تأثیر زئولیت در کاهش آبشوئی نیتروژن در یک خاک شنی تحت کشت کلزای علوفه‌ای

مجید غلامحسینی، مجیدآقاعلیخانی[۱*] و محمد جعفر ملکوتی

دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس و عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد؛ Gholamhosinitmu1541@yahoo.com

استادیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس؛ maghaalikhani@modares.ac.ir

استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس؛ mjmalakouti@hotmail.com

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی ایرانی بر کاهش آبشوئی نیتروژن در اراضی سبک، آزمایشی در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل سطوح مختلف زئولیت (۰، ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار) و مقدار کود نیتروژن در سه سطح (۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰) کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره، بود. کلزای پائیزه رقم OKAPI در دهم مهر ماه در مزرعه کشت و برای ارزیابی محصول علوفه گیاه، کل زیست توده اندام هوائی کلزا در ابتدای مرحله غلاف‌دهی برداشت شد. میزان آبشوئی نیتروژن با اندازه‌گیری غلظت یون نیترات و آمونیوم موجود در زه‌آب خروجی زیر عمق توسعه ریشه کلزا و سپس ضرب آن در مقدار نفوذ عمقی آب، محاسبه گردید. نتایج نشان داد اثرات اصلی زئولیت و نیتروژن بر عملکرد کمی علوفه کلزا و مهار آبشوئی نیتروژن از خاک معنی‌دار بود ($p\leq0.01$)، اما اثر متقابل آن دو بر هیچیک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نشد. بکارگیری زئولیت در سطوح ۶ و ۹ تن در هکتار، باعث کاهش معنی‌دار غلظت نیترات (NO_3^-) در نمونه زه‌آب شد. اما سطوح مختلف زئولیت تأثیر معنی‌داری بر کاهش شستشوی آمونیوم (NH_4^+) نداشت. با افزایش کاربرد زئولیت از ۳ تن در هکتار به ۹ تن در هکتار، غلظت نیتروژن در توده گیاهی کاهش یافت. بیشترین عملکرد علوفه تر و خشک به ترتیب معادل ۷۰/۶۶ و ۱۱/۳۱ تن در هکتار از تیمار ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد. افزایش نیتروژن مصرفی از ۹۰ به ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار موجب افزایش ۱۵ و ۶ درصدی به ترتیب در غلظت نیتروژن توده گیاهی و میزان کلروفیل برگ شد. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از زئولیت‌های طبیعی افزون بر تأثیر غیر مستقیم برای حصول عملکردهای مطلوب، مانع هدرروی نیتروژن از خاک‌های زراعی می‌گردد. انجام آزمایش‌های بیشتر در خصوص نقش احتمالی زئولیت‌ها در جلوگیری از آبشوئی نیترات مورد انتظار است.

واژه های کلیدی: زئولیت طبیعی، نیتروژن، آبشوئی، کلزای علوفه‌ای

مقدمه

تشدید اثرات مخرب زیست محیطی در کشاورزی سنتی که ناشی از مصرف بی‌رویه نهاده‌های کشاورزی از جمله کودهای شیمیائی است، روز به روز بر اهمیت توجه به کشاورزی پایدار می‌افزاید. از مهم‌ترین مشکلات سیستم‌های کشاورزی متداول، هدر روی کودهای شیمیائی مصرفی به ویژه از انواع نیتروژنی آن می‌باشد. بیشتر تلفات نیتروژن در اراضی شنی به صورت آبشوئی نیترات به اعماق است (Waddel و همکاران، ۲۰۰۰). با عنایت به حلالیت زیاد ترکیبات نیتراتی، این مواد همراه آب جریان یافته، به اعماق نیمرخ

۱- نویسنده مسئول، آدرس: تهران، جلال آل احمد، پل نصر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت

* دریافت:۸۶/۸/۲۶ و پذیرش: ۸۷/۱۰/۴

Archive of SID

www.SID.ir

خاک منتقل شده و در بسیاری از موارد از دسترس گیاه خارج می‌گردند (ملکوتی و همائی، ۱۳۸۳). مقدار آبشوئی نیترات در یک سیستم زراعی معمول بین ۲۵ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار در سال گزارش شده است (Basso و Ritchie، ۲۰۰۵). عوامل متعددی بر میزان آبشوئی نیترات تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان به مقدار و پراکنش بارندگی، مقدار کود نیتروژنی مصرفی، تناوب زراعی و تیپ خاک اشاره کرد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۳). در بین این عوامل نوع خاک نقش بسزائی در افزایش آبشوئی نیترات دارد. زمین‌های شنی از جمله اراضی زراعی هستند که پتانسیل بالائی برای شستشوی نیتروژن و در نهایت آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی دارند. این اراضی در کنار اندک خصوصیات مطلوب خود مانند تهویه مناسب و عدم ماندابی، بدلیل پائین بودن ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت نگهداری و تأمین مقدار ناچیزی از عناصر غذائی را دارند. کشاورزان در این گونه از زمین‌ها به منظور حصول عملکرد مناسب، ناچار از بکارگیری مقادیر بالائی از کودهای شیمیائی به ویژه کودهای نیتروژنه می‌باشند که سرانجام آن هدررفت نیتروژن و ورود مقادیر زیادی از نیترات به آب‌های زیرزمینی و افزایش غلظت آن از حد مجاز (۱۰ میلی گرم در لیتر) (USEPA[1]، ۲۰۰۲) می‌باشد. برای کاهش آبشوئی نیتروژن مواد گوناگونی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از آن جمله می‌توان به کودهای کند رها و بازدارندگان نیتراتی و اوره‌از اشاره کرد (ملکوتی و سپهر، ۱۳۸۲). اگر چه این مواد دارای اثرات مثبتی در کاهش آبشوئی نیتروژن هستند اما به دلیل گرانی و یا عدم فراهمی، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله مواد دیگری که به منظور جلوگیری از شستشوی نیتروژن مخصوصاً در زمین‌های شنی مورد توجه قرار گرفته‌اند، زئولیت‌ها می‌باشند (Mumpton، ۱۹۹۹). زئولیت‌ها شامل گروه وسیعی از آلومینوسیلیکات‌های هیدراته دارای یک شبکه تتراهیدرال اتم‌های اکسیژن هستند که در اطراف سیلیسیوم و آلومینیوم قرار گرفته‌اند (کاظمیان، ۱۳۸۳). بر خلاف کانی‌های معمول رسی، در زئولیت‌ها چارچوب ساختمانی به اندازه کافی باز است و این ویژگی باعث بوجود آوردن خواص منحصر به فرد زئولیت‌ها شده است. مولکول‌های آب و همچنین کاتیون‌ها به راحتی می‌توانند در داخل شبکه حرکت کرده بدون اینکه ساختار شبکه دچار تغییر شود. همچنین بار منفی موجود در ساختمان زئولیت‌ها ناشی از حضور آلومینیوم باعث ایجاد پدیده تبادل کاتیونی با سایر کاتیون‌های موجود در محیط می‌شود (Shaw و Andrews، ۲۰۰۱). زئولیت‌ها به عنوان موادی کاملاً طبیعی با توجه به ویژگی‌های منحصر به فردشان مانند قابلیت تبادل کاتیونی بالا (حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌اکی‌والان در صد گرم) و همچنین قابلیت جذب انتخابی کاتیون‌های مفید مانند آمونیوم (NH_4^+) و آزادسازی کنترل شده آنها (Dwairi، ۱۹۹۸)، می‌توانند اثرگذاری کودهای شیمیائی را بیشتر کرده و ضمن افزایش کارائی کودها، باعث مصرف بهینه کودهای شیمیائی نیز شوند. با توجه به این ویژگی‌ها و فراوانی زئولیت‌های طبیعی در کشور (Kazemian، ۲۰۰۰)، استخراج آسان و در نهایت قیمت اقتصادی مناسب، کاربرد این مواد در سطوح مختلف تولیدات کشاورزی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

