نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۵ شماره ۱ صفحه‌های ۲۵ تا ۴۰/ سال ۱۳۹۴

Archive of SID

تأثیر کودهای اوره و نانوکی‌لیت نیتروژن بر آبشویی نیترات و توزیع آن در خاک‌رخ و گیاه سیب-زمینی

حمید زارع ابیانه[1]* و مریم بیات ورکشی[2]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۱۷

[1]. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

[2]. دانشجوی دکتری رشته آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zareabyaneh@gmail.com

چکیده

کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب آلودگی خاک‌رخ و منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌شود. تحقیق حاضر به‌منظور مطالعه تأثیر مصرف نانوکی‌لیت نیتروژن بر تغییرات غلظت نیترات در خاک، آب و غده سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم آگریا در مقایسه با کود اوره انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار شامل سطوح یکسانی از نیتروژن خالص در تیمار کود اوره و کود نانوکی‌لیت نیتروژن بود. در هر یک از تیمارهای کودی سه سطح ۴۶، ۹۲ و ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار مصرف گردید. نتایج نشان داد بیشترین غلظت نیترات خاک و آب آبشویی به‌ترتیب معادل ۱۰۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و ۶۲۹/۲ میلی‌گرم در لیتر آب به سطح سوم کود اوره تعلق داشت. نتایج اندازه‌گیری‌های مربوط به عملکرد نشان داد که افزایش سطح کود اوره از ۴۶ به ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار عملکرد را ۲/۶ درصد کاهش داد ولی افزایش نانوکی‌لیت نیتروژن در شرایط مشابه سبب افزایش ۲۰/۷ درصدی عملکرد شد. ضمن آن‌که تفاوت بین متوسط عملکرد غده با مصرف اوره (۴۲/۸ تن در هکتار) با نانوکی‌لیت نیتروژن (۷۳/۳ تن در هکتار) در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که غلظت نیتروژن برگ در تیمار نانوکی‌لیت به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از اوره بود. نتایج اندازه‌گیری غلظت نیترات غده به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفی نشان داد که غلظت نیترات غده در تیمار نانوکی‌لیت ۱۲۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده تر و در تیمار اوره ۱۵۴/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده تر بود. بنابراین، طبق نتایج به‌دست آمده در شرایط این آزمایش، استفاده از ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار نانوکی‌لیت نیتروژن برای دستیابی به بیشترین عملکرد با توجه به کمتر از حد مجاز بودن غلظت نیترات غده سیب‌زمینی آگریا در شرایط گلخانه‌ای قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، عملکرد غده، نانوکود، نیترات، نیتروژن

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Nano-chelate Nitrogen and Urea Fertilizers on Nitrate Leaching and Its Distribution in Soil Profile and Potato Plant

H Zare Abyaneh[1*] and M Bayat Varkeshi[2]

Received: 17 February 2014 Accepted: 7 May 2014
1-Assoc. Prof., Dept. of Irrigation Engin., Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ., Hamedan, Iran.
2- Ph.D. Student of Irrigation and Drainage Engin., Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ., Hamedan, Iran.
* Corresponding author, Email: zareabayneh@gmail.com

Abstract

Excessive use of chemical fertilizers causes soil, surface water and groundwater pollution. The purpose of the present investigation was to study nano-chelate nitrogen effect on nitrate concentration variations in soil, water and potato tuber (*Solanum tuberosum* L.) in comparison to the urea fertilizer. A factorial experiment in CRD with 3 replications and factors of urea fertilizer and nano-chelate nitrogen was conducted. In each factor three levels of 46, 92 and 138 kg N/ ha were used. The results showed that the highest soil nitrate (100.5 mg/kg soil) and the highest nitrate leaching concentration (629.2 mg/L) belonged to the third level of the urea treatment. The results of the yield measurements showed that with increase of the urea fertilizer from the first level (46 kg N/ha) to the third level (46 kg N/ha), the yield decreased 2.6%, while similar increasing in the amount of nano-chelate nitrogen fertilizer, increased the yield by 20.7%. Furthermore, the difference between the average tuber yields in the urea treatment (42.8 t/ha) and nano- chelate nitrogen treatment (73.3 t/ha) was significant at 5% probability level. The results showed that the leaf nitrogen in the nano- chelate nitrogen treatment was significantly more than that in the urea treatment. The results of the accumulated nitrogen measurement in the tubers as one of the quality indicators showed that the tuber nitrate concentration in the nano-chelate nitrogen treatment was 121.2 mg/kg and in the urea treatment was 154.2 mg/kg. Therefore, according to the results of this experiment, the use of 138 kg N/ha nano-chelate nitrogen in order to achieve the highest yield, noting the lower nitrate accumulation in potato tubers (Agria cv.) in greenhouse conditions, can be recommended.

Keywords: Nano fertilizer, Nitrate, Nitrogen, Potato, Tuber yield

مقدمه

نیتروژن از مهم‌ترین نهاده‌های غذایی در گیاهان زراعی، به‌ویژه سیب‌زمینی است که در رشد کمی و کیفی غده‌های تولیدی نقش دارد. نیتروژن یکی از اجزای اصلی پروتئین‌ها و نیترات شکل غیرپروتئینی نیتروژن است که تجمع آن در بافت‌های گیاهی و مواد غذایی

www.SID.ir

Archive of SID

سبب سمیت و بیماری متهموگلوبینمیا در کودکان و ایجاد ترکیبات سرطان‌زا در بزرگسالان می‌شود (آرکر ۱۹۸۹). مهم‌ترین منابع تولید نیترات در زمین‌های کشاورزی، کودهای شیمیایی، دامی و بقایای گیاهی می‌باشند که بخش عمده آن از طریق کودهای شیمیایی (معدنی) مانند اوره و بخش کمی نیز از منابع کودهای آلی تأمین می‌شود. نیتروژن آلی به آرامی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد درحالی‌که نیتروژن معدنی به‌مقدار زیاد و سریع در محیط آزاد و جابجا می‌شود. این امر موجب مشکلات جدی با توجه به کاربرد زیاد در بسیاری از نظام‌های کشاورزی شده است (شلدریک و همکاران ۲۰۰۲ ، موسی‌یر و همکاران ۲۰۰۴). استفاده از کودهای شیمیایی در بیشتر خاک‌ها، برای رفع کمبود عناصر غذایی است که مصرف نامتعادل و مستمر آن موجب آلودگی منابع آب، هوا و خاک از راه آبشویی، تصعید و باقی‌ماندن در خاک می‌شود (رسولی و مفتون ۱۳۸۷). به‌عبارت دیگر، حضور نیترات به‌واسطه کاربرد کودهای شیمیایی، یکی از شاخص‌های مهم آلودگی منابع آب، خاک و گیاهان زراعی است. گزارش‌های گوناگون کم بودن کارایی مصرف کودهای شیمیایی که در بهترین حالت ۳۰ تا ۵۰ درصد است (چیناموتو و بوپاتی ۲۰۰۹) و آبشویی زیاد آن‌ها که ۳۰ تا ۷۵ درصد می‌باشد را عامل نگران کننده مصرف کودهای شیمیایی ذکر کرده‌اند (هوک ۱۹۷۳، سودی و همکاران ۱۹۹۷). این در حالی است که براساس مطالعه صادقی‌پور مروی (۱۳۸۹) در ایران کارایی مصرف کود بین ۳ تا ۲۲ درصد می‌باشد که بیان‌گر وضعیت نامطلوب مصرف کودهای شیمیایی در مقایسه با کشورهای پیشرفته و در حال توسعه است. به‌همین دلیل، مدیریت مصرف و کاربرد مناسب آن به‌دلیل نقش داشتن در تولید محصول و اثرات زیست‌محیطی مورد توجه خاص است (خزاعی و ارشدی ۱۳۸۷، موسی‌یر و همکاران ۲۰۰۴). همان‌گونه که کمبود نیتروژن موجب کاهش رشد و عملکرد محصول می‌شود، زیادی آن نیز موجب تحریک رشد رویشی، تأخیر در تشکیل غده‌ها و دیررسی محصول می‌شود (وسترمن و کلینکاپو ۱۹۸۵، جماعتی تبرین و همکاران ۱۳۸۸). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد مصرف کودهای نیتروژن تا سال ۲۰۲۵ حدود ۶۰ تا ۹۰ درصد افزایش خواهد یافت. لذا اطلاع از سرنوشت آن‌ها به‌دلایل اقتصادی و زیست‌محیطی حائز اهمیت است (گالووی و همکاران ۱۹۹۵). در این راستا، با توجه به اثرات مضر کودهای شیمیایی بر محیط زیست و کیفیت محصولات کشاورزی، مدت‌هاست که مصرف آن‌ها مورد نکوهش بوده و محققان به‌دنبال جایگزین‌های مناسب‌تری هستند. اعمال مدیریت آبیاری توأم با مدیریت کود (عباسی و همکاران ۱۳۹۱) و یا تغییر در ساختار کودها و آفت‌کش‌ها با استفاده از فن‌آوری‌های نوین، می‌تواند نتایج مثبتی در کاهش آبشویی نیتروژن داشته باشد (کوی و همکاران ۲۰۰۶).

