دوفصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره دهم، شماره دوم، پاییز و زمستان 99

بررسی اثر نانو ذرات آهن و منیزیم و تاریخ کاشت بر عملکرد و میزان نیترات غده سیب زمینی

امیر خدادادی کروکی[1]، محمدرضا یاورزاده*[2]، محمدمهدی اکبریان[2]، علی‌اکبر عسکری[2]
1- دانشجو دکتری، گروه کشاورزی، واحد بم، دانشگاه آزاد اسلامی، بم، ایران
2-استادیار گروه کشاورزی، واحد بم، دانشگاه آزاد اسلامی، بم، ایران
مسئول مکاتبات؛ پست الکترونیکی: Dr.yavarzadeh@iaubam.ac.ir

(تاریخ دریافت: ؛22 فروردین ماه 1399 تاریخ پذیرش : 1 مهرماه 1399)

چکیده

استفاده از کودهای نانو و تاریخ کاشت مناسب باعث بهبود عملکرد سیب زمینی می‌شوند. به منظور بررسی تجمع نیترات و تغییرات عملکرد غده سیب‌زمینی با مصرف غلظت‌های مختلف نانو ذرات آهن و منیزیم در تاریخ کشت های مختلف در رقم "سانته"، پژوهشی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزارع تحقیقاتی جهاد کشاورزی واقع در شهرستان‌های اسلام‌آباد و زهکلوت استان کرمان انجام شد. فاکتور اصلی مناطق جغرافیایی و فاکتور فرعی شامل محلول‌پاشی سطوح نانو ذرات آهن و منیزیم (0، 1 و 2 درصد) در مراحل گلدهی و پرشدن غده‌ها و فاکتور فرعی-فرعی شامل دو تاریخ کشت (5 و 25 مهر ماه) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که متوسط وزن غده تحت تاثیر تیمارهای مختلف محلول‌پاشی نانو ذرات معنی‌دار گردید ($p<0.05$). اثر تیمارهای منطقه، تاریخ کشت و اثرات 2 و 3 جانبه آن‌ها بر صفت وزن غده غیر معنی‌دار ($p>0.05$)، اما بر صفت عملکرد غده کاملا معنی‌دار گردید ($p<0.01$)، و بیشترین عملکرد غده مربوط به تیمار 2 درصد محلول‌پاشی نانو ذرات آهن+منیزیم در تاریخ کشت 5 مهر در منطقه زهکلوت بود. همچنین بیشترین نیترات غده در تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر) حاصل شد که با تیمار محلول‌پاشی 1 درصد نانو ذرات آهن و 1 درصد نانو ذرات آهن+2 درصد نانو ذرات منیزیم در یک گروه آماری مشترک قرار گرفتند و با بقیه تیمارهای محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری نشان دادند ($p<0.05$). از نظر تمام صفات مورد اندازه‌گیری، به نظر می‌رسد کاربرد عناصر کم مصرف و ضروری از طریق حفظ سبزینگی برگ، بهبود سیستم فتوسنتزی و افزایش دوام برگ منجر به افزایش طول دوره پرشدن غده‌ها و تبدیل غده‌های ریز به غده‌های درشت‌تر و کاهش نیترات غده خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: ریز مغذی، ، کود نانو، محلول‌پاشی، تجمیع نیترات

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum L.*) اقتصادی‌ترین گونه زراعی در بین 85 جنس متعلق به تیره گوجه‌فرنگی (*Solanaceae*) است (8، 25). سطح زیر کشت جهانی این محصول در سال 2018 حدود 19/3 میلیون هکتار و تولید سالانه آن نزدیک به 388 میلیون تن بوده است (22). این محصول علاوه بر تامین انرژی و کیفیت خوب پروتئین، به عنوان منبع ویتامین ث و مواد معدنی نیز مطرح می‌باشد (18). افزایش عملکرد سیب زمینی به‌عنوان یک محصول با ارزش از لحاظ غذایی ضروری می‌باشد. بهبود تولید و افزایش ارزش غذایی سیب زمینی در درجه‌ی اول از طریق بهبود شرایط خاک حاصل می‌شود. حاصلخیزی خاک به منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان جهت دستیابی به محصولات زراعی با عملکرد بالا و کیفیت مطلوب دارای اهمیت زیادی می‌باشد (27). به منظور رشد مطلوب گیاه، مواد غذایی باید به صورت متعادل و کافی در دسترس باشد و محیط کشت حاوی عناصر غذایی مورد نیاز باشد (9). اما بیشتر این منابع به شکل غیر قابل دسترس هستند و هر ساله تنها بخش کمی از آن از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی و مراحل شیمیایی از خاک آزاد می‌شود (19). در طی دهه‌های اخیر استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی به‌ویژه عناصر ریز مغذی، علاوه بر آلودگی محیط زیست، اثرات سمی و منفی بر تولید و کیفیت محصولات کشاورزی بر جا گذاشته است (26). استفاده از کودهای ایمن و با اثرات مخرب پایین همانند کودهای نانو ضروری می‌باشد.

