اثر بیوچار و کود شیمیایی بر برخی ویژگی‌های خاک و عملکرد و صفات کیفی سیاه‌دانه(*Nigella sativa* L.) در شرایط کمبود آب

فاطمه عباس‌پور ، حمیدرضا اصغری [۱*]، پرویز رضوانی مقدم، حمید عباس دخت ، جواد شباهنگ وعادل بیگ بابایی

دانشجوی دکتری زراعت گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

fatemehabbaspour@gmail.com

دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود.

hamidasghari@gmail.com

استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

rezvani@um.ac.ir

دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود.

habbasdokht@yahoo.com

استادیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

ja.shabahang@gmail.com

استادیار گروه شیمی فیزیک موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی خراسان رضوی.

Baikbabaei2004@yahoo.com

Archive of SID

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر بیوچار بر برخی ویژگی‌های خاک، عملکرد دانه، درصد روغن و اسیدهای چرب سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) درشرایط کمبود آب، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح ۱۰۰٪= I_1، ۷۰٪=I_2 و۴۰٪ = I_3 نیاز آبی و کرت‌های فرعی شامل فاکتور بیوچار در سه سطح شامل بدون کاربرد بیوچار چوب گردو (B_1)، ۱۰ تن در هکتار بیوچار (B_2) و ۲۰ تن در هکتار بیوچار(B_3)؛ و کود شیمیایی در دو سطح شامل بدون مصرف کود (F_1) و مصرف کود (F_2) بود که شامل مصرف کودشیمیایی بر حسب کیلوگرم در هکتار: فسفر(P_2O_5) =۷۵ ، پتاسیم (K_2SO_4) =۱۰۰ و نیتروژن N= ۱۵۰ از منبع اوره بود. نتایج نشان داد که آبیاری بر ویژگی‌های خاک موثر نبود ولی کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش درصد کربن آلی، رطوبت اشباع خاک و درصد نیتروژن کل خاک شد. عملکرد دانه، عملکرد روغن، درصد روغن و اسیدهای چرب به‌جز اسیداولئیک تحت تاثیر تیمار تنش آبیاری قرار گرفتند. آبیاری بر اساس ۷۰ ٪ نیاز آبی موجب افزایش میزان اسیدهای چرب بجز اسید استئاریک شد. بیوچار نیز بر عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن و اسیدهای چرب مریستک، پالمیتیک و لینولئیک تاثیر معنی‌داری داشت و کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار کارایی بهتری نسبت به سایر تیمارها داشت. کاربرد تلفیقی بیوچار به‌همراه کودشیمیایی از تاثیر بهتری نسبت به کاربرد هر یک از آنها به‌تنهایی برخوردار بود. در استفاده هم‌زمان ۱۰ تن در هکتار بیوچار به‌همراه کودشیمیایی و آبیاری بر اساس ۷۰٪ نیاز آبی ($I_2B_2F_2$)، بیشترین عملکرد دانه (۱۱۵۸ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. با توجه به نتایج این پژوهش به‌نظر می‌رسد استفاده از ۱۰ تن در هکتار بیوچار در شرایطی که گیاه تحت تاثیر محدودیت رطوبتی است یا برای کاهش میزان آب مصرفی مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تنش خشکی، نیاز آبی،عملکرد دانه، عملکرد روغن

۱- آدرس نویسنده مسئول: شاهرود گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود

*- دریافت: بهمن ۱۳۹۶ و پذیرش: مرداد ۱۳۹۷

www.SID.ir

مقدمه

آب مهمترین ماده موجود در کره زمین است و تنش خشکی، از مهم‌ترین فاکتورهای غیر زیستی محدودکننده‌ی رشد و عملکرد در بسیاری از نواحی کره زمین محسوب می‌شود. خشکی، عامل تنش غیر زیستی تکرار شونده‌ای است که رشد گیاهان و تولیدات اکوسیستم را در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌کند (گلزردی، ۱۳۹۵). در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، به‌دلیل عدم وجود پوشش گیاهی کافی میزان مواد آلی خاک کم است و از طرفی تخلیه خاک از عناصر غذایی و مواد آلی به‌دلیل حذف بقایا و استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی اثرات مخربی را بر ظرفیت نگهداری آب خاک و توانایی گیاهان برای سازگاری با تغییرات آب و هوایی در این مناطق داشته است. یک تکنولوژی معمول برای افزایش حاصلخیزی خاک، مدیریت تلفیقی گیاهان زراعی است که شامل استفاده از انواع کودهای دامی یا آلی در خاک است ولی به‌دلیل تجزیه سریع، اثر این مواد پس از گذشت مدت زمان نسبتاً کوتاهی به‌شدت کاهش یافته و یا تقریباً از بین می‌رود. لذا کشاورزان ملزم به مصرف مداوم و سالیانه این مواد در خاک هستند. این موضوع علاوه بر ایجاد مشکلات زیست محیطی، افزایش هزینه تولید را نیز در پی دارد (سیکا، ۲۰۱۲). بیوچار ماده غنی از کربن پایدار می‌باشد که در نتیجه سوزاندن مواد آلی درشرایط بدون اکسیژن و یا اکسیژن کم، در دمای کمتر از ۷۰۰ درجه سلسیوس تولید می‌شود که به این فرآیند گرماکافت (پیرولیز) گفته می‌شود (فیاز و همکاران، ۲۰۱٤؛ زیلی، ۲۰۱۲).

بیوچار می‌تواند برای قرنهای متمادی در خاک باقی بماند و پتانسیل زیادی برای بهبود تولیدات کشاورزی داشته باشد (فیاز و همکاران، ۲۰۱٤؛ هاوارد، ۲۰۱۱). در اثر گرما کافت زیست توده، اسکلت کربنی تشکیل می‌شود که به‌دلیل دارا بودن منافذ زیاد، ساختار اسفنجی به بیوچار می‌دهد. دمای گرماکافت زیادتر از ۳۳۰ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش تعداد منافذ ریز و کاهش اندازه ذرات بیوچار می‌شود (فردو، ۲۰۱۳). سطح ویژه زیاد بیوچار سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و جذب عناصر غذایی شده و همچنین در کنترل آلودگی موثر است. میزان آب جذب شده به‌طور مستقیم به سطح ویژه بیوچار بستگی دارد و به همین دلیل کاربرد بیوچار در خاک موجب جذب مقادیر زیادی آب می‌شود. با افزودن بیوچار به خاک به‌دلیل افزایش سطح ویژه خاک، در خاکهای رسی از تجمع زیاد آب جلوگیری شده و هوادهی خاکهای رسی افزایش می‌یابد و در خاکهای شنی نیز ظرفیت نگهداری آب بیشتر شده و از هدر رفت آب جلوگیری می‌شود (کاترین، ۲۰۱٦؛ ملاز، ۲۰۱٤). به‌دلیل توانایی زیاد این ماده در جذب و نگهداری عناصر غذایی و کودهای شیمیایی، حتی نگهداری عناصری مانند فسفر و نیتروژن و جلوگیری از آبشویی آنها، سبب افزایش رشد گیاهان می‌شود (برک و همکاران، ۲۰۱۱). هیراد و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند، افزودن بیوچار ذرت موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش پایداری خاکدانه و در نهایت افزایش نگه‌داشت آب در خاک شد. ویدواتی و همکاران (۲۰۱٤) در بررسی تاثیر بیوچار بر کاهش آبشویی نیترات و پتاسیم، بیشترین کاهش آبشویی و افزایش ظرفیت نگهداری آب را در کاربرد ٤٥ تن در هکتار بیوچار چوب گزارش کردند. گوگیلا و باسکار (۲۰۱۵) نیز اثرات افزودن سطوح ۵ و ۷/۵ تن در هکتار بیوچار و ۷۵ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده ازکود شیمیایی را بر ویژگی‌های گیاه ذرت (*Zea mays*) مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه و ویژگی‌های کیفی ذرت در تیمار ۵ تن در هکتار بیوچار به‌همراه ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده از کود شیمیایی به‌دست آمد.

سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی است که به خانواده آلاله تعلق دارد. مبدا این گیاه نواحی مدیترانه‌ای و غرب آسیا می‌باشد و گونه‌های این جنس بیشتر در جنوب اروپا، شمال آفریقا و جنوب غربی آسیا پراکنش یافته‌اند (اسدادی و همکاران، ۲۰۱٤). گونه‌های این جنس

Archive of SID

www.SID.ir

گیاهانی یک ساله، علفی و دولپه با دوره رویشی کوتاه هستند. ارتفاع بوته سیاه‌دانه بین ۳۰ تا ۷۰ سانتی‌متر می‌باشد. سیاه‌دانه از دیرباز به‌عنوان ضد التهاب، پایین‌آورنده تب، ضد سرطان، ضد اسپاسم و محرک تولید شیر شناخته شده‌است. دانه سیاه‌دانه از لحاظ اسیدهای چرب لینولئیک، اولئیک و پالمیتیک غنی است. از روغن فرار سیاه‌دانه موادی نظیر تیمول، تیموکینون و دی‌تیموکینون به‌دست می‌آید. تیموکینون از جمله ترکیباتی است که بخش عمده‌ای از اثرات دارویی سیاه‌دانه و از جمله خواص ضد سرطانی را موجب می‌شود (آخوندیان، ۲۰۰۷؛ بسکابادی، ۲۰۰۷). با توجه به اهمیت گیاه سیاه‌دانه در صنایع داروسازی، غذایی، آرایشی و بهداشتی، توجه به حاصلخیزی خاک و تغذیه این گیاه با توجه به اصول کشاورزی اکولوژیک نقش مهمی را در بهبود عملکرد کمی و کیفی آن دارد. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در رابطه با تاثیر انواع بیوچارهای حاصل از مواد گیاهی و جانوری در کشور انجام شده است.