نانوکودها[1] و کودهای کندرها جایگزین‌های مناسبی از کودهای مرسوم برای تأمین تدریجی و کنترل شده عناصر غذایی در خاک به‌شمار می‌روند. جایگزینی کودهای حاصل از نانوفناوری با کودهای شیمیایی موجب کاهش کمی آلایندگی مواد شیمیایی می‌شود که از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه است (مونریل ۲۰۱۰). به اعتقاد کوی و همکاران (۲۰۰۶) فناوری نانو می‌تواند موجب کاهش سرعت اتلاف عناصر غذایی کودها از طریق آبشویی و افزایش فراهمی آن‌ها برای گیاه شود که در نهایت کاهش آلودگی پساب‌ها و آلودگی محیط متخلخل را به‌دنبال دارد (جانسون ۲۰۰۶). ضیائیان و کشاورز (۱۳۸۹) اقتصادی بودن استفاده از کودهای نیتروژنی کندرها (اوره فرم و متیلن اوره) در زراعت سیب‌زمینی را نسبت به‌دیگر منابع نیتروژن گزارش نمودند. اخلاقی (۱۳۸۷) از کود اوره با پوشش گوگردی به‌عنوان یک کود کندرها با راندمان بالا و مزایای زیاد برای گیاهان زراعی یاد نموده است. عابدی کوپایی و همکاران (۱۳۸۹) موفقیت‌آمیز بودن اثر برخی مواد افزودنی مانند زئولیت به خاک در نگهداشت اوره و عدم آبشویی آن گزارش نمودند. به‌اعتقاد نادری و دانش شهرکی (۱۳۹۰) نانوکودها سبب افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش آلودگی خاک، کاهش تعداد دفعات کاربرد کود و

[1] Nano fertilizers

www.SID.ir

Archive of SID

در مجموع حداقل شدن اثرات منفی مصرف کود می‌شوند. نتایج تحقیقات کلی انجام شده نشان داده که نانوذرات از سه راه تجزیه آلاینده‌های تجزیه‌ناپذیر، افزایش سرعت تجزیه آلاینده‌های تجزیه‌پذیر و تولید مواد مطلوب‌تر از آلاینده‌های تجزیه‌شده موجب کاهش آلودگی محیط آب و خاک می‌شوند (فدایی و لاری ۱۳۹۰). در همین راستا براساس گزارش صبوری و همکاران (۱۳۹۱) نانوذرات آهن موجب تثبیت سرب خاک می‌شود که می‌توان انتظار داشت نانوذرات با تثبیت آلاینده‌ها به‌طور مستقیم در کاهش آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی و به‌طور غیرمستقیم با تجزیه آلاینده‌ها موجب کاهش آلودگی محیط خاک می‌گردند. یانفی و همکاران (۲۰۱۰) نیز بر نقش نانوذرات در کاهش آلودگی خاک از طریق تثبیت آلاینده‌ها تاکید داشته است. دروسا و همکاران (۲۰۱۰) و برمکی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعات خود مشخص نمودند کاربرد نانوکودها می‌تواند کارایی مصرف عناصر غذایی و عملکرد محصول را به‌طور قابل ملاحظه افزایش دهد. نتایج مطالعه پیوندی و همکاران (۱۳۹۰الف) در مورد مقایسه تأثیر نانوکی‌لیت آهن و کی‌لیت آهن بر پارامترهای رشد گیاه ریحان بیانگر افزایش کارایی مصرف نانوکی‌لیت آهن و هم‌چنین افزایش میزان رنگ‌دانه فتوسنتزی بود. به‌همین ترتیب، تأثیر نانوکی‌لیت آهن در مقایسه با کی‌لیت آهن بر فعالیت‌های رشد گیاه مرزه نیز معنی‌دار بود (پیوندی و همکاران ۱۳۹۰ب). کی‌لیت واژه‌ای یونانی و اصطلاحی در علم شیمی است که با در برگرفتن عنصری مانند نیتروژن، مانع آبشویی نیترات در شرایط مختلف و نامطلوب محیطی شده تا در طول فصل رشد در اختیار گیاه گیرد (پارک و همکاران ۲۰۰۴).

بررسی‌ها نشان داده است که نیتروژن مهم‌ترین عامل محدود کننده تغذیه‌ای در رشد و تولید گیاهان است. از این‌رو بررسی توان آزادسازی نیتروژن کودهای نانو و تأثیر آن بر حاصل‌خیزی خاک و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز سیب‌زمینی علاوه بر جلوگیری از هدرروی آن، به رفع مشکلات زیست محیطی نیز منجر خواهد شد. ساختار نانوکی‌لیت نیتروژن، به‌دلیل تخلخل ریزمولکول‌ها و غنی بودن آن‌ها از گروه‌های عاملی فعال نیتروژن، توانایی رهاسازی آرام نیتروژن در خاک را برای استفاده گیاه دارند. لذا در این پژوهش، وضعیت و سرنوشت سطوح مختلف نیتروژن دو نوع منبع کودی نانوکی‌لیت نیتروژن و اوره در محیط خاک، آب آبشویی و تجمع آن در گیاه سیب‌زمینی در یک آزمایش گلخانه‌ای بررسی شد.

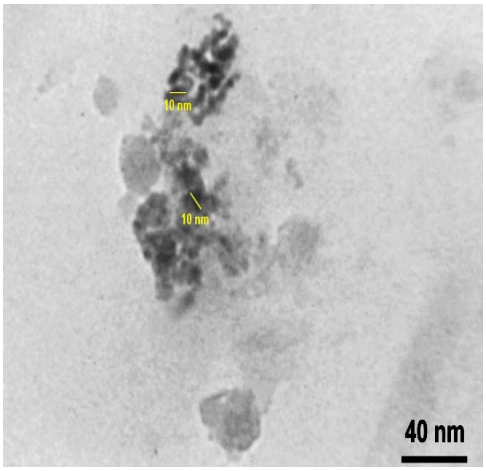
مواد و روش‌ها

برای بررسی وضعیت نیتروژن در خاک، آب و اثر آن بر عملکرد سیب‌زمینی *Solanum tuberosum* (L.) رقم آگریا، آزمایشی در سال ۱۳۹۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، به اجرا در آمد. در این آزمایش غده‌های عاری از بیماری رقم آگریا از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان تهیه و در شرایط ۱۴ ساعت نور، دمای ۱۳/۸ تا ۳۱/۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷/۴۱ تا ۴۷/۶ درصد و تبخیر از تشت کلاس A، ۵/۹ تا ۱/۷ میلی‌متر در روز از ابتدا تا انتهای دوره، کشت شدند. به‌منظور تحت کنترل قرار دادن عوامل محیطی، کشت گلخانه‌ای سیب‌زمینی در لایسیمترهای زه‌کش‌دار انجام شد. برای انجام این تحقیق تعداد ۱۸ عدد لایسیمتر به‌قطر ۵۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر انتخاب شد. خاک مورد استفاده از ترکیب خاک مزرعه و ماسه به نسبت ۵ به ۳ تهیه و الک شد. به‌منظور پایش تغییرات رطوبت و نیترات خاک طی فصل رشد، سوراخ‌هایی به‌قطر ۱/۵ سانتی‌متر، به‌فاصله ۱۵ سانتی‌متر از ۲۰ سانتی‌متری کف تا ۱۰ سانتی‌متری لبه بالایی روی بدنه لایسیمترها در چهار جهت اصلی ایجاد شد. پایش تغییرات رطوبت و نیترات خاک به‌ترتیب از راه توزین نمونه‌های رطوبتی (رطوبت وزنی) و عصاره اشباع نمونه خاک‌های اعماق مختلف لایسیمتر به‌دست آمد. در هر لایسیمتر یک لوله زهکشی از جنس پلی‌اتیلن به‌فاصله ۳ سانتی‌متر از کف لایسیمتر به‌همراه یک لایه فیلتر شنی به‌ضخامت ۵ سانتی‌متر در اطراف لوله و یک لایه فیلتر ژئوتکستایل نازک به‌ضخامت ۲ میلی‌متر بر روی آن برای جلوگیری از ورود ذرات ریز خاک نصب