نانوتکنولوژی به تدریج در حال گذار از مرحله‌ی آزمایشگاهی به مرحله‌ی عملیاتی است و این امر منجر به حضور محسوس‌تر این فناوری نوین در بخش کشاورزی شده است (15). استفاده از نانوکودها به منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی گامی موثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست بوده است (20). با استفاده از ترکیبات نانو ساختار به عنوان حاملین کودی یا ناقلین کنترل کننده رهاسازی به منظور ایجاد کودهای هوشمند، نانوتکنولوژی منشاء امیدواری‌های بسیاری در جهت عبور از محدودیت‌های تکنیکی موجود بر سر راه آزادسازی آرام و کنترل شده عناصر کودها گردیده است (21). یکی از مواد مورد نیاز برای گیاهان و به‌خصوص سیب زمینی، آهن می‌باشد.

آهن به عنوان یکی از عناصر کم مصرف و ضروری نقشی حیاتی در متابولیسم اسیدهای نوکلئیک و پروتئین دارد. همچنین حضور آهن در آنزیم سیتوکروم که ترکیب هماتینی-پروتئینی است و برای تنفس و عملیات اکسید-احیاء در گیاه ضرورت کامل دارد (16). در ساخت کلروفیل ابتدا ترکیبات آهنی (Hem) ساخته می‌شوند که مولکول آن شبیه مولکول کلروفیل است (7). گزارش شده است که کاربرد نانو اکسید آهن به صورت محلول-پاشی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد و درصد پروتئین دانه آفتابگردان شده است (14). عنصر ارزشمند دیگر برای گیاهان، منیزیوم می‌باشد.

منیزیم یکی دیگر از عناصر ضروری رشد گیاهان بوده و میزان جذب آن به وسیله کاتیون‌های دیگر از جمله پتاسیم، آمونیوم و کلسیم به شدت کاهش می‌یابد (6). این عنصر به عنوان هسته مرکزی سازندۀ کلروفیل معرفی می‌شود (4). دلفانی (5) به تاثیر معنی‌دار نانو ذرات اکسید منیزیم نسبت به اکسید منیزیم معمولی در افزایش صفات رشد و عملکرد لوبیا چشم بلبلی اذعان و این افزایش در رشد گیاه را به جذب بهتر نانو ذرات در مقایسه با نوع معمولی این کودها نسبت داد.

علاوه بر کودها، تاریخ کاشت سیب زمینی نیز از اهمیت ویژه‌ای برای بهبود تولید برخودار است. در تعیین تاریخ کشت مناسب سیب‌زمینی بایستی دقت دو چندان شود چرا که این گیاه بایستی موقعی کشت شود که قبل از فراهم شدن طول روز مناسب در مرحله گلدهی، رشد رویشی حداکثر را کسب کرده باشد و گیاه با حداکثر

توان رویشی وارد مرحله زایشی شود،که نهایتا این امر سبب افزایش عملکرد و بهبود کیفیت غده خواهد شد (13). از طرف دیگر برقی و همکاران (1) گزارش کردند که هر گونه تأخیر در کاشت سیب‌زمینی به خصوص در نواحی با فصل رشد محدود موجب کاهش فصل رشد و برخورد گیاه با حرارت‌های نامناسب در اواخر دوره رشد خواهد شد، که متعاقبا باعث کاهش قابل توجه صفات رشد و عملکرد خواهد شد.

نهایتا با توجه به این موضوع که مصرف کودهای نیتروژن منجر به تجمع مقادیر قابل توجهی نیترات در غده سیب‌زمینی می‌شود که باعث ایجاد سمیت و کاهش کیفیت غده‌ها می‌گردد (10)، هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر محلول پاشی نانو ذرات آهن و منیزیم و تاریخ‌های کشت بر عملکرد سیب زمینی رقم"سانته" برای افزایش عملکرد و کاهش تجمع نیترات در غده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به صورت آزمایش مزرعه‌ای در مراکز تحقیقاتی واقع در شهرستان‌های اسلام‌آباد و زهکلوت استان کرمان در سال 1397 انجام شد (جدول 1). فاکتور اصلی شامل مناطق جغرافیایی و فاکتور فرعی شامل محلول‌پاشی سطوح مختلف نانو ذرات آهن و منیزیم (0، 1 و 2 درصد) در مراحل گلدهی و پر شدن غده‌ها و فاکتور فرعی- فرعی شامل تاریخ کشت 5 و 25 مهر ماه، مورد بررسی قرار گرفت. وجین علف‌های هرز در دو مرحله به صورت دستی، و آبیاری مزرعه بر اساس نیاز گیاه طی پنج مرحله در طول دوره رشد انجام شد. به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از کاشت از سه نقطه در عمق 30-0 سانتی‌متر نمونه‌برداری بعمل آمد. نمونه‌ها با هم ترکیب و نمونه حاصل به آزمایشگاه منتقل و مورد تجزیه قرار گرفت (جدول 2). کودهای مورد نظر از شرکت خضراء تهیه گردید. زمین مورد نظر به‌صورت عمیق شخم زده شد، سپس مقدار 300 کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم و 100 کیلوگرم در هکتار فسفات پتاسیم در زمین پخش گردید. فاصله خطوط کشت 75 سانتی متر و فاصله دو بوته 25 سانتی متر بود و عمق کاشت 15-12 سانتی‌متر بود.

