مجله کشاورزی بوم‌شناختی ۷ (۱) (۱۳۹۶) ۹۵- ۸۱

تاثیر نانوکودهای نیتروژن‌دار و اوره بر عملکرد و کارایی نیتروژن در سیب‌زمینی

مریم بیات ورکشی[۱،*]، حمید زارع ابیانه[۲] و شهریار مهدوی[۱]

[۱]گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

[۲]گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

[*]نویسنده مسئول: m.bayat.v@malayeru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۲

بیات ورکشی، م.، ح. زارع ابیانه و ش. مهدوی. ۱۳۹۶. تاثیر نانوکودهای نیتروژن‌دار و اوره بر عملکرد و کارایی نیتروژن در سیب‌زمینی. مجله کشاورزی بوم شناختی. ۷ (۱): ۹۵- ۸۱.

سابقه و هدف: نیتروژن یکی از عنصرهای غذایی اصلی و ضروری در عین حال پرنیازترین عنصر برای رشد گیاهان زراعی بوده و کاربرد منطقی آن به‌طورمعمول باعث افزایش عملکرد غده در سیب‌زمینی می‌شود. به‌طور کلی، تولید سیب‌زمینی در خاک‌های سبک، با کاربرد بالای کود نیتروژن و انجام آبیاری‌های مکرر همراه است. در ایران در سال‌های اخیر به‌کارگیری فناوری نانو مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به ضرورت توصیه غذایی در اکثر کشت‌ها و تحقیقات محدود در رابطه با کارایی نانوکودها به‌ویژه نانوکودهای نیتروژن‌دار بر عملکرد گیاهان زراعی، این پژوهش با هدف بررسی کارایی دو نوع نانوکود نیتروژن، کود اوره با پوشش گوگردی و کود رایج اوره در گیاه سیب‌زمینی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش دو ساله و در سال‌های۹۲-۱۳۹۱ با کشت غده‌های بذری گواهی شده رقم آگریا در لایسیمترهای زهکش‌دار مستقر در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا اجرا شد. تیمارهای کودی شامل چهار تیمار نانوکلات نیتروژن، نانوکلات نیتروژن گوگرددار، اوره با پوشش گوگردی و اوره معمولی، در سه سطح ۴۶، ۹۲ و ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن خالص بر هکتار به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بود. در این تحقیق شاخص‌های کارایی نیتروژن، نیتروژن برگ، نیترات غده و میزان عملکرد غده اندازه‌گیری شد. شاخص‌های کارایی نیتروژن شامل کارایی زراعی کاربرد نیتروژن (A-NUE)، کارایی اقتصادی کاربرد نیتروژن (E-NUE)، درصد جذب نیتروژن (NUP)، کارایی زراعی-فیزیولوژیکی کاربرد نیتروژن (A-PNUE) و کارایی اقتصادی -فیزیولوژیکی کاربرد نیتروژن (E-PNUE) بودند.

نتایج و بحث بررسی‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد غده در هر دو سال کشت به تیمارهای کودی نانوکی‌لیت نیتروژن و نانوکلات نیتروژن گوگردی تعلق داشت. به‌همین ترتیب بیشترین میزان شاخص‌های کارایی نیتروژن در هر دو سال کشت برای تولید محصول سیب‌زمینی به کودهای نانو در اولویت اول و در برخی موارد معدود به اوره پوشش‌دار مربوط بود. بیشترین عملکرد اقتصادی غده با کاربرد ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن از تیمار نانوکلات نیتروژن به دست آمد شد. کمترین میزان عملکرد غده به‌سطح ۱۳۸ کیلو گرم نیتروژن تیمار کود اوره معمولی اختصاص یافت. کارایی کاربرد، کارایی زراعی و درصد جذب نیتروژن با افزایش میزان نیتروژن در همه تیمارها کاهش یافت. تیمارهای نانوکلات نیتروژن گوگرددار بالاترین مقادیر کارایی کاربرد و کارایی زراعی نیتروژن را داشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین نیترات غده ۲۲۷/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر مربوط به‌سطح ۱۳۸ کیلو گرم نیتروژن کود اوره معمولی بود. میانگین آبشویی نیترات از تیمارهای نانوکلات، نانوکلات گوگرددار، اوره با پوشش گوگردی و اوره معمولی به‌ترتیب ۳۰۸، ۲۸۰، ۴۳۲ و ۴۷۹ میلی‌گرم بر لیتر بود. این میزان‌ها مؤید جذب بالای نیتروژن در تیمارهای نانوکلات و آبشویی بالا در تیمار اوره معمولی است. همچنین نتایج نشان داد دو صفت کارایی زراعی

Archive of SID

www.SID.ir

و کارایی فیزیولوژیکی زراعی دارای تأثیر یکسان در افزایش عملکرد نمی‌باشند. ضمن آن‌که نقش کودهای مختلف با وجود همسانی نیتروژن، در افزایش عملکرد یکسان نبوده و کودهای جدید موجب افزایش پاسخ گیاه به کاربرد نیتروژن می‌شود.

نتیجه‌گیری: در این تحقیق مشخص شد با کاربرد کودهای نانویی و پوشش‌دار بدون آنکه کاربرد نیتروژن نسبت به نیتروژن کاربردی در تیمار اوه افزایش یابد، کارایی نیتروژن در سیب‌زمینی افزایش محسوسی یافت. از این‌رو به‌موازات فناوری‌های جدید، اثر هم‌افزایی بر پاسخ گیاه به کاربرد نیتروژن دارد.ازآنجایی‌که این آزمایش در شرایط گلخانه بوده است، پیشنهاد می‌شود این پژوهش در شرایط صحرایی و برای دیگر گیاهان اجرا و مورد ارزیابی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: کارایی جذب، کارایی کاربرد، گوگرد، نانوکلات، نیتروژن برگ.

مقدمه

نیتروژن یکی از اجزای اصلی پروتئین‌ها بوده که به‌عنوان یکی از عنصرهای غذایی اصلی و ضروری در عین حال پرنیازترین عنصر برای رشد گیاهان زراعی بوده به‌شمار می‌آید. کمبود نیتروژن همواره در مناطق خشک و نیمه-خشک به‌دلیل ناچیز بودن میزان مواد آلی برای نگهداشت و ذخیره‌سازی نیتروژن مطرح است (Safaee *et al*., 2011). کاربرد نامتعادل و پی‌درپی کودهای نیتروژنه موجب آلودگی منابع آب، هوا و خاک از راه آبشوی، تصعید و باقی‌ماندن در خاک می‌شود (Zareabyaneh and Bayat Varkeshi, 2015). همین امر منجر به کاهش کارایی کاربرد این کودها شده و امروزه به‌عنوان یک چالش عمده زیست محیطی در جهان مطرح است. کاربرد منطقی نیتروژن به‌طورمعمول باعث افزایش عملکرد غده در سیب‌زمینی می‌شود (Ziaeyan and Keshavarz, 2011). به‌طورکلی، تولید سیب‌زمینی در خاک‌های سبک، با کاربرد بالای کود نیتروژن و انجام آبیاری‌های پی‌درپی همراه است. سیب‌زمینی در آغاز دوره رشد خود به میزان شایان توجهی نیتروژن قابل استفاده برای فعالیت کربن‌گیری نیاز دارد. لیکن زیادی آن در انتهای دوره رشد، سبب افزایش شاخ و برگ به‌جای رشد و توسعه غده‌ها می‌شود. همچنین زیادی نیتروژن به‌دلیل بالا رفتن غلظت اسیدهای آمینه و تبدیل نشدن به پروتئین‌ها در کمیت و کیفیت غده اثر منفی می‌گذارد (Sharifi *et al*., 2005). از سوی دیگر سطح کشت و تولید محصولات کشاورزی نسبت به نیتروژن مصرفی، یک فرآیند پیچیده غیرخطی است و نظام محدود ریشه و رشد کند گیاه سیب-زمینی منجر به هدررفت مقادیر متفاوتی از نیتروژن در زراعت‌ها می‌شود (Maidl *et al*., 2002; Raun and Johnson, 1999). نتایج برخی بررسی‌ها، گویای کاهش کارایی فیزیولوژیکی کاربرد نیتروژن، به‌رغم افزایش عملکرد ناشی از افزایش نیتروژن مصرفی (Lopez-Bellido *et al*., 2005; Hosseini *et al*., 2013) و ساخت و تجمع برخی ترکیب‌های زیانبار نیتروژن در غده‌های سیب‌زمینی است (Sugimoto *et al*., 1998). کارایی کاربرد کود[1] (FUE) یا کارایی کاربرد نیتروژن[2] (NUE)، میزان محصول تولیدی به ازای کاربرد نهاده کود نیتروژن مصرفی تعریف شده که برای رقم‌های مختلف سیب‌زمینی متفاوت است. Jami Moeini *et al*. (2011) میانگین دو ساله NUE برای شش رقم سیب‌زمینی فونتانه، کوراس، آگریا، میریام، کاسموس و پیکاسو را به‌ترتیب ۲۹۰، ۳۳۴، ۲۷۹، ۲۶۳، ۳۷۷ و ۳۲۰ کیلوگرم غده به ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی محاسبه کردند. گزارش‌های مختلف گویای آن است که درصد جذب نیتروژن در گیاهان زراعی یک‌ساله در سرتاسر جهان به‌طورمعمول کمتر از ۵۰ درصد است و در کشورهای در حال توسعه ۲۸ درصد و توسعه یافته ۴۸ درصد می‌باشد (Mulvaney, 1996). کم بودن درصد جذب نیتروژن نتیجه هدررفت تصعید، آبشویی، رواناب سطحی و نیتراتزدایی نیتروژن مصرفی می‌باشد (Fan *et al*., 2004). یکی از مهم‌ترین اقدام‌های موثر در راستای افزایش تولیدات کشاورزی، افزایش کارایی نیتروژن برای دستیابی به بیشترین عملکرد اقتصادی در واحد سطح می‌باشد. استفاده از نانوکودها و کودهای پوشش‌دار در نظام‌های زراعی می-تواند منجر به افزایش کارایی نیتروژن شود (Creihghron and Rolf, 1997). جایگزینی کودهای حاصل از فناوری نانو با کودهای شیمیایی موجب کاهش