در آزمایشی که بر روی تاثیر بیوچارهای حاصل از کود مرغی بر خصوصیات شیمیایی خاک انجام شد، کاربرد بیوچار منجر به افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، هدایت الکتریکی و پ‌هاش خاک شد و قابلیت ماندگاری عناصر غذایی در خاک بهبود یافت (زلفی‌باوریانی و همکاران، ۱۳۹۵). رحیمی و همکاران (۱۳۹۷) کاهش آلودگی نیکل را در خاک‌های حاوی بیوچار حاصل از کود گاوی گزارش کرده و کاربرد بیوچار را به‌عنوان یک ماده اصلاحی در خاک‌های آلوده به این عنصر گزارش کردند. جلالی‌پور و همکاران (۱۳۹۲) نیز به بهبود خصوصیات خاک و افزایش رشد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) با کاربرد بیوچار در خاک‌های آلوده به کادمیوم اشاره کردند. نجفی قیری و بوستانی (۱۳۹٦) به تاثیر مثبت انواع بیوچارهای حاصل از بقایای گیاهی بر افزایش میزان پتاسیم در خاک‌های آهکی اشاره کردند. رضایی و همکاران (۱۳۹۷) نیز به تاثیر مثبت بیوچار در نگه‌داری عناصر غذایی علیرغم افزایش هدایت الکتریکی و افزایش شوری خاک در کشت گیاه باقلا (*Vicia faba*) اشاره کردند. با وجود این تحقیقات انجام شده، مطالعات در زمینه تاثیر بیوچار بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان دارویی بسیار نادر است و از طرفی نتایج حاصل از آزمایش‌های مرتبط با بیوچار بسته به نوع زیست توده بکار رفته، شرایط و دمای گرماکافت و نوع خاک محل آزمایش متفاوت است. لذا تحقیق حاضر در شرایط اقلیمی مشهد بر روی گیاه سیاه‌دانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹٦- ۱۳۹۵ به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۸ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ۳٦ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) اجرا شد. زمین مورد نظر در سال قبل از اجرای این آزمایش به‌صورت آیش بود. قبل از انجام آزمایش، از خاک این زمین نمونه‌برداری تصادفی انجام شد که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ آمده است. بیوچار از ضایعات چوب درخت گردو تهیه شد (موکوم،۲۰۱۲). برای این منظور از کوره گازسوز با جداره داخلی فلزی که فضای آن کاملا بسته، بدون درز و ایزوله بود، استفاده شد تا اکسیژن وارد کوره نشود. دمای کوره بین ٤۰۰ درجه‌سانتی‌گراد (شروع احتراق) تا ٦۵۰ درجه‌سانتی‌گراد (حداکثر دمای احتراق) بود (روزیتو و همکاران، ۲۰۱۷). تجزیه شیمیایی بیوچار نیز از طریق آزمایش مشخص شد (جدول ۲). کرت‌های اصلی شامل سطوح آبیاری در سه سطح شامل آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_1)، آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی (I_2) و آبیاری بر اساس ٤۰ درصد نیاز آبی (I_3) وکرت‌های فرعی شامل بیوچار در سه سطح شامل بدون بیوچار (B_1)، ۱۰ تن در هکتار بیوچار (B_2) و ۲۰ تن در هکتار بیوچار (B_3) و کود شیمیایی در دو سطح شامل بدون مصرف کود (F_1) و

Archive of SID

www.SID.ir

مصرف کود شیمیایی (F_2) بود. میزان مصرف کودشیمیایی بر اساس آزمایشات خاک ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر (P_2O_5) از منبع سوپر فسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K_2SO_4) و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (اوره) بود. ابعاد کرت‌های آزمایش ۳×۲ متر و فاصله بین کرت‌ها نیم متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر یک متر بود. مراحل آماده سازی زمین و افزودن بیوچار به زمین در دی ماه سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ انجام گرفت و بیوچار و کود شیمیایی فسفر و پتاسیم تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. در همان سال زراعی مزرعه تحت کشت سیاه‌دانه قرار گرفت. در طول اجرای طرح، موقعیت کرت-های آزمایشی ثابت ماند. کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم مجددا در سال زراعی ۹٦-۱۳۹۵ قبل از کاشت به خاک افزوده شد. ولی بیوچار فقط یک‌بار به‌کار برده شد (کارر و همکاران، ۲۰۱۳). سیاه‌دانه در نوزدهم فروردین ماه سال زراعی ۹٦-۱۳۹۵ به‌صورت دستی در عمق دو سانتی‌متری کشت شد. هر کرت شامل ۸ ردیف به فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. گیاهچه‌های سیاه‌دانه در دو مرحله چهار و هشت برگی برای رسیدن به تراکم مورد نظر (۲۰۰ بوته در مترمربع) با فاصله روی ردیف دو سانتی‌متر تنک شدند.

کودنیتروژن در دو مرحله یکی بعد از تنک دوم و دیگری پیش از مرحله گلدهی به صورت سرک به تیمارهای مورد نظر اضافه شد. از وجین دستی برای کنترل علف‌های هرز استفاده شد. داده‌های مورد نیاز این پژوهش برای تعیین نیاز آبی شامل بارش، دماهای حداقل و حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی ازطریق آمار درازمدت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد جمع‌آوری شد (جدول ۳). با استفاده از اطلاعات فوق، تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) با استفاده از روش پنمن مونتیث فائو که در برنامه کراپ وات جایگذاری شده است، محاسبه شد. برنامه کراپ وات یک نرم‌افزار مناسب برای مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری است و به‌وسیله فائو ارائه شده است. نیاز آبی گیاه سیاه‌دانه بر اساس حاصل ضرب تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ضریب گیاهی سیاه‌دانه (قمرنیا و همکاران، ۲۰۱٤) توسط نرم افزار آبیاری کراپ وات تعیین شد. مقدار نیاز آبی محاسبه شده در نرم‌افزار کراپ‌وات برای تیمار شاهد ۷٤۲/۹ میلی-متر برآورد شد. نیاز آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش آبی) بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی (۷۰ و ٤۰ درصد) برآورد و توزیع شد. آبیاری به روش قطره-ای و به صورت هفتگی انجام شد و برای اعمال تیمارهای آبیاری از کنتور حجمی با دقت ۰/۰۰۰۱ مترمکعب استفاده شد. زمان اعمال تیمارهای آبیاری پس از توسعه کامل گیاه و قبل از شروع مرحله زایشی بود. دلیل انتخاب این زمان برای اعمال تنش، افزایش نیاز آبی گیاه در این مرحله و همچنین سپری شدن دوره بارندگی بود. برداشت در تاریخ‌های چهار و پنج مرداد ماه سال زراعی ۹٦-۱۳۹۵ با زرد شدن برگ‌ها و فولیکول‌ها انجام شد. به منظور مطالعه صفات مورد بررسی در خاک، بعد از برداشت محصول، از هرکرت بصورت تصادفی نمونه‌برداری انجام شد. برای تعیین عملکرد دانه ردیف‌های کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر ردیف به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف و پس از آن برداشت گیاهان در سطح باقی‌مانده انجام شد.

برای استخراج روغن دانه‌ی سیاه‌دانه، از روش استاندارد سوکسله استفاده شد (AOAC ,۱۹۹۵). با محاسبه درصد روغن، عملکرد روغن بذر از حاصلضرب درصد روغن در عملکرد بذر هر تیمار تعیین شد. جهت تعیین درصد اسیدهای چرب روغن نیز ۵۰ گرم بذر از سه تکرار هر یک از تیمارهای آزمایش پس از آسیاب کردن، به نسبت یک به چهار با هگزان مخلوط و به مدت ٤۸ ساعت روی دستگاه شیکر (۱٦۰ دور در دقیقه) قرار داده شد (فرهوش، ۲۰۰۹). درصد پنج اسید چرب با روش کروماتوگرافی گازی با ستون کاپیلاری BPX70 به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی‌متر، انجام شد. تجزیه و تحلیل داده های آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت. میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک موردآزمایش

پ‌هاش	قابلیت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	درصداشباع خاک (%)	نیتروژن کل (%)	کربن آلی (%)	پتاسیم‌محلول وتبادلی ($mg\ kg^{-1}$)	فسفرقابل دسترس ($mg\ kg^{-1}$)	ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol^{+}\ kg^{-1}$)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)
۷/۶۵	۱/۹	۴۰/۱۶	۰/۰۷۹	۰/۸۳۷	۲۲۰	۱۲	۸/۹	۳۸	۴۱	۲۱

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار مورد استفاده

پ‌هاش	هدایت الکتریکی (µS/cm)	ظرفیت تبادل کاتیونی (%)	کربن (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	موادآلی فرار و رطوبت (%)
	۲۰۰	۰/۲۶	۴۵/۴۴	۱/۲۷	۰/۰۱	۰/۲۱	۴۶/۹۵