www.SID.ir

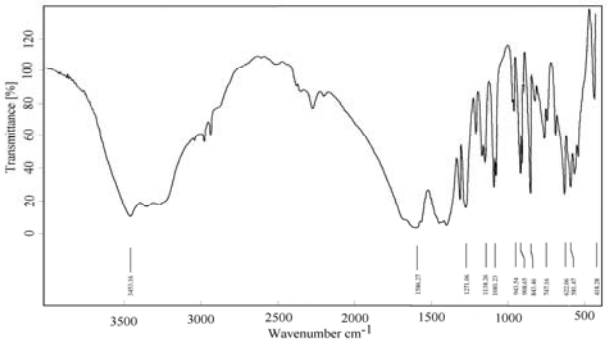
Archive of SID

گردید. هر لایسیمترتا لبه بالایی، به‌صورت دستی از خاک دست خورده پر شد. به‌منظور برقراری شرایط فیزیکی اولیه، ۴ مرحله آبیاری سنگین صورت گرفت که پس از نشست، ارتفاع خاک درون لایسیمترها به ۸۰ سانتی‌متر تقلیل یافت. سپس با برداشت سه نمونه خاک از لایسیمترها و ارسال به آزمایشگاه، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک تعیین شد. به‌همین ترتیب برخی ویژگی‌های شیمیایی آب نیز با توجه به ثابت بودن کیفیت آب شهری مورد استفاده در طول دوره آبیاری با ارسال سه نمونه آب در ابتدا، میانه و انتهای دوره آبیاری به آزمایشگاه تعیین گردید. نیترات مورد نیاز از دو منبع کودی مشتمل بر کود اوره با ۴۶ درصد نیتروژن و نانوکی‌لیت نیتروژن با ۲۷ درصد نیتروژن تأمین گردید. نانوکی‌لیت نیتروژن به‌صورت امولاسیون با ساختاری نانوسفری و تولید شده به‌روش خودچینی[1] است که از مرکز تحقیقات صدور احرار شرق (سهامی خاص) تهیه شد. این روش که نوعی کریستالیزاسیون با کمک لیگاندهای آلی است هیچ شباهتی به ساختار کی‌لیت‌های غیر نانویی ندارد. اتم‌های این ترکیب دارای مزایایی چون حلالیت آسان‌تر در آب، پایداری بیشتر و قدرت جذب بهینه است که به‌علت استفاده از فناوری نانو، تأثیرگذاری آن سریع‌تر، قابل اعتمادتر، طولانی‌تر و گسترده‌تر است (کوی و همکاران ۲۰۰۶). ترکیب فوق در اداره ثبت اختراعات آمریکا با شماره US20120100372 به ثبت رسیده است که ابعاد آن در بازه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر توصیه شده برای ابعاد نانومواد می‌باشد (کلاین و همکاران ۲۰۰۸). ضمن آن‌که تصویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی عبوری[2] (TEM) مدل ۲۰۸EM فیلیپس نیز حاکی از ابعاد ۱۰ نانومتری این ترکیب در مقیاس ۴۰ نانومتر می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- تصویر TEM نانوکی‌لیت نیتروژن.

طیف‌سنجی مادون قرمز[3] (IR) ترکیب مورد استفاده نیز که نشانه ویژگی‌های اپتیکی و وجود گروه‌های آلی در بازه موج cm^{-1} ۴۰۰۰ – ۴۰۰ است، در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲- تصویر طیف‌سنجی مادون قرمز نانوکی‌لیت نیتروژن

داخل هر لایسیمتر ۶ غده سیب‌زمینی کشت شد. با در نظر گرفتن مقدار نیتروژن لازم برای هر غده و لحاظ مقدار نیتروژن ورودی یکسان برای هر دو تیمار، از سه سطح ۴۶، ۹۲ و ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن خالص بر هکتار معادل ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم اوره ۴۶ درصد در هکتار و ۱۷۰/۴، ۳۴۰/۷ و ۵۱۱/۱ لیتر نانوکی‌لیت نیتروژن ۲۷ درصد بر هکتار استفاده شد. ۲۷ درصد نیتروژن خالص در تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن به مفهوم نسبت جرم نیتروژن به حجم محلول است که معادل

[1] Self assembling
[2] Transmission electron microscope
[3] Infrared

www.SID.ir

Archive of SID

وجود ۲۷ کیلوگرم نیتروژن خالص در حجم ۱۰۰ لیتر و به‌طور متناظر ۲۷۰ گرم نیتروژن خالص در حجم ۱ لیتر امولاسیون نانوکی‌لیت نیتروژن است. لذا برای دست‌یابی به سطوح ۴۶، ۹۲ و ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن بر حسب کیلوگرم نیتروژن به حجم امولاسیون از سه نسبت ۴۶ به ۰/۲۷، ۹۲ به ۰/۲۷ و ۱۳۸ به ۰/۲۷ استفاده شد. کودها به‌صورت سرک به‌همراه آب آبیاری طی دو مرحله در زمان کاشت (۲۵ مرداد) و زمان گل‌دهی (۲۵ شهریور) بر سطح خاک لایسیمترها پخش شدند. 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 انتهای فصل رشد، نمونه‌های خاک در گام زمانی ماهانه بعد 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 مشابه نمونه‌های آبشویی در آزمایشگاه تعیین شد. نگهداری نیترات در زه‌آب‌ها باید در محیط ۴ تا ۵ درجه سلسیوس باشد که با نگهداری نمونه‌های محلول در محیط یخچال، حداکثر طی ۴ روز تجزیه‌ها صورت گرفت. اندازه‌گیری‌ها به‌روش رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل U.V Jesco 7800 در طول موج ۴۰۰ میکرومتر انجام شد (مولوانی ۱۹۹۶). تعیین نیتروژن برگ در انتهای فصل رشد با برداشت سه برگ از هر تکرار به‌روش کجلدال اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت نیترات غده‌ها، سه نمونه از غده‌های هر تکرار جدا و هواخشک شدند. سپس نمونه‌ها آسیاب و به‌مدت ۲ ساعت در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. در نهایت غلظت نیترات غده‌ها با عصاره‌گیری از خاکستر نمونه‌ها بر حسب وزن خشک استخراج و با اعمال وزن تر غده‌ها گزارش گردید (کالرا ۱۹۹۸، ضیائیان و کشاورز ۱۳۸۹).

در تایید نهایی روند پژوهش، اقدام به محاسبه نیتروژن کل در هر یک از سطوح تیمارهای کودی برحسب کیلوگرم نیتروژن خالص بر هکتار، براساس مقادیر اندازه‌گیری شده و مقایسه با نیتروژن کل تزریقی در قالب معادله بیلان نیتروژن و تحلیل آماری به‌روش دانکن انجام شد (بروو و همکاران ۱۹۹۷):

$$\Gamma f = \Gamma t + \Gamma l + \Gamma s + \Gamma w + \Gamma d \qquad [۱]$$

که در آن Γf مقدار نیتروژن حاصل از کوددهی، Γt مقدار نیتروژن جذب شده به اندام زیرزمینی گیاه، Γl مقدار نیتروژن جذب شده به اندام هوایی گیاه، Γs مقدار نیتروژن باقی‌مانده در خاک (منهای نیتروژن اولیه خاک)، Γw مقدار نیتروژن آبشویی (منهای نیتروژن آب آبیاری)، Γd مقدار تلفات نیتروژن است. از آنجایی‌که مقدار نیتروژن معدنی، کم است لذا این مولفه حذف شد (حسینی و همکاران ۱۳۹۲). لازم به ذکر است بررسی منابع نشان داد که غده سیب‌زمینی محل تجمع نیتروژن در اندام زیرزمینی می‌باشد لذا نیتروژن جذب شده در غده به‌عنوان اندام زیرزمینی در نظر گرفته شد (ملکوتی ۱۳۷۵ و کلینکوف و همکاران ۱۹۸۱).

عملکرد نهایی سیب‌زمینی از عملکرد غده در واحد سطح قابل سنجش است که در این آزمایش از راه توزین با ترازوی ۰/۰۱ ± گرم در مساحت معین لایسیمتر اندازه‌گیری شد. تیمارهای کودی اوره و نانوکی‌لیت در سه سطح با سه تکرار براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزارهای SPSS و SAS انجام شد.