[1] Fertilizer Use Efficiency
[2] Nitrogen Use Efficiency

Archive of SID

www.SID.ir

کمی آلایندگی مواد شیمیایی می‌شود که از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه است (Zareabyaneh and Bayat Varkeshi, 2015). به باور Cui *et al*. (2006) ، فناوری نانو می‌تواند موجب کاهش سرعت هدررفت عنصرهای غذایی کودها به روش آبشویی و افزایش فراهمی آن‌ها برای گیاه شود که در نهایت کاهش آلودگی پساب‌ها و آلودگی محیط متخلل را به‌دنبال دارد. متخصصان چندی استفاده از نانوکودهای نیتروژنی و کودهای پوشش‌دار را برای افزایش کارایی نیتروژن توصیه کرده‌اند (Tajner-Czopek *et al*., 2008; Naderi and Danesh Shahraki, 2010). ، امکان جذب بسیار بیشتری را برای استفاده بهینه مواد مغذی فراهم می‌سازد.

Ziaeyan and Keshavarz (2011) توجیه اقتصادی و بالا بودن کارایی کاربرد نیتروژن در کودهای پوشش‌دار برای سیب‌زمینی را با سنجش ویژگی‌های غلظت نیتروژن برگ، غلظت نیتروژن خاک و عملکرد غده در مقایسه با کود اوره معمولی به اثبات رساندند. Zvomuya *et al*. (2002) با ارزیابی پاسخ سیب‌زمینی به کاربرد کود اوره معمولی و اوره با پوشش گوگردی[1] (SCU) نشان دادند میزان آبشویی نیتروژن در کود SCU کمتر و کارایی کاربرد نیتروژن و عملکرد غده آن بیشتر است. Malakouti *et al*. (2008) استفاده از کود SCU به‌جای کود اوره معمولی را به‌منظور افزایش کارایی کاربرد نیتروژن توصیه کردند.

Zareabyaneh and Bayat Varkeshi (2015) با کشت گلخانه‌ای سیب‌زمینی دریافتند بالاترین میزان عملکرد و کمترین میزان آبشویی نیترات از کاربرد نانوکلات نیتروژن به‌دست آمد درحالی‌که در تیمار کود اوره معمولی میزان عملکرد کمتر و آبشویی نیترات بیشتر بود.

در ایران در سال‌های اخیر به‌کارگیری فناوری نانو مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به ضرورت توصیه غذایی در بیشتر کشت‌ها و تحقیقات محدود در رابطه با کارایی نانوکودها به‌ویژه نانوکودهای نیتروژن بر عملکرد گیاهان زراعی، این پژوهش با هدف بررسی کارایی دو نوع نانوکود نیتروژن، کود اوره با پوشش گوگردی و مقایسه با کود رایج اوره در گیاه سیب‌زمینی طراحی و اجرا شد. بررسی کارایی کودهای نیتروژن و تأثیر آن بر حاصل‌خیزی خاک و تأمین عنصرهای غذایی مورد نیاز سیب‌زمینی افزون بر جلوگیری از هدرروی آن، به رفع چالش‌های زیست محیطی نیز منجر خواهد شد.

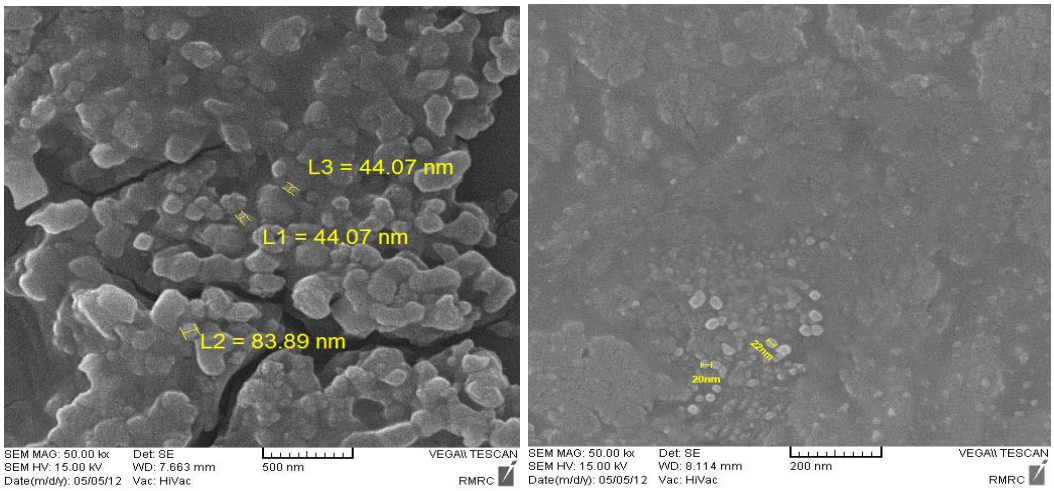
مواد و روش‌ها

این آزمایش دو ساله و در سال‌های۹۲-۱۳۹۱ با کشت غده-های بذری گواهی شده رقم آگریا (تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان) در لایسیمترهای زهکش‌دار مستقر در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا اجرا شد. قطر هر لایسیمتر ۵۵ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۹۰ سانتی‌متر با ۴ سوراخ در بدنه برای پایش نیتروژن خاک در فصل رشد بود. آگریا تاحدودی رقمی دیررس، با عملکرد بالا، غده‌های یکنواخت، وزن خشک مناسب غده، رنگ برگ سبز و ارتفاع بوته متوسط است. میانگین دو ساله پارامترهای هواشناسی در گلخانه طی دوره رشد شامل ۱۴ ساعت نور، دمای ۲۸/۱ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۲۵/۴۷ درصد و تبخیر از تشت کلاس A، ۳/۴ میلی‌متر در روز از آغاز تا پایان دوره کشت بود. این پژوهش در قالب آزمایش فاکتوریل شامل دو عامل نوع کود (عامل A) و میزان کود (B) در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی انجام شد. عامل A شامل چهار سطح اوره با پوشش گوگردی، کود نانو کلات نیتروژن و نانوکلات نیتروژن گوگرددار و کود اوره معمولی بود. عامل میزان نیتروژن هم شامل ۳ سطح ۴۶، ۹۲ و ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود. تأمین نیتروژن از کودهای نانوکلات نیتروژن با ۲۷ درصد نیتروژن خالص، نانوکلات نیتروژن گوگرددار با ۲۷ درصد نیتروژن خالص، اوره با پوشش گوگردی با ۳۶ درصد نیتروژن خالص و اوره معمولی با ۴۶ درصد نیتروژن خالص صورت گرفت. نانوکلات‌های نیتروژن به‌صورت امولاسیون با ساختاری نانوسفری و تولید شده به‌روش خودچینی[2] است که از مرکز تحقیقات صدور احرار شرق (سهامی خاص) تهیه شد. این روش که نوعی بلورینه‌شدن (کریستالیزاسیون) با کمک پیوند (لیگاند)های آلی است هیچ شباهتی به ساختار کلات‌های غیر نانویی ندارد. اتم‌های این ترکیب دارای برتری‌هایی چون حلالیت آسان‌تر در آب، پایداری بیشتر و توان جذب بهینه است که به‌علت استفاده از فناوری نانو، تأثیرگذاری آن سریع‌تر، قابل اعتمادتر، طولانی‌تر و گسترده‌تر است (Cui *et al*., 2006).

[1] Sulphur Coated Urea
[2] Self assembling

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- نگاره‌های میکروسکوپ الکترونی (SEM) نانوکلات نیتروژن (سمت راست) و نانوکلات نیتروژن گوگرددار (سمت چپ).

Fig. 1- The SEM image of NNC (right) and SNNC (left)

کودهای نانوکلات در اداره ثبت اختراع‌های آمریکا با شماره US20120100372 به ثبت رسیده است. نگاره‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی[1] (SEM) کودهای نانوکلات نیتروژن در شکل ۱ آمده است. این نگاره‌ها افزون بر اطلاعات عوارض (توپوگرافی) و شکل، اطلاعاتی از ریخت ظاهری (مورفولوژی) نمونه شامل اندازه و نحوه قرارگیری ذرات در سطح جسم را می‌دهد.