کلزا (Brassica napus L.) از جمله دانه‌های روغنی است که به دلیل سازگاری‌های اکولوژیک با شرایط کشاورزی کشور موضوعات تحقیقات متنوعی در زمینه به‌زراعی و به‌نژادی را به خود اختصاص داده است. کمبود علوفه در ابتدای فصل بهار از یکسو و خصوصیات مطلوب علوفه کلزا از جمله درصد پروتئین خام مناسب (Amin و همکاران، ۲۰۰۲)، خوشخوراکی بالا (رضاپور،۱۳۷۸) و در نهایت پتانسیل تولید علوفه سبز و خشک بالا (آقاعلیخانی، ۱۳۸۲) باعث شده از این گیاه به عنوان علوفه آینده (رضاپور، ۱۳۷۸) یاد شود. از عوامل تأثیرگذار بر تولید علوفه کلزا، نیاز نیتروژنی این گیاه می‌باشد. کلزای پائیزه یک مصرف کننده قوی نیتروژن بوده و نیتروژن قابل دسترس مهم‌ترین عامل محدود کننده عملکرد دانه و علوفه آن در بسیاری از سیستم‌های کشاورزی دنیا می‌باشد (Rathke و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به پائین بودن کارائی مصرف نیتروژن در گیاه کلزا و از طرفی زمان کشت آن در پائیز که احتمال افزایش آبشوئی نیتروژن ناشی از وقوع بارندگی‌های شدید وجود دارد، زراعت کلزا به عنوان دریافت کننده نیتروژن اضافی شناخته می‌شود (Dreccer و همکاران، ۲۰۰۰). مصرف کود نیتروژنه اضافه، افزون بر افزایش تجمع گلوکوزینولات در توده گیاهی (Evans و همکاران، ۱۹۹۰) که باعث کاهش خوشخوراکی علوفه کلزا برای دام می‌شود، منجربه افزایش تلفات آبشوئی نیترات و نهایتاً آلودگی محیط زیست خصوصاً در اراضی شنی می‌گردد.

هدف از انجام این آزمایش بررسی تأثیر کاربرد مقادیر مختلف زئولیت طبیعی ایرانی و نیتروژن بر آبشوئی نیتروژن از خاک و عملکرد علوفه کلزا در یک خاک دارای بافت سبک می‌باشد.

1- U.S. Environmental Protection Agency

Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

موقعیت اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۸۶-۱۳۸۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، واقع در کیلومتر ۱۶ اتوبان تهران-کرج به اجرا درآمد. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۳۵۲ متر، طول و عرض جغرافیائی آن به ترتیب °۵۱/۱۰ شرقی و °۳۵/۴۴ شمالی است. متوسط بارندگی از شروع آزمایش تا انتهای فصل ۲۶۳ میلی‌متر بود که نسبت به میانگین‌های چند سال گذشته اندکی افزایش پیدا کرده بود. قبل از اجرای آزمایش به منظور آگاهی از وضعیت خاک مزرعه، نمونه‌ای مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد و مورد تجزیه فیزیکی و شیمیائی قرار گرفت (جدول۱).

طراحی آزمایش

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. ترکیب سطوح مختلف زئولیت شامل ۰، ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار (آنالیز شیمیائی زئولیت مورد استفاده در جدول ۲ آمده است همچنین زئولیت مصرفی قبل از مخلوط کردن با خاک از الک ۴ میلی‌متر عبور داده شد) و نیتروژن خالص به مقدار ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم بر هکتار از منبع اوره، تیمارهای دوازده گانه آزمایش را تشکیل دادند.

عملیات زراعی

پس از اجرای عملیات شخم و دیسک در زمین محل اجرای آزمایش، تیمارها به صورت تصادفی پیاده شدند. تمام زئولیت و یک‌سوم نیتروژن هر تیمار، به طور یکنواخت در سطح خاک پاشیده شد بعد بوسیله دیسک و فاروئر با خاک مخلوط گردید. همچنین در این مرحله به منظور کنترل علف‌های هرز، مزرعه با علفکش ترفلان تیمار شد. سپس کرت‌هائی با ۱۰ خط کاشت به طول ۴ متر به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از هم ایجاد شد. بذور کلزا رقم (OKAPI) در تاریخ دهم مهر ماه سال ۸۵ به صورت متراکم کاشته شد. در دو مرحله شامل ۳ و ۵ برگی گیاهان به فاصله ۴ سانتی‌متر ازهم تنک شدند تا تراکم ۸۳ بوته در مترمربع حاصل شود (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۳). برای آبیاری واحدهای آزمایشی از لوله‌های پلی‌اتیلن همراه با یک کنتور حجمی استفاده شد. برای جلوگیری از ایجاد روان آب، سیکل آبیاری هر کرت به صورت بسته و مجزا از کرت مجاور اجرا گردید. دو قسمت باقیمانده از کود نیتروژنی به صورت مساوی به ترتیب در ابتدای مراحل ساقه‌دهی (خروج از روزت) و گلدهی به کار برده شد. با توجه به کافی بودن مقادیر پتاسیم، فسفر و سایر عناصر کم مصرف قابل دسترس خاک (جدول۱) هیچگونه کود دیگری مصرف نشد. برای جلوگیری از وارد شدن تنش رطوبتی به گیاه، و همچنین مصرف بی‌رویه آب که هر دو عامل باعث افزایش اشتباه آزمایشی می‌شدند در یک کرت از هر تکرار، لوله‌های دستگاه T.D.R[1] مدل Trime-FM در عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک (عمق توسعه ریشه) نصب شد. عمق ۰ تا ۵۰ سانتیمتری به عنوان عمق توسعه ریشه نیز بر اساس تحقیقات Kjellstrom (۱۹۹۱) که گزارش کرد بیشترین ماده خشک و تعداد انشعابات ریشه کلزا در عمق ۰ تا ۵۰ سانتی‌متری خاک مشاهده می‌شود و همچنین با در نظر داشتن عمق اندک خاک زراعی در محل اجرای آزمایش، انتخاب گردید. آبیاری مزرعه پس از مصرف ۵۰٪ رطوبت قابل استفاده (M.A.D.[2] برابر ۰/۵) که با دستگاه T.D.R. کنترل می‌گردید، انجام شد. در اواسط رشد گیاه برای جلوگیری از خسارت شته، از سم دیازینون استفاده شد. حدود ۱۷۰ روز بعد از کاشت مصادف با ابتدای مرحله غلاف‌دهی (قانع، ۱۳۸۳)، با رعایت حاشیه سطحی معادل ۴ مترمربع از هر کرت برای تعیین عملکرد علوفه برداشت گردید. علوفه برداشت شده بلافاصله توزین و وزن تر کل بدست آمد. سپس نمونه‌ها سه روز در هوای آزاد قرار گرفت تا وزن خشک طبیعی آن حاصل شود. همچنین قبل از برداشت علوفه، میزان کلروفیل برگ به صورت غیر تخریبی و بوسیله دستگاه Chlorophyll Meter spad-502 اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که از قسمت مرکزی هر کرت ۵ بوته به تصادف انتخاب و میزان کلروفیل در جوان‌ترین برگ بالغ شاخه اصلی اندازه‌گیری شد. از گیاهان برداشت شده هر کرت ۸ بوته به تصادف انتخاب و در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد، بعد نمونه‌ها آسیاب و به روش هضم در لوله‌های مخصوص با اسید سولفوریک، اسد سالیسیلیک، آب اکسیژنه و سلنیم (امامی، ۱۳۷۵) هضم گردید و بوسیله روش تیتراسیون بعد از تقطیر با استفاده از دستگاه Kjeltec Auto 1030 Analyzer,Tecator نیتروژن کل نمونه‌های گیاهی اندازه‌گیری شد.