نتایج و بحث

برای تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اقدام به برداشت نمونه‌هایی از خاک لایسیمتر قبل از کشت شد. نمونه‌ها هوا خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی عصاره اشباع خاک و ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد تجزیه قرار گرفت (جدول‌های ۱ و ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

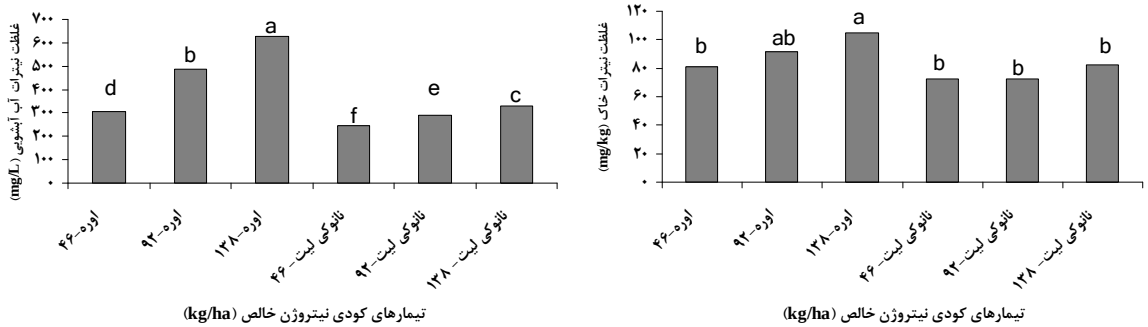
ویژگی	نماد	مقدار
شن (٪)	S	۶۰
سیلت (٪)	Si	۲۱
رس (٪)	C	۱۹
سدیم (meq/L)	Na^{+}	۳۷
منیزیم (meq/L)	Mg^{2+}	۲۸
کلسیم (meq/L)	Ca^{2+}	۱۴۰
بی‌کربنات (meq/L)	CO_3^{2+}	۴۲
کلر (meq/L)	Cl^{-}	۱۳۲
سولفات (meq/L)	SO_4^{2-}	۳۱
نسبت سدیم جذبی (-)	SAR	۴/۰۴
هدایت الکتریکی عصاره اشباع (dS/m)	EC_e	۱/۷
پی‌اچ (-)	pH	۷/۴

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده.

ویژگی	نماد	مقدار
سدیم (meq/L)	Na^{+}	۰/۹۳
منیزیم (meq/L)	Mg^{2+}	۱/۹
کلسیم (meq/L)	Ca^{2+}	۴/۵
بی‌کربنات (meq/L)	CO_3^{2+}	۴/۳
کلر (meq/L)	Cl^{-}	۱/۸
سولفات (meq/L)	SO_4^{2-}	۱/۲۳
نسبت سدیم جذبی (-)	SAR	۰/۵۲
هدایت الکتریکی (dS/m)	EC	۰/۷۳
پی‌اچ (-)	pH	۸/۳

مطابق نتایج جداول ۱ و ۲، بافت خاک لوم شنی، میزان هدایت الکتریکی آب آبیاری و عصاره اشباع خاک به‌ترتیب ۰/۷۳ و ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد که برای کشت محصولات کشاورزی مناسب است.

در شکل ۳، میانگین اثر سطوح متفاوت تیمارهای کودی بر غلظت نیترات خاک (سمت راست) و آبشویی (سمت چپ) طی دوره رشد محصول سیب‌زمینی نمایش داده شده است. محور عمودی، نماینده غلظت نیترات بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و محور افقی، نماینده سه سطح دو تیمار کود اوره و نانوکی‌لیت نیتروژن است. در هر مورد، حروف متفاوت در هر ستون حاکی از تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین مقادیر غلظت است.



شکل ۳- میانگین غلظت نیترات در آب و خاک طی دوره رشد محصول.

مطابق شکل ۳، با افزایش سطح نیتروژن در هر دو تیمار کود اوره و نانوکی‌لیت، افزایش خطی در غلظت نیترات خاک و آبشویی مشاهده می‌شود. نتایج این شکل نشان می‌دهد تفاوت بین مقدار نیترات آبشویی در هر سه سطح نانوکی‌لیت و اوره در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین مقدار نیترات خاک معادل ۱۰۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آبشویی برابر ۶۲۹/۲۳ میلی‌گرم بر لیتر در سطح سوم اوره به ثبت رسید. مطالعه عابدی کوپایی و همکاران (۱۳۸۹) نیز نشان داد میزان آبشویی نیتروژن در تیمار ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر اوره مصرفی در

www.SID.ir

Archive of SID

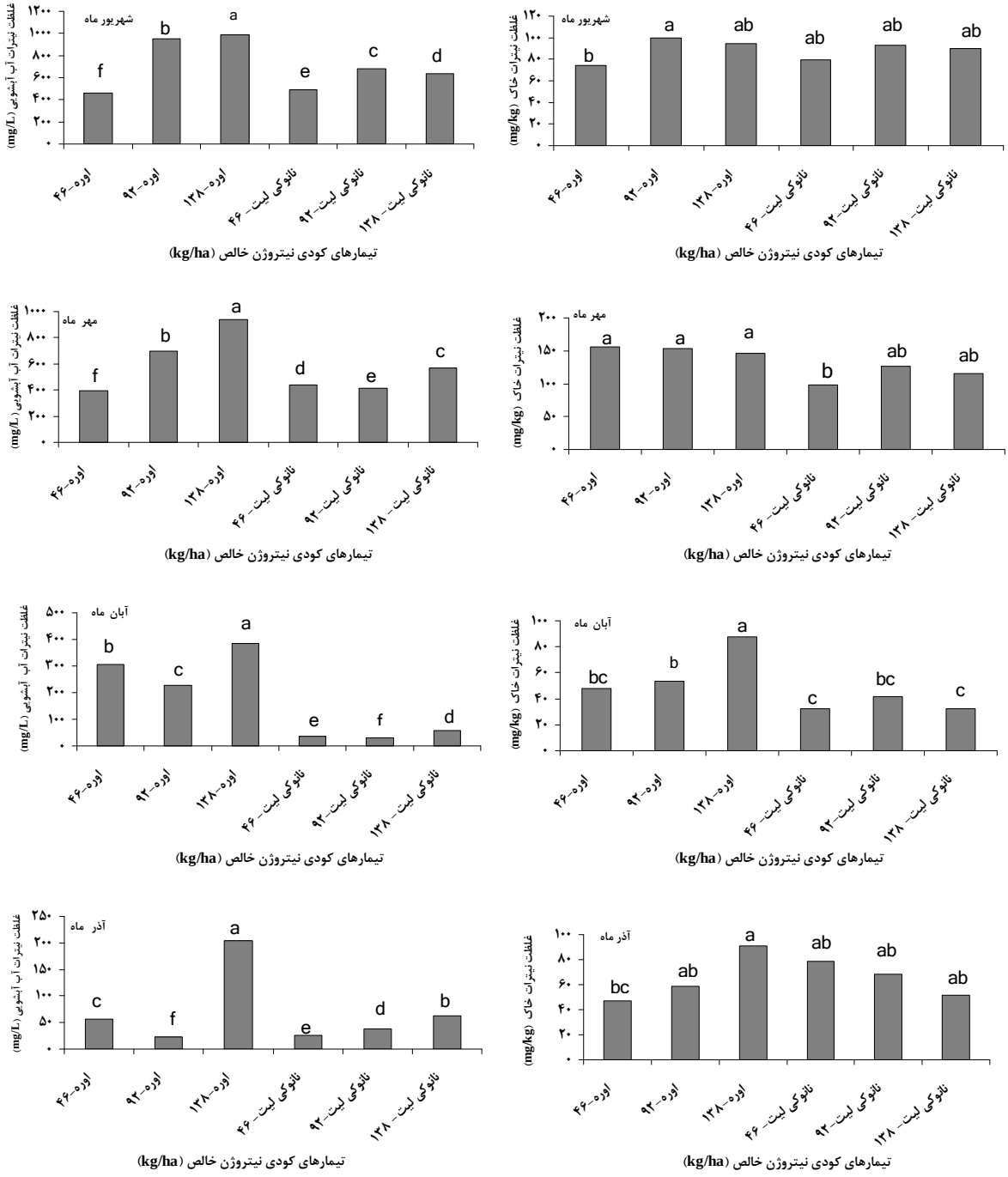
کشت گلخانه‌ای گندم منجر به آبشویی ۷۴۷/۱ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن گردید. در تیمار نانوکی‌لیت نیز بیشترین مقدار نیترات خاک در سطح سوم معادل ۸۲/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیشترین مقدار نیترات آبشویی برابر ۳۳۱/۲۹ میلی‌گرم بر لیتر بدست آمد. محاسبات اولیه نشان داد غلظت نیترات خاک سطوح اول، دوم و سوم نانوکی‌لیت نیتروژن به‌ترتیب ۱۱/۰۸، ۲۰/۷۹، ۲۱/۳۷ درصد و نیترات آبشویی ۱۸/۷۳، ۴۰/۱۷، ۴۷/۳۵ درصد کمتر از مقادیر متناظر یا سطوح اوره مصرفی هستند. کوی و همکاران (۲۰۰۶) افزایش سطح به حجم ذرات نانوکود و سیکوا و سزمیات (۲۰۰۱) ویژگی کی‌لیت بودن یعنی پیوند ذرات نانو را عامل آبشویی کمتر نیترات دانسته‌اند. وجود چنین شرایطی موجب افزایش برهمکنش نانوگروه‌های عملکردی نیتروژنی در کود نانوکی‌لیت نیتروژن با گیاه و خاک و غلبه رفتار اتم‌های واقع در سطح ذره به رفتار اتم‌های درونی است. از طرفی می‌توان گفت یون‌های آمونیوم (NH_4^+) که طی عمل نیترات‌سازی قابل تبدیل به نیترات هستند به‌دلیل سطح بیشتر در نانوکود جذب ذرات رس با بار منفی می‌شوند و ماندگاری آن‌ها مانع از آبشویی نیترات می‌شود، اما در تیمار کود اوره جذب سطحی کمتر آمونیوم و انجام عمل نیترات‌سازی عاملی برای آبشویی نیترات به‌سمت پایین می‌باشد که در راستای مطالعات میلر و گاردینر (۲۰۰۱) و پیرژنسکی و همکاران (۲۰۰۵) است. کمتر شدن آبشویی عناصر غذایی در مقیاس‌های مزرعه‌ای و بزرگ، علاوه بر آلایندگی کمتر منابع آب و خاک، نقش اقتصادی با ارزشی دارد. براساس یک بررسی صورت گرفته در کانادا مشخص گردید که مصرف نانوکودها می‌تواند از اتلاف ۲۰۰۰ میلیون دلار سرمایه به‌دلیل پایین بودن راندمان کودهای معمولی جلوگیری نماید (مونریل ۲۰۱۰). برای بررسی جزئی‌تر، اثرات سطوح مختلف نیترات خاک و آبشویی در تیمارهای کودی طی زمان‌های مختلف نمونه‌گیری در شکل ۴ نمایش داده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، با افزایش سطح نیتروژن در هر دو تیمار کود، افزایش غلظت نیترات خاک نسبت به زمان قبل از کودآبیاری، یعنی ۴۵/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم، مشهود است. از طرفی، شکل ۲ نشان می‌دهد که نیترات خاک و نیترات آبشویی در دو ماه اول فصل رشد به‌دلیل کوددهی، افزایش و در دو ماه پایانی فصل رشد به‌دلیل عدم کوددهی و مصرف نیترات توسط گیاه کاهش یافته است. افزایش نیترات خاک در ماه اول به‌دلیل کوددهی مرحله اول (شهریور) و در ماه دوم به‌دلیل کوددهی مرحله دوم و نیترات باقی‌مانده از مرحله اول است. از طرفی، با محاسبه ضریب تغییرات مشخص گردید ضریب تغییرات نیترات خاک در سه سطح نانوکی‌لیت مصرفی ۷/۷ درصد و ضریب تغییرات نیترات خاک در هر سه سطح اوره ۱۲/۸ درصد است. به‌همین ترتیب، ضریب تغییرات نیترات آبشویی هر سه سطح تیمار نانوکی‌لیت ۱۴/۶ درصد و در سه سطح تیمار اوره ۳۴/۵ درصد است. از آنجایی‌که ضریب تغییرات نیترات خاک و نیترات آبشویی در تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن کمتر از تیمار کود اوره است می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تغییرات غلظت نیترات آزاد شده در خاک و نیترات آبشویی تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن یکنواخت‌تر از کود اوره است. از آنجایی که در هر دو تیمار کودی، آبیاری کامل صورت گرفته است به‌نظر می‌رسد کاهش حرکت توده‌ای و در نتیجه دسترسی مناسب‌تر ریشه به مواد غذایی در سطوح مختلف تیمار کودی نانوکی‌لیت نیتروژن موجب جذب بیشتر عناصر غذایی و عملکرد بیشتر غده می‌شود که به‌وسیله سایر محققان نیز گزارش شده است (پیوندی و همکاران ۱۳۹۰ الف؛ پیوندی و همکاران ۱۳۹۰ب).