برابر اعلام شرکت‌های سازنده کودها میزان گوگرد موجود در تیمار نانوکلات نیتروژن گوگرددار یک درصد و در تیمار اوره پوشش‌دار ۲۰ درصد بود. برای تامین نیتروژن از مقادیر ۱/۰۹۲۵، ۲/۱۸۵ و ۳/۲۷۷۵ گرم بر مترمربع استفاده شد که معادل ۴۶، ۹۲ و ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (عامل B) بود. سطوح نیتروژن مورد استفاده بنابر توصیه محققان برای کشت سیب‌زمینی در منطقه مورد بررسی بود (Parvizi *et al.*, 2010, Yazdan Douste Hamedani, 2003). بدین منظور ۱۷۰، ۳۴۱ و ۵۱۱ لیتر در هکتار کودهای نانو، ۱۲۸، ۲۵۶ و ۳۸۳ کیلوگرم در هکتار اوره پوشش‌دار و ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار اوره معمولی به‌کار گرفته شد. در همه تیمارها، ۵۰ درصد کود در هنگام کشت و ۵۰ درصد یک ماه بعد کاربرد شد (Yazdan Douste Hamedani, 2003). بستر کشت لومی شنی، مناسب کشت سیب‌زمینی بود که از مخلوط خاک و ماسه به نسبت ۵ به ۳ تهیه و به لایسیمترها انتقال یافت. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک لایسیمترها در جدول یک آورده شده است.

در هر لایسیمتر شش غده بذری یکسان جوانه‌دار و ضدعفونی شده در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک کشت شد. پس از پایان عملیات کاشت، لایسیمترها آبیاری شدند و تکرار عمل آبیاری به‌گونه‌ای بود که خروجی آب در لوله زهکش انتهای لایسیمترها جریان داشته باشد. کاشت غده‌ها در ۲۵ مرداد سال ۱۳۹۱ و محصول آن در ۲۵ آذر ۱۳۹۱ برداشت شد و در سال دوم بدون افزودن عنصرهای غذایی، کاشت در اول تیر سال ۱۳۹۲ انجام و در اول آبان ۱۳۹۲ برداشت شد. دور آبیاری ۷ روز و در مجموع ۱۶ مرحله آبیاری انجام شد که در هر نوبت آبیاری ۱۰ لیتر آب به‌روش غرقابی با آبپاش دستی، به‌تدریج به‌سطح خاک اضافه شد. به‌منظور تعیین مقادیر غلظت نیتروژن نیتراتی، از زمان کاشت تا پایان فصل رشد، نمونه‌های خاک در گام زمانی ماهانه پس از هر چهار نوبت آبیاری از عمق‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متری سطح خاک برداشت و غلظت نیترات آن پس از تهیه عصاره اشباع و به‌طور همسان نمونه‌های آبشویی در آزمایشگاه تعیین شد. میزان عملکرد با برداشت غده‌های هر تیمار و توزین آن‌ها در گستره مشخص لایسیمترها و تبدیل به واحد سطح به‌دست آمد. میزان نیتروژن نیتراتی عصاره اشباع خاک، غده و نیتروژن برگ در گام زمانی ماهانه و در مجموع ۴ بار با دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتوفتومتر) مدل U.V Jesco 7800 در طول موج ۴۰۰ میکرومتر (Fan *et al.*, 2004) اندازه‌گیری شد. نیتروژن برگ و غده با جداسازی سه برگ و سه غده از اندام‌های هوایی و زیرزمینی (از هر تکرار یک نمونه) به‌روش حل خاکستر نمونه‌های خشک و آسیاب شده در اسید کلریدریک دو مولار به‌دست آمد (Kalra, 1998; Ziaeyan

[1] Scanning Electron Microscope

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

Table 1- Chemical and physical characteristics of used soil.

	ویژگی Property	میزان Value
فیزیکی physical	شن (٪) Sand(%)	60
	سیلت (٪) Silt (%)	21
	رس (٪) Clay (%)	19
شیمیایی Chemical	سدیم ($Meql^{-1}$) Na	37
	منیزیم ($Meql^{-1}$) Mg	28
	کلسیم ($Meql^{-1}$) Ca	140
	بی‌کربنات ($Meql^{-1}$) HCO_3	42
	کلر ($Meql^{-1}$) Cl	132
	سولفات ($Meql^{-1}$) SO_4	31
	نسبت سدیم جذبی SAR	4.04
	هدایت الکتریکی عصاره اشباع ($Mmohs\ cm^{-1}$) EC	1.7
	اسیدیته خاک pH	7.4
	نیتروژن (٪) N	0.156
	پتاسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$) Available K	686
	فسفر قابل جذب ($mg.kg^{-1}$) Available P	50.8
	آهن قابل جذب ($mg.kg^{-1}$) Available Fe	12.3
	روی قابل جذب ($mg.kg^{-1}$) Available Zn	5.12
	مس قابل جذب ($mg.kg^{-1}$) Available Cu	2.12
	منگنز قابل جذب ($mg.kg^{-1}$) Available Mn	16.04

and Keshavarz, 2011). با داشتن مقادیر نیترات اولیه خاک (۴۵/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، نیتروژن افزوده شده به خاک و اندازه‌گیری نیتروژن در بخش‌های مختلف گیاه سیب‌زمینی شاخص‌های کارایی زراعی کاربرد نیتروژن[1] (A-NUE)، کارایی اقتصادی کاربرد نیتروژن[2] (E-NUE)، کارایی جذب نیتروژن[3] (NUP)، کارایی زراعی-فیزیولوژیکی کاربرد نیتروژن[4] (A-PNUE) و کارایی اقتصادی - فیزیولوژیکی کاربرد نیتروژن[5] (E-PNUE) به‌دست آمد (Jami Moeini *et al*., 2011; Hosseini *et al*., 2013).

$$A-NUE=\frac{Y_A}{F_n'} \qquad (۱)$$

[1] Agronomic- Nitrogen Use Efficiency
[2] Econimic- Nitrogen Use Efficiency
[3] Nitrogen Uptake Percentage
[4] Agronomic- Physiologic Nitrogen Use Efficiency
[5] Economic- Physiologic Nitrogen Use Efficiency

Archive of SID

www.SID.ir

$$E-NUE=\frac{Y_E}{F_n} \quad (۲)$$

$$NUP=\frac{L_n}{F_n} \quad (۳)$$

$$A-PNUE=\frac{Y_A}{L_n} \quad (۴)$$

$$E-PNUE=\frac{Y_E}{L_n} \quad (۵)$$

که در آن Y_A عملکرد زراعی غده (عملکرد غده در تیمارهای کودی منهای عملکرد در تیمار بدون کاربرد کود) بر حسب کیلوگرم بر هکتار، Y_E عملکرد اقتصادی غده (عملکرد غده در تیمارهای کودی) بر حسب کیلوگرم بر هکتار، F_n' نیتروژن افزوده شده به خاک بر حسب کیلوگرم بر هکتار، F_n نیتروژن کل (نیتروژن افزوده شده به خاک+ نیتروژن اولیه خاک) بر حسب کیلوگرم بر هکتار، L_n نیتروژن جذب شده توسط برگ بر حسب کیلوگرم بر هکتار. به‌منظور تعیین عملکرد زراعی و اقتصادی، یک تیمار بدون کاربرد کود به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. هدف از کاربرد این تیمار، دستیابی به اختلاف عملکرد زراعی و اقتصادی بود. عملکرد زراعی برابر تفاضل عملکرد اقتصادی با عملکرد تیمار شاهد (بدون اعمال کود) می باشد که این امر تنها به منظور کاربرد در شاخص‌های کارایی زراعی-فیزیولوژیکی کاربرد نیتروژن و کارایی زراعی کاربرد نیتروژن بنابر توصیه محققان و نتایج بررسی‌های صورت گرفته بود. بنابراین بر پایه ماهیت این شاخص ها، تعیین و کاربرد عملکرد زراعی ضروری بود. اما آنچه در گزارش‌ها به منظور مقایسه عملکرد محصول عنوان می‌شود، عملکرد اقتصادی است که معادل میزان محصول تولید شده در واحد سطح می باشد.

تجزیه واریانس داده‌ها، با استفاده از برنامه آماری SAS انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش (جدول ۲)، نشان داد تأثیر نوع کود، میزان کود مصرفی و اثر سال و اثر متقابل عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد در بیشتر صفات مورد بررسی در هر دو سال معنی‌دار است.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب شاخص‌های کارایی نیتروژن تحت تاثیر سطوح مختلف نیتروژن و تیمارهای مختلف کودی.