پ‌هاش و هدایت الکتریکی در نسبت ۱:۵ نمونه به آب اندازه‌گیری شده است

جدول ۳- آمار هواشناسی منطقه مورد آزمایش در طول دوره رشدی سیاه‌دانه

ماه	حداقل دما (C°)	حداکثر دما (C°)	رطوبت (٪)	سرعت باد (km/day)	متوسط ساعات آفتابی (hours)	بارندگی (mm)
فروردین	۸/۸	۲۱/۷	۶۰	۲۰۷	۶/۸	۴۶/۲
اردیبهشت	۱۲/۷	۲۷/۱	۵۰	۱۹۹	۹/۳	۲۷/۲
خرداد	۱۶/۹	۳۲/۷	۳۸	۲۳۳	۱۱/۴	۴
تیر	۱۹	۳۴/۷	۳۵	۲۵۱	۱۲/۳	۱/۲

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک

پ‌هاش

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که پ-هاش خاک تحت تاثیرآبیاری و بیوچار قرار نگرفت (جدول ٤). کود شیمیایی در سطح احتمال پنج درصد تاثیر معنی‌داری بر پ‌هاش خاک داشت (جدول ٤). هیچ یک از اثرات متقابل تیمارها معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد کودشیمیایی در مقایسه با عدم کاربرد آن ۰/۲۵ درصد پ‌هاش را کاهش داد (جدول ۵). این امر مربوط به تاثیر کودهای شیمیایی در کاهش پ-هاش خاک است. تغییر پ‌هاش خاک در اثر افزودن بیوچار و مواد آلی بستگی به ویژگی‌های ماده آلی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارد. به‌نظر می‌رسد که وجود آهک زیاد و پ‌هاش خنثی در خاک مورد مطالعه مانع از تاثیر بیوچار بر پ‌هاش خاک شده است. این نتایج موافق با یافته های آکوم و همکاران (۲۰۱۵) و جبرمدین و همکاران (۲۰۱۵) بود. جبرمدین و همکاران (۲۰۱۵) علت عدم تغییر در پ‌هاش خاک را با افزودن بیوچار به قلیایی بودن خاک مورد آزمایش و درصد زیاد رس در آن نسبت دادند. لنز و ایپولیتو (۲۰۱۲) نیز به عدم تاثیر بیوچار بر پ‌هاش خاک اشاره کرده و دلیل این امر را پ‌هاش خنثی و آهکی بودن خاک مورد آزمایش عنوان کردند.

درصد کربن آلی خاک

نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از عدم تاثیر معنی‌دار آبیاری بر کربن آلی خاک بود ولی بیوچار در سطح احتمال یک درصد و کود شیمیایی در سطح احتمال پنج درصد بر درصد کربن آلی تاثیر معنی‌داری داشت و جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار میزان کربن آلی خاک را در مقایسه با تیمار شاهد به‌میزان ۱۸/۱ درصد افزایش داد ولی تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (جدول‌های ٤ و ۵). هیچ یک از اثرات متقابل تیمارها معنی‌دار نبود. علت افزایش میزان کربن آلی خاک با افزایش مصرف بیوچار به وجود درصد زیاد کربن آلی در بیوچار مصرفی مربوط است. آزمایشات متعددی بیانگر

Archive of SID

www.SID.ir

تاثیر مثبت بیوچار بر میزان کربن آلی خاک است (آکوم و همکاران، ۲۰۱۵؛ هائوجین و شنگ ونگ، ۲۰۱۳؛ نایگوسی و همکاران،۲۰۱۲). مرادی و همکاران (۱۳۹٦) به تاثیر بیوچار حاصل از ضایعات گیاهی بر افزایش کربن آلی خاک اشاره کرده و دلیل آن‌را وجود درصد بالایی از کربن در بیوچارهای تولیدی عنوان کردند. با توجه به این که خاک‌های کنونی در مقایسه با چند دهه قبل از کربن کمتری برخوردار است، افزودن بیوچار به خاک می‌تواند منبع بسیار مناسبی برای جبران کمبود کربن خاک باشد (فردو، ۲۰۱۳).

درصد رطوبت اشباع خاک

کاربرد بیوچار بر درصد رطوبت اشباع خاک موثر بود. بیشترین درصد رطوبت اشباع خاک با مقدار ۳۹/۲۷ درصد در تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوچار مشاهده شد (جدول‌های ٤ و ٥). افزایش درصد رطوبت اشباع خاک در اثر افزودن بیوچار به خاک توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است. دوملو کاروالهو و همکاران (۲۰۱٤) هائوجین و شنگ ونگ (۲۰۱۳) نیز به افزایش معنی‌دار درصد رطوبت اشباع خاک در تیمار پنج درصد مصرف بیوچار در مقایسه با تیمار ۲/٥ درصد و شاهد اشاره کردند. افزایش درصد رطوبت اشباع خاک به منافذ زیاد بیوچار نسبت داده می‌شود که این منافذ به تجمع عناصر غذایی و افزایش میزان نگهداری آب کمک می‌کند (هائوجین و شنگ ونگ، ۲۰۱۳).

درصد نیتروژن کل

جدول تجزیه واریانس داده‌ها تاثیر مثبت کاربرد بیوچار بر درصد نیتروژن کل خاک را نشان داد (جدول ٤). کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار بیشترین تاثیر را بر درصد نیتروژن خاک در مقایسه با تیمار شاهد و ۱۰ تن در هکتار بیوچار داشت و میزان نیتروژن در تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوچار ۰/۰٦ درصد به‌دست آمد (جدول ٥). افزایش نیتروژن خاک در اثر افزودن بیوچار توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است (نایگوسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ جمال و ابیبه، ۲۰۱٦؛ ویدواتی، ۲۰۱۲). دیوبندهفشجانی و همکاران (۱۳۹٤) با کاربرد بیوچار حاصل از باگاس نیشکر، افزایش نیتروژن را در خاک مورد مطالعه گزارش کردند ولی محققان دیگری نیز به کاهش نیتروژن خاک در نتیجه کاربرد بیوچار اشاره کردند (مرادی و همکاران، ۱۳۹٦). از آنجایی‌که غلظت نیتروژن خاک به نسبت C به N مواد آلی موجود در خاک بستگی دارد، افزودن موادی با نسبت C به N زیاد به خاک نیتروژن معدنی را غیر متحرک می‌کند. به همین دلیل با افزودن بیوچار به خاک انتظار می‌رود نیتروژن غیرفعال شده و کمبود نیتروژن در خاک مشاهده شود. کاربرد بیوچار به‌همراه کودهای شیمیایی، معدنی شدن نیتروژن را با کاهش نسبت C به N تسهیل کرده و نیتروژن کل خاک بهبود می‌یابد (علی و همکاران، ۲۰۱٥). اگرچه اثر متقابل بیوچار با کودشیمیایی در این آزمایش معنی‌دار نبود، ولی مطابق گزارش‌های ویدواتی و همکاران (۲۰۱۲) و آکوم و همکاران (۲۰۱٥) بیوچار به‌دلیل داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه زیاد و نیز داشتن بارهای منفی در سطح خود به نگهداری عناصر غذایی موجود درکودهای شیمیایی کمک کرده و از آبشویی آنها جلوگیری می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثرتیمارها بر برخی ویژگی‌های خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	پ‌هاش	کربن آلی	رطوبت اشباع خاک	نیتروژن کل
بلوک	۲	۰/۰۱۷۶^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۳/۴۹ ^{ns}	۰/۰۰۵۸^{ns}
آبیاری	۲	۰/۱۱۱۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۱/۴۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۷۲^{ns}
خطای اصلی	۴	۰/۰۳۶۴	۰/۰۵	۰/۳۲	۰/۰۰۰۲۱
بیوچار	۲	۰/۰۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۷ **	۱/۴۲ *	۰/۰۰۰۷۶ *
آبیاری×بیوچار	۴	۰/۰۰۴۲ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۶۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۲۳^{ns}
کودشیمیایی	۱	۰/۰۰۸۰ *	۰/۰۷ *	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۶ ^{ns}
آبیاری× کودشیمیایی	۲	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۴۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۸ ^{ns}
بیوچار× کودشیمیایی	۲	۰/۰۰۳۵ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۸۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۲۱^{ns}
آبیاری×بیوچار ×کودشیمیایی	۴	۰/۰۰۲۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۱/۵۰ **	۰/۰۰۰۱۸ ^{ns}
خطای فرعی	۳۰	۰/۰۰۱۷	۰/۰۱	۰/۲۸	۰/۰۰۰۱۵

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

جدول ۵-مقایسه میانگین اثر ساده بیوچار و کودشیمیایی بر برخی ویژگی های خاک

فاکتور	سطوح	پ‌هاش	کربن آلی (درصد)	رطوبت اشباع خاک (درصد)	نیتروژن کل (درصد)
بیوچار (تن درهکتار)	۰(B_1)	۷/۹۱a	۰/۵۰ b	۳۸/۷۲b	۰/۰۵b
	۱۰(B_2)	۷/۹۰ a	۰/۵۰ b	۳۹/۰۸ab	۰/۰۴b
	۲۰(B_3)	۷/۹۰ a	۰/۶۱ a	۳۹/۲۷ a	۰/۰۶a
کودشیمیایی (کیلوگرم درهکتار)	بدون کود(F_1)	۷/۹۱ a	۰/۵۷ a	۳۹/۰۷ a	۰/۰۵ a
	با مصرف کود(F_2)	۷/۸۹b	۰/۵۰ b	۳۸/۹۸ a	۰/۰۵ a