در جدول ۳، تجزیه واریانس اجزای نیتروژن شامل نیترات خاک، نیترات آبشویی، نیتروژن برگ، نیترات غده و میانگین عملکرد غده ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴ – تغییرات غلظت نیترات باقی‌مانده در خاک و آب در سطوح مختلف مصرف کود اوره و نانوکی‌لیت نیتروژن.

www.SID.ir

Archive of SID

براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر اصلی نوع کود بر عملکرد و تجمع نیترات در خاک، آب، برگ و غده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. در صورتی‌که اثر سطوح کود بر نیترات برگ و نیترات خاک در سطح احتمال ۵ درصد و برای سایر صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. به‌همین ترتیب اثر متقابل نوع کود × سطح برای عملکرد، نیترات آب و نیترات غده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار، برای نیترات برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار و برای نیترات خاک غیر معنی‌دار بود. جدول ۴ مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات مورد مطالعه را براساس آزمون دانکن نشان می‌دهد.

جدول ۳ –تجزیه واریانس صفات عملکرد، نیترات خاک، نیترات آب، نیتروژن برگ و نیترات غده تحت تأثیر دو تیمار کودی.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد	خاک	آب	برگ	غده
نوع کود (اوره و نانوکی‌لیت)	۱	۴۲۰۹/۰**	۱۲۷۰/۱**	۱۵۱۱۰۷/۰**	۱۶۶/۴**	۴۸۸۵/۷**
سطح (۱ و ۲ و ۳)	۲	۷۰/۲**	۴۴۹/۵*	۶۳۱۳۵/۴**	۶/۷*	۱۵۷۲۱/۳**
نوع کود × سطح	۲	۹۰/۳**	۷۲/۸^{ns}	۲۱۹۳۴/۲**	۵/۱*	۱۹۱/۹**
خطا	۱۲	۰/۱۶۷	۰/۰۹۲	۱/۵۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات	--	۱/۷	۱۱/۹	۰/۳	۱۰/۸	۰/۷

**و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد، ns: عدم معنی‌داری.

جدول ۴– مقایسه میانگین‌های صفات عملکرد، نیترات آبشویی، نیتروژن برگ و نیترات غده برای اثر متقابل نوع کود و سطح آن‌ها.

نوع کود	سطح نیتروژن مصرفی	عملکرد	نیترات آب آبشویی	نیتروژن برگ	نیترات غده
		(t/ha)	(mg/L)	(٪)	(mg/kg)
اوره	۴۶	۴۳/۳^{d}	۳۰۳/۹^{d}	۶/۰^{c}	۱۰۳/۵^{e}
	۹۲	۴۳/۰^{d}	۴۸۵/۱^{b}	۶/۱^{c}	۱۴۳/۳^{c}
	۱۳۸	۴۲/۲^{d}	۶۲۹/۲^{a}	۶/۵^{c}	۲۱۵/۶^{a}
نانوکی‌لیت	۴۶	۶۵/۱^{c}	۲۴۶/۹^{f}	۱۰/۰^{b}	۸۰/۵^{f}
	۹۲	۷۶/۷^{b}	۲۹۰/۲^{e}	۱۳/۴^{a}	۱۱۲/۸^{d}
	۱۳۸	۷۸/۵^{a}	۳۳۱/۳^{c}	۱۳/۴^{a}	۱۷۰/۴^{b}
سطح احتمال	اثر نوع کود × سطح	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۵۶	<۰/۰۰۰۱

براساس نتایج مقایسه میانگین ارائه شده در جدول ۴، میانگین عملکرد غده در هر سه سطح تیمار نانو کی‌لیت ۱/۷ برابر عملکرد تیمار اوره و غلظت نیترات خاک، آب و غده در تیمار نانو کی‌لیت به‌طور معنی‌داری کمتر از غلظت نیترات در تیمار اوره است. این مسئله می‌تواند به سبب ابعاد نانو کود کی‌لیت، تثبیت نیترات و آزادسازی تدریجی آن برای گیاه باشد که موجب کمتر بودن آن در سطوح مختلف تیمار نانوکی‌لیت نسبت به سطوح مختلف کود اوره و بیشتر بودن نیتروژن برگ و عملکرد در هر سه سطح نانوکی‌لیت نیتروژن باشد. در توضیح و تفسیر نتایج جدول۴، بایستی اشاره داشت که نیترات باقی‌مانده در خاک یکی از خصوصیاتی است که معمولاً تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر شرایط آب و هوایی، بافت خاک و مقدار آب آبیاری قرار می‌گیرد. از آنجا که شرایط آزمایش برای همه تیمارها یکسان بوده، لذا تغییرات نیترات خاک و به‌همین ترتیب نیترات آبشویی تحت تأثیر نوع کود است. مطابق نتایج جدول ۴، کمترین مقدار عملکرد به سطح سوم تیمار کودی اوره معادل ۴۲/۲ تن در هکتار و بیشترین مقدار عملکرد به سطح سوم تیمار