جدول 1: مشخصات جغرافیایی مزارع تحقیقاتی

منطقه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین دما (سانتی‌گراد)	میزان بارتدگی (میلی‌متر)
اسلام آباد	27''14''51	56''35''56	2054	25,5	150,7
زهکلوت	27''47''27	58''35''34	386	28,2	140,2

جدول 2: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزارع تحقیقاتی

هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)	pH	ویژگی نمونه خاک (%)			بافت خاک	ماده آلی (%)	عناصر تشکیل دهنده (ppm)				
		لای	رس	شن			نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	منیزیوم
1/8	7/7	29	33	38	لوم شنی	0/59	0/06	12	135	2/6	3/2

در زمان 50 درصد گلدهی ارتفاع بوته از سطح بستر کشت تا نوک بلندترین ساقه‌ی اصلی اندازه‌گیری و یادداشت شد. برای اندازه‌گیری قطر ساقه، در محل وسط ساقه به وسیله کولیس در 10 بوته از هر کرت اندازه‌گیری و میانگین آنها برای هر تیمار یادداشت گردید. جهت ثبت تعداد ساقه اصلی در بوته، ده بوته انتخاب تعداد آنها شمارش و میانگین آنها در نظر گرفته شد. هنگام برداشت محصول، 20 بوته از هر کرت بطور جداگانه برداشت و بعد از سفت شدن پوسته‌ی غده‌ها، وزن مرطوب همه‌ی غده‌های یک بوته بعد از شستشو با آب معمولی و خشک کردن آنها، با ترازوی دیجیتال توزین شد و میانگین آنها برای یک بوته یادداشت گردید. وزن متوسط یک غده از طریق رابطه زیر بدست آمد:

وزن متوسط غده (گرم) = تعداد غده در بوته/عملکرد تک بوته

برای تعیین عملکرد قابل فروش بعد از نمونه‌برداری همانند عملکرد کل، غده‌ها بر اساس قطر در سه دسته گنجانیده شدند: الف): کمتر از 35 میلی‌متر، ب): بین 35-55 میلی‌متر ج): بیشتر از 55 میلی‌متر. لازم به ذکر است که وزن غده‌هایی که در دو دسته آخر قرار گرفتند به عنوان عملکرد قابل فروش در نظر گرفته شدند.

برای اندازه‌گیری نیترات غده سیب‌زمینی، ابتدا 17/1 گرم سولفات آلومینیوم را در یک بالن 2 لیتری ریخته و حجم نهایی توسط آب مقطر به 2 لیتر رسانیده شد. سپس 40 سی‌سی از محلول حاصل به 0/4 گرم از پودر هر یک از نمونه‌ها اضافه و به مدت 15 دقیقه توسط دستگاه مخلوط‌ساز تکان داده شدند و سپس عصاره‌ی حاصل توسط کاغذ صافی و قیف بوخنر صاف گردید و میزان نیترات توسط روش جونز (23) و دستگاه اندازه گیری نیترات (pH/ion meter) اندازه‌گیری شد.

برای تعیین درصد ماده خشک، ابتدا چند غده به صورت کاملا تصادفی برای هر تیمار انتخاب و نمونه‌ها توسط دستگاه به صورت خلال تبدیل شدند. در مرحله بعد، از نمونه‌های خلال شده به طور مساوی 200 گرم توزین و در داخل پاکت‌های ویژه (که قبلا وزن آنها توزین شده بود) ریخته شد. سپس نمونه مورد نظر در داخل آون به مدت 3 روز در معرض دمای 60 درجه سلسیوس قرار گرفته و نهایتا نمونه‌های خشک شده توزین گردیدند (1). درصد ماده خشک غده‌ها از طریق رابطه زیر بدست آمد (13):

درصد ماده خشک غده = (وزن نمونه خشک/200) * (100)

تجزیه و تحلیل داه‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه 9/3)، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده ازآزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر 3 جانبه تیمارهای آزمایشی بر ارتفاع ساقه در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار گردید (جدول 3). همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار ارتفاع ساقه مربوط به تیمار 2 درصد محلول‌پاشی نانو ذرات آهن+منیزیم در تاریخ کشت 5 مهر در منطقه زهکلوت بود، و کمترین مقدار ارتفاع ساقه در تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر) در تاریخ کشت 25 مهر در منطقه اسلام آباد مشاهده گردید (جدول 4). با توجه به نتایج تحقیق حاضر استنباط می‌گردد که ارتفاع بوته یک صفت ژنتیکی است که تحت تأثیر محیط نیز قرار می‌گیرد. مشابه با نتایج پژوهش حاضر، بزرگی (2008) طی آزمایشی به منظور بررسی تاثیر محلول‌پاشی نانو کود کلاته آهن روی گیاه بادمجان نشان داد که ارتفاع بوته به طور معنی‌داری تحت تاثیر محلول‌پاشی قرار گرفت. همچنین پیوندی و همکاران (12) با مقایسه اثر نانو کود کلات آهن و کود کلات آهن بر

گیاه مرزه گزارش دادند که ارتفاع گیاه افزایش معنی‌داری را در تیمار نانو کود کلات آهن نسبت به تیمار شاهد مشاهده کردند.