Table 2- The combined analysis of the variance of nitrogen efficiency indices under different levels of nitrogen and different nitrogen fertilizers.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square								
		عملکرد Yield		کارایی کاربرد نیتروژن Nitrogen efficiency		کارایی فیزیولوژیکی Utilization efficiency		درصد نیتروژن % Nitrogen		نیترات غده
		زراعی Agronomic	اقتصادی Economic	زراعی Agronomic	اقتصادی Economic	زراعی Agronomic	اقتصادی Economic	جذب Uptake	برگ Leaf	Tuber nitrate
سال Year	1	9.26**	4789**	8.3227	502740**	1138750**	30996**	0.1988	26.88	305
نوع کود Fertilizer	3	2187**	2187**	263698**	180612**	476656**	283096**	0.1098	0.935	2378
میزان کود Level	2	386**	386**	459367**	1238141**	37242**	554596**	0.2645	1.29	3404
میزان کود × نوع کود Level × Fertilizer	6	175**	175**	5879**	4111**	74813**	49305**	0.0051	1.14	301
سال × نوع کود Level × Fertilizer	3	256**	256**	62257**	37646**	333167**	528600**	0.0259	1.50	198
سال × میزان کود Year × Fertilizer	2	18**	18	3409**	20669**	90262**	89660**	0.0154	0.001	22.5
سال × میزان کود × نوع کود Level × Year × Fertilizer	6	23**	23	19260**	9810**	40553**	27395**	0.0036	0.050	25.6
خطا Error	4	12	12	16.52	18.94	17.56	18.94	0.121	808	1282
ضریب تغییرات CV	--	2.75	1.32	1.51	1.34	1.22	11.6	5.69	21.30	18.17

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد و معنی‌دار در سطح ۱ درصد

*, ** Significant at 5% probability level ** : Significant at 1% probability level.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۲، نشان می‌دهد صفت درصد نیتروژن برگ تاثیرپذیری معنی‌داری از منابع تغییرات نوع کود، سطح کود در دو سال کشت و اثرهای متقابل آن‌ها نداشت. به‌همین ترتیب میزان نیترات غده تنها متاثر از نوع کود و میزان کود مصرفی در سطح ۵ درصد بود. لیکن دیگر صفات مورد بررسی تاثیرپذیری معنی‌داری را نشان دادند.

تأثیر تیمارهای کودی و سطوح کودی بر میانگین صفات اندازه‌گیری و محاسبه شده بنابر آزمون دانکن به تفکیک دو سال کشت در جدول ۳ ارائه شد.

مطابق نتایج جدول ۳، افزایش سطح نیتروژن مصرفی، میزان عملکرد زراعی و عملکرد اقتصادی تیمارهای کود نانوکلات نیتروژن، نانوکلات نیتروژن گوگرددار و اوره با پوشش گوگردی را نسبت به اوره معمولی افزایش داد. نیتروژن می‌تواند با افزایش شاخص سطح برگ، میزان رشد محصول و وزن کل ماده خشک گیاه را افزایش دهد (Safaee *et al.*, 2011). ولی در تیمار کود اوره معمولی افزایش سطح نیتروژن مصرفی موجب کاهش میزان عملکرد شد (جدول ۳). کاهش عملکرد ناشی از افزایش نیتروژن مصرفی در تیمار کود اوره معمولی را می‌توان چنین توجیه کرد که نیتروژن بیشتر، اثرگذاری عنصرهای غذایی موجود در خاک بر عملکرد محصول را خنثی می‌کند. نتایج بررسی-های محققان نیز گویای کاهش عملکرد محصول به‌ازای افزایش کاربرد نیتروژن می‌باشد که ناشی از جذب نشدن دیگر عنصرهای غذایی است (Taghizadeh and Sharii, 2011). Shahsawari and Saffari, (2005) نیز در نتایج بررسی خود بیان داشتند که کاربرد نیتروژن تا حدی که میزان آن در خاک برای رفع نیاز گیاه در فرایند مراحل رشد و نمو گیاه کافی باشد، باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود و میزان‌های بیشتر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد نخواهد داشت. همچنین زیاد شدن نیتروژن باعث می‌شود مواد غذایی جذب شده به‌جای کاربرد در ذخیره‌سازی و

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن تحت تاثیر سطوح مختلف نیتروژن تیمارهای کودی.

Table 3- Effects of different levels of nitrogen in fertilizer treatments on nitrogen efficiency.

کود Firtilizer	سطح نیتروژن Nitrogen level	عملکرد Yield		کارایی کاربرد نیتروژن Nitrogen use efficiency		کارایی فیزیولوژیکی کاربرد (PNUE) Physiologic nitrogen use efficiency		نیتروژن Nitrogen		نیترات غده Tuber nitrate
	کیلوگرم بر هکتار Kg ha^{-1}	زراعی Agronomic	اقتصادی Economic	زراعی Agronomic	اقتصادی Economic	زراعی Agronomic	اقتصادی Economic	کارایی جذب Uptake percentage	جذب برگ Leaf uptake	میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر mg kg^{-1} (wet)
		تن بر هکتار T ha^{-1}		کیلوگرم بر کیلوگرم Kg kg^{-1}				درصد Percent		
نانوکلات نیتروژن NNC	138	39.13^{a}	68.20^{a}	283.55^{f}	442.40^{g}	824.85^{g}	1416.20^{l}	0.32^{bc}	11.48^{a}	162.73^{g}
	92	35.89^{b}	65.00^{b}	390.00^{c}	600.40^{e}	831.90^{f}	1477.95^{k}	0.42^{ab}	10.66^{ab}	111.78^{k}
	46	23.20^{e}	52.30^{e}	504.25^{b}	840.45^{c}	707.10^{h}	1580.55^{j}	0.54^{a}	7.91^{c}	84.55l
نانوکلات نیتروژن گوگرد دار SNNC	138	38.63 ^{a}	67.70^{a}	279.95^{g}	439.10^{h}	907.45^{b}	1582.30^{i}	0.28^{c}	10.12^{ab}	193.15^{e}
	92	35.82 ^{b}	64.90^{b}	389.35^{c}	599.80^{e}	885.40^{d}	1591.15^{h}	0.38^{bc}	9.62^{bc}	158.75^{f}
	46	27.47^{d}	56.60^{d}	597.20^{a}	909.20^{a}	831.80^{f}	1684.50^{e}	0.55^{a}	8.00^{c}	114.20^{j}
اوره با پوشش گوگردی SCU	138	35.48 ^{b}	64.55^{b}	256.95^{h}	418.65^{i}	890.70^{c}	1620.60^{g}	0.26^{c}	9.46^{bc}	209.70^{b}
	92	29.02 ^{c}	58.10^{c}	315.40^{e}	536.95^{f}	914.65^{a}	1811.50^{c}	0.30^{bc}	7.60^{c}	200.80^{d}
	46	26.22^{d}	55.30^{d}	331.46^{d}	889.05^{b}	835.65^{e}	1742.15^{d}	0.51^{a}	7.52^{c}	204.55^{c}
اوره معمولی U	138	7.52^{g}	36.60^{g}	54.45^{k}	237.35^{k}	319.45^{k}	1671.50^{f}	0.16^{d}	5.86^{d}	227.65^{a}
	92	9.84^{f}	38.90^{f}	106.95^{j}	359.70^{j}	434.30^{j}	1823.60^{b}	0.22^{c}	5.65^{d}	143.80^{h}
	46	10.82^{f}	39.80^{f}	235.25^{i}	641.50^{d}	471.40^{i}	1999.25^{a}	0.38^{b}	5.58^{d}	116.35^{i}

* حرف‌های مشترک بیان‌گر نبود اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

** عملکرد زراعی برابر تفاضل عملکرد اقتصادی با عملکرد تیمار شاهد (بدون اعمال کود) می باشد.

*** عملکرد اقتصادی معادل میزان محصول تولید شده در واحد سطح می باشد.

**** اعداد میانگین دو ساله هستند.

* The same letters are no significantly different at 5% probability level.