www.SID.ir

Archive of SID

نانوکی‌لیت نیتروژن برابر ۷۸/۵ تن در هکتار تعلق دارد. هم‌چنین از نتایج جدول ۴ ملاحظه می‌شود که از مقدار عملکرد به‌عنوان یک صفت اساسی در تیمار کود اوره با افزایش سطح کود مصرفی کاسته شده است. در حالی‌که عملکرد در تیمار کود نانوکی‌لیت نیتروژن با افزایش سطح کود افزایش معنی‌داری داشته است. بلانگر و همکاران (۲۰۰۰) در آزمایشی، مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره را نسبت به سایر سطوح کودی مناسب‌تر دانستند و سعیدی (۲۰۰۸) و عباسی (۲۰۰۷) نشان دادند که با تجاوز میزان نیتروژن مصرفی از حد مطلوب، عملکرد غده کاهش می‌یابد. جماعتی تمرین و همکاران (۱۳۸۸) یکی از دلایل کاهش عملکرد غده را کاهش معنی‌دار عملکرد پروتئین در سطح ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار گزارش نمودند. مواردی از کاهش عملکرد محصول به‌واسطه زیادی نیتروژن در گزارش گواردا و همکاران (۲۰۰۴) روی گندم و در برنج به‌واسطه کاهش راندمان فیزیولوژیک نیتروژن و آلودگی محیط زیست آمده است (جیانگ و همکاران ۲۰۰۵). این مسئله نشان می‌دهد در تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن نسبت به تیمار کود اوره تبدیل نیتروژن به پروتئین و مواد دیگر در راستای افزایش عملکرد به‌خوبی انجام شده است. به‌عبارت دیگر نانوکی‌لیت نیتروژن با تأمین مواد غذایی در تمام فصل رشد و آزادسازی تدریجی آن، ضمن حفظ رطوبت به‌عنوان یک سوپرجاذب در جهت افزایش تجمع مواد پروتئین‌دار در بخش‌های مختلف گیاه و در نهایت عملکرد بیشتر عمل نموده است (شاویو ۲۰۰۵، نادری و دانش شهرکی ۱۳۸۹).

همان‌گونه که در جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داده شد اثر متقابل نوع کود × سطح برای نیترات خاک معنی‌دار نبود، لذا مقایسه میانگین اثر ساده نیترات خاک محاسبه و در جدول ۵ نمایش داده شد.

جدول ۵، مقایسه میانگین‌های اثرات ساده نوع کودهای مصرفی و سطوح کودی صفت نیترات خاک را به‌تفکیک نشان می‌دهد. همان‌گونه که از جدول ۵ ملاحظه می‌گردد اثر کود بر میزان نیترات خاک معنی‌دار بوده است. مقدار نیترات خاک در تیمار کود اوره بیش از مقدار نیترات خاک در تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن است.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده غلظت نیترات خاک در هر دو تیمار کودی.

فاکتور		غلظت نیترات خاک (mg/kg)
کود	اوره	۹۲/۵[a]
	نانوکی‌لیت	۷۵/۷[b]
سطح	۴۶	۷۶/۷[b]
	۹۲	۸۱/۹[ab]
	۱۳۸	۹۳/۶[a]
سطح احتمال	نوع کود	۰/۰۰۴
	اثر سطح	۰/۰۳۵

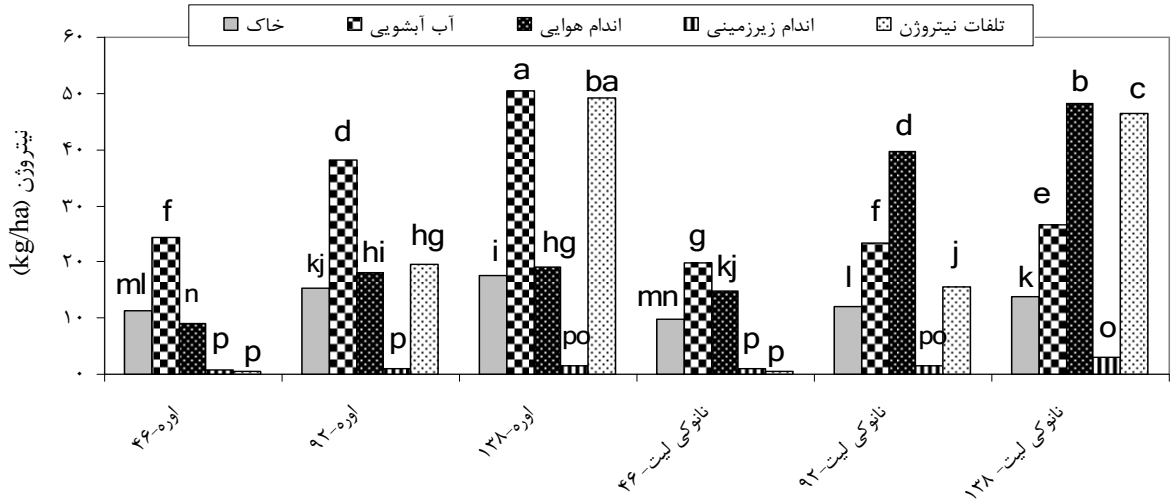
این امر ضمن نشان دادن نگرانی‌های ناشی از شکل مرسوم کود مصرفی، مطلوبیت نانوکی‌لیت نیتروژن را نسبت به کود اوره نشان می‌دهد. از طرفی جدول ۵ نشان می‌دهد با افزایش سطح نیتروژن مصرفی بر مقدار نیترات خاک به‌عنوان یک پارامتر منفی و نگرانی ناشی از آن افزوده می‌شود، ضمن آن‌که افزایش نیتروژن در تیمار کود اوره نه‌تنها موجب افزایش عملکرد نشده بلکه غلظت نیترات غده و آب (جدول ۴) و نیترات خاک (جدول ۵) نیز به‌عنوان یک صفت منفی افزایش یافته است. بدین ترتیب در تیمار کود نانوکی‌لیت نیتروژن نگرانی‌های ناشی از کیفیت محصول و سلامت محیط زیست با افزایش سطح کود مصرفی کمتر است. بیشترین تجمع نیترات غده در سطح سوم کود اوره ۲۱۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده تر با حرف c و کمترین تجمع نیترات غده در سطح اول نانوکی‌لیت نیتروژن معادل ۸۰/۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ماده تر غده با حرف d به‌دست آمد (جدول ۳). هر چند در هر دو تیمار کودی، غلظت نیترات غده پایین‌تر از حد مجاز ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده تر در دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی است (بی‌نام ۱۹۸۷). لیکن تفاوت بین نیترات تجمع یافته در غده‌ها در هر سه سطح تیمارهای کودی اوره و نانوکی‌لیت در حد احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۴). به‌همین ترتیب بیشترین

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار نیترات خاک در سطح سوم هر دو کود معادل ۹۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک با حرف a و کمترین مقدار نیترات خاک در سطح اول کودها معادل ۷۶/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک با حرف b به‌دست آمد (جدول ۵). دلیل تفاوت معنی‌دار تمامی صفات مورد بررسی در هر دو تیمار کودی، بدون توجه به سطح مصرف هر یک از کودها، می‌تواند ناشی از افزایش سطح به حجم در کود نانوکی‌لیت نیتروژن باشد که جذب بیشتر نیترات به‌دلیل ابعاد نانویی از طریق ریشه‌ها، نانوپورهای ریشه و افزایش فتوسنتز گیاه باشد. در تأیید این مطلب می‌توان به مقادیر نیتروژن برگ در هر سه سطح نانوکی‌لیت نیتروژن و اوره اشاره داشت که مطابق نتایج جدول ۴، متوسط میزان نیتروژن برگ در تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن برابر ۱۲/۲۸ درصد است و به‌صورت معنی‌داری بیش از نیتروژن برگ تیمار اوره (یعنی ۶/۲ درصد) است. جعفری بیله سوار و همکاران (۱۳۹۱) در گزارشی نشان دادند تاثیر نیتروژن بر سهم برگ در تولید محصولات زراعی در سطح ۱ درصد معنی‌داری معادل ۷۷ درصد است که به‌مفهوم وابستگی زیاد محصولات تولیدی به نیتروژن برگ است. هم‌راست با نتایج فوق در پژوهش حاضر نیز مقدار تولید به نیتروژن برگ وابسته بود به‌طوری که در تیمار کود اوره میانگین عملکرد غده ۳۵ تن در هکتار به‌ازای ۶/۲ درصد نیتروژن برگ حاصل شد و در مقابل در تیمار کود نانوکی‌لیت، میانگین عملکرد غده ۷۰ تن در هکتار به‌ازای ۱۲/۲۸ درصد نیتروژن برگ به‌دست آمد. در این راستا، خابلا و وارمن (۲۰۰۵) کم بودن عملکرد سیب‌زمینی را به کم بودن غلظت نیتروژن در بافت‌های گیاهی و در نهایت کم بودن نیتروژن قابل دسترس برای گیاه مرتبط دانستند. بدین ترتیب فناوری نانو در افزایش راندمان مواد غذایی، به‌حداقل رساندن هزینه‌های تولید، حفاظت از محیط زیست و هزینه‌های سلامت مصرف کنندگان موفق بوده است که گزارش چیناموتو و بوپاتی (۲۰۰۹) نیز مؤید این مطلب می‌باشد. از طرفی، فراهمی بیش از حد عناصر غذایی که معمولاً در نتیجه مصرف زیاد کودهای شیمیایی با حلالیت زیاد رخ می‌دهد و عدم جذب آن به‌درون ریشه‌ها جهت ماده‌سازی، می‌تواند باعث تجمع غلظت‌های بالای نمک‌های محلول در محیط خاک شود. این امر ممکن است سبب القای تنش اسمزی و تحمیل صدمات آشکار به گیاهان زراعی در قالب کاهش عملکرد شود (غلام و همکاران ۲۰۰۲).