- اندازه‌گیری آبشوئی نیتروژن

برای اندازه گیری نیترات و آمونیوم، شسته شده به صورت کیلوگرم در هکتار، تعیین دو عامل الزامی می‌باشد. ۱) غلظت نیترات و آمونیوم در نمونه زه‌آب در عمق پائین تر از توسعه ریشه و ۲) میزان نفوذ عمقی آب (Pathak و همکاران، ۲۰۰۴). در این آزمایش برای تهیه نمونه زه‌آب از زیر منطقه توسعه ریشه، از دستگاه Soil Water Sampler (S.W.S.) (Model 1900, Soil Moisture

1- Time-Domain Reflectometry
2- Management Allowed Depletion

Archive of SID

www.SID.ir

(Equipment Co.) استفاده شد (شکل ۱). بدین منظور در قسمت مرکزی کرت‌ها، بوسیله اوگر دستی حفره‌ای به قطر ۵ سانتی‌متر و عمق ۶۵ سانتی‌متر ایجاد شد. سپس خاک بیرون آورده شده، الک گردید و مقداری از آن با آب مخلوط شد تا حالت خمیری پیدا کند، که از آن برای ارتباط بهتر قسمت سرامیکی لوله با خاک، در انتهای حفره استفاده شد. سپس فضای مابین لوله دستگاه و حفره با مابقی خاک پر شد. از آنجائی که نفوذ عمقی آب و به همراه آن آبشوئی نیتروژن از خاک هنگامی اتفاق می‌افتد که رطوبت در یک عمق معین خاک، بیش از ظرفیت زراعی باشد (Hermanson و همکاران، ۱۹۹۸) در هر زمان از اجرای آزمایش که رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه (۰ تا ۵۰ سانتیمتری) بیش از ظرفیت زراعی قرار داشت، بوسیله پمپ مکش دستی (Model 2005G2, Soil Moisture Equipment Co.) مکشی به میزان ۳۰ سانتی‌بار که فقط قابلیت جمع‌آوری رطوبت ثقلی را دارد، به لوله‌های دستگاه .S.W.S اعمال گردید. سپس بعد از رسیدن رطوبت خاک به کمتر از ظرفیت زراعی (کنترل رطوبت خاک برای تعیین زمان مکش به وسیله دستگاه .T.D.R انجام شد)، زه‌آب جمع شده از لوله .S.W.S ، خارج و در ظروف پلاستیکی ریخته شد (شکل ۲). به منظور جلوگیری از تغییر در ترکیب شیمیائی نمونه‌ها از اسید سولفوریک غلیظ به میزان ۱سی‌سی در لیتر استفاده شد. نمونه‌ها تا زمان تجزیه شیمیائی در دمای زیر ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در هر مرحله نمونه‌ها به روش Cadmium Reduction Method 8039 (Hach Co.) برای اندازه‌گیری نیترات و Salicylate Method (Hach Co.) برای اندازه‌گیری آمونیوم، بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Model dr/2500, Hach Co.) تجزیه شدند. برای اندازه‌گیری نفوذ عمقی از رابطه ۱ استفاده شد (Pathak و همکاران، ۲۰۰۴).

$$DPR= I+P-ET-R \qquad (1)$$

در این فرمول، DPR نفوذ عمقی آب به میلی‌متر، I آبیاری به میلی متر، P بارندگی به میلی‌متر، ET تبخیر و تعرق مزرعه به میلی‌متر و R روان آب به میلی‌متر . در مجموع ۴۹۰ مترمکعب برابر ۳۵۰ میلی‌متر آب، در مزرعه آزمایشی به مساحت ۱۴۰۰ مترمربع به صورت آبیاری در این آزمایش مصرف شد، کل بارندگی نازل شده در مدت زمان اجرای آزمایش ۲۶۳ میلی‌متر بود. برای تعیین تبخیر و تعرق از رابطه (۲) استفاده شد (Allen و همکاران، ۱۹۹۸):

$$ET_{CROP}= ET_0 \times K_C \qquad (2)$$

در این رابطه، ET_{CROP} تبخیر و تعرق گیاه، ET_0تبخیر و تعرق پتانسیل و K_C ضریب گیاهی می‌باشند. با توجه به تحقیقات انجام گرفته در نقاط مختلف جهان که مشخص نموده، دقت مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با رابطه فائو- پنمن- مانتیث در مقایسه با مقادیر لایسیمتری، همبستگی نزدیکی دارد (Allen، ۱۹۹۶ ; Allen و همکاران، ۱۹۹۸; Humphreys و همکاران، ۲۰۰۳) لذا برای تعیین ET_0 از این رابطه و داده‌های هواشناسی ایستگاه چیتگر وابسته به سازمان هواشناسی کشور (در فاصله کمتر از ۵۰۰ متر از محل انجام آزمایش) استفاده شد. مقادیر K_C نیز از نشریه FAO-56 (Allen و همکاران، ۱۹۹۸) برای گیاه کلزا بدست آمد. با توجه به سیکل بسته آبیاری هر کرت مقدار R در رابطه (۱) صفر فرض شد. بعد از تعیین غلظت نیترات وآمونیوم در نمونه زه‌آب و تعیین میزان نفوذ عمقی، از حاصل‌ضرب این دو عامل مقدار کیلوگرم نیترات و آمونیوم شسته شده در هکتار تعیین شد.

