Archive of SID

مدیریت آب و آبیاری
دوره ۹ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۸
صفحه‌های ۲۸-۱۵

بررسی رشد و محصول گندم تحت سطوح مختلف بیوچار و کم‌آبیاری در شرایط گلخانه‌ای

سمانه پورمنصور[۱]، فاطمه رزاقی[۲و*۵]، علیرضا سپاسخواه[۳،۵]، سید علی اکبر موسوی[۴]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.
۲. استادیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.
۳. استاد، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.
۴. دانشیار، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.
۵. عضو هیات علمی، مرکز مطالعات خشکسالی، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷

چکیده
با توجه به میزان گندم تولیدی در استان فارس و هم‌چنین وقوع خشکسالی، استفاده از بقایای محصول گندم بر روی زمین‌های زراعی به فرم بیوچار می تواند سبب بهبود باروری خاک و افزایش محصول گردد. لذا، در تحقیق حاضر به بررسی اثر سطوح مختلف بیوچار تولیدشده از کاه و کلش گندم و کم‌آبیاری بر رشد و محصول گندم در شرایط گلخانه‌ای پرداخته شد. تیمارها شامل چهار سطح بیوچار (صفر، ۱/۲۵، ۲/۵۰ و ۳/۷۵ درصد وزنی) و سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) بودند. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد، افزایش بیوچار تا سطح ۱/۲۵ درصد وزنی سبب افزایش ۱۱/۵ درصدی ارتفاع نسبت به تیمار بدون بیوچار شد، درحالی‌که سطح بالاتر سبب کاهش ارتفاع گردید. در سطح آبیاری ۱۰۰درصد، سطوح بیوچار ۱/۲۵، ۲/۵۰ و ۳/۷۵ درصد وزنی بیوچار سبب افزایش (کاهش) هدایت روزنه‌ای (دمای پوشش سبز) به میزان به‌ترتیب ۲۶/۸، ۳۱/۲ و ۳۷/۹ درصد (۱۵/۲، ۲۱/۴ و ۲۳/۴ درصد) نسبت به تیمار بدون بیوچار شدند. هم‌چنین بیش‌ترین تعداد خوشه در گیاه (۳/۷)، تعداد دانه در خوشه (۳۶/۱)، وزن هزاردانه گندم (۵۴/۱ گرم) و وزن خشک اندام هوایی (۶۵ گرم) در تیمار ۱/۲۵ درصد وزنی مشاهده شد، درصورتی‌که افزودن مقادیر بالاتر بیوچار به واسطه شورشدن خاک سبب کاهش این پارامترها نسبت به تیمار شاهد گردید. به طورکلی، آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و افزودن ۱/۲۵ درصد وزنی بیوچار، به‌دلیل تأثیر مثبت بر افزایش محصول و بهبود شرایط رشد گیاه پیشنهاد می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: اجزای محصول گندم، دمای پوشش سبز، وزن دانه، هدایت روزنه‌ای.

Wheat growth and yield investigation under different levels of biochar and deficit irrigation under greenhouse conditions

Samaneh Poormansour[1], Fatemeh Razzaghi[2,5*], Ali Reza Sepaskhah[3,5], Ali Akbar Moosavi[4]
1. Graduated master student, Water Engineering Department, School of Agriculture, Shiraz University, Iran.
2. Assistant Professor, Water Engineering Department, School of Agriculture, Shiraz University, Iran.
3. Professor, Water Engineering Department, School of Agriculture, Shiraz University, Iran.
4. Associate Professor, Soil Science Department, School of Agriculture, Shiraz University, Iran.
5. Faculty member, Drought Research Center, Iran
Received: April 14, 2019 Accepted: July 8, 2019