نتایج میانگین قطر ساقه گیاه تحت تیمارهای مختلف حاکی از آن است که اثر اصلی تیمار مناطقه و تاریخ کشت بر قطر ساقه غیرمعنی‌دار ($p>0.05$)، ولی اثر اصلی محلول‌پاشی بر این صفت معنی‌دار بود ($p<0.01$). همچنین اثرات 2 و 3 جانبه تیمارهای آزمایشی بر صفت قطر ساقه تاثیر معنی‌دار نشد (جدول 3). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین قطر ساقه در تیمار محلول‌پاشی 1 درصد نانو ذرات آهن+1 درصد نانو ذرات منیزیم حاصل شد که با تمامی تیمارهای اختلاف معنی‌داری نشان داد ($p<0.05$)، و همچنین کمترین قطر ساقه در تیمار شاهد مشاهده گردید، که تیمار شاهد با تیمار محلول‌پاشی 1 درصد نانو ذرات منیزیم در یک گروه آماری مشترک قرار گرفتند (شکل 1). اصولا بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه می‌تواند در بهبود فتوسنتز و عملکرد فتوسیستم‌های نوری در افزایش شاخص‌های رشد از قبیل قطر ساقه مؤثر باشد (11). بوکویچ و همکاران (17) گزارش کردند که محلول‌پاشی عنصر روی (5 کیلوگرم/هکتار) قطر ساقه ذرت را افزایش داده است. همچنین خلیلی محله و رشدی (3) بیشترین قطر ساقه ذرت را از محلول‌پاشی با کود آهن و روی گزارش کردند.

شکل 1: اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر قطر ساقه سیب‌زمینی

محاسبه تعداد ساقه اصلی نشان داد که اثر 3 جانبه منطقه در تاریخ کشت در محلول‌پاشی در سطح احتمال 1 درصد بر این صفت معنی‌دار گردید (جدول 3). و همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین تعداد ساقه اصلی در بوته در تیمار محلول‌پاشی 2 درصد نانو ذرات آهن+1 درصد نانو ذرات منیزیم در تاریخ کشت 25 مهر منطقه اسلام آباد و کمترین تعداد ساقه اصلی در بوته در تیمار شاهد تاریخ کشت 25 مهر منطقه اسلام آباد بدست آمد (جدول 4). تأمین مقادیر کافی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به‌ویژه عناصر ریزمغذی یکی از جنبه‌های بسیار مهم در مدیریت زراعی محسوب می‌شود و می‌تواند نقشی حیاتی در افزایش تولید و عملکرد بالا ایفاء کند. نتایج پژوهش تیروپ‌پاتی و همکاران (29) نشان داد که مصرف تغذیه برگی عنصر منیزیم در کنجد موجب افزایش اجزای عملکرد و عملکرد نهایی شده است. به علاوه کاربرد عنصر منیزیم می‌تواند موجب افزایش تولید گل در بوته شده و یا از ریزش آن‌ها جلوگیری نماید، که در این صورت افزایش تعداد کپسول در بوته را موجب می‌شود (5).

نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که صفات تعداد و وزن متوسط غده در بوته تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی (منطقه، تاریخ کشت و محلول‌پاشی) و اثرات متقابل آنها قرار نگرفت (جدول 3).

جدول 3: تجزیه واریانس اجزای عملکرد سیب زمینی متاثر از تیمارهای آزمایشی

	میانگین مربعات					
منبع تغیرات	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	قطر ساقه	تعداد ساقه اصلی	تعداد غده در بوته	وزن متوسط غده
منطقه	1	178/54**	34/07*	54/92**	5/74ns	36/05ns
خطای اصلی	4	255/93	2/88	2/92	3/99	241/1
تاریخ کشت	1	22/87**	0/85ns	0/11ns	0/67ns	11/61ns
منطقه * تاریخ کشت	1	1/84ns	1/08ns	0/03ns	0/26ns	6/95ns
خطای فرعی	4	2/38	0/66	0/06	1/83	40/9
محلول‌پاشی	8	189/42**	6/04**	4/55**	2/42ns	253/3ns
منطقه* محلول‌پاشی	8	7/89**	0/33ns	0/17ns	1/34ns	79/7ns
تاریخ کشت * محلول‌پاشی	8	10/23**	0/51ns	0/36*	0/9ns	32/2ns
منطقه * تاریخ کشت * محلول‌پاشی	8	11/72**	0/28ns	0/55**	1/36ns	35/12ns
خطای فرعی فرعی	64	2/16	0/53	0/14	3/04	145/8
ضریب تغییرات (%)	-	2/41	7/8	6/1	14/9	17/9

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح 5 درصد و 1 درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