در هر ستون و فاکتور، میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

B_1 ، بدون مصرف بیوچار،B_2: ۱۰ تن در هکتار بیوچار، B_3: ۲۰ تن در هکتار بیوچار

F_1 ، بدون مصرف کودشیمیایی،F_2: با مصرف کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم

ویژگی‌های گیاه

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها تاثیر آبیاری بر عملکرد دانه را در سطح احتمال پنج درصد نشان داد (جدول ٦). مقایسه میانگین اثرهای ساده آبیاری حاکی از تاثیر بیشتر تیمارهای آبیاری بر اساس ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبیاری بر عملکرد دانه در مقایسه با تیمار ٤٠ درصد آبیاری بود (جدول ۷). کاهش عملکرد به دلیل اثرات منفی تنش خشکی بر تعداد شاخه‌ها و برگ‌ها و سطح برگ می‌باشد که منجر به کاهش تثبیت کربن و فتوسنتز و در نتیجه کاهش زیست‌توده می‌شود (خان و همکاران،۲۰۰۲). سیاه-دانه گیاهی محدود رشد است، لذا افزایش تنش خشکی سبب افزایش سرعت گذر از مرحله رویشی به زایشی می‌شود که این امر با تاثیر بر اجزای عملکرد در نهایت منجر به کاهش عملکرد خواهد شد (مظفری و همکاران، ۲۰۰۰). کاربرد بیوچار نیز در سطح احتمال یک درصد بر

Archive of SID

www.SID.ir

عملکرد دانه موثر بود (جدول ٦) و بیشترین عملکرد دانه در تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار (۱۰۲۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۷). راب و همکاران (۲۰۱٦) به تاثیر معنی‌دار بیوچار بر عملکرد دانه در لوبیای بالدار (*Vigna radiate*) اشاره کرده و بیشترین عملکرد را در تیمارهایی با مصرف ۲۵ تن در هکتار بیوچار گزارش کردند در حالی‌که با افزایش بیوچار به مقادیر ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار میزان عملکرد دانه کاهش یافت. آنان دلیل این امر را افزایش بیشتر نسبت C به N در تیمارهایی با میزان مصرف بیوچار زیادتر و غیرمتحرک شدن نیتروژن و آمونیوم عنوان کردند. بایدرمن و هارپور (۲۰۱۳) نیز تاثیر مثبت بیوچار بر عملکرد دانه را گزارش کردند.

جبرمدین و همکاران (۲۰۱۵) نیز به افزایش عملکرد گندم در تیمارهای حاوی بیوچار اشاره کرده و دلیل این امر را نگه‌داری بهتر آب و عناصر غذایی توسط بیوچار و تغذیه بهتر گیاه عنوان کردند. اگرچه مصرف کودشیمیایی در مقایسه با عدم مصرف آن بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود ولی از عملکرد دانه زیادتری برخوردار بود (جدول ۷). کودهای شیمیایی بویژه نیتروژن با تأثیری که بر رشد و توسعه اندام هایی رویشی از طریق سنتز پروتئین‌ها، گسترش سطح برگ‌ها و نیز دوام اندام‌های فتوسنتز کننده دارند، می‌توانند در افزایش عملکرد دانه درگیاهان روغنی نقش موثری داشته باشد. اثر متقابل آبیاری، بیوچار و کودشیمیایی نیز بر عملکرد دانه معنی‌دار بود و بیشترین عملکرد مربوط به تیمارهای $I_2B_2F_2$ (۷۰ درصد نیاز آبی + ۱۰ تن در هکتار بیوچار + مصرف کود شیمیایی) و $I_1B_2F_1$ (۱۰۰ درصد نیاز آبی + ۱۰ تن در هکتار بیوچار + بدون مصرف کود شیمیایی) به ترتیب با مقادیر ۱۱۵۸ و ۱۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱۱). بهبود عملکرد در کاربرد مقدار متعادلی از بیوچار در مقایسه با مقادیر زیاد آن در تحقیقات دیگری نیز گزارش شده است. کراسکا و همکاران (۲۰۱٦) به کاهش عملکرد دانه در گیاه چاودار (*Secale cereale* L.) با کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار در مقایسه با ۲۰ تن در هکتار بیوچار اشاره کردند. روزیتو و همکاران (۲۰۱۷) نیز به کاهش عملکرد در گندم بهاره (*Triticum aestivum* L.) با کاربرد مقادیر ۱۰ درصد بیوچار در مقایسه با ۵ و ۵/۵ درصد بیوچار اشاره کردند. کارر و همکاران (۲۰۱۳) نیز کاهش عملکرد را در تیمارهای حاوی ۷۵ تن در هکتار بیوچار در مقایسه با ۵۰ تن در هکتار بیوچار گزارش کردند. علیرغم تاثیر مثبت بیوچار در اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی در خاک، به‌نظر می‌رسد مصرف مقادیر زیاد بیوچار به‌دلیل قدرت جذب بسیار قوی آن می‌تواند منجر به عدم توازن یون‌های خاک و اثرات منفی بر دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی داشته باشد.

درصد روغن

تیمار آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر درصد روغن موثر بود (جدول ٦) و بیشترین میزان روغن مربوط به آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی (۳۲/۷۹ درصد) بود (جدول ۷). بلالویی و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند مقدار روغن دانه سویا در اثر تنش خشکی کاهش معنی‌داری نشان داد که دلیل آن را می‌توان حساسیت زیاد تجمع لیپیدها نسبت به تنش خشکی در مرحله دانه‌بندی و کاهش فتوسنتز جاری و کاهش مواد فتوسنتزی عرضه شده برای پر شدن دانه و همچنین کاهش طول دورهٔ پر شدن دانه ذکر نمود. بیوچار نیز بر درصد روغن دانه موثر بود و بیشترین میزان درصد روغن مربوط به تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار بود (۲۹/٥٤ درصد)(جدول ۷). تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوچار درصد روغن کمتری نسبت به تیمار شاهد داشت. به‌نظر می‌رسد کاربرد مقدار متوسطی از بیوچار به‌دلیل ایجاد شرایط بهینه برای رشد گیاه، بهتر از مقادیر زیاد آن باشد (جمال و ابیبه، ۲۰۱٦). محققان دیگری نیز به تاثیر بهتر مقدار متعادلی از بیوچار در مقایسه با مقادیر پایین و زیادی آن اشاره کردند. تنظیم میزان پ‌هاش و عناصر غذایی خاک در حد متعادل و در نتیجه رشد بهتر گیاه در تیمارهای مقدار متوسط

Archive of SID

www.SID.ir

بیوچار از دلایل بهتر بودن این تیمار نسبت به مصارف زیاد بیوچار عنوان شده است (جمال و ابیبه، ۲۰۱٦؛ دیسپنزا و همکاران، ۲۰۱٦). کاربرد کود شیمیایی در سطح احتمال پنج درصد تاثیر معنی‌داری بر درصد روغن دانه داشت. اثر متقابل آبیاری و بیوچار معنی‌دار بود و بیشترین درصد روغن در تیمار I1B2 (۱۰۰ درصد نیاز آبی + ۱۰ تن در هکتار بیوچار) و I_1B_3 (۱۰۰ درصد نیاز آبی + ۲۰ تن در هکتار بیوچار) به‌ترتیب به‌میزان ۳٤/۸۸ و ۳۲/۸۳ درصد بود (جدول ۹). این امر تاثیر آبیاری کامل و مصرف بیوچار را بر درصد روغن نشان داد. سوپادیت و همکاران (۲۰۱۲) نیز در آزمایش‌های خود به تاثیر بیوچار در بهبود خواص کیفی گیاه سویا (*Glycine max*) اشاره کردند. اثر متقابل بیوچار و کود شیمیایی معنی‌دار بود و بیشترین تاثیر مربوط به تیمارB_2F_2 (۱۰ تن در هکتار بیوچار + مصرف کود شیمیایی) با ۳۱/۹۷ درصد روغن بود (جدول ۸). بیکری و همکاران (۲۰۱٤) نیز بیشترین درصد روغن در گیاه کتان (*Linum Usitatissimum*) را در کاربرد توام بیوچار، میکوریزا و اسیدهیومیک گزارش کردند. افزودن بیوچار به خاک توانایی جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش می‌دهد و به‌دلیل ساختار متخلخل بیوچار و سطح ویژه زیاد آن از آبشویی عناصر غذایی جلوگیری شده و در نتیجه کارایی کودهای شیمیایی افزایش می‌یابد (سوپادیت و همکاران، ۲۰۱۲).