Abstract
According to the amount of wheat production in Fars Province and occurrence of drought, application of crop's residual on agricultural land in form of biochar may improve soil fertility and increase crops yield. Therefore, the current research was conducted to study the effect of different levels of wheat straw biochar and deficit irrigation on wheat growth and yield. The treatments included four levels of biochar (0, 1.25, 2.5 and 3.75 % w/w) and three levels of irrigation (100, 75 and 50 % crop water requirement). Under full irrigation treatment, increasing in biochar to 1.25%w/w was increased crop height by 11.5% in comparison with that obtained in no biochar application. Biochar levels of 1.25, 2.5 and 3.75% w/w increased (decreased) stomatal conductance (green canopy temperature) by 26.8, 31.2 and 37.9% (15.2, 21.4 and 23.4%), respectively, in comparison with that obtained in no biochar application, under full irrigation treatment. Also, the maximum number of tillers per wheat plant (3.7), number of seed per tillers (36.1), 1000 seeds weight (54.1 g) and above ground dry matter (65 g) were observed in 1.25 % w/w biochar treatment, and further increase in biochar declined these parameters in comparison with control as the soil become more saline. It can be concluded that deficit irrigation of 75% crop water requirement and application of 1.25% w/w biochar is recommended due to positive effect of these treatments on yield and yield components.

Keywords: Green canopy temperature, Seed weight, Stomatal conductance, Wheat yield components.

* نویسنده مسئول
Email: razzaghi@shirazu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

همگام با رشد روزافزون جمعیت و نیاز به تولید غذای بیش‌تر، گسترش تولیدات کشاورزی و تأثیرات سوء آن بر منابع خاک و آب روندی افزایشی یافته است (۷). بخش وسیعی از زمین‌های زیر کشت محصولات کشاورزی همانند گندم، در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است و این گیاهان در معرض شرایط نامطلوب محیطی مانند شوری و خشکی قرار دارند (۸). از این‌رو، افزایش توان گیاهان برای تحمل تنش‌های محیطی ناشی از کمبود آب، از نظر افت محصول از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (۲۵). در شرایط وقوع تنش‌های محیطی، حفظ و حراست از منابع آب و خاک موجود و افزایش بهره‌وری هرچه بیش‌تر از این منابع، از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از راه‌کارهای افزایش بهره‌وری آب، کم‌آبیاری می‌باشد (۲۷). در تحقیقی گزارش کردند که کم‌آبیاری در مرحله دانه‌بندی نسبت به سایر مراحل رشد گیاه آفتابگردان، کم‌ترین اثر منفی را بر محصول و شاخص برداشت داشت (۱۰). اِعمال کم‌آبیاری سبب کاهش محصول دانه، محصول کاه و وزن هزاردانه در گندم پاییزه شد، اما در اثر کم‌آبیاری و استفاده از ۱۰۶ میلی‌متر آب (در مقایسه با آب کامل ۳۱۴ میلی‌متر) حداکثر سود حاصل شد (۶).

از طرف دیگر، امروزه عدم وجود پوشش گیاهی کافی و مناسب، موجب کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه کمبود مواد آلی در خاک شده است. از همین‌رو، بازگشت این بقایا به خاک به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک از ارکان مهم کشاورزی پایدار می‌باشد. به‌طور سنتی این بقایا یا برای تجزیه در زمین رها می‌شدند که این امر موجب هدررفتن مواد غذایی باارزش آن و امکان شیوع بیماری‌ها می‌شود و یا این‌که روی زمین سوزانده می‌شود که خود تهدیدی جدّی برای محیط زیست می‌باشد. امروزه با سوزاندن بقایای گیاهی و ضایعات کشاورزی و دامی در دمای زیاد و در شرایط بی‌هوازی امکان ذخیره‌سازی طولانی‌مدت کربن در خاک به‌علت حضور کربن بیوشیمیایی مقاوم، به‌وجود می‌آید (۴۲). این ترکیب آلی که برای اصلاح ویژگی‌های خاک و افزایش مواد غذایی و ظرفیت نگهداری آب در خاک استفاده می‌شود بیوچار[1] (زغال زیستی) نام دارد (۲۱). بیوچار با تأثیر مستقیم بر خواص فیزیکی (افزایش تخلخل، ظرفیت نگهداری آب در خاک و هدایت هیدرولیکی خاک) و شیمیایی خاک (افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی) و افزایش عناصر غذایی موردنیاز گیاه در خاک (۱۱ و ۳) سبب بهبود شرایط برای رشد و تولید محصول می‌گردد (۵ و ۴۰). میزان اثرگذاری بیوچار بر این خواص متأثر از نوع ماده اولیه و دمای تولید بیوچار می‌باشد (۲۹). اثر بیوچار تولیدشده از زباله سبز گیاه گوجه‌فرنگی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بر گیاه ذرت نشان داد که کاربرد ۵ و ۱۵ گرم در کیلوگرم بیوچار سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و محصول ماده خشک برگ ذرت شد (۳۶). هم‌چنین، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر گیاه اسفناج به‌ترتیب با مقادیر ۱۲۹ و ۴۳ گرم در گلدان در تیمارهای کاربرد ۱/۲۵ و ۵ درصد بیوچار و با اعمال سطوح رطوبتی ۱۰۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای حاصل شد (۱۱). نتایج حاصل از تحقیقاتی نشان داد که با کاربرد ۶۰ تن در هکتار بیوچار تولیدشده از چوب جنگلی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ درصد افزایش در محصول گندم حاصل شد (۴۱). کاربرد سطوح ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار کود گاوی به‌ترتیب موجب افزایش محصول دانه ذرت به مقدار ۱۵۰ و ۹۸ درصد در مقایسه با شاهد شد (۴۰). اثر کاربرد بیوچار بر ویژگی‌های خاک و رشد گیاهان کاهو و کلم نشان داد که کاربرد سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم بیوچار تولیدشده از پوسته