آنالیز داده‌ها

برای مرتب‌سازی داده‌ها و برخی محاسبات از صفحات گسترده در برنامه Excel و برای تجزیه آماری داده‌ها نرم افزار SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه

با توجه به این نکته که علوفه حاصل از کشت کلزا قابلیت مصرف به صورت تازه، سیلوشده و حتی علوفه خشک را دارد (قانع، ۱۳۸۳) از این رو علاوه بر ذکر نتایج مربوط به عملکرد علوفه بر مبنای وزن خشک که متداول‌ترین شیوه ارزیابی علوفه و منعکس کنندهٔ تغییرات مواد غذائی است، گزارش نتایج بر مبنای وزن تر علوفه نیز درخور اهمیت می‌باشد. بر اساس تجزیهٔ واریانس داده‌ها، اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد علوفه تر و خشک معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد علوفه تر (۷۰/۶۶ تن در هکتار) از تیمار بکارگیری ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_3) و کمترین آن (۵۰/۱۲ تن در هکتار) از تیمار بکارگیری ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_1) حاصل شد (جدول ۴). با افزایش نیتروژن مصرفی، عملکرد علوفه خشک افزایش یافت، به طوری که افزایش نیتروژن مصرفی از ۹۰ به ۱۸۰ و از ۱۸۰ به ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۳۰ و ۱۶ درصد افزایش وزن خشک علوفه را به همراه داشت (جدول ۴). همچنین بیشترین مقدار عملکرد علوفه خشک از ترکیب بالاترین سطح نیتروژن و زئولیت مصرفی (Z_3N_3) به مقدار ۱۲/۶۱ تن در هکتار بدست آمد که در مقابل مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدون مصرف زئولیت (Z_0N_3) افزایشی ۳۳ درصدی را نشان داد (نمودار ۱). به نظر می‌رسد با

Archive of SID

www.SID.ir

افـزایش نیتـروژن مـصرفی، آسمیلاسـیون آمونیـاک باعـث افزایش رشد برگ و سپس افـزایش شـاخص سـطح بـرگ می‌شود. افزایش شاخص سطح بـرگ بـا افـزایش فتوسـنتز خالص مرتبط است (Anonymous، ۲۰۰۴) کـه در نهایـت باعث افزایش وزن خشک گیاه می‌شود. اساسـاً بـین تـأمین نیتروژن و افزایش تولید ماده خشک گیاهی رابطه نزدیکـی وجود دارد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۶). نتـایج تحقیقـات Asar و Scarisbrich (۱۹۹۵) نیز موید این نکته می‌باشد که با افزایش فراهمـی نیتـروژن، عملکـرد مـاده خـشک کلـزا افزایش می‌یابد.

تأثیر سطوح مختلف زئولیت بر عملکـرد علوفـه (تر و خشک) معنی‌دار بود (جـدول ۳). بیـشترین وزن تـر (۶۶/۳۴ تن در هکتار) و خشک (۱۱/۲۱ تن در هکتـار) از تیمار بکارگیری ۹ تن در هکتـار زئولیـت (Z_3) و کمتـرین وزن تـر (۴۶/۸۱ تـن در هکتـار) و خـشک (۸/۰۲ تـن در هکتار) از تیمار بدون مـصرف زئولیـت (Z_0) حاصـل شـد (جدول ۴). به نظر می‌رسد بـا توجـه بـه افـزایش کـارائی کودها ناشی از کاربرد زئولیت (Polat و همکـاران، ۲۰۰۴) عملکرد در تیمارهای حاوی سطوح بالای زئولیت (Z_2, Z_3) افزایش یافته است. بـا توجـه بـه قابلیـت تبـادل کـاتیونی زئولیت به کار رفته (جدول ۲) از طرفی پـائین بـودن ایـن ویژگی در خاک مزرعه (جدول ۱) احتمالاً کاربرد زئولیـت توانسته فراهمی بیـشتری از عناصـر غـذائی در طـول دوره رشد گیاه فراهم کند. تحقیقات Polat و همکـاران (۲۰۰۴) و Supapron و Ptayakon (۱۹۹۹) نـشان داد ترکیـب زئولیت‌های طبیعی با کودهای شـیمیائی مـی‌توانـد بوسـیله افزایش قابلیت نگهداری عناصر، در طولانی مـدت کیفیـت خاک را بهبود بخشیده، افزون بر فراهمـی عناصـری ماننـد نیتـروژن و پتاسـیم در نگهـداری و در اختیـار گذاشـتن کاتیون‌هائی مانند کلسیم، منیزیم و عناصر کم مصرف مـوثر باشند. افزایش عملکرد گیاهان مختلف ماننـد گنـدم، جـو، سیب‌زمینی و غیره در اثر کاربرد زئولیت‌هـا گـزارش شـده است (Mumpton، ۱۹۹۹ ; Rehakova و همکاران، ۲۰۰۴)

آبشوئی نیتروژن

غلظت نیترات و آمونیوم در نمونه زه‌آب

مقدار کود نیتروژن مصرفی تـأثیر معنـی‌داری بـر غلظت نیترات در نمونه زه‌آب ایجاد کـرد، امـا ایـن اثـر در مورد غلظت آمونیوم معنی‌دار نبود (جدول ۳). بـا افـزایش نیتروژن مصرفی، غلظت نیتـرات در نمونـه زه‌آب افـزایش یافـت. بـه طـوری کـه در تیمارهـای کـاربرد ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، غلظت نیتـرات از حـد استاندارد آن، ۱۰ میلی‌گرم در لیتر (USEPA، ۲۰۰۲) بیشتر شد که عامل بسیار نامطلوبی می‌باشد. بـا افـزایش نیتـروژن مصرفی، تجمع بیشتری از نیترات در خاک حاصل می‌شـود که با توجه به بار منفی این ترکیب (NO_3^-) و عدم نگه‌داری آن توسط ذرات خاک، یون نیترات همراه با آب به لایه‌های پائین‌تر خاک حرکت و از منطقه توسعه ریشه خـارج مـی‌شود که در نهایت باعث افزایش غلظت آن در نمونه زه‌آب می‌گردد. در صورتی که این رونـد در مـورد یـون آمونیـوم (NH_4^+) مشاهده نشد به طـوری کـه اولاً سـطوح مختلـف نیتروژن از نظـر غلظـت آمونیـوم در نمونـه زه‌آب تفـاوت معنی‌داری نداشـتند (جـدول ۴) و ثانیـاً بـه طـور متوسـط غلظت آمونیوم در زه‌آب ۹۶ درصد کمتر از غلظت نیتـرات بود. در مورد غلظت نیترات و آمونیوم در زه‌آب تحقیقـات مختلفی صورت گرفته و در عمده این پـژوهش‌هـا غلظـت نیترات در نمونه زه‌آب بسیار بیشتر از آمونیوم بـوده اسـت (Gupta و همکاران، ۲۰۰۴). بار مثبت یون آمونیوم و عـدم پایداری طـولانی مـدت آن در خـاک کـه ناشـی از تبـدیل آمونیوم به نیترات در اثر فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌باشد، مهمترین دلایل برای پائین بودن غلظت آمونیـوم در زه‌آب می‌باشد.