جدول 4: مقایسه میانگین داده‌های اجزای عملکرد سیب‌زمینی متأثر از تیمارهای آزمایشی

منطقه	تاریخ کشت	محلول-پاشی	ارتفاع ساقه (سانتی-متر)	تعداد ساقه اصلی	عملکرد غده (تن/هکتار)	عملکرد قابل‌فروش (تن/هکتار)
		شاهد	58^{d-g}	5/6^{ghi}	30/13^{fgh}	18/82^{fgh}
		ا درصد آهن	60^{c-f}	5/9^{e-i}	32/1^{c-g}	20/05^{c-g}
		2 درصد آهن	62^{b-f}	6/3^{d-i}	33/96^{b-g}	21/21^{b-g}
		ا درصد منیزیم	58^{d-g}	5/73^{f-i}	29/96^{fgh}	18/72^{fgh}
		2 درصد منیزیم	61^{b-f}	6/03^{e-i}	32/96^{b-g}	20/59^{c-g}
	5 مهرماه	1 درصد آهن	64^{a-e}	7/17^{a-d}	35/93^{b-f}	22/45^{b-g}
		* 1درصد منیزیم 1 درصد آهن	62^{b-f}	6/3^{d-i}	33/96^{b-g}	21/22^{b-g}
		*2درصد منیزیم 2 درصد آهن	67/33^{abc}	7/56^{ab}	39/3^{a-d}	24/55^{a-d}
		*1درصد منیزیم 2 درصد آهن	71/66^{a}	6/53^{c-g}	43/93^{a}	27/45^{a}
		*2درصد منیزیم شاهد	55/66^{fg}	5/43^{hij}	28/13^{gh}	17/73^{gh}
زهکلوت		ا درصد آهن	59^{def}	5/83^{f-i}	31/1^{efg}	19/61^{d-g}
		2 درصد آهن	61b-f	6/16d-i	33/1b-g	20/86c-g
		ا درصد منیزیم	58^{d-g}	5/73^{f-i}	30/1^{fgh}	18/97^{fgh}
		2درصد منیزیم	60^{c-f}	6/03^{e-i}	32/1^{c-g}	20/23^{c-g}
	25 مهرماه	1 درصد آهن	63^{b-f}	6/46^{c-h}	35/1^{b-g}	22/12^{b-g}
		* 1 درصد منیزیم 1 درصد آهن	62^{b-f}	6/3^{e-i}	34/1^{b-g}	21/49^{b-g}
		*2 درصد منیزیم 2 درصد آهن	65/66^{a-d}	6/93^{a-e}	38/1^{a-f}	24/01^{a-e}
		*1 درصد منیزیم 2 درصد آهن	68/66^{ab}	7/37^{abc}	41^{ab}	25/84^{ab}
		*2 درصد منیزیم شاهد	55/66^{fg}	5/23^{ij}	28^{gh}	17/5^{gh}
		ا درصد آهن	58^{d-g}	5/36^{ij}	29/96^{fgh}	18/73^{fgh}
		2 درصد آهن	63^{b-f}	6/46^{c-h}	34/96^{b-g}	21/85^{b-g}
		ا درصد منیزیم	57/33^{efg}	5/63^{ghi}	29/63^{gh}	18/52^{gh}

		2درصد منیزیم	60^{c-f}	6/03^{e-i}	31/96^{c-g}	19/98^{c-g}
	5 مهرماه	1 درصد آهن* 1درصد منیزیم	65/66	6/76^{b-f}	37/96^{a-f}	23/73^{a-f}
		1 درصد آهن*2 درصد منیزیم	59^{def}	5/83^{f-i}	30/96^{e-g}	19/35^{efg}
		2 درصد آهن*1 درصد منیزیم	64^{a-e}	6/6^{b-g}	35/93^{b-g}	22/46^{b-g}
اسلام‌آباد		2 درصد آهن*2 درصد منیزیم	63^{b-f}	6/5^{c-h}	35/16^{b-g}	21/98^{b-g}
		شاهد	50/66^{g}	4/56^{j}	23/23^{h}	14/52^{h}
		ا درصد آهن	58^{d-g}	5/73^{f-i}	30/2^{fgh}	18/87^{fgh}
		2 درصد آهن	59^{def}	5/83^{f-i}	31/23^{d-g}	19/52^{efg}
		ا درصد منیزیم	55/66^{fg}	5/43^{hij}	28/23^{gh}	17/64^{gh}
		2 درصد منیزیم	61^{b-f}	6/1^{d-i}	33/2^{b-g}	20/75^{c-g}
	25 مهرماه	1 درصد آهن* 1 درصد منیزیم	60^{c-f}	6/16^{d-i}	32/2^{c-g}	20/82^{c-g}
		1 درصد آهن*2 درصد منیزیم	62^{b-f}	6/3^{d-i}	34/2^{b-g}	22/27^{b-g}
		2 درصد آهن*1 درصد منیزیم	66^{a-d}	7/86^{a}	38/5^{a-e}	24/06^{a-e}
		2 درصد آهن*2 درصد منیزیم	67/33^{abc}	6/16^{d-i}	39/73^{abc}	24/83^{abc}

حروف مشترک در هر ستون نشانه عدم معنی‌دار می‌باشد.

امنیت غذایی در کنار حفظ محیط‌زیست به عنوان یک موضوع مهم جهانی در دهه‌های اخیر تبدیل شده است. بررسی جنبه‌های زیست محیطی و پایداری تولید مواد غذایی در جهان امروز که با رشد روزافزون جمعیت مواجه است اهمیت مدیریت کاربرد کودهای شیمیایی و عناصر غذایی را نشان می‌دهد (9). به دلیل آثار مخربی که وجود نیترات اضافی در اندام‌های مصرفی گیاهان برای انسان و دام دارد، بدین منظور لازم است میزان نیترات در محصولات مختلف به ویژه سیب‌زمینی و محصولاتی که مصرف روزمره دارند در حداقل مقدار ممکن باشد (22). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر منطقه کشت بر میزان نیترات غده‌های سیب‌زمینی معنی‌دار نشد،