** Agronomic yield= Economic yield- Control (without fertilizer)

*** Economic yield: Yield/ Area

**** The values are average two years

***** NNC: Nano- Nitrogen Chelate, SNNC: Sulphur Coated Nano- Nitrogen Chelate, SCU: Sulphur Coated Urea, U: Urea

Archive of SID

www.SID.ir

تقویت عملکرد به کاربرد نقاط رویشی دارای توان جذب بالا برسند که هم‌راستا با گزارش Creihghron and Rolf (1997) مبنی بر کاهش کارایی کاربرد کود به‌ازای کاربرد میزان‌های بیشتر کود نیتروژن است (Sugimoto *et al.*, 1998). نتایج برخی تحقیقات نیز گویای کاهش عملکرد به واسطه آبشویی نیتروژن (Sharifi *et al.*, 2005; Engelstad 1985) و تبدیل نشدن نیتروژن به پروتئین است (Jami Moeini *et al.*, 2011). بر پایه مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان عملکرد اقتصادی و عملکرد زراعی در هر دو سال، با میانگین ۶۸/۲ و ۳۹/۱۳ تن در هکتار به سطح ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از تیمار نانوکلات نیتروژن تعلق داشت. عملکرد اقتصادی سطح ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تیمارهای نانوکلات نیتروژن گوگرددار و اوره با پوشش گوگردی به‌ترتیب در رده دوم و سوم جای گرفتند (جدول ۳). کمترین عملکرد اقتصادی و عملکرد زراعی غده با تفاوت معنی‌دار نسبت به عملکرد دیگر تیمارهای کودی مربوط به سطح ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از تیمار کود اوره معمولی است. در زمینه کمتر بودن میزان عملکرد تیمار کود اوره معمولی نسبت به دیگر تیمارهای کودی می‌توان چنین اظهار داشت که نیتروژن همواره در معرض خطر آبشویی، حرکت توده‌ای و جذب نشدن کامل قرار دارد. از سوی دیگر محدود بودن نظام ریشه‌بندی گیاه سیب‌زمینی و کندی رشد آن موجب می‌شود تا گیاه سیب‌زمینی نتواند به‌خوبی نیازها و کمبودهای غذایی خود را مرتفع سازد (Sharifi *et al.*, 2005). لیکن نانوکودها و کودهای پوشش‌دار در مقایسه با کودهای متداول شیمیایی می‌توانند به‌صورت مطلوب در نقطه مناسبی از رشد، عنصرهای غذایی خود را آزاد کنند که این عمل اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های رشدی گیاهان ایجاد می‌کند. Liu *et al.* (2006) باور دارند پوشش‌دار کردن کودها باعث آزادسازی آهسته و مداوم عناصر غذایی و ایجاد قابلیت تنظیم رهاسازی عنصرهای غذایی می‌شود. میزان درصد نیتروژن برگ و نیترات غده گزارش شده در جدول ۳ نیز موید کمتر بودن عملکرد در تیمار کود اوره معمولی و بیشتر بودن میزان عملکرد دیگر تیمارها می‌باشد. اگرچه برخی بررسی‌ها بیانگر تامین نشدن نیتروژن گیاه توسط کود اوره پوشش‌دار در مقایسه با کود اوره معمولی می‌باشد (Noorgholi Pour *et al.*, 2009) اما نتایج برخی بررسی‌ها نیز بیانگر برتری اوره پوشش‌دار می‌باشد که از آن جمله می‌توان به نتایج بررسی‌های Malakouti *et al.* (2008) و Fan *et al.* (2004) اشاره داشت. بنابراین می‌توان اظهار داشت برتری نوع کود مصرفی بسته به نوع گیاه و شرایط منطقه متفاوت است. این امر لزوم اجرای بررسی‌های همسان برای هر کشت در هر منطقه را ایجاب می‌کند. مقایسه داده‌های به‌دست آمده برای درصد نیتروژن برگ (جدول ۳)، نشان داد بیشترین غلظت نیتروژن (۱۱/۴۸٪) به سطح ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از تیمار نانوکلات نیتروژن تعلق دارد که با درصد نیتروژن برگ سطح دوم همین تیمار کودی بدون تفاوت معنی‌دار است. بیشترین درصد نیتروژن برگ با میزان درصد نیتروژن برگ سطح ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن مصرفی در تیمار نانوکلات نیتروژن گوگرددار و سطح ۹۲ کیلوگرم نیتروژن تیمار کودی نانوکلات نیتروژن بدون تفاوت معنی‌دار است. یافته‌های محققان گویای فزونی سرعت آزادسازی یون آمونیوم در کود اوره معمولی و بیشتر بودن سرعت و میزان تبدیل یون آمونیوم به نیترات در کود اوره معمولی است (Engelstad, 1985). بدین ترتیب در تیمارهای کود نانو و اوره پوشش‌دار، ماندگاری طولانی‌تر یون آمونیوم در منطقه ریزوسفر ریشه به‌ویژه در خاک‌های آهکی مانند بیشتر خاک‌های ایران به‌دلیل حاکم شدن شرایط اسیدی، موجب فراهمی عنصرهای غذایی و عملکرد بیشتر می‌شود (Engelstad, 1985; Rostamzadeh, *et al.*, 2013). بنابراین انتظار می‌رود جذب آمونیومی و غیر آمونیومی نیتروژن بلندمدت در تیمارهای کود نانو و اوره پوشش‌دار موجب افزایش نیتروژن برگ شود که نتایج جدول ۳ نیز موید این افزایش می‌باشد. از سویی گوگرد موجود در دو تیمار کودی نانوکلات نیتروژن گوگرددار و اوره با پوشش گوگردی بیشتر نقش نگه‌داشت نیتروژن و آماده شدن شرایط استفاده گیاه از نیتروژن را فراهم کرده است و با توجه به کفایت میزان گوگرد خاک (میزان سولفات خاک ۳۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) به نظر می‌رسد گوگرد موجود در تیمار نانوکلات نیتروژن گوگرددار و در تیمار اوره پوشش‌دار نقش شایان توجهی در افزایش عملکرد نداشته است. گزارش Safaee *et al.* (2011) نیز گویای تاثیر میزان‌های بالای گوگرد (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در سوخت و ساز (متابولیسم) گیاهی روی کیفیت محصول تولیدی است. به عبارت دیگر گوگرد بیشتر در فراهمی عنصرهای کم کاربرد، تشکیل پروتئین، روغن در دانه‌های روغنی و ویتامین‌ها

Archive of SID

www.SID.ir

نقش دارد و در بحث افزایش عملکرد نقش نیتروژن بسیار مهم‌تر از نقش گوگرد است. در همین راستا گزارش Safaee *et al.* (2011) نشان می‌دهد بیشترین میزان عملکرد محصول گلرنگ در تیمار ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از تیمار کود اوره معمولی به‌دست آمد. در این پژوهش نیز بالاترین میزان عملکرد اقتصادی در دو تیمار کود نانوکلات نیتروژن با گوگرد صفر و نانوکلات نیتروژن گوگرددار دارای بیشینه یک درصد گوگرد رخ داده است. میزان گوگرد تیمار کود نانوکلات نیتروژن گوگرددار در سطح ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن نسبت به میزان گوگرد سطح ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن تیمار کود اوره با پوشش گوگردی بسیار کمتر است. بنابراین بیشینه عملکرد غده در تیمارهایی رخ داده که میزان گوگرد در مقایسه با میزان گوگرد اوره پوشش‌دار ناچیز بوده و می‌توان چنین تفسیر کرد، اگر گوگرد نقش شایان ملاحظه‌ای در افزایش عملکرد می‌داشت، می‌بایست بیشینه عملکرد در سطح ۱۳۸ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن خالص از تیمار اوره پوشش‌دار رخ می‌داد.

مقایسه میزان غلظت نیترات غده‌ها در جدول ۳، با استاندارد ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر غده نشان‌دهنده کمتر بودن غلظت نیتروژن غده در همه-ی تیمارهای آزمایشی است (Anonymous, 1978). لیکن با درنظر گرفتن استاندارد اتحادیه اروپا (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر غده)، غلظت نیترات غده تیمارهای اوره با پوشش گوگردی در سه سطح نیتروژن و اوره معمولی در سطح ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، بالاتر از حد استاندارد می‌باشند. سطح بیشترین غلظت نیترات غده ۲۲۷/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که مربوط به بالاترین میزان نیتروژن مصرفی از محل کود اوره معمولی یعنی ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. پایین‌تر بودن غلظت نیترات در غده‌های مربوط به تیمارهای کودی نانو و تا حدودی اوره پوشش‌دار می‌تواند ناشی از اثر رقت یعنی بالاتر بودن عملکرد در این تیمارها باشد. تولید غده و تجمع نیترات در غده دو فرآیند فیزیولوژیکی متفاوت و وابسته در گیاه سیب‌زمینی هستند که متفاوت بودن میزان‌های نیترات تجمع یافته در غده‌ها نشان‌دهنده تاثیرگذاری مناسب کودهای نانویی و کود پوشش‌دار بر سرعت تبدیل نیتروژن به نیترات است. بنابراین احتمال شستشوی شکل‌های مختلف نیتروژن شامل نیترات و آمونیوم از کود اوره معمولی و تجمع غیرپروتئینی آن در غده، با عنایت به عملکرد کمتر غده در مقایسه با دیگر تیمارهای کودی تقویت و کاراتر بودن کودهای نانویی و کود پوشش‌دار به‌عنوان یک راه حل پیشنهادی برای افزایش کارایی کودهای نیتروژنی و کاهش چالش‌های زیست محیطی است (Kalra, 1998; Naderi and Danesh Shahraki, 2010). Jalili and Dousti (2011) در نتیجه بررسی خود ضمن بیان رابطه خطی با ضریب همبستگی بالا بین میزان کود اوره مصرفی و تجمع نیترات در غده سیب زمینی، اظهار داشتند با افزایش میزان کود اوره مصرفی میزان تجمع نیترات در غده سیب‌زمینی افزایش می‌یابد. نتایج جدول ۳ نیز هم‌سو با نتایج این بررسی می‌باشد.