عملکرد روغن

همانند درصد روغن، عملکرد روغن نیز تحت تاثیر تیمارهای آبیاری، بیوچار و کود شیمیایی قرار گرفت (جدول ٦). جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین عملکرد روغن (۳۵۰/۲۷ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. کاهش عملکرد روغن در اثر تنش به کاهش ظرفیت دانه‌ها برای تجمع روغن و کاهش درصد روغن دانه‌ها، همچنین کاهش عملکرد دانه نسبت داده می‌شود. کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار با ۳۰۵/۰٤ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد روغن را داشت (جدول ۷). استفاده از کود شیمیایی نیز در مقایسه با عدم کاربرد آن ۱۲/۸ درصد عملکرد روغن را افزایش داد (جدول ۷). اثر متقابل بیوچار و کودشیمیایی نشان داد که کاربرد توام ۱۰ تن در هکتار بیوچار و کودشیمیایی (B_2F_2) با عملکرد روغن ۳۳۵/۵۳ کیلوگرم در هکتار تاثیر بهتری نسبت به کاربرد بیوچار و کودشیمیایی به‌تنهایی داشت (جدول ۸). مونیر و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی تیمارهای مختلف تغذیه ای از کودهای آلی، شیمیایی و تلفیقی دریافتند که صفات کیفی آفتابگردان مانند درصد روغن و عملکرد روغن درتیمارهای تلفیقی از کود آلی و کود شیمیایی به طورمعنی‌داری زیادتر از کاربرد آنها به‌تنهایی بوده است. اثر متقابل آبیاری و کودشیمیایی معنی‌دار بود و بیشترین عملکرد روغن مربوط به تیمار I_1F_2 (۱۰۰ درصد نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) با ۳۹۱/۹۸ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱۰). زیادتر بودن عملکرد روغن در این تیمار اهمیت آبیاری و تغذیه مناسب گیاه را در بهبود عملکرد دانه و روغن آشکار می‌سازد.

تنش خشکی علاوه بر کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی، با کاهش دوره پر شدن دانه بر تجمع بسیاری از مواد از جمله روغن تاثیر می‌گذارد. اثرمتقابل آبیاری، بیوچار و کودشیمیایی معنی‌دار بود و تیمارهای آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی از عملکرد روغن زیادتری برخوردار بودند (جدول ۱۱). بخشی از کاهش عملکرد روغن در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان به کاهش طول دوره پرشدن دانه نسبت داد. در شرایط بدون تنش، زمان بیشتری برای پرشدن دانه وجود دارد، درنتیجه درصد روغن و عملکرد روغن نیز بیشتر است. از آنجایی‌که ابتدا کربوهیدرات‌ها تجمع می‌یابند و سپس این ماده به روغن، پروتئین و یا هر ماده دیگر تبدیل می‌شود، از این‌رو هر قدرطول دوره پرشدن دانه بیشتر باشد درصد روغن و عملکرد آن نیز زیادتر خواهد بود (رازی و اسد، ۱۹۹۹).

Archive of SID

www.SID.ir

درصد اسیدهای چرب

آبیاری بر تمام اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع بجز اسید اولئیک موثر بود (جدول ٦). اعمال تیمارهای تنش آبی اثرات متفاوت افزایشی و کاهشی بر میزان اسیدهای چرب موجود در سیاه‌دانه داشت. مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری نیز نشان داد که آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی بیشترین تاثیر را بر افزایش اسیدهای چرب مریستیک، پالمیتیک و لینولئیک داشت. آبیاری بر اساس ٤٠ درصد نیاز آبی نیز موجب افزایش این اسیدهای چرب در مقایسه با تیمار شاهد (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی) شد ولی تنش آبیاری در اسید استئاریک موجب کاهش این اسید چرب شد (جدول ۷). مالکی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به افزایش درصد اسید لینولئیک در اثر تنش آبی در آزمایشات خود اشاره کردند. افزایش در محتوای اسیدهای چرب در بادام زمینی در شرایط تنش خشکی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده‌است (دوایودی و همکاران، ۱۹۹٦) ولی اشرفی و رزمجو (۲۰۱۰) به کاهش اسیدهای چرب استئاریک و پالمیتک در روغن دانه‌ی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش آبی اشاره کردند. اثرات تنش خشکی درگیاهان مختلف یکسان نیست و نوع، رقم و مرحله‌ی رشدی گیاه در میزان صدمات وارده به گیاه، نقش تعیین کننده‌ای دارد (نورمحمدی، ۲۰۰٤). اسید اولئیک به تیمار تنش آبیاری واکنشی نشان نداد (جدول‌های ٦ و ۷). نورمحمدی (۲۰۰٤) نیز به عدم تاثیر تنش خشکی بر اسید اولئیک اشاره کرد. کاربرد بیوچار بر اسیدهای چرب مریستیک، پالمیتیک و لینولئیک موثر بود و کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار تاثیر بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشت (جدول ۷). کاربرد بیوچار اگرچه بر اسیداولئیک معنی‌دار نبود ولی مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار تاثیر بیشتری بر این اسید چرب داشت. کاربرد کودشیمیایی بجز بر اسیدهای چرب مریستیک و پالمیتیک بر سایر اسیدهای چرب موثر نبود (جدول ۷). اثر متقابل آبیاری و بیوچار در تمام اسیدهای چرب بجز اسید اولئیک معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و بیوچار نشانگر تاثیر بیشتر تیمار I_2B_2 (۷۰ درصد نیاز آبی + ۱۰ تن در هکتار بیوچار) در اسیدهای پالمیتیک، مریستیک و لینولئیک بود ولی در اسیدچرب استئاریک تیمار I_1B_1 (۱۰۰ درصد نیاز آبی + بدون بیوچار) و I_1B_2 (۱۰۰ درصد نیاز آبی + ۱۰ تن در هکتار بیوچار) بیشترین تاثیر را داشت (جدول ۹). به‌نظر می‌رسد کاربرد مقدار متعادل بیوچار و تنش آبی ملایم تاثیر افزایشی بر اکثر اسیدهای چرب داشته است. اثرمتقابل آبیاری و کود شیمیایی بر اسیدهای چرب مریستیک، استئاریک، پالمیتیک و لینولئیک معنی‌دار بود (جدول ٦). تیمار I_2F_2 (۷۰ درصد نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) بیشترین تاثیر را بر اسیدهای چرب مریستیک، پالمیتیک و لینولئیک داشت و تیمار I_1F_2 (۱۰۰ درصد نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) بیشترین تاثیر را بر اسید چرب استئاریک داشت (جدول ۱۰).

اثرمتقابل بیوچار و کودشیمیایی تنها بر اسید چرب غیر اشباع اولئیک معنی‌دار بود و بیشترین تاثیر مربوط به تیمارB_3F_2 (۲۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) با ۲۵/۸۷ درصد اسید اولئیک بود (جدول-های ٦ و ۸). افزودن همزمان بیوچار و کودشیمیایی، ضمن تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه، از هدرروی نیتروژن (آبشویی یا متصاعد شدن) می‌کاهد و سپس به‌دلیل فرآیند معدنی شدن، مجدداً نیتروژن به صورت تدریجی به شکل قابل جذب گیاه در آمده و سبب فراهمی در طول دوره رشد گیاه می‌شود. تأثیر تلفیق بیوچار با کودشیمیایی سبب صرفه جویی در مصرف کود شیمیایی به‌دلیل کاهش آبشویی آنها می‌شود (علی و همکاران، ۲۰۱۵؛ ویدواتی و همکاران، ۲۰۱٤). اثر متقابل آبیاری، بیوچار و کودشیمیایی بر اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک معنی‌دار بود و مقایسه میانگین اثر متقابل این سه تیمار نشان داد که در اسید پالمیتیک آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی به‌همراه بیوچار و کودشیمیایی بیشترین تاثیر را داشت در حالیکه در اسید اولئیک و لینولئیک آبیاری بر اساس ٤٠ درصد

Archive of SID

www.SID.ir

نیاز آبی به‌همراه بیوچار و کودشیمیایی بیشترین تاثیر را داشت (جدول ۱۱). حشمتی و همکاران (۱۳۹٦) نیز به افزایش درصد اسیدهای چرب اولئیک و لینولئیک با افزایش تنش خشکی و کاربرد همزمان کود زیستی و کودشیمیایی اشاره کردند.