بین مقادیر مختلف زئولیت از نظر غلظت نیترات در نمونه زه‌آب تفاوت معنی‌داری مـشاهده شـد ($p\leq 0.05$) (جدول ۳). بیـشترین غلظـت نیتـرات از تیمارهـای بـدون مصرف زئولیت (Z_0) و کاربرد ۳ تن در هکتار زئولیت (Z_1) به ترتیب بـه مقـدار ۱۲/۲۳ و ۱۲/۳۰ میلـی‌گـرم در لیتـر و کمترین آن از تیمار کاربرد ۹ تن در هکتار زئولیت (Z_3) بـه مقدار ۷/۸۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد (جدول ۴). کاهش ۲۶ درصدی غلظت نیترات در نمونـه زه‌آب در تیمـار (Z_3) در مقایسه بـا (Z_0) ناشـی از ویژگـی‌هـای مثبـت زئولیـت مصرفی از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی بـالا، قـدرت جـذب آمونیوم و آزادسازی کنترل شده آن می‌باشـد. بـا توجـه بـه قابلیت تبادل کاتیونی زئولیت و از طرفـی جـاذب انتخـابی بـودن ایـن مـاده بـرای یـون آمونیـوم (Polat و همکـاران، ۲۰۰۴) هنگامی که در اثـر مـصرف کـود، یـون (NH_4^+) در خاک افزایش می‌یابد، توسط زئولیت جذب شـده و لـذا از دسترس مستقیم آنـزیم‌هـای تولیـد کننـده نیتـرات خـارج می‌شود، در حالی که در تیمارهای بـدون زئولیـت افـزایش فراهمی یون آمونیوم، در اثـر فعالیـت آنـزیم اوره‌آز تولیـد مقدار قابل توجهی از نیترات کرده که با توجه به بار منفـی آن توسط ذرات خاک جذب نـشده و در اثـر آبیـاری و یـا بارندگی به طبقات پائین‌تر پروفیل خاک حرکت کرده و در نهایت غلظت آن در نمونه زه‌آب افزایش پیدا مـی‌کنـد. در مقابل بین سطوح مختلف زئولیت مـصرفی از نظـر غلظـت آمونیوم در نمونه زه‌آب تفـاوت معنـی‌داری مـشاهده نـشد (جدول ۳)، با توجه به پـائین بـودن قابلیـت تحـرک یـون

Archive of SID

www.SID.ir

آمونیوم در مقایسه با یون نیترات (Shukla و همکاران، ۲۰۰۶) و همچنین تبدیل سریع آمونیوم به نیترات طی فرایند نیتریفیکاسیون (نیترات سازی)، مدت زمانی که یون آمونیوم در خاک حضور دارد کوتاه است و بنابراین پتانسیل بالائی برای شستشوی این یون وجود ندارد. هر چند نتایج تحقیقات Bigelow و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد، حضور زئولیت کلینوپتیلولیت در نمونه‌های خاک استریل شده و حاوی ۱۰۰ درصد شن، موجب کاهش غلظت آمونیوم در نمونه زه‌آب می‌گردد که با نتایج بدست آمده در این آزمایش مغایرت داشت. عدم وجود میکروارگانیسم‌های نیتریفیکاسیون کننده در خاک‌های استریل شده، مهمترین دلیل برای تفاوت در نتایج بدست آمده بود.

نیترات و آمونیوم شسته شده از خاک

تأثیر مقدار نیتروژن بر مقدار نیترات شسته شده از خاک بسیار معنی‌دار بود ($p\leq0.01$) (جدول ۳). حداکثر نیترات شسته شده به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار از تیمار کاربرد ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_3) و حداقل آن به مقدار ۱۷ کیلوگرم در هکتار از تیمار کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_1) حاصل گردید. به این ترتیب با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی به علت افزایش ترکیبات نیتروژن‌دار خاک، مقدار نیترات شسته شده از خاک افزایش می‌یابد، یافته‌های Vinten و همکاران (۱۹۹۴) موید این بخش از نتایج می‌باشد. نیترات شسته شده از تیمار (N_3)، ۴۷/۵٪ بیشتر از تیمار (N_1) بود، در حالی‌که عملکرد وزن خشک این تیمار فقط ۲۳ درصد از تیمار (N_1) بالاتر بود. با توجه به این نکته که نیترات قسمت زیادی از نیتروژن کل شسته شده از خاک را تشکیل می‌دهد (Gupta و همکاران، ۲۰۰۴) اگر این ماده را نماینده نیتروژن شسته شده در نظر بگیریم، مشخص می‌شود کاربرد کود نیتروژنه بیشتر به ویژه در اراضی با بافت سبک به منظور حصول عملکرد بیشتر چندان منطقی نباشد. بین تیمارهای کودی از نظر آمونیوم شسته شده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در تمامی تیمارها مقدار آمونیوم شسته شده کمتر از ۱ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). ناچیز بودن غلظت آمونیوم در نمونه زه‌آب منجر به کاهش میزان آمونیوم شسته شده در هکتار شد.

تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای زئولیتی از نظر نیترات شسته شده مشاهده شد، اما آمونیوم شسته شده از خاک تحت تأثیر مقدار زئولیت بکار رفته قرار نگرفت (جدول ۳). حداقل نیترات شسته شده از تیمار کاربرد ۹ تن در هکتار زئولیت (Z_3) به مقدار ۲۰ کیلوگرم در هکتار و بیشترین آن در تیمارهای بدون مصرف زئولیت (Z_0) و کاربرد ۳ تن در هکتار زئولیت (Z_1) به مقدار ۳۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۴). کاهش ۳۷/۵ درصدی نیترات شسته شده در تیمار (Z_3) در مقایسه با تیمار (Z_0) اثرات مثبت بکارگیری زئولیت را نشان می‌دهد. مقایسه بین ترکیبات تیماری نشان داد بکارگیری ۹ تن زئولیت همراه با ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (Z_3N_3) در مقایسه با مصرف ۶ تن زئولیت + ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (Z_2N_3)، مصرف ۳ تن زئولیت + ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (Z_1N_3) و مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدون زئولیت (Z_0N_3) به ترتیب موجب کاهش ۲۷، ۴۳ و ۴۴ درصدی نیترات شسته شده از محیط ریشه شد (نمودار ۲). در اثر مصرف زئولیت در خاک، آبشوئی نیتروژن کاهش یافته و موجب فراهمی طولانی مدت نیتروژن در خاک می‌گردد (Polat و همکاران، ۲۰۰۴). زئولیت با جذب یون آمونیوم، مانع تبدیل سریع آن به نیترات و در نتیجه باعث کاهش هدر روی نیتروژن می‌شود که این اثر در زمین‌های شنی به دلیل پائین بودن ظرفیت تبادل کاتیونی، بارزتر می‌باشد. کاهش آبشوئی نیتروژن در اثر کاربرد زئولیت‌های طبیعی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Hang و Petrovic، ۱۹۹۴؛ Perrin و همکاران، ۱۹۹۸).

غلظت نیتروژن در توده گیاهی و میزان کلروفیل برگ

افزایش نیتروژن مصرفی تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار، غلظت نیتروژن در زیست توده کلزا را به طور معنی‌داری افزایش داد ($p\leq0.05$)، اما مقادیر بیشتر نیتروژن هر چند غلظت نیتروژن در گیاه را افزایش داد ولی تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد. غلظت نیتروژن در گیاه به عوامل متعددی بستگی دارد، مشخص شده هرچه نیتروژن خاک بیشتر باشد مقدار نیتروژن گیاه تا حد مشخصی افزایش می‌یابد (ملکوتی و همائی، ۱۳۸۳). بین مقادیر مختلف نیتروژن از نظر میزان کلروفیل برگ تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). این صفت نیز روندی مشابه با غلظت نیتروژن گیاه را ارائه نمود (جدول ۴). تیمارهای کاربرد ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_2 و N_3) در گروه آماری برتر و تیمار کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_1) در گروه آماری پائین‌تر قرار داشت. به تبعیت از این نکته که میزان کلروفیل برگ به صورت تنگاتنگی با فراهمی نیتروژن در ارتباط است (Yang و همکاران، ۲۰۰۳) در تیمارهای (N_2) و (N_3) با توجه به افزایش نیتروژن خاک و بالتبع افزایش جذب توسط گیاه، میزان کلروفیل برگ افزایش پیدا کرده است.