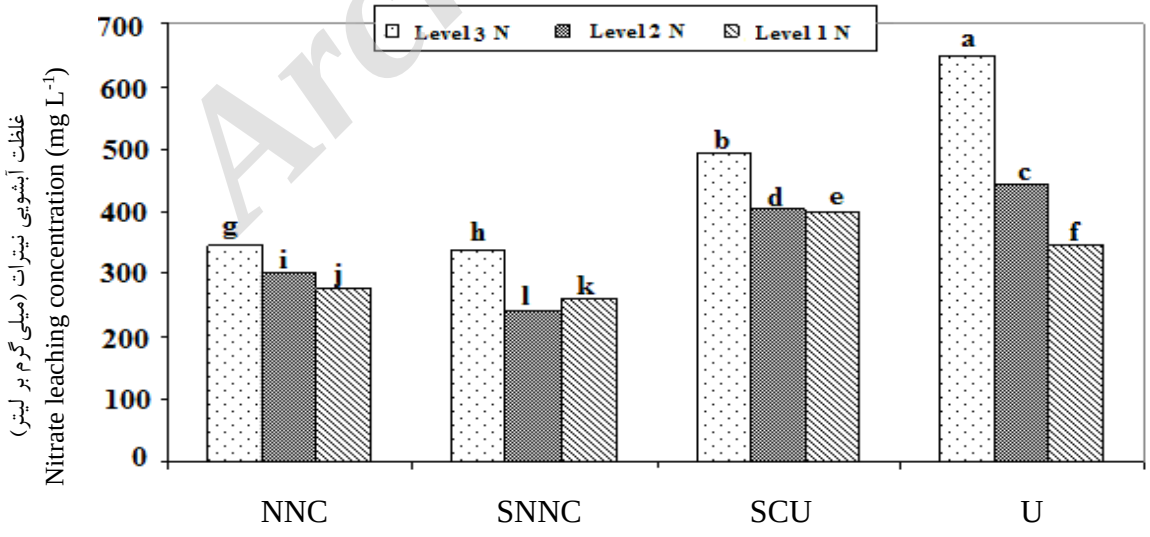
مقایسه کارایی کاربرد نیتروژن منابع مختلف کودی در جدول ۳، نشان داد که بیشترین کارایی کاربرد نیتروژن با کاربرد ۴۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کود نانوکلات نیتروژن گوگرددار برابر ۹۰۹/۲۰کیلوگرم غده برترین تیمار و کمترین کارایی با کاربرد ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کود اوره معمولی معادل ۲۳۷/۳۵ کیلوگرم غده به دست آمد. همسان چنین شرایطی برای کارایی زراعی نیتروژن نیز برقرار است. بیشینه و کمینه کارایی زراعی معادل ۵۹۷/۲۰ و ۵۴/۴۵ کیلوگرم غده برای سطح کاربرد ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب از کودهای نانوکلات نیتروژن گوگردی و اوره معمولی به‌دست آمد. به‌عنوان یک نتیجه کلی می‌توان چنین اظهار داشت که با افزایش سطح نیتروژن مصرفی در همه تیمارهای کودی اعم از کودهای نانو، اوره پوشش‌دار و اوره معمولی از میزان کارایی کاربرد نیتروژن، کارایی زراعی نیتروژن و درصد جذب نیتروژن کاسته شده است. همچنین میزان کارایی کاربرد نیتروژن، کارایی زراعی نیتروژن و درصد جذب نیتروژن در کودهای با ساختار نانو و پوشش‌دار بیش از کود اوره معمولی است. به‌نظر می‌رسد علت پایین بودن کارآیی جذب نیتروژن در شرایط کاربرد میزان زیاد کود نیتروژن به‌ویژه در کود اوره معمولی تا حد زیادی ناشی از تفاوت در عملکرد غده‌ی سیب‌زمینی تولیدی تحت تأثیر نوع کود نیتروژن مصرفی باشد که به طور مستقیم در جذب نیتروژن از خاک تأثیر گذار است. ازسوی دیگر می‌توان گفت اگرچه با افزایش کاربرد کود نیتروژن عملکرد افزایش یافته ولی توانایی گیاه در جذب نیتروژن، هم‌راستا با افزایش در میزان کاربرد کود نمی‌باشد. در حقیقت در سطوح بالای کاربرد نیتروژن، نیتروژن تجمع یافته در اندام‌ها هم‌راستا با کاربرد آن نیست.

Archive of SID

www.SID.ir

در تایید این مطلب می‌توان به بدون تفاوت معنی‌دار درصد جذب نیتروژن سطوح ۴۶ و ۹۲ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از تیمار نانوکلات نیتروژن با سطح کاربرد ۴۶ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار تیمارهای نانوکلات نیتروژن گوگرددار و اوره پوشش‌دار اشاره داشت. می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در کشت‌های نیازمند نیتروژن، کودهای نانو و اوره پوشش‌دار، به‌دلیل شستشوی کمتر و آزادسازی تدریجی نیتروژن به‌واسطه هماهنگی بین نیاز اندام‌ها و عنصرهای غذایی آزاد شده، درصد جذب بالاتری دارند. شکل (۲) دو میانگین غلظت نیترات آبشویی از تیمارهای کودی در دو سال کشت را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیشترین آبشویی نیترات به سطوح مختلف تیمار کود اوره معمولی تعلق دارد. میانگین آبشویی نیترات از تیمارهای نانوکلات، نانوکلات گوگرددار، اوره با پوشش گوگردی و اوره معمولی به‌ترتیب ۳۰۸، ۲۸۰، ۴۳۲ و ۴۷۹ میلی‌گرم بر لیتر بود. این میزان‌ها مؤید جذب بالای نیتروژن در تیمارهای نانوکلات می‌باشد.

به‌بیانی دیگر، دلیل کاهش کارایی کاربرد و کارایی زراعی نیتروژن و درصد جذب نیتروژن در سطح بالای نیتروژن بیشتر می‌تواند ناشی از این مسئه باشد که رابطه بین کود نیتروژن و افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی خطی نیست و با افزایش میزان نیتروژن به همان میزان عملکرد غده بهبود نیافته است. نتایج تحقیقات انجام شده توسط Ziaeyan and Keshavarz (2011) گویای بهبود بازده بازیافت کود اوره پوشش‌دار است که همسان چنین شرایطی برای کودهای نانوکلات به‌دلیل ساختار نانوسفری نیز می‌تواند شایان تصور باشد. نتایج تحقیقات انجام شده توسط Hosseini *et al.* (2013) در میزان محصول گندم و Darwish *et al.* (2006) و Halitligil *et al.* (2002) در میزان محصول سیب‌زمینی نیز گویای کاهش کارایی کاربرد و درصد جذب با افزایش سطح نیتروژن مصرفی در تیمار کود اوره معمولی بود که همسو با نتایج جدول ۳ در این پژوهش است. در همین راستا Zareabyaneh and Bayat (2015) Varkeshi و Zvomuya *et al.* (2002) معنی‌داری تغییر صفات گیاه سیب‌زمینی در اثر نوع و میزان کود را گزارش کردند که نشانه نبود بازیافت کامل کودهای نیتروژنی در تیمار کود اوره معمولی و بازیافت کامل‌تر آن در تیمار نانوکلات و اوره پوشش‌دار در گیاه سیب‌زمینی است. در مجموع می‌توان چنین اظهار داشت که نیتروژن نقش پیچیده‌ای در آغاز غده‌بندی و رشد غده دارد، به طوری‌که کمبود میزان نیتروژن ضمن کاهش رشد غده سبب محدودیت رشد رویشی و تحریک تشکیل غده و فراوانی آن موجب تحریک رشد اندام‌های هوایی و تأخیر در غده‌بندی می‌شود. بدین ترتیب لازم است تا با تغییر ساختار کودها، مدیریت کاربرد کودها و استفاده از رقم‌های سیب زمینی با توان جذبی بالاتر توانایی گیاه برای فتوسنتز و تولید ماده غذایی افزایش یافته و در نهایت کمیت و کیفیت تولید ارتقاء یابد.



شکل ۲- میانگین آبشویی نیترات از تیمارهای کودی.

Fig. 2- Leaching nitrate from fertilizer treatments.