اجزای بیلان نیتروژن در تیمارها و سطوح مختلف کودی در انتهای فصل رشد به تفکیک محیط آب، خاک و گیاه در شکل ۵ نشان داده شده است. مقایسات میانگین با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.



شکل۵- اجزای معادله بیلان نیتروژن.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج بیلان نشان داد که بیشترین مقادیر نیتروژن آبشویی در سطح سوم کود اوره معادل ۵۰/۵ کیلوگرم بر هکتار است که به‌عنوان یک عامل منفی نشان‌دهنده نگرانی‌های محیط زیستی است که در تفسیر نتایج شکل ۳ و ۴ به آن اشاره شد. در مقابل بیشترین مقدار نیتروژن آبشویی در سطح سوم کود نانوکی‌لیت برابر ۱۹/۸ کیلوگرم بر هکتار با حرف e است. این موضوع نشان دهنده معنی‌دار بودن شدت تلفات نیتروژن آبشویی با افزایش سطح کود مصرفی در تیمار کودی اوره نسبت به تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن است. نتایج بیلان نشان داد که کمترین میزان نیتروژن باقی مانده در خاک به سطح اول نانوکی‌لیت نیتروژن در انتهای فصل رشد معادل ۹/۸ کیلوگرم بر هکتار تعلق دارد. به‌همین ترتیب میزان نیتروژن باقی‌مانده در خاک در سطح دوم نانوکی‌لیت نیتروژن، ۱۲/۰ و در سطح سوم نانوکی‌لیت نیتروژن ۱۳/۷ کیلوگرم بر هکتار است. در مقابل، بیشترین مقدار نیتروژن باقی‌مانده در خاک برابر ۱۷/۵ کیلوگرم بر هکتار مربوط به سطح سوم تیمار کودی اوره است و میزان نیتروژن خاک در سطح اول و دوم تیمار کودی اوره به‌ترتیب ۱۱/۳ و ۱۵/۲ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد (شکل ۵). متفاوت بودن حروف لاتین در غلظت نیتروژن خاک هر سه سطح کود اوره با هر سه سطح کود نانوکی‌لیت، بیان‌گر تفاوت آماری در سطح احتمال ۵ درصد است. این امر نشان می‌دهد عدم آبشویی نیترات در تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن منجر به باقی‌ماندن نیتروژن در خاک و آلودگی آن نشده است، زیرا مقدار نیتروژن خاک در هر سه سطح تیمار نانوکی‌لیت نسبت به سطوح کودی متناظر در تیمار کود اوره کمتر است. به‌همین ترتیب از شکل ۵، ملاحظه می‌گردد که مقادیر نیتروژن اندام هوایی در هر سه سطح تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن، به‌طور معنی‌داری نسبت به مقادیر نیتروژن اندام هوایی در سطوح متناظر با تیمار کود اوره بیشتر است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که بیشتر بودن نیتروژن اندام هوایی موجب افزایش مقدار فتوسنتز گیاه و به‌تبع افزایش عملکرد گردد که مقادیر عملکرد غده ارائه شده در جدول ۴، هم‌سو با نتایج شکل ۵ می‌باشد. ضمن آن‌که نتایج بیشتر بودن عملکرد در تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن، در راستای گزارشات شارما (۱۹۹۲) و وارول و همکاران (۱۹۹۷) مبنی بر افزایش میزان محصول به‌واسطه افزایش فتوسنتز ناشی از افزایش میزان نیتروژن برگ است.

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از فناوری نانو در بخش کشاورزی در سال‌های اخیر توجه زیادی را به‌خود جلب کرده است. در این تحقیق، کاهش آبشویی نیترات و افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی با تأکید بر آلودگی کمتر منابع آب و خاک در سه سطح تیمار کودی اوره و سه سطح تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که اعمال تیمار نانوکی‌لیت نیتروژن موجب افزایش مقادیر جذب نیتروژن و باقی‌ماندن مقادیر کمتر نیتروژن خاک در انتهای فصل رشد در مقایسه با تیمار کود اوره گردید. همچنین افزایش میزان جذب نیتروژن توسط گیاه در سطوح مختلف تیمار نانوکی‌لیت، موجب انتقال کمتر نیترات به لایه‌های پایینی و کاهش پتانسیل آبشویی نیترات شد. درعین حال بین میزان محصول به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه اقتصادی در زراعت سیب‌زمینی در تیمار نانوکی‌لیت و تیمار کود اوره اختلاف معنی‌داری وجود داشت. این اختلاف در سطوح مختلف نانوکی‌لیت نیتروژن معنی‌دار افزایشی ولی در سطوح مختلف کود اوره غیرمعنی‌دار کاهشی بود. تحلیل آماری اجزای معادله بیلان نیتروژن نیز افزایش قابل انتظار عملکرد را به‌واسطه بیشتر بودن نیتروژن اندام هوایی در هر سه سطح تیمار کود نانوکی‌لیت نیتروژن را نسبت به تیمار کود اوره به اثبات رسانید. نتایج این پژوهش رسانش هدفمندتر مواد غذایی به‌واسطه بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی و زیست سازگاری نانوکی‌لیت نیتروژن و کمتر بودن خطر آلایندگی تولیدات کشاورزی و آلایندگی محیط زیست و در نهایت حفظ سلامت مصرف کنندگان نسبت به اوره را به اثبات می‌رساند. لذا با در نظر گرفتن هم‌زمان

www.SID.ir

Archive of SID

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی می‌توان سطح سوم تیمار کود نانو کی‌لیت نیتروژن را به‌عنوان سطح و تیمار برتر در این پژوهش معرفی نمود. با این وجود، تکرار این پژوهش برای دیگر محصولات و در محیط مزرعه‌ای نیز توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

اخلاقی ک، ۱۳۸۷. فرمولاسیون و ساخت سیلنت مناسب جهت استفاده در فرآیند تولید کود اوره با پوشش گوگردی. اولین کنفرانس پتروشیمی ایران. اول و دوم مرداد ماه. شرکت ملی صنایع پتروشیمی. تهران. صفحه‌های ۱ تا ۱۴.

برمکی س، مدرس م و مهدی زاده و، ۱۳۸۹. کاربرد فناوری نانو در راستای مصرف بهینه کودهای شیمایی با تاکید بر نانوکودها. صفحه‌های ۱-۱۱. اولین کنگره چالش‌های کود ایران، ۱۰-۱۲ اسفند، تهران.

پیوندی م، پرنده ه و میرزا م، ۱۳۹۰- الف. مقایسه نانوکی‌لیت آهن با کی‌لیت آهن بر بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان ریحان (*Ocimum Basilicom*). مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی – مولکولی، جلد ۱، شماره ۴، صفحه-های ۸۹ تا ۹۹.

پیوندی م، کمالی جا مکانی ز و میرزا م، ۱۳۹۰- ب. تأثیر نانوکی‌لیت آهن با کی‌لیت آهن بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مرزه (*Satureja Hortensis*). مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی – مولکولی. جلد ۲، شماره ۵، صفحه‌های ۲۵ تا ۳۲.

جعفری بیله سوار ر، سید شریفی ر و ایمانی ع، ۱۳۹۱. تاثیر نیتروژن و زمان برداشت بر کارایی مصرف کود و عملکرد کمی و کیفی سورگوم علوفه‌ای. مجله به زراعی کشاورزی. جلد ۱۴، شماره ۲، صفحه‌های ۱۷ تا ۳۰.

جماعتی تمرین ش، توبه ا، هاشمی مجد ک، اصغری ع، حسن زاده م، ذبیحی محمودآباد ر و شیری جناقرد م، ۱۳۸۸. تأثیر تراکم بوته و سطوح مختلف نیتروژن بر درصد پروتئین، عملکرد و تجمع نیترات در غده سیب‌زمینی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، جلد ۲، شماره ۲، صفحه‌های ۱۵۱ تا ۱۶۴.

حسینی ر، گاشی س، سلطانی ا، کلاته م و زاهد م، ۱۳۹۲. اثر کود نیتروژن بر شاخص های کارایی مصرف نیتروژن در ارقام گندم (*Triticum aestivum L.*). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۱۱، شماره ۲، صفحه‌های ۳۰۰ تا ۳۰۶.