در حالی که اثرات اصلی تاریخ کشت ($p<0.05$) و تیمارهای محلول‌پاشی نانو ذرات بر این صفت معنی‌دار گردید ($p<0.01$). اما ا ثرات 2 و 3 جانبه تیمارهای آزمایشی بر این صفت معنی‌دار نگردید (جدول 4). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان نیترات غده در تیمار شاهد حاصل شد که به همراه تیمار محلول‌پاشی 1 درصد نانو ذرات آهن و 1 درصد نانو ذرات آهن+2 درصد نانو ذرات منیزیم در یک گروه آماری مشترک قرار گرفتند و با بقیه تیمارهای محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری را نشان دادند ($p<0.05$، شکل 2). به نظر می‌رسد که کاربرد عناصر کم‌مصرف و ضروری از طریق حفظ سبزینگی برگ و افزایش طول دوره فتوسنتزی گیاه و به دنبال آن افزایش فرصت و انرژی کافی جهت اسیمیلاسیون نیتروژن جذب شده منجر به کاهش تجمع نیترات گردیده است (21). تجمع نیترات در انواع سبزی‌ها، پیاز و سیب‌زمینی بستگی به عوامل مختلفی از جمله مقدار و نوع کود نیتروژن، طول دوره رشد ، شدت نور، دما، طول روز و زمان برداشت دارد (26).

شکل 2: اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر میزان نیترات غده سیب‌زمینی

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول 5) نشان داد که اثر 3 جانبه منطقه در تاریخ کشت در محلول-پاشی بر صفات عملکرد در هکتار و عملکرد قابل فروش کاملا معنی‌دار می‌باشد ($p<0.01$). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد غده و همچنین بیشترین عملکرد غده قابل فروش در تیمار 2 درصد محلول‌پاشی نانو ذرات آهن+منیزیم در تاریخ کشت 5 مهر منطقه زهکلوت حاصل گردید و کمترین میزان عملکرد و عملکرد قابل فروش در تیمار شاهد در تاریخ کشت 25 مهر منطقه اسلام آباد بدست آمد (جدول 4). آهن یک عنصر حد واسط است که توانایی پذیرش الکترون و الکترون‌دهی را دارا می‌باشد، از این رو در فرآیندهای اکسیداسیون و احیاء در گیاهان و ایجاد بسیاری از تغییرات آنزیمی در گیاهان نقشی اساسی دارد (30). احمد و همکاران (13) گزارش کردند که بیشترین عملکرد سیب‌زمینی و درصد مواد معدنی با افزایش ترکیبی از محلول-های $Feso_4$ و $Mnso_4$ 2 درصد به بذر سیب‌زمینی قبل از کاشت مشاهده شد. همچنین با دقت به نتایج به دست آمده پژوهش حاضر می‌توان چنین استنباط نمود که گیاهان تیمار شده با نانو اکسید آهن با رفع این کمبود و بهبود سیستم فتوسنتزی و افزایش سبزینگی برگ نهایتا منجر به افزایش عملکرد شده است. نتایج به دست آمده توسط محققان متعددی گزارش و تایید شده است، از جمله سینگ و دایال (28) نتیجه گرفتند که محلول-پاشی آهن باعث افزایش 38 تا 42 درصدی عملکرد بادام زمینی در خاک‌های قلیایی می‌شود. بیگی و همکاران (2) اعلام کردند با افزایش محلول‌پاشی کود آهن عملکرد دانه سویا افزایش معنی‌داری را نشان داده است. اما بر خلاف گزارشات فوق بر اساس نتایج حاصل از آزمایش مونصف افسر و همکاران (2012) تاثیر محلول‌پاشی برگی نانو ذرات آهن بر عملکرد کل دانه، عملکرد دانه و غلاف لوبیا چشم بلبلی غیرمعنی‌دار بود. برقی و همکاران (1)

گزارش کردند که محلول‌پاشی غلظت‌های 1، 1/5 و 2 درصد نانو آهن نسبت به تیمار شاهد عملکرد غده بیشتری داشتند و همچنین کاربرد اکسید آهن معمولی نیز عملکرد غده سیب‌زمینی بیشتری را نسبت به تیمار شاهد به خود اختصاص داد.

بر اساس یافته‌های مزرعه‌ای-آزمایشگاهی پژوهش حاضر به نظر می‌رسد کاربرد کود آهن از طریق حفظ سبزینگی برگ، بهبود سیستم فتوسنتزی و افزایش دوام برگ منجر به افزایش طول دوره پرشدن غده‌ها و تبدیل غده‌های ریز به غده‌های درشت‌تر گردیده و بدین طریق منجر به افزایش عملکرد قابل فروش شده است که این تغییر با اندازه گیری صفت وزن متوسط غده نیز قابل توجیه است.

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول 5) نشان داد که اثر اصلی محلول‌پاشی بر درصد ماده خشک غده‌ها در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار شد. اما اثر اصلی منطقه و تاریخ کشت و اثرات 2 و 3 جانبه تیمارها بر این صفت معنی‌دار نگردید ($p>0.05$). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد ماده خشک غده در تیمار 2 درصد محلول‌پاشی نانو ذرات آهن+منیزیم حاصل شد و کمترین درصد ماده خشک غده‌ها در تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل 3). در توجیه تأثیر بیش‌تر عنصر منیزیم بر ماده خشک می‌توان بیان کرد که تحت شرایط کمبود منیزیم تولید ماده خشک کل قسمت هوایی گیاه کاهش می‌یابد.