نتیجه‌گیری

تنش رطوبتی سبب کاهش عملکرد دانه و صفات کیفی گیاه سیاه‌دانه شد ولی بیوچار به‌دلیل دارا بودن ساختار متخلخل، سطح ویژه زیاد و بارهای منفی سطحی، سبب بهبود ویژگی‌های خاک و در نتیجه ایجاد شرایط بهینه برای رشد گیاه شد. نتایج نشان داد که کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار توانست اثرات تنش آبی را کاهش دهد. کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار علیرغم تاثیر مثبت بر خصوصیات خاک در مقایسه با ۱۰ تن در هکتار بیوچار بر ویژگیهای گیاه تاثیر کمتری داشت؛ بنابراین کاربرد مقادیر بیشتر آن در شرایط تنش رطوبتی به دلیل خاصیت جذبی بالای آن توصیه نمی‌شود. استفاده همزمان بیوچار و کودهای شیمیایی اثرات بهتری نسبت به کاربرد هر یک از آنها به‌تنهایی داشت. این امر با توانایی بیوچار در حفظ و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی آنها مرتبط است. به‌این ترتیب مصرف مقدار متعادلی از بیوچار در شرایط خشک و نیمه خشک برای صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش اثرات تنش خشکی توصیه می‌شود.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثرتیمارها بر عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن و اسیدهای چرب گیاه سیاه‌دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه (کیلوگرم درهکتار)	درصد روغن	عملکرد روغن (کیلوگرم درهکتار)	اسید مریستیک (درصد)	اسید پالمیتیک (درصد)	اسید استئاریک (درصد)	اسید اولئیک (درصد)	اسید لینولئیک (درصد)
بلوک	۲	۲۷۴۸۶ ns	۱۳/۶۰ ns	۳۸۳۰ ns	۰/۱۵ ns	۶۵۰ ns	۷۴۸/۰۱ ns	۳/۶۸ ns	۲۵/۷۹ ns
آبیاری	۲	۲۸۵۷۰۸*	۴۰۲/۳۵**	۱۱۳۷۸۳ *	۰/۹۸ **	۲۹۴۳**	۲۲۲۶**	۱۲/۱۴ ns	۴۶/۹۷*
خطای اصلی	۴	۲۹۳۱۱	۱۸/۳۹	۸۳۲۲	۰/۰۳	۱۵۲	۱۱۰/۸۲	۳۶/۳۳	۳/۱۱
بیوچار	۲	۹۲۱۴۹ **	۶۴/۸۸ *	۲۰۶۳۸ **	۰/۲۶ **	۱۵۸۶ **	۱۴۹/۶۵ ns	۲۳/۹۳ ns	۸۰/۴۴ **
آبیاری × بیوچار	۴	۱۷۷۴۸ ns	۴۶/۰۹ *	۳۱۶۸ ns	۰/۴۹ **	۳۰۳ *	۴۳۱/۹۷**	۹/۵۵ ns	۲۳/۰۲ **
کودشیمیایی	۱	۲۵۵۶۴ ns	۷۱/۵۳ *	۱۸۱۳۸ *	۰/۱۷ *	۱۴۷۱ **	۱۱/۳۷ ns	۳۶/۴۰ ns	۱۱/۱۱ ns
آبیاری × کودشیمیایی	۲	۲۰۶۶ ns	۴۸/۶۱ *	۷۵۶۰*	۰/۳۳ **	۳۰۷ *	۴۴۷/۵۵*	۷/۶۰ ns	۱۹/۱۹ **
بیوچار× کودشیمیایی	۲	۲۵۷۵ ns	۱۱۵/۹۷ *	۱۲۴۳۴ *	۰/۰۴ ns	۲۰/۳ ns	۷۱/۴۹ ns	۱۵۰/۰۱**	۰/۴۰ ns
آبیاری × بیوچار × کودشیمیایی	۴	۳۵۱۴۲ **	۳۸/۲۷ ns	۶۹۴۳ *	۰/۰۲ ns	۴۴۷ **	۲۸/۵۹ ns	۶۰/۲۰ *	۹/۶۷*
خطای فرعی	۳۰	۹۶۰۸/۳	۱۷/۵۹	۲۸۹۹	۰/۰۳	۸۷/۳	۸۵/۰۵	۲۲/۳۲	۳/۰۹

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

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷- مقایسه میانگین اثراصلی تیمارها بر عملکرددانه، درصد روغن، عملکرد روغن و اسیدهای‌چرب گیاه سیاه‌دانه

فاکتور	سطوح	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	درصد روغن	عملکرد روغن (کیلوگرم درهکتار)	اسید مریستیک (درصد)	اسید پالمیتیک (درصد)	اسید استناریک (درصد)	اسید اولئیک (درصد)	اسید لینولئیک (درصد)
	۱۰۰(I_1)	۱۰۵۸a	۳۲/۷۹ a	۳۵۰/۲۷ a	۰/۵۱ b	۲۸/۰۴ b	۴۶/۲۱ a	۱۹/۹۰ a	۵/۰۲b
آبیاری	۷۰(I_2)	۹۵۷ ab	۲۶/۷۲ b	۲۵۶/۲۹ b	۰/۹۸ a	۵۳/۵۱ a	۲۴/۸۹ b	۲۱/۴۰ a	۸/۲۵a
(درصد)	۴۰(I_3)	۸۰۸b	۲۶/۴۸ b	۱۹۲/۲ b	۰/۶۹ b	۴۲/۸۲ a	۳۰/۰۷ b	۲۱/۲۳ a	۶/۶۶a
	۰(B_1)	۸۸۰b	۲۷/۷۲ab	۲۵۱/۱۱ b	۰/۵۹ b	۳۱/۰۷ b	۳۵/۲۵ a	۱۹/۶۲ a	۵/۲۵ b
بیوچار	۱۰(B_2)	۱۰۲۰a	۲۹/۵۴ a	۳۰۵/۰۴ a	۰/۸۰ a	۴۹/۳۰ a	۳۵/۵۲ a	۲۱/۰۱ a	۹/۰۸ a
(تن درهکتار)	۲۰(B_3)	۹۲۳b	۲۵/۷۴ b	۲۴۲/۶۱ b	۰/۷۹ a	۴۳/۸۸ a	۳۰/۴۰ a	۲۱/۹۱ a	۵/۶۱ b
کودشیمیایی	بدون کود(F_1)	۹۱۹b	۲۶/۵۲ b	۲۴۷/۹۳ b	۰/۷۸ b	۳۶/۲۲ b	۳۳/۲۷ a	۲۰/۰۳ a	۶/۱۹ a
(کیلوگرم درهکتار)	با مصرف کود(F_2)	۹۶۳b	۲۸/۸۲ a	۲۸۴/۵۸ a	۰/۶۷ a	۴۶/۶۰ a	۳۴/۱۸ a	۲۱/۶۷ a	۷/۱۰ a

در هر ستون و فاکتور، میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

آبیاری بر اساس ۴۰ درصد نیاز آبیI_3 : آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی،I_2 آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی،I_1 :

: با مصرف کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیمF_2، بدون مصرف کودشیمیایی،F_1

: ۲۰ تن در هکتار بیوچار B_3: ۱۰ تن در هکتار بیوچار، B_2، بدون مصرف بیوچار،B_1

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و کودشیمیایی بر درصدروغن، عملکردروغن و اسیداولئیک درگیاه سیاه‌دانه

بیوچار (درصد)	کود شیمیایی (کیلوگرم در هکتار)	درصدروغن	عملکردروغن (کیلوگرم در هکتار)	اسیدچرب اولئیک (درصد)
بدون مصرف بیوچار (B_1)	بدون مصرف کود (F_1)	۲۴/۹۲c	۲۱۴/۷۷ d	۱۹/۴۱ bc
	با مصرف کود (F_2)	۳۰/۵۲ab	۲۸۷/۴۳ ab	۱۹/۸۳bc
۱۰ تن در هکتار بیوچار (B_2)	بدون مصرف کود (F_1)	۲۷/۱۲ bc	۲۷۴/۵۴ bc	۲۲/۷۳ab
	با مصرف کود (F_2)	۳۱/۹۷ a	۳۳۵/۵۳a	۱۹/۳۰bc
۲۰ تن در هکتار بیوچار (B_3)	بدون مصرف کود (F_1)	۲۷/۵۲ bc	۲۵۴/۴۴bcd	۱۷/۹۴c
	با مصرف کود (F_2)	۲۳/۹۸ c	۲۳۰/۷۷cd	۲۵/۸۷a

در هر ستون و فاکتور، میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

B_1 ، بدون مصرف بیوچار،B_2: ۱۰ تن در هکتار بیوچار، B_3: ۲۰ تن در هکتار بیوچار

F_1 ، بدون مصرف کودشیمیایی،F_2: با مصرف کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و بیوچار بر درصدروغن، اسیدمریستیک، پالمیتیک، استئاریک و لینولئیک در گیاهسیاه‌دانه

آبیاری (درصد)	بیوچار (تن در هکتار)	درصد روغن	اسید مریستیک (درصد)	اسید پالمیتیک (درصد)	اسید استئاریک (درصد)	اسید لینولئیک (درصد)
۱۰۰ درصد نیاز آبی(I_1)	B1	۳۰/۶۹ ab	۰/۵۳c	۲۵/۱۶d	۵۳/۹۴a	۴/۳۲g
	B2	۳۴/۸۸a	۰/۵۲c	۲۸/۹۸cd	۵۳/۰۹a	۵/۰۳f
	B3	۳۲/۸۳a	۰/۴۹c	۳۰ cd	۳۱/۶۱b	۵/۷۰d
۷۰ درصد نیاز آبی(I_2)	B1	۳۰/۰۹ab	۰/۶۴ c	۴۳/۰۲abc	۲۲/۸۷b	۶/۹۶c
	B2	۲۶/۵۱ bc	۱/۳۹a	۵۶/۸۸a	۲۴/۲۹b	۱۲/۱۰a
	B3	۲۳/۵۹ cd	۰/۹۰b	۴۸/۹۷ ab	۲۷/۵۱b	۵/۶۹d
۴۰ درصد نیاز آبی(I_3)	B1	۲۲/۳۹ cd	۰/۵۹c	۲۱/۷۲d	۲۸/۹۵b	۴/۴۶g
	B2	۲۷/۲۴ bc	۰/۵۰ c	۴۷/۱۶ab	۲۹/۱۹b	۱۰/۱۱b
	B3	۲۰/۸۲d	۰/۹۸b	۴۱/۲۶ bc	۳۲/۰۹b	۵/۴۳e