1. Biochar

www.SID.ir

Archive of SID

برنج سبب افزایش نهایی زیست‌توده گیاهی، زیست‌توده ریشه، ارتفاع گیاه و تعداد برگ‌ها در گیاهان در مقایسه با شاهد شد (۲۲). در تحقیقی دیگر محصول گندم را تحت تأثیر بیوچار بررسی و گزارش نمودند که کاربرد سطوح ۰/۵، ۱ و ۲/۵ درصد وزنی از دو نوع بیوچار (بقایای گندم و بقایای هرس‌شده درخت زیتون) موجب افزایش درصد دانه و زیست‌توده گیاه گندم شد که نشان‌دهنده مفیدبودن کاربرد بیوچار در خاک است (۱۸). میزان تولید گندم در کشور ایران با سطح زیرکشت حدود ۵/۹ میلیون هکتار، ۱۴/۵ میلیون تن برآورد شده است (۱)، که با فرض تولید یک تا ۱/۳ کیلوگرم کاه و کلش به‌ازای یک کیلوگرم دانه، بیش از ۱۴ میلیون تن کاه و کلش در کل کشور تولید می‌شود (۹)، که اکثراً در زمین هدررفته و یا به‌عنوان خوراک دام استفاده می‌شود. کاه و کلش گندم به‌علت قابلیت تجدیدپذیری سالانه و فراوانی بالا، ماده اولیه مناسبی برای تولید اصلاح‌کننده‌های خاکی از جمله بیوچار می‌باشد (۲). با توجه به سطح زیرکشت گندم و میزان گندم تولیدی در استان فارس (به‌ترتیب برابر ۰/۳۴۳ میلیون هکتار و ۱/۱۷ میلیون تن) (۱) و هم‌چنین میزان کاه و کلش تولیدی گندم و شرایط کم‌آبی و وقوع خشکسالی در این استان در تحقیق حاضر، به بررسی اثر سطوح مختلف بیوچار (تولیدشده از کاه و کلش گندم) و کم‌آبیاری بر رشد، محصول و اجزای محصول گندم پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام پذیرفت. به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف بیوچار و کم‌آبیاری بر رشد و محصول گندم پاییزه، چهار سطح مختلف بیوچار صفر، ۱/۲۵، ۲/۵۰ و ۳/۷۵ درصد وزنی (به‌ترتیب شامل B_0، $B_{1.25}$، $B_{2.50}$ و $B_{3.75}$ و معادل صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ تن بیوچار بر یک هکتار خاک) و سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (به‌ترتیب $I_{100\%}$، $I_{75\%}$ و $I_{50\%}$) در ۳ تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی اعمال گردید. تعداد گلدان‌ها در این آزمایش ۴۵ عدد (ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر) و با گنجایش شش کیلوگرم خاک بود که تحت کشت گندم پاییزه رقم شیراز قرار گرفت. در طول دوره رشد گیاه، دمای هوای داخل گلخانه بین ۱۰ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی هوا بین ۴۰ تا ۹۰ درصد متغیر بود. خاک مورداستفاده در این آزمایش خاک با بافت سبک (لومی-شنی) از منطقه گربایگان از توابع شهرستان فسا در استان فارس بود که ویژگی‌های خاک مورداستفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. در جدول (۱)، pH به‌روش توماس (۳۹)، قابلیت هدایت الکتریکی به‌وسیله هدایت‌سنج الکتریکی (۳۴)، عناصر سدیم و پتاسیم محلول با دستگاه فلیم‌فتومتر (۳۵) و عناصر کلسیم و منیزیم محلول به‌وسیله تیتراسیون با ای.دی.تی.ا. (۲۸) اندازه‌گیری شد.