تأثیر مقادیر مختلف زئولیت بر غلظت نیتروژن و میزان کلروفیل برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش

Archive of SID

www.SID.ir

زئولیت مصرفی، درصد نیتروژن توده گیاهی کاهش یافت، به طوری که تیمار کاربرد ۹ تن در هکتار زئولیت (Z_3) کاهشی ۱۷ درصدی را در غلظت نیتروژن توده گیاهی نسبت به تیمار بدون مصرف زئولیت (Z_0) نشان داد (جدول ۴). با توجه به این نکته که آخرین قسمت از نیتروژن مصرفی، حدود یک ماه قبل از برداشت مصرف گردید، به نظر می‌رسد در تیمار بدون مصرف زئولیت (Z0) فراهمی قابل توجهی از نیتروژن در خاک حاصل شده و گیاه نیز مقدار زیادی نیتروژن جذب نموده است. در حالی که در تیمارهای حاوی زئولیت و به طور مشخص کاربرد ۹ تن در هکتار زئولیت (Z_3)، مقداری از نیتروژن توسط زئولیت جذب و از دسترس گیاه موقتاً خارج شده است، لذا درصد نیتروژن گیاه در این تیمار کاهش پیدا کرده است. احتمالاً بکارگیری موادی با خصوصیات زئولیت، یک آزاد سازی کند و کنترل شده از نیتروژن را باعث می‌شود. هر چند این ویژگی باعث کاهش درصد نیتروژن توده گیاهی می‌شود ولی از طرفی مانع از هدر رفت نیتروژن نیز می‌گردد. نتایج تحقیقات Rehakova و همکاران (۲۰۰۴) نیز مشخص کرد در اثر ترکیب کود شیمیائی نیتروژنه با زئولیت، غلظت نیتروژن در توده گیاهی جو کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان داد. به نظر می‌رسد علت اصلی این امر جذب نیتروژن در هنگام فراهمی این ماده غذائی توسط زئولیت و سپس آزادسازی کند آن در طول دوره رشد گیاه باشد، هر چند که این آزادسازی کنترل شده نباید به حدی آهسته گردد که تأثیر نامطلوب در اثر کمبود ماده غذائی برای گیاه ایجاد شود. همچنین روند مشابهی در میزان کلروفیل برگ مشاهده شد، به نظر می‌رسد با توجه به تأثیر مستقیم نیتروژن در تولید کلروفیل (ملکوتی و همائی،۱۳۸۳) کاهش میزان نیتروژن توده گیاهی در اثر مصرف زئولیت باعث کاهش میزان کلروفیل برگ نیز شده است. اما این کاهش میزان کلروفیل در تیمارهای حاوی زئولیت باعث کاهش عملکرد در این تیمارها نشده است (جدول ۴). بنابراین استنباط می‌شود افزایش بی‌رویه غلظت نیتروژن در توده گیاهی و در ادامه افزایش میزان کلروفیل برگ نتواند تولید عملکرد بیشتر را تضمین کند. همان طور که در تیمار بدون مصرف زئولیت (Z0) علاوه بر بالا بودن غلظت نیتروژن، میزان کلروفیل نیز در مقایسه با سایر تیمارها بیشتر می‌باشد اما عملکرد نهائی این تیمار نسبت به سایر تیمارها پائین‌تر می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد، می‌توان با بکارگیری زئولیت در ترکیب با کود شیمیائی نیتروژن‌دار، از هدر رفت این ماده غذائی جلوگیری کرده و مانع آلودگی منابع آبی زیرزمینی شد. بکارگیری ۶ تا ۹ تن زئولیت در هکتار همراه با سطوح مختلف نیتروژن، علاوه بر تولید عملکرد علوفه بالاتر ناشی از تأثیر غیر مستقیم این ماده طبیعی از طریق افزایش حفظ و نگهداری برخی عناصر غذائی در محیط ریشه، مانع از افزایش غلظت نیترات در نمونه‌های زه‌آب شد. هر چند با بکاربردن زئولیت از غلظت نیتروژن در توده گیاهی کاسته شد اما این کاهش باعث افت عملکرد نگردید. در مجموع با توجه به فراهمی منابع طبیعی زئولیت در کشور و همچنین کیفیت مناسب این ماده از نظر درصد پتاسیم بالا و سدیم اندک، می‌توان به کاربرد این ماده طبیعی مخصوصاً در اراضی شنی امیدوار بود، هر چند تحقیقات جامع بیشتری به منظور بررسی تأثیرات این ماده لازم است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیائی خاک محل آزمایش

عمق cm	شن	لای	رس	بافت	قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)
		درصد			
۰-۳۰	۶۵	۲۳	۱۲	لوم شنی	۱/۵۰
درصد حجمی رطوبت در F.C*	درصد حجمی رطوبت در C.E.W**	درصد رطوبت قابل دسترس A.W***	ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100gr)	واکنش گل اشباع	درصد مواد آلی
۲۱	۹	۱۲	۶/۴	۷/۷	۰/۸
درصد نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب (mg/kg)	روی قابل جذب	مس قابل جذب
۰/۰۹	۱۵	۳۸۰	۷/۶	۱	۰/۷

*F.C. = Field Capacity, **C.E.W. = Crop Extractable Water, ***A.W. = Available Water

جدول ۲- درصد ترکیبات شیمیائی موجود در زئولیت مورد استفاده (از نوع کلینوپتیلولیت و از معادن شهر میانه)

SiO_2	AL_2O_3	K_2O	Na_2O	MgO	CaO
۶۵/۰	۱۲/۰۰	۳/۰	۱/۱	۰/۱	۲/۳
Fe_2O_3	MnO	TiO_2	P_2O_5	SO_3	C E C[1] (meq/100gr)
۱/۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱	–	۲۰۰

جدول ۳- آنالیز واریانس صفات اندازه‌گیری شده

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر علوفه	وزن خشک علوفه	غلظت نیترات در زه‌آب	غلظت آمونیوم در زه‌آب	نیترات شسته شده از خاک	آمونیوم شسته شده از خاک	غلظت نیتروژن گیاه	میزان کلروفیل برگ
تکرار	۲	۴۷۸۸۵۸۴/۲۷*	۲۹۸۸۴۹/۵۵**	۳/۸۴ns	۰/۰۰۰۸ns	۲۶/۱۷ns	۰/۰۰۵ns	۰/۲۶ns	۱/۵۸ns
نیتروژن	۲	۱۵۲۵۰۴۹۶/۱۷**	۴۱۹۶۲۳/۷۴**	۲۴۱/۵۲**	۰/۰۰۰۹ns	۱۶۴۵/۲۹**	۰/۰۰۶ns	۰/۷۵*	۲۴/۵۵**
زئولیت	۳	۷۴۰۶۰۰۴/۹۲**	۲۲۲۵۰۳/۰۶**	۴۱/۰۱*	۰/۰۰۱ns	۲۷۹/۳۷**	۰/۰۰۸ns	۲/۰۷**	۷۴/۵۹**
اثر متقابل	۶	۴۹۸۹۱۸/۳۳ns	۷۵۵۷/۰۷ns	۷/۳۷ns	۰/۰۰۲ns	۵۰/۲۲ns	۰/۰۱ns	۰/۱۸ns	۱۱/۱۸ns
خطای آزمایشی	۲۲	۹۲۱۰۶۴/۱۴	۲۳۵۸۷/۶۵	۶/۵۰	۰/۰۱۵	۴۴/۳۲	۰/۱۰۶	۰/۱۴	۷/۳