در هر ستون و فاکتور، میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

I_1 : آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی،I_2 آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی،I_3:آبیاری بر اساس ۴۰ درصد نیاز آبی

B_1 ، بدون مصرف بیوچار،B_2: ۱۰ تن در هکتار بیوچار، B_3: ۲۰ تن در هکتار بیوچار

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و کودشیمیایی بر عملکردروغن، اسیدمریستیک، پالمیتیک، استئاریک و لینولئیک در گیاه سیاه‌دانه

آبیاری (درصد)	کود شیمیایی (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	اسید مریستیک (درصد)	اسید پالمیتیک (درصد)	اسید استئاریک (درصد)	اسید لینولئیک (درصد)
۱۰۰ درصد نیاز آبی(I_1)	بدون مصرف کود (F_1)	۳۰۸/۵۵b	۰/۴۶c	۲۷/۵۲c	۴۱/۰۸ b	۵/۴۶ b
	با مصرف کود (F_2)	۳۹۱/۹۸a	۰/۵۶c	۲۸/۵۷c	۵۱/۳۶a	۴/۵۷b
۷۰ درصد نیاز آبی(I_2)	بدون مصرف کود (F_1)	۲۵۲/۷۷c	۰/۷۸b	۳۹/۶۷bc	۲۹/۶۸c	۸/۰۳a
	با مصرف کود (F_2)	۲۵۹/۸۰c	۱/۱۷a	۵۹/۵۸a	۲۰/۱۱d	۸/۴۷a
۴۰ درصد نیاز آبی(I_3)	بدون مصرف کود (F_1)	۱۸۲/۴۴d	۰/۷۷b	۳۰/۴۲c	۲۹/۰۶c	۵/۰۸b
	با مصرف کود (F_2)	۲۰۱/۹۵cd	۰/۶۲bc	۴۳/۰۱b	۳۱/۰۹ c	۸/۲۵a

در هر ستون و فاکتور، میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

I_1 : آبیاری بر اساس۱۰۰ درصد نیاز آبی ، I_2 :آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی ،I_3 :آبیاری بر اساس ۴۰ درصد نیاز آبی

F_1 ، بدون مصرف کودشیمیایی ،F_2: با مصرف کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری، بیوچار و کودشیمیایی بر عملکرددانه، عملکردروغن، اسیدپالمیتیک، اولئیک و لینولئیک در گیاه سیاه‌دانه

آبیاری (درصد)	تیمارهای کودی	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکردروغن (کیلوگرم در هکتار)	اسیدپالمیتیک (درصد)	اسید اولئیک (درصد)	اسید لینولئیک (درصد)
۱۰۰ درصد نیاز آبی(I_1)	B_1F_1	۹۵۱cdef	۲۳۰efgh	۲۶/۲۸cdef	۱۹/۱۷bc	۴/۶۶c
	B_1F_2	۱۱۳۶ab	۴۲۳/۳۳a	۲۴/۰۳ef	۱۷/۵۶bc	۳/۹۹c
	B_2F_1	۱۱۵۰a	۳۷۳abc	۳۱/۳۴cdef	۱۸/۳۸bc	۶/۰۷bc
	B_2F_2	۱۰۶۹abc	۴۰۶ab	۲۶/۶۲cdef	۱۹/۳۱bc	۳/۹۸c
	B_3F_1	۹۸۲bcde	۳۲۲/۶۶bcd	۲۴/۹۵def	۲۰/۸۳b	۵/۶۵bc
	B_3F_2	۱۰۶۲abcd	۳۴۶/۶۶abcd	۳۵/۰۶bcde	۲۴/۱۹ab	۵/۷۵bc
۷۰ درصد نیاز آبی(I_2)	B_1F_1	۹۵۰cdef	۲۶۴/۶۶defg	۳۹/۷۳bcde	۱۸/۰۷bc	۶/۰۲bc
	B_1F_2	۸۵۱efg	۲۷۶/۳۳defg	۴۶/۳۰abcd	۲۲/۷ab	۷/۹۰b
	B_2F_1	۹۸۵bcde	۲۶۲defg	۴۷/۶۰abc	۲۴/۶۸ab	۱۲/۵۷a
	B_2F_2	۱۱۵۸a	۳۰۶/۴۰cde	۶۶/۱۲a	۱۹/۰۷bc	۱۱/۶۴a
	B_3F_1	۸۶۴efg	۲۳۱/۶۶efgh	۳۱/۶۴cdef	۲۰/۱۳bc	۵/۵۰bc
	B_3F_2	۹۳۷cdef	۱۹۶/۶۶gh	۶۶/۳۰a	۲۳/۸۵ab	۵/۸۸bc
۴۰ درصد نیاز آبی(I_3)	B_1F_1	۶۵۱h	۱۴۹/۶۶h	۱۲/۶۰f	۲۱/۱۹b	۴/۰۸c
	B_1F_2	۷۴۳gh	۱۶۲/۶۶h	۳۰/۸۳cdef	۱۹/۲۵bc	۴/۸۴c
	B_2F_1	۸۴۳efg	۱۸۸/۶۶gh	۳۹/۲۵bcde	۲۵/۱۳ab	۶/۷۳bc
	B_2F_2	۹۱۶cdef	۲۹۴/۱۹cdef	۵۵/۰۸ab	۱۹/۵۹bc	۱۳/۴۸a
	B_3F_1	۹۰۰defg	۲۰۹fgh	۳۹/۴۰ bcde	۱۲/۸۸c	۴/۴۳c
	B_3F_2	۷۹۵fgh	۱۴۹h	۴۳/۱۲bcde	۲۹/۵۹a	۶/۴۳ bc

در هر ستون و فاکتور، میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری

I_1 : آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی ، I_2 : آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی،I_3 :آبیاری بر اساس ۴۰ درصد نیاز آبی

B_1 ، بدون مصرف بیوچار،B_2: ۱۰ تن در هکتار بیوچار، B_3: ۲۰ تن در هکتار بیوچار

F_1 ، بدون مصرف کودشیمیایی ،F_2: با مصرف کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم

Archive of SID

فهرست منابع

۱. جلالی‌پور، س.، غلامعلی‌زاده آهنگر، ا. و لکزیان، ا. ۱۳۹۲. تأثیر کاربرد بیوچار بر برخی خصوصیات کمی گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus L*) در خاکهای آلوده به کادمیوم. دومین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی. ۲۸ آذرماه ۱۳۹۲.

۲. حشمتی، س.، امینی دهقی، م. و فتحی امیرخیز، ک. ۱۳۹۶. تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه، عملکرد روغن و اسیدهای چرب گلرنگ بهاره در شرایط کمبود آب. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۸(۱):۱۶۹-۱۵۹.

۳. دیوبند هفشجانی، ل.، ناصری، ع.ع.، هوشمند، ع.، عباسی، ف. و سلطانی محمدی، ا. ۱۳۹۶. بررسی تاثیر کاربرد بیوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی یک خاک لوم شنی. مجله علوم و مهندسی آبیاری . ٤٤ (۱):۷۲- ۶۳ .

www.SID.ir

٤. رحیمی، ط.، معزی، ع. و حجتی، س. ۱۳۹۷. اثر کاربرد سطوح مختلف کود گاوی و بیوچار حاصل از آن بر سینتیک جذب نیکل در یک خاک آهکی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۲(۱): ۲۰۹-۱۹۹

۵. رضایی، ن.، رزاقی، ف.، سپاسخواه، ع. و موسوی، س.ع. ۱۳۹۷. تأثیر بیوچار و شوری آب آبیاری بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت باقلا. نشریه پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب) . ۳۲ (۱): ۲۵-۱۳.

٦. زلفی باوریانی، م.، رونقی، ع.، کریمیان، ن.، قاسمی، ر. و یثربی، ج. ۱۳۹۵. اثر بیوچار تهیه شده از کود مرغی در دماهای متفاوت بر ویژگیهای شیمیایی یک خاک آهکی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۰(۷۵): ۸٦-۷۳.

۷. گلزردی، ف. ۱۳۹۵. خشکی، خطری جدی برای تولیدات کشاورزی. اثر آنلاین. https://www.researchgate.net/publication/307583463

۸. مالکی خضرلو، س.، طهماسبی سروستانی، ز.، مدرس ثانوی، س.ع. ۱۳۹۲. ارزیابی عملکرد کمی و کیفی کدوی تخم پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) تحت القای تنش کم آبی و کود نیتروژن. دوماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۱(۵): ۸٦۳-۸۵۳.

۹. مرادی، ن.، رسولی صدقیانی، م.ح. و سپهر، ا. ۱۳۹٦. تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر برخی ویژگیهای خاک و قابلیت استفاده بعضی عناصر غذایی در یک خاک آهکی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۱(٤) :۱۲٤٦-۱۲۳۲

۱۰. نجفی قیری، م.، بوستانی، ح.ر.۱۳۹٦. تأثیر کاربرد برخی بقایای گیاهان زراعی و تفاله شیرینبیان و بیوچار حاصل از آنها بر وضعیت پتاسیم یک خاک آهکی. نشریه پژوهشهای حفاظت آب و خاک. ۲٤(۳): ۹۳-۷۷.