U: اوره معمولی، SCU: اوره با پوشش گوگردی، SNNC: نانوکلات نیتروژن گوگرددار، NNC: نانوکلات نیتروژن

Archive of SID

www.SID.ir

در مجموع با توجه به نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد که بیشتر شدن سطوح کود نیتروژن منجر به کاهش معنی‌دار در شاخص کارایی کاربرد، کارایی زراعی و درصد جذب نیتروژن شد. علت این روند را می‌توان چنین بیان داشت که با افزایش کاربرد نیتروژن، در یک محدوده‌ی خاص، انتقال نیتروژن از خاک به اندام‌های هوایی و غده‌ها متوقف می‌شود و نیتروژن خاک به‌صورت آبشویی، تصعید و فعل و انفعالات شیمیایی از دسترس گیاه خارج می‌شود. افزون بر این، آزادسازی تدریجی نیتروژن نیز در افزایش کارایی یک راه‌کار مناسب در نانو کود گوگردی و اوره پوشش‌دار می‌باشد. نتایج بررسی Malakouti *et al.* ، Zvomuya *et al.* (2002) (2008) و Akhlaghi (2008) گویای تاثیر مثبت پوشش‌دار کردن کود در افزایش کارایی کود اوره معمولی است. ضمن آنکه بیشتر بودن کارایی کاربرد نیتروژن در کودهای نانویی نسبت به دیگر کودهای مورد استفاده نشان‌دهنده این موضوع است که نیتروژن جذب شده در کودهای نانو در طول فصل رشد نسبت به دیگر کودها بیشتر بوده که منجر به کارایی بیشتر کودهای نانو شده است. Zareabyaneh and Bayat Varkeshi (2015) و Peyvandi *et al.* (2011) کوچک‌تر بودن ابعاد کودهای نانو را موجب جذب بیشتر و سریع‌تر مواد غذایی و در نتیجه افزایش کارایی در کودهای دارای ساختار نانو دانسته‌اند. در این تحقیق مشخص شد با کاربرد کودهای نانویی و پوشش‌دار بدون آنکه کاربرد نیتروژن نسبت به نیتروژن مصرفی در تیمار اوه افزایش یابد، کارایی نیتروژن در سیب‌زمینی افزایش محسوسی یافت. از این‌رو به‌موازات فناوری‌های جدید، اثر هم‌افزایی بر پاسخ گیاه به کاربرد نیتروژن دارد.

نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشان داد که پارامترهای عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن در گیاه سیب‌زمینی که در معرض تیمارهای کود نانوکلات نیتروژن و اوره پوشش‌دار بودند نسبت به کود اوره معمولی افزایش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های جدید از راه جایگزینی کود اوره معمولی با فناوری نانو می‌تواند سبب افزایش رشد کمی و کیفی غده‌های سیب‌زمینی شود. ضمن آن‌که نانو بودن ذرات نیتروژن با جذب سریع‌تر و آسان‌تر نیتروژن و رهایش کند آن‌ها، نشان‌دهنده واکنش سیب‌زمینی به اثرگذاری باقی‌مانده نیتروژن نسبت به نیتروژن اوره معمولی محلول در آب است. به‌طوری‌که بیشترین عملکرد غده در هر دو سال کشت به تیمارهای کودی نانوکلات نیتروژن و نانوکلات نیتروژن گوگردی تعلق داشت. به‌همین ترتیب بیشترین میزان شاخص‌های کارایی نیتروژن در هر دو سال کشت برای محصول سیب‌زمینی به کودهای نانو در اولویت اول و در برخی موارد معدود به اوره پوشش‌دار تعلق داشت. تیمار کود اوره معمولی همواره دارای کمترین میزان عملکرد در هر دو سال کشت بود. همچنین میزان غلظت نیترات تجمع‌یافته در غده‌های سیب‌زمینی که معیار کیفی ارزیابی غده‌ها می‌باشد نیز نشان‌داد نیترات تجمع یافته در غده‌های تیمارهای نانوکلات و اوره پوشش‌دار به‌مراتب کمتر از تیمار کود اوره معمولی بود. این موضوع توانایی کودهای نانو و پوشش‌دار در رهاسازی کنترل شده عنصرهای غذایی، سمیت زیست محیطی کمتر و رسانش آسان و ایمن عنصرهای غذایی را نشان می‌دهد. از آنجایی‌که شرایط رطوبتی و سطوح کودی اعمال شده برای گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا در همه تیمارها یکسان بود بنابراین تغییر صفات می‌تواند متأثر از نوع کود نیتروژنی مصرفی در قالب فناوری جدید باشد. به‌نظر می‌رسد کودهای نانوکلات نیتروژن و نانوکلات نیتروژن گوگوددار در مقایسه با کود اوره پوشش‌دار سهم مواد پرورده بیشتری به‌واسطه بهبود سبزینه‌سازی گیاه، افزایش ظرفیت فرآیند فتوسنتزی و افزایش اندام‌های زایشی دارند. بنابراین پیشنهاد می‌شود این پژوهش در شرایط صحرایی با کنترل شاخص‌های زراعی مانند اندازه‌گیری شاخص‌های سطح برگ، ارتفاع و وزن اندام‌های هوایی، وزن و شمار غده، میزان سبزینه و نیترات و پروتئین غده‌ها و دیگر پارامترهای رشدی تکرار شود تا قابلیت تعمیم آن به سطوح بزرگ مورد ارزیابی قرار گیرد. به‌همین ترتیب آزمایش بالا برای رقم‌های مختلف سیب‌زمینی و آگاهی بیشتر از تاثیر تنوع ژنوتیپی رقم‌ها بر صفات مورد بررسی در شرایط صحرایی در مناطق مستعد کشت سیب‌زمینی صورت گیرد.

منابع

Akhlaghi, K., 2008. Formulation and suitable sealant construction for use in the production process of sulfur-coated urea. In Proceedings 1st Iran Petrochemical Conference, 21th -22th June, Tehran, Iran. pp. 1-14.

Archive of SID

www.SID.ir

Anonymous, 1978. Nitrates, Nitrites and N-Nitrozo Compounds. Geneva, Environmental Health Criteria 5. WHO. Published by Geneva.

Barghi, A., Gholipoori, A., Tobeh, A., Jahanbakhsh, S. and Jamaati-e-Somarin, S., 2014. Survey on the effects of iron nano oxide foliar application on mineral nutrients uptake in potato tuber. Journal of Plant Ecophysiology. 6, 1-12.

Creihghron G. and Rolf C., 1997. Horticultural fustigation, techniques, equipments and management. Available on www: URL: http: // www. Agric. Nsw. Gov. au / Arm / Water pub. 1009. htm.

Cui, H., Sun, C., Liu, Q., Jiang, J. and Gu, W., 2006. Applications of nanotechnology in agrochemical formulation, perspectives, challenges and strategies. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China.

Darwish ,T.M., Atallah T.W., Hajhasan S. and Haidar, A., 2006. Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. Agricultural Water Management. 85, 95-104.

Engelstad, O.P., 1985. Fertilizer technology and use. Soil Science. 99, 293-319.

Fan, X., Li, F., Lin, F. and Kumar, D., 2004. Fertilization with a new type of coated urea: Evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter wheat. Plant Nutrition. 25, 853-865.

Halitligil, M.B., Akin, A. and Ylbeyi, A., 2002. Nitrogen balance of nitrogen-15 applied as ammonium sulphate to irrigated potato in sandy textured soil. Biology and Fertility of Soils. 35, 369-378.

Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., Kalateh, M. and Zahed, M., 2013. The Effect of nitrogen rate on nitrogen use efficiency index in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research. 11 (2), 300-306.

Kalra, Y.P., 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. Taylor and Francis Group. CRC press.

Jalili, M. and Dousti, F., 2011. The amount of nitrate accumulation in potato and tomato. Science and Engineering of Environment. 6 (50), 62-71.

Jami Moeini, M., Modarres Sanavy, S.A., Keshavarz, P., Sorooshzadeh, A. and Ganjeali, A., 2011. Relationship between root morphological characteristics and nitrogen use efficiency in six potato cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research. 8 (3), 444-454.

Kandil E.A., Fawzi, M.I.F. and Shahin, M.F.M., 2010. The effect of som release nitrogen fertilizers on growth, nutrient status and fruiting of mit ghamr peach trees. Journal of American Science. 6(12), 195-201.

Liu, X., Feng, Z., Zhang, S., Zhang J., Xiao Q. and Wang, Y., 2006. Preparation and testing of cementing nano-subnano composites of slowor controlled release of fertilizers. Journal of Scientia Agricultura Sinica. 39, 1598-1604.

Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R.J. and Redondo, R., 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. Field Crops Research. 94, 86 -97.

Maidl, F.X., Brunner, H. and Stickse, E., 2002. Potato uptake and recovery of nitrogen 15N-enriched ammonium Nitrate. Geoderma. 105, 17-177.

Malakouti, M.J., Bybordi, A., Lotfollahi, M., Shahabi, A.A., Siavoshi, K., Vakil, R., Ghaderi, J., Shahabifar, A., Majidi, A.R., Jafarnajadi, F., Dehghani, M.H., Keshavarz, M., Ghasemzadeh, J., Ghanbarpouri, R., Dashadi, M., Babaakbari, M. and Zaynalifard, N., 2008. Comparison of complete and sulfur coated urea fertilizers with pre-plant urea in incearsing grain yield and nitrogen use effeciency in wheat. Journal of Agricultural Science and Technology. 10, 173-183.

Mulvaney, R.L., 1996. Nitrogen-inorganic forms. In: Sparks DL (Eds.), Methods of Soil Analysis—Part 3. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, pp. 1123–1184.

Naderi, M. and Danesh Shahraki, A., 2010. Nano fertilizers and their role in sustainable agricultural. In Proceedings 1st Iranian Fertilizer Challenges Congress: Half a Century of the Fertilizer Consumption, 10th-12th March, Tehran, Iran. pp. 1-11.

Parvizi, K., Souri, J. and Mahmoodi, R., 2010. Removal of strontium (II) from aqueous solution by adsorption using Xerogel synthesized from TEOS: Batch and fixed-bed study. Journal of Applied Chemistry. 25 (1), 82-93.