شکل 3: اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر درصد ماده خشک غده‌ها

جدول 5: تجزیه واریانس صفات مورد آزمایش سیب‌زمینی متاثر از تیمارهای آزمایشی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		نیترات	عملکرد در هکتار	عملکرد قابل فروش	درصد ماده خشک غده‌ها
منطقه	1	1557/3^{ns}	273/4**	228/7**	9/55^{ns}
خطاء اصلی	4	12631/7	255/9	93/8	45/7
تاریخ کشت	1	2640/4*	14/4*	2/08^{ns}	10/49^{ns}
منطقه * تاریخ کشت	1	3/68^{ns}	2/5^{ns}	0/97^{ns}	0/43^{ns}
خطای فرعی	4	2734/5	2/4	1/94	3/42
محلول‌پاشی	8	3370/1**	189/4**	75/01**	10/97*
منطقه* محلول‌پاشی	8	992/9^{ns}	7/9**	3/43**	2/99^{ns}
تاریخ کشت * محلول-پاشی	8	379/22^{ns}	10/23**	4/21**	1/33^{ns}
منطقه * تاریخ کشت * محلول‌پاشی	8	457/9^{ns}	11/72**	4/43**	2/44^{ns}
خطای فرعی فرعی	64	829/7	2/16	0/92	4/98
ضریب تغییرات (درصد)	-	13/9	4/41	4/6	10/87

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح 5 درصد و 1 درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد

نتیجه گیری نهایی

به طور کلی از نظر تمام صفات مورد اندازه‌گیری، به نظر می‌رسد با توجه به شرایط نامطلوب حاکم بر خاک مناطق اسلام‌آباد و زهکلوت استان کرمان از جمله آهکی بودن که باعث جلوگیری از جذب عناصر ضروری بویژه آهن از خاک می‌گردد، تیمارهای محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف و ضروری به طور مستقیم این عناصر را در اختیار گیاه قرار داده و نیاز گیاه بر طرف خواهد شد، که نهایتا باعث افزایش اکثر صفات مورد اندازه‌گیری خواهد شد. و همچنین تیمارهای محلول‌پاشی با بهبود تحرک و کارایی عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز، میزان کلروفیل و عملکرد می‌شوند. در مجموع، عناصر کم مصرف و ضروری از طریق حفظ سبزینگی برگ، بهبود سیستم فتوسنتزی و افزایش دوام برگ منجر به افزایش طول دوره پرشدن غده‌ها و تبدیل غده‌های ریز به غده‌های درشت‌تر و کاهش نیترات غده خواهد شد.

منابع

1- **برقی، ع.، قلیپوری، ع.، توبه، ا.، جهانبخش، س. و جماعتی ثمرین، ش.** 1396. اثر غلظت و زمان کاربرد نانو اکسید آهن بر کیفیت و عملکرد غده سیب‌زمینی. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، 28: 145-155.

2- **بیگی، ا.م.، نصری، م.، اویسی، م. و طریق الاسلامی، م.** 1389. بررسی اثر تنش خشکی و محلول-پاشی کود آهن در مرحله گلدهی بر میزان عملکرد دانه، پروتئین و روغن دانه در گیاه سویا. همایش ملی دستاوردهای نوین در تولید گیاهان با منشا روغنی.

3- **خلیلی محله، ج. و رشدی، م.** 1387. اثر محلول‌پاشی عناصر کم مصرف بر خصوصیات کمی و کیفی ذرت سیلویی 704 در خوی. مجله به نژادی نهال و بذر. 2: 281-293.

4-**خوشگفتارمنش، ا.** 1386. مبانی تغذیه گیاه. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. 237.

5-**دلفانی، م.** 1390. تاثیر محلول‌پاشی نانو ذره آهن و منیزیم بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا چشم بلبلی. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه صنعتی شاهرود. 172.

6-**زاد صالحی، ف.، مظفری، و.، تاج آبادی، ا. و حکم آبادی، ح.**1390. تاثیر متقابل سدیم و منیزیم بر برخی خصوصیات رشدی و میزان کلروفیل پسته در محیط پرلیت. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، 2 (2): 25-23.

7-**سالاردینی، ع.** 1387. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ هشتم. 434.

8-**رضایی، ع. و سلطانی، ا.** 1375. زراعت سیب‌زمینی. انتشارات جهاد دانشگاهی. چاپ چهارم. 168.

9-**غفاری، س.، پوریوسف، م. و حسن زاده، ا.** 1389. کودهای زیستی و تاثیر آنها در کاهش مصرف کودهای شیمیایی و حفاظت از محیط زیست. همایش ملی تنوع زیستی و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست. ارومیه، 1241.

10-**کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م.** 1371. اکولوژی گیاهان زراعی انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. 225.

11-**کسرایی، ر.** 1372. چکیده‌ای درباره علم تغذیه گیاهی. انتشارات دانشگاه تبریز.

12-**پیوندی، م.، میرزا، م. و کمالی جامکانی، ز.** 1390. مقایسه اثر نانو کود کلات آهن و کود کلات آهن بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مرزه *Satureja Hortensi*. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه.

13-Ahmad, N., Avais, M.A., Saqib, M., Bhatti, K.M. and Anwar, S.A. 2000. Response of potato (*solanum tuberosum*) to SEEb and foliar application of iron and manganese. Pakistan Journal of Agriculture Science, 37 (3-4): 158-160.

14-Alturkci, A. and Helal M. 2004. Mobilization to Pb, Zn, Cu and Cd, in polluted soil. Pakistan Journal of Agriculture Science, 7: 0972-0980.