Ns، * و ** بترتیب بدون اثر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

1- Cation Exchange Capacity

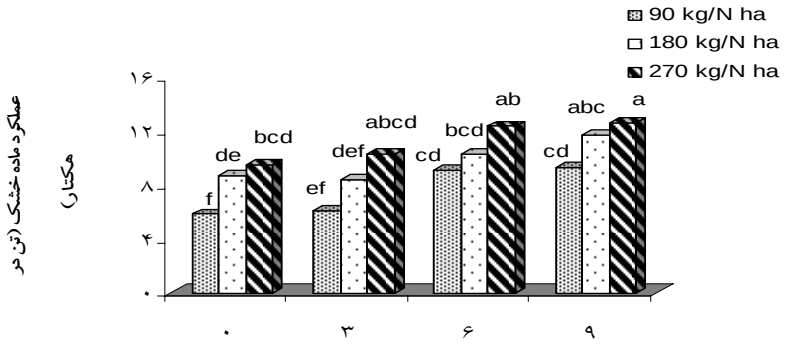
Archive of SID

www.SID.ir

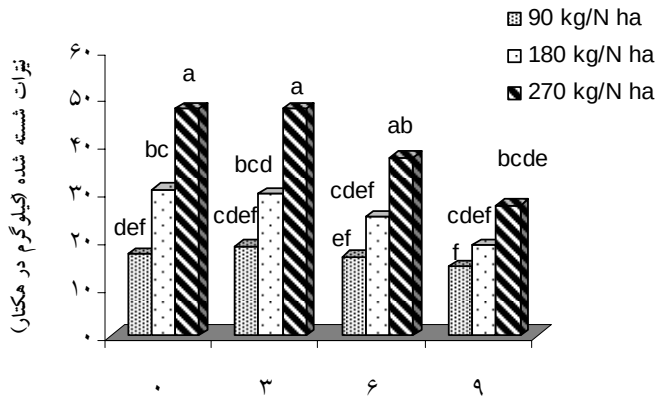
جدول۴- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر مقدار نیتروژن و زئولیت مصرفی

صفات / عوامل	وزن تر علوفه (t/ha)	وزن خشک علوفه (t/ha)	غلظت نیترات در زه‌آب (mg/l)	غلظت آمونیوم در زه‌آب (mg/l)	نیترات شسته شده از خاک (kg/ha)	آمونیوم شسته شده از خاک (kg/ha)	نیتروژن گیاه (%)	میزان کلروفیل (SPAD Value)
مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)								
۹۰	۵۰/۱۲b	۷/۵۹c	۶/۴۳C	۰/۳۷۹a	۱۶/۷۹c	۰/۹۸۹a	۳/۲۰b	۴۹/۷۰b
۱۸۰	۵۲/۳۴b	۹/۷۷b	۱۰/۰۲B	۰/۳۶۱a	۲۶/۱۶b	۰/۹۴۴a	۳/۵۷a	۵۲/۲۰a
۲۷۰	۷۰/۶۶a	۱۱/۳۱a	۱۵/۳۵a	۰/۳۶۸a	۴۰/۰۶a	۰/۹۶۱a	۳/۶۷a	۵۲/۶۶a
مقدار زئولیت (تن در هکتار)								
۰	۴۶/۸۱b	۸/۰۲b	۱۲/۲۳a	۰/۳۷۵a	۳۱/۹۲a	۰/۹۸۰a	۴/۱۳a	۵۵/۱۹a
۳	۵۳/۷۸b	۸/۴۲b	۱۲/۳۰a	۰/۳۶۵a	۳۲/۱۰a	۰/۹۵۴a	۳/۵۲b	۴۹/۳۱bc
۶	۶۳/۹۰a	۱۰/۵۸a	۱۰/۰۷ab	۰/۳۸۲a	۲۶/۳۰ab	۰/۹۹۷a	۳/۲۷bc	۴۸/۹۸c
۹	۶۶/۳۴a	۱۱/۲۱a	۷/۸۰b	۰/۳۵۵a	۲۰/۳۵b	۰/۹۲۸a	۳/۰۱c	۵۱/۹۴b

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.



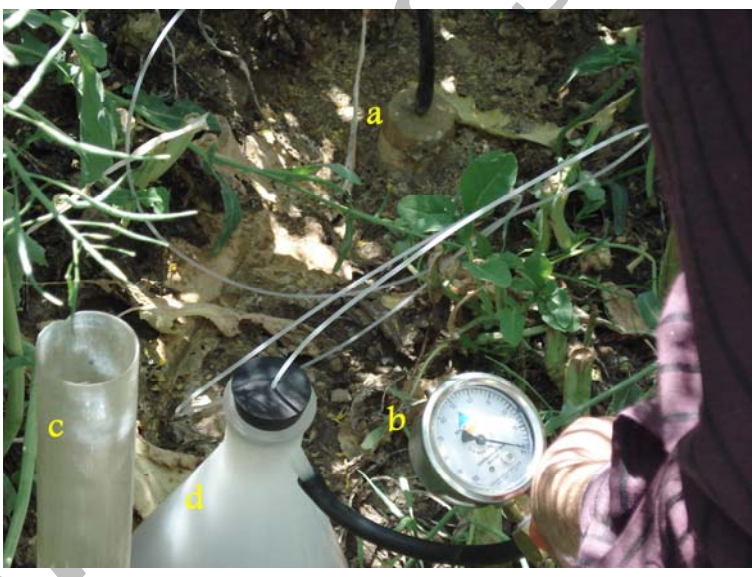
نمودار ۱- اثر مقادیر مختلف زئولیت و نیتروژن بر عملکرد ماده خشک کلزا



نمودار ۲- اثر مقادیر مختلف زئولیت و نیتروژن بر میزان نیترات شسته شده از خاک تحت کشت کلزا

www.SID.ir

شکل ۱- (a) دستگاه Soil Water Sample برای تهیه نمونه زه‌آب



شکل ۲- وسایل نصب شده به منظور کنترل رطوبت و تهیه نمونه زه‌آب
a = Soil Water Sampler; b = Vacuum Hand Pump; c= tube of T.D.R.; d = Vessel of collection.

فهرست منابع:

۱. آقا علیخانی، م. ۱۳۸۲. سودمندی‌های زراعت کلزا در اکوسیستم‌های زراعی ایران. مجموعه مقالات همایش توسعه کشت کلزا، ۱۷ اردیبهشت ۱۳۸۲، دانشکده کشاورزی دانشگاه مازندران. بابلسر، ایران.

۲. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول. نشریه فنی شماره ۹۸۲. موسسه خاک و آب.