11. Akhondian, J., Parsa, A. and Rakhshandeh, H. 2007. The effect of *Nigella sativa* (black cumin seed) on intractable pediatric seizures. Medical of Science Monit, 13: 555-559.
12. Akom, M., Boateng, Otoo1, E. and Dawoe, E. 2015. Effect of biochar and inorganic fertilizer in Yam (*Dioscorea rotundata Poir*) production in a forest agroecological zone. Journal of Agricultural Science, 7: 211-222.
13. Ali, K., Arif, M. and Jan, T. 2015. Integrated use of biochar: A tool for improving soil and wheat quality of degraded soil under soil wheat- maize cropping pattern. Pakistan Journal of Botany, 47 (1): 233-240.
14. AOAC (Association of Official Analytical Chemists).1995. Official Methods of Analysis, 16th Edition. AOAC International, Gaithersburg, MD.
15. Asdadi A., Harhar H., Gharby S., Bouzoubaâ Z.,Yadini A.E., Moutaj R., Hadek M.E., Chebli, B. and Hassani, L.M.I. 2014. Chemical composition and antifungal activity of *Nigella Sativa* L. oil seed cultivated in Morocco. International Journal of Pharmaceutical Science Invention, 3: 9-15.
16. Ashrafi, E. and Razmjoo, Kh. 2010. Effect of Irrigation Regimes on Oil Content and Composition of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars. Journal of American Oil Chemists Society, 87: 499-506.
17. Bakry, B. A., Ibrahim, O.M., Eid, A.R. and Abdelmoneim Badr, A. 2014. Effect of humic acid, mycorrhiza inoculation and biochar on yield and water use efficiency of flax under newly reclaimed sandy soil. Agricultural Sciences. 5: 1427-1432.
18. Bellaloui, N., Mengistu, A. and Kassem, A. 2013. Effects of Genetics and Environment on Fatty Acid Stability in Soybean Seed. Journal of Food and Nutrition Sciences, 4(9A):165-175.
19. Berek, A.K., Hue, N. and Ahmad, A. 2011. Beneficial use of biochar to correct soil acidity. The Food Provider, Available at www.ctahr.hawaii.edu/huen/nvh/biochar.
20. Biderman, L. and Stanley Harpole, W. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. GCB Bioenergy, 5: 202–214.

Archive of SID

www.SID.ir

21. Boskabady, M.H., Javan, H., Sajady, M. and Rakhshandeh H. 2007. The possible prophylactic effect of *Nigella sativa* seed extract in asthmatic patients. Fundamental and Clinical Pharmacology, 21: 559-566.
22. de Melo Carvalho, M.T., De Holanda Nunes Maia, A., Madari, B. E., Bastiaans, L., Van Oort, P. A. J., Heinemann, A. B., Soler da Silva, M. A., Petter, F. A., Marimon Jr., B. H. and Meinke, H. 2014. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. Solid Earth, 5: 939–952.
23. Dispenza, V., Pasquale, C. D., Fascella, G., Mammano, M.M. and Alonzo, G. 2016. Use of biochar as peat substitute for growing substrates of *Euphorbia* × *lomi* potted plants. Spanish Journal of Agricultural Research, 14(4):1-11.
24. Dwivedi, S.L., Nigam, S.N., Nageswara Rao, R.C., Singh, U. and Rao, K.V.S. 1996. Effect of drought on oil, fatty acids and protein contents of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds. Field Crops Research, 48 (2–3): 125–133.
25. Farhoosh R., Haddad Khodaparast M.H. and Sharif A. 2009. Bene hull oil as a highly stable and antioxidative vegetable oil. Eurepian Journal of Lipid Science and Technology, 111:1259-1265.
26. Freddo, A. 2013. Biochar: for better or for worse? Ph.D. thesis, University of East Anglia School of Environmental Science.
27. Fiaz, K., Malik, S. A, Younis, U., Danish, S., Raza Shah, M. H. and Niaz, S. 2014. Drought impact on Pb/Cd toxicity remediated by biochar in *Brassica campestris*. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14(4): 845-854.
28. Gebremedhin, G.H., Haileselassie, B., Berhe, D. and Belay, T. 2015. Effect of biochar on yield and yield Components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. Journal of Fertilizers and Pesticides, 6:158-162.
29. Ghamarnia, H., Miri, E. and Ghobadei, M. 2014. Determination of water requirement, single and dual crop coefficients of black cumin (*Nigella sativa* L.) in a semi-arid climate. Irrigation Science, 32(1):67–76.
30. Gokila, B. and Baskar, K. 2015. Influence of biochar as soil amendment on yield and quality of maize. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences, 5:152-155.
31. Hao Jien, S. and Sheng Wang, C. 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. Catena, 110: 225–233.
32. Herath, H.M.S.K., Camps-Arbestian, M. and Hedley, M. 2013. Effect of biochar on soil properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. Geoderma, 209-210:188-197.
33. Howard, H. 2011. The effect of biochar on the root development of corn and soybeans in Minnesota soil and sand. International Biochar Initiative, 24 June, http://www.biochar-international.org.
34. Jemal, K. and Abebe, A. 2016. Determination of bio-char rate for improved production of Lemmon grass. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 4(2):149–157.
35. Karer, J., Wimmer, B., Zehetner, F., Kloss, S. and Soja, G. 2013. Biochar application to temperate soils: effects on nutrient uptake and crop yield under field conditions. Agricultural and Food Science, 22: 390–403.
36. Kathrin, A. 2016. Biochar in soil: Effect on physical, chemical and hydrological properties in differently textured soils. M.Sc. thesis, Department of Agro ecology, AU.
37. Khan, M.H, Singha, K.L.B. and Panda, S.K. 2002. Changes in antioxidant levels in *Oryza sativa* L. roots subjected to NaCl salinity stress. Journal of Acta Physiology Plantarum, 24:145–14.
38. Kraska, P., Oleszczuk, P., Andruszczak, S., Kwiecińska-Poppe, E., Różyło, K., Pałys, E., Gierasimiuk, P. and Michałojć, Z. 2016. Effect of various biochar rates on winter rye yield and
the concentration of available nutrients in the soil. Plant, Soil and Environment, 62 (11):483-489.

Archive of SID

www.SID.ir

39. Lentz, R.D. and Ippolito, J.A. 2012. Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. Journal of Environment Quality, 41(4):1033-43.
40. Melaz, G.B. 2014. Interactions between different types of biochar and soil microbial activity. Ph.D. thesis, University of Barcelona, Department of animal biology.
41. Mozzafari, F., Ghorbanli, S., Babai, M. and Farzami, A. 2000. The effect of water stress on the seed oil of *Nigella sativa* L. Journal of Essential Oil Research, 12: 36-38.
42. Mukome, F.N.D., Six, J. and Parikh, S.J. 2012. The effects of walnut shell and wood feedstock biochar amendments on greenhouse gas emissions from a fertile soil. Geoderma. 200(201):90–98.
43. Munir, M.A., Malik, M.A. and Saleem, M.F. 2007. Impact of integration of crop manuring and nitrogen application on growth, Malik, yield and quality of spring planted sunflower (*Helianthus annuus* L.) Pakistan Journal of Botany, 39(2): 441-449.
44. Nigussie, A., Endalkachew Kissi, E., Misganaw, M. and Ambaw, G. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. American-Eurasian Journal of Agriclture and Environment Science, 12 (3): 369-376.
45. Nour mohammadi, Gh. 2004. Evaluation of the response of three safflower lines to different drought stress. Journal of Agricultural Science, 4: 251-259.
46. Rab, A., Rabnawaz Khan, M., Ul Haq, S., Zahid, S., Asim, M., Afridi, M.Z., Arif, M. and Munsif, F. 2016. Impact of biochar on mungbean yield and yield components. Pure and Applied Biology, 5(3): 632-640.
47. Razi, H. and Assad. M. T. 1999. Comparison of selection criteria in normal and limited irrigation in sunflower, Euphytica 105: 83-90.
48. Różyło, K., Świeca, M., Gawlik-Dziki, U., Stefaniuk, M., and Oleszczuk, P. 2017. The potential of biochar for reducing the negative effects of soil contamination on the phytochemical properties and heavy metal accumulation in wheat grain. Agricultural and Food Science, 26(1):34-46.
49. Sika, M.P. 2012. Effect of biochar on chemistry, nutrient uptake and fertilizer mobility in sandy soil. M.Sc. thesis, Department of Soil Science, Stellenbosch University, Stellenbosch.
50. Suppadit, S., Phumkokrak, N. and Poungsuk, P. 2012. The effect of using quail litter biochar on soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) Production. Chilean Journal of Agricultural Research, 72(2):244-251.
51. Widowati, W.H., Asnah, A. and Utomo, W.H. 2014. The use of biochar to reduce nitrogen and potassium leaching from soil cultivated with maize. Journal of Degraded and Mining Lands Management, 211-218.
52. Widowati, W.H. 2012. The effect of biochar on the growth and N fertilizer requirement of Maize (*Zea mays* L.) in green house experiment. Journal of Agricultural Science, 4(5):256-262.
53. Zeelie, A. 2012. Effect of biochar on selected soil physical properties and crop performance of winter wheat pot plants. M.Sc. Thesis. University of Stellenbosch.

Archive of SID

www.SID.ir