در این آزمایش، بیوچار از کاه و کلش و بقایای گندم به‌دست آمد. به این ترتیب که کاه و کلش باقیمانده از برداشت محصول گندم در منطقه موردمطالعه جمع‌آوری و پس از بسته‌بندی در درجه حرارت بالا (۵۵۰ درجه سانتی‌گراد) در شرایط کم اکسیژن در طی فرآیند پایرولایسس[1] سوزانده شد. در ابتدای آزمایش، خاک و بیوچار آزمایش شده و عناصر موجود در خاک و بیوچار مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۱). به‌منظور جبران کمبود احتمالی عناصر خاک، کود مناسب براساس نتایج آزمون خاک (قبل از اختلاط خاک و بیوچار) تعیین و به مقدار موردنیاز در اختیار گیاه قرار داده شد. خاک و بیوچار پس از عبور از الک ۲ میلی‌متر در سطوح تعیین‌شده با یکدیگر مخلوط شده و سپس گلدان‌ها با مخلوط خاک و بیوچار پر شد.

1. Pyrolysis

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش، بیوچار و آب چاه مورداستفاده

عناصر اندازه‌گیری‌شده	خاک	بیوچار	آب
سدیم محلول (meq/L)	۰/۰۹۵	۲/۳	۱/۲
پتاسیم محلول (meq/L)	۰/۰۱۷	۸۳	۰/۰۵
کلسیم محلول (meq/L)	۲	۱۵	۱/۱۵
منیزیم محلول (meq/L)	۵/۱۰	۳/۸۰	---
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (dS/m)*	۰/۶۶	۹/۳۰	۰/۵۵
pH	۷/۴۴	۸/۱۸	۷/۰
چگالی ظاهری (g/cm^3)	۱/۵۳	۰/۲۵	---
رطوبت حجمی درحد ظرفیت زراعی (٪)	۲۱	-	---
رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی (٪)	۸	-	---

* قابلیت هدایت الکتریکی و پ‌هاش بیوچار در نسبت ۱:۱۰ بیوچار به آب.