۳. رضاپور، ک. ۱۳۷۸. کلزای علوفه‌ای، غذای آینده دام‌های ایران. مجله کشاورزی و دامپروری برزگر، شماره ۷۹۱-۷۹۰. ص ۴۶-۴۳. تهران، ایران.

www.SID.ir

۴. عزیزی، م.، ا. سلطانی، و س. خاوری خراسانی. ۱۳۸۳. کلزا (فیزیولوژی، زراعت، به‌نژادی، تکنولوژی زیستی). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۳۱ صفحه.

۵. قانع، م، ر. ۱۳۸۳. تأثیر مقادیر نیتروژن بر تولید علوفه سبز از کلزا و جو پائیزه. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه تربیت مدرس. ۲۰۰ صفحه.

۶. کاظمیان، ح. ۱۳۸۳. مقدمه‌ای بر زئولیت‌ها، کانیهای سحر انگیز. چاپ اول. نشر بهشت. تهران. ۱۰۰ صفحه. مشهد، ایران.

۷. کوچکی، ع.، ا. سلطانی، و م. عزیزی. ۱۳۷۶. اکوفیزیولوژی گیاهی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۸۰ صفحه. مشهد، ایران.

۸. ملکوتی، م. ج. و ا. سپهر، ۱۳۸۲. تغذیه بهینه دانه های روغنی. مجموعه مقالات. انتشارات خانیران. ۲۹۰ صفحه. تهران، ایران.

۹. ملکوتی، م. ج. و م. همائی. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک. چاپ دوم. دفتر نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس. ۴۸۲ صفحه.

10. Allen. R. G. 1996. Assessing integrity of weather data for use in reference evaportranspiration estimation. J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 122, 2:97-106.
11. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evaportranspiration guidelines for computing crop water requirement. FAO irrigation and Drainage Paper, NO. 56, Rome, Italy.
12. Amin, E. A., A. I. Ghazy, and M. K. Tahoun. 2002. The influence of *Brassica* species accession on productivity and nutrient quality of forage Rape in Egypt. Available on the url: http://www.regional.org.au.
13. Anonymous. 2004. Effect of nitrogen on canola plant growth. Available on the url: http://www.canola-council.org.
14. Asar, E., and D. H. Scarisbrick. 1995. Rate of nitrogen and sulfur fertilizers on yield, yield components and seed quality of oilseed rape (*Brassica napuse* L.). Field Crop Research. 44:41-46.
15. Basso, B., and J. T. Ritchie. 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize- alfalfa rotation in Michigan. Agriculture Ecosystem & Environment. 108: 329-341.
16. Bigelow, C. A., D. C. Bowman, and D. K. Cassel. 2003. Inorganic soil amendments limit nitrogen leaching in newly constructed sand-based putting green rooting mixture. USGA Turfgrass and Environmental Research Online 2(24): 1-7.
17. Dreccer, M. F., A. H. Schapendonk, G. A. Slaferand and R. Rabbinage. 2000. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilization efficiency of radiation and nitrogen during reproductive stages determining yield. Plant and Soil. 220: 189-205.
18. Dwairi, I. M. 1998. Evaluation of Jordanian zeolite tuff as a controlled slow-release fertilizer for NH_4 . Environmental Geology. 34: 1-3.
19. Evans, E. J. and N. Islam. 1990. The influence of late nitrogen on the growth and yield of winter oilseed rape (B.napus L.). Proceeding of 7th Int rapeseed Congress. Poznan Poland, p.918.
20. Gupta. S., E. Munyankusi, J. Monerief, F. Zvomuya, and M. Hanewall. 2004. Tillage and manure application effects mineral nitrogen leaching from seasonally frozen soils. Journal of Environmental Quality., Vol . 33: 1239-1246.
21. Hang, Z. T. and A. M. Petrovic. 1994. Clinoptilolite influence on nitrate leaching and nitrogen use efficiency in simulated sand based golf greens. Journal of Environmental Quality. 23: 1190-1194.

Archive of SID

www.SID.ir

22. Hermanson, R., W. Pan, C. Perillo, R. Stevens, and C. Stockle. 1998. Nitrogen use by crop and the fate of nitrogen in the soil and vadose zone. Washington State University and Washington Department of Ecology Interagency Agreement No. C9600177.
23. Humphreys, E., M. Edrak, and M. Bethune. 2003. Deep drainage & Crop water use for irrigation annual crops & Pastures. CSIRO land and Water, Griffith. Technical Report 14/03.
24. Kazemian, H. 2000. Recent research on the Iranian natural zeolite resource (A review). Access in Nanoporous Materials-II. Banff. Alberta. Canada. May. pp: 25-28.
25. Kejellstrom, C. 1991. Growth and distribution of the root system in Brassica napus. In: McGregor DI (Eds). Proceedings of the eight international rapeseed congresses, Saskatoon, Canada, 122-126.
26. Mumpton, F., 1999. la roca magica: Uses of natural zeolite in agriculture and industry. National Academy of Sciences. USA. Vol. 96 : 3467-3470.
27. Pathak, B. K., F. Kazama, and T. Iida. 2004. Monitoring of nitrogen leaching from a tropical paddy field in Thailand. Agriculture Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development Manuscript LW 04 015. Vol. VI.
28. Perrin, T. S., J. L. Boettinger, D. T. Drost, and J. M. Norton. 1998. Decreasing nitrogen leaching from sandy soil with ammonium-loaded clinoptilolite. Journal of Environmental Quality. 27: 656-663.
29. Polat, E., M. Karaca, H. Demir, and A. Naci Onus. 2004. Use of natural zeolita (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit Ornam. Plant Research. Special ed. 12 :183-189.
30. Rathke, G. W., T. Behrens, and W. Diepenbrock. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape: A review. Agriculture Ecosystem & Environment. 117: 80-108.
31. Rehakova, M., S. Cuvanova, M. Dzivak, J. Rimar, and Z. Gavalova. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. Current Opinion in Solid State and Materials Science. 8: 397-404.
32. Shaw. J.W., and R. Andrews. 2001. Cation exchange capacity affects greens' truf growth. Golf Course Management. March 2001. 73-77.
33. Shukla, S., E. A. Hanlon, F. H. Jaber, P. J. Stoffella, T. A. Obreza, and M. O. Hampton. 2006. Groundwater nitrogen: behavior in flatwoods and gravel soils using organic amendments for vegetable production. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agriculture Sciences. Circular 1494.
34. Supapron, J., and L. Ptayakon. 2002. Effect of zeolite and chemical fertilizer on the change of physical and chemical properties on lat ya soil series for suger cane. Soil and water conservation division, Land development depertment, Chatuchac, Bangkok 10900.
35. USEPA. 2002. Current drinking water standards. EPA 816-F-02-013. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
36. Vinten, A. J. A., B. J. Vivian, F. Wright, and R. S. Howard. 1994. A comparative study of nitrate leaching from soils of differing texture under similar climatic and cropping conditions. Journal of Hydrology. 159: 197-213.
37. Waddell, J. T., S. C. Gupta, J. F. Moncrief, C. J. Rosen, and D. D. Steele. 2000. Irrigation and nitrogen management impacts on nitrate leaching under potato. Journal Environmental Quality. 29: 251-261.
38. Yang, W.H., S. Peng, J. Huang, A. L. Sanico, R. J. Buresh, and C. Witt. 2003. Using leaf color charts to estimate leaf nitrogen status of rice. Agronomy Journal. 95:212-217.

Archive of SID

www.SID.ir