15-Baruah, S. and Dutta, J. 2009. "Nanotechnology applications in Sensing and Pollution Degradation in Agriculture". Environmental Chemistry Letters, 7(3): 191-204.

16-Bozorghi, H.R. 2008. Study effects of nitrogen fertilizer management under nano iron chelate foliar spraying on yield and yield components of eggplant

(*Solanum melongena* L.). ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 7(4): 233-23.

17-Bukvic, G., Antunovic, M., Popovic S. and Rastija M. 2003. Effect of P and Zn fertilization on biomass yield and its uptake by maize lines (*Zea mays* L.). Plant Soil and Environment 49: 505-510.

18-Burgos, G., Auqui, S., Amoros, W., Salas, E. and Bonierbale, M. 2009. Ascorbic acid concentration of native Andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage. Journal of Food Compositions and Analysis, 22: 533-538.

19-Chen, J. H. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizer and/ or biofertilizer for crop growth and soil fertility. International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use. Bangkok, Thailand. 1-11.

20-Cui, H., Sun, C., Liu, Q., Jiang, J. and Gu, W. 2006. Applications of Nanotechnology in Agrochemical Formulation, Perspectives, Challenges and Strategies. pp 1-6. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture. Chinese Academy of Agricultural Sciences. Beijing. China.

21-DeRosa, M.C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R. and Sultan, Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. Nature Nanotechnology, 5(91): 414-419.**Jones, J.B. 2001.** Laboratory guide for conduction soil tests and plant analysis. CRC press LLC, U.S.

22-FAOSTAT.2019. Available online: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (accessed on 28 November 2019).

23-Monsef Afsar, R., Hadi, H. and Pirzad, A. 2012. Effect of spraying nano-iron on characteristics qualitative and quantitative of cowpea, under drought stress end of season. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3 (8): 1709-1717.

24-Raju, B., Mohapatra, P. P., Tarique, A., Manna, D., Sarkar, A. and Maity, T.K. 2017. Efficacy of biozyme on yield and yield attributing traits in potato (Solanum tuberosum L.). Environment and Ecology, 35(2D): 1575-1579.

25-Scheiner, J.D., Gutierrez-Boem, F.H. and Lavado, R.S. 2002. Sunflower nitrogen requirement and 15N fertilizer recovery in Western Pampas, Argentina. European Journal of Agronomy, 17: 73-79.

26-Shahoy, S. 2006. Fate and perched soil properties. University Kurdistan Press. 880 p.

27-Singh, A. L. and Dayal, D. 1992. Foliar application of iron for recovering groundnut plants from lime induced iron deficiency chlorosis and accompanying losses in yields. Journal of Plant Nutrition, 15: 1421-1433.

28-Thiruppathi, M.K., Thanunathan, K., Prakash, M. and Imayavaramban, V. 2001. Use of biofertilizer, phytohormone and Zinc as a cost effective agro technique for increasing sesame productivity. Sesame and Safflower Newsletter, 16: 46-50.

29-Tisdal, S.L., Nelson, W.I. and Bcaton, I.D. 1985. Soil fertility and fertilizers. 4th edition. Macmillan. New York.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production science
Vol. 10, Issue 2, Fall and Winter 2020

Effect of Iron and Magnesium Nanoparticles and Planting Date on Yield and Nitrate Content in Potato Tubers

Amir Khodadadi Karkoki[1], Mohammadreza Yavarzadeh[2*], Mohammadmehdi Akbariyan[2], Aliakbar Askari[2]

1-PhD. Candidate, Faculty of Agriculture, Bam Branch, Islamic Azad University, Iran

2-Assistant professor, Faculty of Agriculture, Bam Branch, Islamic Azad University, Iran

(Received: 10 April 2020; Accepted: 22 September 2020)

Abstract:

The use of nanofertilizers and planting date might improve potato performance. In order to study nitrate accumulation and yield changes of potato tubers using different concentrations of iron (Fe) and magnesium (Mg) nano-particles in cultivation date of "Sante" cultivar, a split-split plot based on randomized complete blocks design with three replications were carried out in Research Farms of Jihad Keshavarzi located in Islamabad and Zeh-e Kalut region of Kerman province. Area as main factor and sub-factor including spraying of Fe and Mg nanoparticles (0, 1 and 2%) at flowering and tuber filling stages and sub-sub plot include two planting dates (5 and 25 October) were investigated. Results showed that mean tuber weight was significantly affected by different treatments of nano-particle spraying ($p<0.05$). Effect of experimental treatments (area and date of planting) and their two and three effects was non-significant on tuber weight ($p>0.05$), but on yield were significant ($p<0.01$). The highest yield was related to 2% spraying of Fe+Mg nano-particles on 5 October in Zeh-e Kalut area. Also, the highest tuber nitrate was obtained in control (spraying with distilled water) treatment. 1% Fe nano-particles and 1% Fe nanoparticle+2% Mg nanoparticle was divided into a single statistical group and showed significant difference with other treatments ($p<0.05$). For all measured traits, it seems that the use of low consumption and essential elements through preservation of leaf greenness, improvement of photosynthetic system and increasing leaf durability led to increase length of tuber filling and tuber conversion and decrease in tuber nitrate.

Keywords: Micronutrient, Nano fertilizer, Spraying solution, Nitrate accumulation