سپس ۱۰ بذر گندم در هر گلدان کاشته (بذر گندم در مهرماه ۱۳۹۳ کاشته و در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ برداشت شد) و پس از جوانه‌زدن و استقرار کامل به ۷ بوته (۲۵۰ بوته در مترمربع) کاهش یافت (۴). کلیه گلدان‌ها تا مرحله استقرار کامل گیاه، با استفاده از آب چاه و تا حد ظرفیت زراعی آبیاری گردیدند (پس از اختلاط خاک و بیوچار و اضافه‌نمودن آن به گلدان‌ها، گلدان‌ها به‌صورت کامل اشباع گردیدند. سپس روی گلدان‌ها جهت جلوگیری از تبخیر آب پوشانده شد. خروج آب ثقلی از انتهای گلدان در بازه‌های زمانی مشخص اندازه‌گیری گردید و حدوداً بعد از گذشت ۲۴ ساعت خروج آب ثقلی متوقف گردید. وزن گلدان در این حالت به‌عنوان وزن در حالت ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد). طی آزمایشی قبل از شروع این تحقیق، دور آبیاری براساس جبران کمبود آب تا حد ظرفیت زراعی برای سطح آبیاری ۱۰۰ درصد و سطح بالای بیوچار تعیین گردید. سپس گلدان‌ها به‌صورت یک روز در میان توزین شده و در هر سطح بیوچار، کمبود آب تا حد رطوبت زراعی برای سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (براساس تغییرات وزن گلدان‌ها و مقدار آب زهکش‌شده) محاسبه شد و سپس براساس سطح تیمار آبیاری، آبیاری شدند. نتایج تجزیه کیفی آب چاه مورداستفاده، در جدول (۱) آورده شده است. پارامترهای گیاهی مانند ارتفاع، هدایت روزنه‌ای و دمای پوشش سبز در روزهای ۶۵، ۹۴، ۱۳۱، ۱۶۳ و ۱۹۰ پس از کاشت اندازه‌گیری شد و تعداد خوشه در گیاه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزاردانه و وزن خشک اندام هوایی پس از برداشت محصول گندم (۲۱۹ روز بعد از کاشت) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، ارتفاع ساقه اصلی با خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای در روزهای آفتابی و در زمان اوج تابش خورشید (بین ساعت ۱۱ تا ۲ ظهر) صورت گرفت. به این ترتیب که در کلیه تیمارها برگ‌های جوان و کاملاً رشد کرده از بالای هر بوته انتخاب گردید و هدایت روزنه‌ای با دستگاه Leaf Porometer مدل SC-1 اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه توسط دماسنج مادون قرمز مدل KYORITSU 5500، ابتدا یک ضریب حساسیت تابش با توجه به اختلاف دمای برگ و محیط و رنگ برگ تعیین گردید. سپس با تنظیم این ضریب در

www.SID.ir

Archive of SID

دستگاه، دمای پوشش سبز گیاه روی برگ‌های سبز و سالم تعیین گردید. تعداد خوشه در همه بوته‌های یک گلدان شمرده شد و سپس از آن‌ها میانگین گرفته شد تا تعداد خوشه در هر گلدان به‌دست آید. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در خوشه از هر تیمار به‌صورت تصادفی خوشه‌هایی انتخاب شد و پس از جداسازی دانه، دانه‌ها شمارش شده و از تقسیم تعداد دانه در تعداد خوشه، میانگین تعداد دانه در هر خوشه به‌دست آمد. به‌منظور محاسبه محصول دانه، کل خوشه‌های برداشت‌شده از هر تیمار جدا شد و بعد از جداسازی دانه، دانه‌ها با ترازوی دیجیتال وزن شدند و محصول دانه در هر گلدان به‌دست آمد. بعد از برداشت و جداسازی دانه از کاه و کلش، از هر تیمار تعداد ۲۰۰ دانه شمارش و وزن آن‌ها را تعیین کرده و در نهایت با ضرب‌کردن در ۵، مقدار وزن هزاردانه برای هر تیمار به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، کل بوته از داخل گلدان‌ها برداشت شد، به این‌صورت که بوته از سطح خاک بریده شد و پس از قرارگیری در آون (به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد) وزن خشک آن تعیین گردید. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح آبیاری، بیوچار و اثر متقابل آن‌ها بر آب مصرفی و اجزای محصول گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف بیوچار بر آب مصرفی، تعداد خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزاردانه، محصول دانه و وزن خشک اندام هوایی گیاه گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و بیوچار موجب بهبود رشد و محصول گندم شد. در تیمار کم‌آبیاری نیز نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف کم‌آبیاری بر آب مصرفی، تعداد خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزاردانه، محصول دانه و وزن خشک اندام هوایی گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل سطوح مختلف بیوچار و کم‌آبیاری بر آب مصرفی معنی‌دار بود، درحالی‌که بر اجزای محصول گندم از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲).