Peyvandi, M., Parande, H. and Mirza, M., 2011. Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of ocimum basilicum. New Cellular and Molecular Biotechnology Journal. 1 (4), 89-99.

Raun, W. and Johnson, G.V., 1999. Improving nitrogen use efficiency for cenreal production: A review. Agronomy Journal. 91, 357-363.

Rostamzadeh, A., Golchin, A. and Mohammadi, J., 2013. The effects of different sources and rates of nitrogen on nitrogen use efficiency

Archive of SID

www.SID.ir

and cucumber yield. Water and Soil Science. 23 (1), 15-26.

Safaee, M., Madad Zadeh, M. and Sharifinia, F., 2011. Investigation of nutritional effects of nitrogen, Boron and sulfur on quantitative and qualitative charactristics of safflower grain (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Field Crop Science. 42 (1), 133-142. (In Persian with English abstract).

Noor Gholi pour, F., Bagheri, Y. and Lotf Allahi, M., 2009. Soil genesis in the lands of Islamic Azad University of Khoraskan (Isfahan). Journal of Research in Agricultural Science. 2 (8), 120-129. (In Persian with English abstract).

Shahsawari, N. and Saffari, M., 2005. The effect of different levels of nitrogen on the function and elements of the varieties of wheat in Kerman. Research and Development. 18 (1), 82-87.

Sharifi, M., Zebarth, B.J., Hajabbasi, M.A. and Kalbasi, M., 2005. Dry matter and nitrogen accumulation and root morphological characteristics of two clonal selections of Russet Norkotah potato as affected by nitrogen fertilization. Journal of Plant Nutrition. 28, 2243-2253.

Sugimoto, T., Nomura, T.K., Marida, R., Sueyoshi, K. and Oji. 1998. Effect of nitrogen application at the flowering stage on the quality of soybean seeds. Journal of Plant Nutrition. 21(10), 2065-2075.

Taghizadeh , R. and Seyed Sharifi, R., 2011. Effect of nitrogen fertilizer on yield attributes and nitrogen use efficiency in corn cultivars. Journal Water and Soil Science. 15 (57), 209-217.

Tajner-Czopek, A., Jarych-Szyszka, M. and Lisińska, G., 2008. Changes in glycoalkaloids content of potatoes destined for consumption. Food Chemistry. 106, 706–711.

Yazdan Douste Hamedani, M., 2003. A study of the effect of nitrogen rates on yield, yield components and nitrate accumulation in potato varieties. Iranian Journal of Agriculture Science. 34 (4), 977-985.

Zareabyaneh, H. and Bayatvarkeshi, M., 2015. Effects of slow-release fertilizers on nitrate leaching, its distribution in soil profile, N-use efficiency, and yield in potato crop. Environmental Earth Sciences. Environmental Earth Sciences. 74, 3385-3393.

Ziaeyan, A.H. and Keshavarz, P., 2011. Increasing nitrogen use efficiency in potato by application of slow release N-Fertilizers. Iranian Journal of Soil Research. 24 (2), 107-115.

Zvomuya, F., Rosen, C.J., Russelle, M.P. and Gupta, S.C., 2002. Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea to potato. Journal of Plant Nutrition. 20, 989-1001.

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of nitrogen nanofertilizers and urea on yield and nitrogen efficiency in potatoes

Maryam Bayat Varkeshi*[1], Hamid Zareabyaneh[2] and Shahriar Mahdavi[1]
[1]Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran.
[2]Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
*Corresponding author: m.bayat.v@malayeru.ac.ir
Submitted: 2016.05.19
Accepted: 2017.01.21
Bayat Varkeshi, M., Zareabyaneh H. and Mahdavi, S., 2017. Effect of nitrogen nanofertilizers and urea on yield and nitrogen efficiency in potatoes. Journal of Agroecology. 7 (1), 81-95.

Introduction: Nitrogen is needed in plants to form chlorophyll as well as to increase crop protein and plant yield. Application of too much nitrogen-containing fertilizers, however, is not economical. It has the additional disadvantage that it ultimately ends up in groundwater resources. Potato production in light soils usually requires a high consumption of nitrogen and frequent irrigation. At the beginning of the growing season, potatoes need a lot of nitrogen. High consumption of it at the end of the growing season, however, will cause increased foliage instead of larger tubers. Studies with high levels of nitrogen input aimed at comparing fertilizer regimes have also shown differences in nitrogen use efficiency (NUE). In recent years, the use of nanotechnology has been considered. With respect to the food recommended in most cultures, and limited research on the efficacy of nanofertilizers on crops, the present study is meant to evaluate the effectiveness of two types of nitrogen nanofertilizers, sulfur-coated urea and urea fertilizer, on potato crops.

Materials and methods: The effect of nitrogen fertilizers on nitrogen efficiency in potato cultivation were investigated by performing a factorial experiment based on a completely randomized design with four fertilizer treatments. These included applications of Nano-Nitrogen Chelate (NNC), Sulphur Coated Nano-Nitrogen Chelate (SNNC), Sulphur Coated Urea (SCU) and Urea (U) in the greenhouse over two years. Each treatment, including 46 kg-N/ha, 92 kg-N/ha, and 138 kg-N/ha, with three replications were compared. The study parameters included nitrogen efficiency indices, leaf nitrogen percentage, yield and tuber nitrate. Also calculated for each treatment were the N-efficiency parameters of Agronomic-Nitrogen Use Efficiency (A-NUE), Economic-Nitrogen Use Efficiency (E-NUE), Nitrogen Uptake Percentage (NUP), Agronomic-Physiologic Nitrogen Use Efficiency (A-PNUE) and Economic-Physiologic Nitrogen Use Efficiency (E-PNUE).

Results and discussion: The results showed that the maximum nitrate concentration of 240 mg kg^{-1} in tubers was obtained using 138 kg-N ha^{-1} supplied from urea. The lowest nitrate concentrations came from the nanofertilizer and SCU treatments. In total fertilizer treatments with increased N application, the amount of A-NUE, E-NUE and NUP decreased in both years. The SNNC in the first year and SCU in the second year had the highest E-NUE and ANE of the fertilizer sources. Comparison of means indicated that the highest tuber nitrate in the first year (215.63 mg kg^{-1}) and in the second year (239.7 mg kg^{-1}) was the outcome of the 138 kg-N ha^{-1} U treatment. Also, the results showed that in the first year, the highest E-NUE was the product of the first nitrogen level of SCU while the lowest levels were produced by the third nitrogen level of urea. It may therefore be concluded that nanofertilizers and SCU are more efficient in cultivations with nitrogen requirements. The changes in the E-PNUE index are similar to those in the E-NUE index. In other words, the values of E-PNUE and E-NUE decrease with increasing fertilizer applications while that of the E-PNUE increases with increasing nitrogen. The potato experiments of Darwish *et al*. (2006) and Halitligil *et al*. (2002), showed that E-NUE and E-PNUE were reduced with increasing nitrogen levels of urea treatment. The A-NUE and A-PNUE did not affect yield equally. Also, the

Archive of SID

www.SID.ir

role of fertilizers with equal nitrogen in yield increase did not have the same function; nanotechnologies have a synergistic effect on plant response to nitrogen use.

Conclusion: Since a higher yield with the least adverse environmental effects is paramount in the third millennium, it is essential to use suitable fertilizers. The application of nanotechnology to agriculture in recent years has attracted much attention. In this study, reduced nitrate leaching and increased potato yield with an emphasis on reduced soil and water pollution were investigated in experiments with treatments that consisted of three nitrogen levels of NNC, SNNC, SCU, and U. The results showed that the 138kg-N/ha SNNC and 138kg-N/ha NNC produced the highest tuber yield. The lowest yield was obtained from the application of 138kg-N/ha U fertilizer. Comparing N-efficiency parameters showed that the highest E-NUE value was obtained with the first nitrogen level of SCU and lowest was the outcome of the third nitrogen level of Urea. Moreover, comparison of different levels of nitrogen indicated that low nitrogen levels in slow-release fertilizers performed better than the high levels of U fertilizer, which indicates an economic advantage as well. Since this experiment was conducted under greenhouse conditions, repeating this research in field conditions and with other crops is recommended.

Keyword: Leaf Nitrogen, Nano- Nitrogen, Sulphur, Uptake Efficiency, Use Efficiency.

References:

Darwish T.M., Atallah T.W., Hajhasan S. and Haidar, A., 2006. Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. Agricultural Water Management. 85, 95-104.

Halitligil, M.B., Akin, A. and Ylbeyi, A., 2002. Nitrogen balance of nitrogen-15 applied as ammonium sulphate to irrigated potato in sandy textured soil. Biology and Fertility of Soils. 35, 369-378.

Zareabyaneh, H. and Bayatvarkeshi, M., 2015. Effects of slow-release fertilizers on nitrate leaching, its distribution in soil profile, N-use efficiency, and yield in potato crop. Environmental Earth Sciences. Environmental Earth Sciences. 74, 3385-3393.

Archive of SID

www.SID.ir