خزاعی ح ر و ارشدی م ج، ۱۳۸۷. بررسی اثرمدیریت کود سرک نیتروژن با استفاده از کلروفیل‌متر بر عملکرد و خصوصیات کیفی سیب‌زمینی رقم آگریا در شرایط آب و هوایی مشهد. مجله علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲، شماره ۲، صفحه‌های ۴۹ تا ۶۳.

زارع ابیانه ح، بیات ورکشی م، اخوان س و محمدی م، ۱۳۹۰. تخمین نیترات آب زیرزمینی دشت همدان - بهار با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی و اثر تفکیک داده ها بر دقت پیش بینی. مجله محیط شناسی، سال ۳۷، شماره ۵۸، صفحه-های ۱۲۹ تا ۱۴۰.

عابدی کوپایی ج، موسوی س ف و معتمدی آ، ۱۳۸۹. بررسی تأثیر کاربرد زئولیت کلینوپتی‌لولایت در کاهش آبشویی کود اوره از خاک. آب و فاضلاب، شماره ۷۵، صفحه‌های ۵۱ تا ۵۷.

عباسی ع، لیاقت ع م و عباسی ف، ۱۳۹۱. بررسی آبشویی عمقی نیترات تحت شرایط کود-آبیاری جویچه ای ذرت. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۶، شماره ۴، صفحه‌های ۸۴۲ تا ۸۵۳.

رسولی ف و مفتون م، ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد خاکی دو ماده آلی توام با نیتروژن بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۲، شماره ۴۶، صفحه‌های ۵۶ تا ۷۲.

www.SID.ir

Archive of SID

صبوری ف، فتوت ا، آستارایی ع ر و خراسانی ر، ۱۳۹۱. مقایسه نانو و میکرو دره اکسید آهن در اصلاح خاک آلوده. صفحات ۱-۷. اولین همایش ملی حفاظت و برنامه ریزی محیط زیست. ۳ و ۴ اسفند ماه. دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.

صادقی پور مروی م، ۱۳۸۹. راندمان مصرف کود در ایران. صفحه‌های ۱-۹. اولین کنگره چالش‌های کود در ایران : نیم قرن مصرف کود. ۱۰-۱۲ اسفند ماه. تهران.

ضیائیان ع ح و کشاورز پ، ۱۳۸۹. افزایش کارایی نیتروژن در سیب‌زمینی با استفاده از کودهای نیتروژنه کندرها. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۴، شماره ۲، صفحه‌های ۱۰۷ تا ۱۱۵.

فدایی م ر و لاری ف، ۱۳۹۰. بهبود کیفیت آب و خاک به کمک ناو ذرات آهن. ماهنامه فناوری نانو. سال دهم، شماره ۱۱، پیاپی ۱۷۲، صفحه‌های ۲۰ تا ۲۳.

ملکوتی م.ج. ۱۳۷۵. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران. انتشارات نشر آموزش کشاورزی. کرج. ایران. ۲۷۹ صفحه.

نادری م و دانش شهرکی ع، ۱۳۸۹. نانوکودها و نقش آنها در پایداری کشاورزی. صفحه‌های ۱-۱۱. اولین کنگره چالش-های کود در ایران: نیم قرن مصرف کود. ۱۰-۱۲ اسفند، تهران.

نادری م و دانش شهرکی ع، ۱۳۹۰. کاربرد مناوری نانو در بهینه‌سازی فرمولاسیون کودهای شیمیایی. ماهنامه نانو، جلد ۱۶۵، شماره ۴، صفحه‌های ۲۰ تا ۲۲.

Abbasi A, 2007. Investigation of nitrogen and use efficiency in potato cultivors. MSc. Thesis, University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil, Iran.

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

Archer MC, 1989. Mechanisms of action of N-nitroso compounds. Cancer Surv. 8(2): 241-50.

Belanger G, Walsh JR, Richards JE, Milburn PH and Ziadi N, 2000. Comparison of three statistical models describing potato yield response to nitrogen fertilizer. Agron J. 92: 902-908.

Breve M, Skaggs RW, Parsons JE and Gilliam JW, 1997. DRAINMOD-N, a nitrogen model for artificially drained soils. Trans. ASAE 40(4): 1067-1075.

Chinnamuthu C R and Boopathi P, 2009. Nanotechnology and agroecosystem. Madras Agricultural Journal 96: 17-31.

Ghoulam C, Foursy A Fares K, 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beets cultivars. Environmental and Experimental Botany 47: 39-50.

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.

DeRosa M R, Monrea C, Schnitzer M, Walsh R and Sultan Y, 2010. Nanotechnology in fertilizers. Nature Nanotechnology 5: 91-92.

Galloway JN, Schlesinger WH, Levy H, Michaels A and Schnoor J L, 1995. Nitrogen fixation– anthropogenic enhancement environmental response. Global Biogeochem. Cycles 9: 235-252.

Guarda G, Padovan S and Delogu G, 2004. Grain yield, nitrogen use efficiency and baking quality of old and modern Italian bred-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy. 21: 181-192.

Hauk R D, 1973. Nitrogen traces in nitrogen cycle studies post use and future needs. Journal of Environmental Quality 2: 317-327.

Jiang LG, Dong DF, Gan XQ and Wei SQ, 2005. Photosynthetic efficiency and nitrogen distribution under different nitrogen management and relationship with physiological N-use efficiency in three rice genotypes. Plant Soil 271: 321-328

Johnson A, 2006. Agriculture and nanotechnology. Ward and Dutta, University of Wisconsin-Madison.

Kalra YP, 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis.Taylor & Francis Group.CRC press. 291 p.

Khabela MS and Warman PR, 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorous availability and uptake by two vegetable crops grown in a pug wash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture Ecosystem and Environmental. 106: 57-67.

Klaine SJ, Alvarez PJJ, Batley GE, Fernandes TF, Handy RD, Lyon DY, Mahendra S, McLaughlin MJ and Lead JR, 2008. Nanomaterials in the environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects. Environmental Toxicology and Chemistry. 27: 1825-1851.

www.SID.ir

Archive of SID

Kleinkopf GE, Westermann DT and Dwelle RB, 1981. Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. Agronomy Journal 73: 799-802.

Miller RW and Gardiner DT, 2001. Soils in Our Environment. 9th edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA. 642 p.

Monreal C M, 2010. Nanofertilizers for increased N and P use efficiencies by crops. Pp. 12-13. In: Monreal Summary of Information Currently Provided to MRI Concerning Applications for Round 5 of the Ontario Research Fund-Research Excellence Program.

Mosier AR, Syers J K and Freney J R, 2004. Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the environment. Washington DC, Island Press, USA.

Mulvaney RL, 1996. Nitrogen-inorganic forms. In: Sparks DL (ed). Methods of Soil Analysis—Part 3. Chemical Methods—SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, pp 1123–1184.

Park MC, Kim Y and Lee DH, 2004. Intercalation of magnesium-urea complex into swelling clay. Journal of Physics and Chemistry of Solids 65 (2-3): 409–412.

Pierzynski GM, Sims JT and Vance GF, 2005. Soils and Environmental Quality. 3rd edition, Taylor & Francis, Boca Raton, USA.

Saeidi M, 2008. Investigation of tuber size and nitrogen of some growth aspects, qualitative and quantitative . MSc Thesis, University of Mohaghegh Ardabili. 119 Pp. Ardabil. Iran.

Shaviv A, 2005. Controlled release of fertilizers. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, 28-30 June 2005, Frankfurt, Germany.

Sharma RP, 1992. Effect of planting material, nitrogen and potash on bulb yield of rainy season onion (*Allium cepa* L.). Indian Journal of Agronomy 37: 868-869.

Sheldrick W F, Syers J K and Lingard J, 2002. A conceptual model for conducting nutrient audits at national, regional, and global scales. Nutrient Cycling in Agroecosystems 62: 61-72.

Sikoa L and Szmiat PAK, 2001. Nitrogen sources, mineralization rates and plant nutrient benefits from compost. In: Stoffella P and Kahn B (Eds). Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems, CRC Press, USA.

Soudi B, Agbani M and Badraoui M. 1997. Impact of N-fertilisation of sugar beet on nitrate leaching. 60. Institut International de Recherches Betteravières Congres, 1-3 July, Cambridge, UK.

Varvel GE, Schepers JS and Francis DD, 1997. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. American Journal of Soil Science Society. 61: 1233-1239.

Westerman DT and Kleinkopf GE, 1985. Nitrogen requirements of potatoes. Agronomy Journal 77: 616-621.

Yunfei X, Mallavarapu M and Naidu R, 2010. Reduction and adsorption of P_b^{2+} in aqueous solution by nano-zero-valent iron—A SEM, TEM and XPS study. Materials Research Bulletin 45: 1361–1367.

www.SID.ir