آب مصرفی

مقایسه اثر متقابل تیمار آبیاری و بیوچار بر مقدار آب مصرفی در کل طول دوره رشد در جدول (۳) آورده شده است. شایان ذکر است که با توجه به قابلیت نگهداشت آب در خاک حاوی بیوچار، صرفاً گلدان‌های بدون بیوچار و بیوچار ۱/۲۵ درصد وزنی و تحت آبیاری کامل زهکش داشتند که مقدار آن در طول فصل رشد در تیمارهای $B_0I_{100\%}$ و $B_{1.25}I_{100\%}$ به‌ترتیب برابر با ۹/۶۱ و ۰/۳۸ میلی‌متر بود. نتایج نشان داد که افزودن بیوچار در هر سطح آبیاری سبب کاهش مقدار آب مصرفی گیاه گندم شد. در همین راستا، در تحقیقی بیان شد که میزان تخلخل خاک در خاک لوم شنی پس از برداشت گیاه باقلا در سطوح بیوچار ۱/۲۵، ۲/۵، ۳/۷۵ و ۵ درصد وزن، ۱/۲، ۱/۳، ۱/۶ و ۱/۵ برابر سطح شاهد بدون بیوچار بود که سبب گردید ظرفیت نگهداشت آب خاک در تیمارهای حاوی بیوچار بیش‌تر از سطح بیوچار شاهد (بدون بیوچار) گردد. از طرف دیگر، در هر سطح بیوچار، با کاهش مقدار آب آبیاری از مقدار آب مصرفی نیز کاسته شد (۳۲).

ارتفاع گیاه

نتایج اندازه‌گیری ارتفاع گیاه گندم (cm) در طول فصل رشد نشان داد که با افزودن بیوچار به خاک، ارتفاع گیاه در تیمار $B_{1.25}$ افزایش و در تیمارهای $B_{2.50}$ و $B_{3.75}$ نسبت به تیمار شاهد (B_0) کاهش یافت (شکل ۱).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح آبیاری، بیوچار و اثر متقابل آن‌ها بر آب مصرفی و محصول گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	آب مصرفی	تعداد خوشه	تعداد دانه در خوشه گندم	وزن هزاردانه	محصول دانه	وزن خشک اندام هوایی
سطوح بیوچار	۳	۱۰۰۳۶۴۰**	۴/۲۸**	۵۷۸/۸۹**	۴۴۵/۷۳**	۱۹۰/۰۵**	۲۵۹۷/۷۲**
سطوح آبیاری	۲	۲۰۶۶۶۷۸**	۲/۳۱**	۱۱۱/۵۸**	۴۴۶/۳۳**	۳۲۹/۵۱**	۷۰۰/۷۷**
اثر متقابل	۶	۴۳۷۸۲**	۰/۱۵^{ns}	۷/۴۷^{ns}	۲۲/۸۱^{ns}	۶/۸۶^{ns}	۴۹/۰۴^{ns}
خطا	۲۴	۱۰۱۹۶	۰/۱۴	۹/۶۴	۱۹/۲۵	۴/۸۷	۳۰/۴۳

** با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۳. اثر برهمکنش تیمارهای بیوچار (B) و آبیاری (I) بر آب مصرفی گیاه گندم (mm)

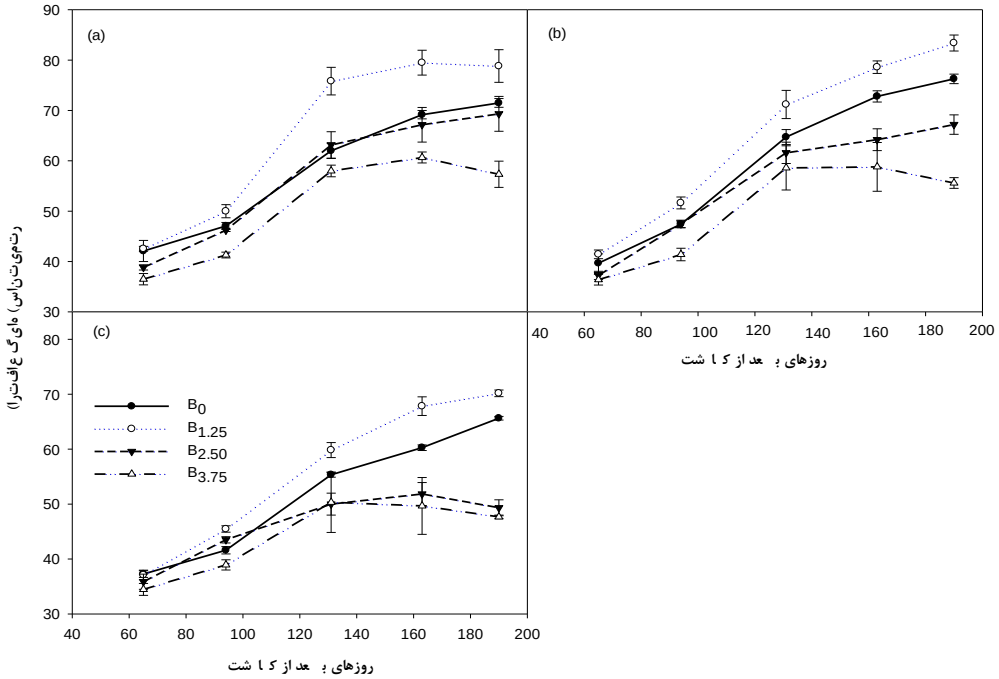
		سطوح بیوچار (درصد)			
		صفر	۱/۲۵	۲/۵۰	۳/۷۵
سطوح آبیاری	$I_{100\%}$	۲۴۳۰^{a*}	۲۲۰۷^{b}	۲۰۸۷^{bc}	۱۴۱۷^{e}
	$I_{75\%}$	۲۰۳۱^{bc}	۱۹۱۴^{cd}	۱۷۸۱^{d}	۱۲۱۲^{f}
	$I_{50\%}$	۱۳۹۴^{ef}	۱۲۷۷^{ef}	۱۲۶۷^{ef}	۹۲۱^{g}

