients concentration. So the interaction between phosphorus and most of measured nutrients were negative. Increasing of soil zinc fertilizer application decreased agronomic efficiency of it. The highest zinc agronomic efficiency was obtained in the foliar spray of zinc sulfate treatments (at the rate of 5 grams per liter) especially one week before flowering (6 times higher than the soil application of zinc treatments). Zinc recovery was lower than 2 percent for all soil applied zinc levels that increased up to 20 percent in the foliar spray of Zn levels. These results showed that most of applied zinc remained in soil and could be used by the next season's crops.

1- Assistant Professor, Soil and Water Department, Hamedan Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran
(*- Corresponding Author Email: motalebifard@gmail.com)

Archive of SID

www.SID.ir

Conclusion: To achieve the maximum yield of potato in similar soils and conditions, application of 40 kg zinc sulfate per hectare would be recommended. Under Application of phosphorus or higher concentration of it's in soil this recommendation must be increased.

Keywords: Foliar spray, Nutrients concentration, Potato tubers, Soil application

Archive of SID

www.SID.ir