* حروف مشابه کوچک نشان‌دهنده نبودن اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین برهمکنش تیمار بیوچار و تیمار آبیاری می‌باشد.

در تیمارهای آبیاری نیز، ارتفاع گیاه در تیمار $I_{50\%}$ نسبت به $I_{100\%}$ کاهش داشت. در واقع کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز موجب نقصان پتانسیل فشاری شده و در نتیجه مانع بزرگ‌شدن سلول‌ها می‌شود. به‌طورکلی در بسیاری از گیاهان خانواده گندمیان تنش کمبود آب سبب تأخیر در طویل‌شدن ساقه می‌شود که این امر موجب کاهش فاصله میان گره‌ها و در نتیجه کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (۱۳). هم‌چنین اندازه‌گیری در روز ۱۶۳ام پس از کاشت (مرحله پرشدن دانه) نیز نشان داد که ارتفاع گیاه در تیمار $B_{1.25}$ به‌میزان ۱۱/۷ درصد نسبت به B_0 افزایش یافت و ارتفاع گیاه در تیمارهای بالای بیوچار $B_{2.50}$و $B_{3.75}$ به‌ترتیب ۹ و ۱۵/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد (B_0) کاهش یافت. بیوچار مورداستفاده در این تحقیق دارای هدایت الکتریکی عصاره اشباع ۹/۳ دسی‌زیمنس بر متر بود که این مسأله سبب کاهش رشد گیاه (جدول ۴) و به سبب آن کاهش ارتفاع گیاه در تیمارهای با سطح کاربرد بالای بیوچار شد. ارتفاع گیاه در تیمارهای آبیاری $I_{75\%}$ و $I_{50\%}$ به‌ترتیب ۱۰ و ۱۹ درصد نسبت به $I_{100\%}$ کاهش یافت (شکل ۱). بررسی اثر متقابل دو تیمار بیوچار و کم‌آبیاری نیز در ۱۶۳ روز پس از کاشت نشان می‌دهد که ارتفاع گیاه درتیمار $B_{1.25}I_{50\%}$ با تیمار شاهد $B_0I_{100\%}$ اختلاف معنی‌داری نداشت که این نتیجه نشان‌دهنده عدم تأثیر تنش آبی ۵۰ درصد بر ارتفاع گیاه در صورت کاربرد ۱/۲۵ درصد وزنی بیوچار می‌باشد. بیش‌ترین مقدار عددی ارتفاع گیاه، در تیمار $B_{1.25}I_{100\%}$ و کم‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار $B_{3.75}I_{50\%}$ دیده شد. در این راستا در تحقیقی اثر کاربرد بیوچار بر رشد گیاهان کاهو و کلم بررسی و گزارش شد که کاربرد سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم بیوچار تولیدشده از پوست برنج سبب افزایش نهایی زیست‌توده گیاهی و ارتفاع گیاهان در مقایسه با شاهد شد (۲۲). هم‌چنین با افزودن ۴ سطح بیوچار صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار تولیدشده از پوسته جو در خاک در کشت گیاه جو گزارش شد که افزودن بیوچار موجب افزایش ارتفاع گیاه جو نسبت به تیمار شاهد شده و بیش‌ترین افزایش ارتفاع گیاه نسبت به تیمار شاهد، با افزودن ۵ تن در هکتار بیوچار به‌دست آمد (۲۴).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. تغییرات ارتفاع گیاه گندم (cm) در سطوح مختلف بیوچار (B) و آبیاری (I) در روزهای بعد از کاشت. (a) سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{100\%}$)، (b) سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{75\%}$) و (c) سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{50\%}$). خطوط عمودی میزان خطای استاندارد را نشان می‌دهد.

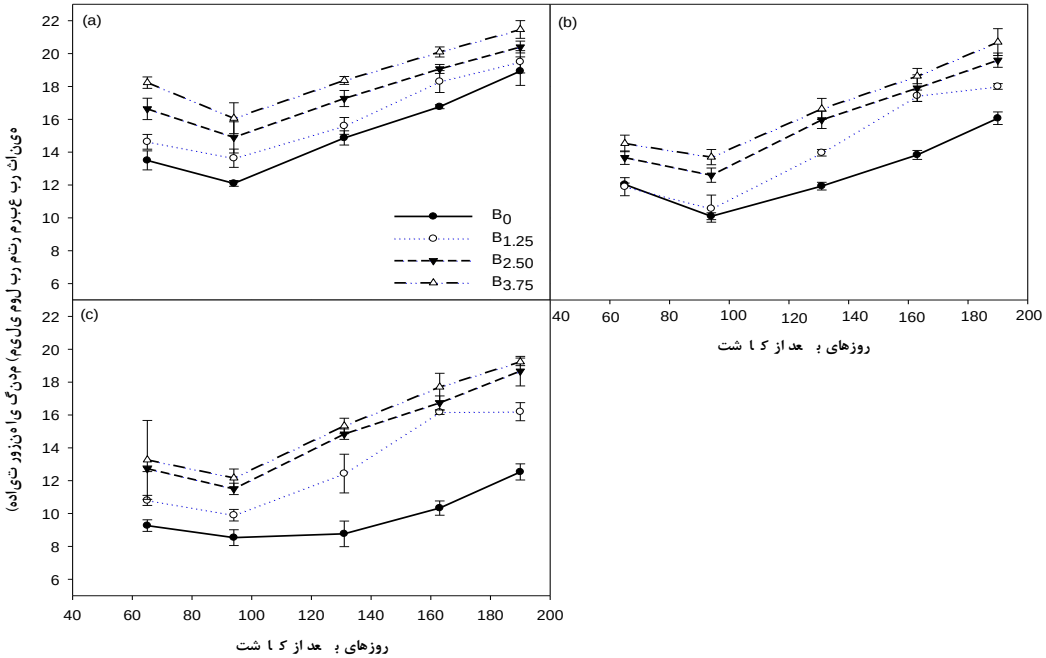
هدایت روزنه‌ای گیاه

هدایت روزنه‌ای گیاه گندم ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) در دو تیمار بیوچار و کم‌آبیاری در ۵ مرحله (۶۵، ۹۴، ۱۳۱، ۱۶۳ و ۱۹۰ روز پس از کاشت) در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد و نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است. بررسی شکل نشان داد که در تیمارهای آبیاری در طول فصل رشد اعمال کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{75\%}$ و $I_{50\%}$) موجب کاهش هدایت روزنه‌ای گیاه نسبت به تیمار شاهد ($I_{100\%}$) شد. کاهش محتوی نسبی آب برگ در اثر مواجهه گیاه با تنش خشکی و ارسال پیام از ریشه به برگ از جمله مهم‌ترین دلایل بسته‌شدن روزنه‌ها در اثر تنش خشکی در مرحله رویشی می‌باشد. گیاهان با شروع دوره خشکی تا مدتی تعرق و هدایت روزنه‌ای خود را در سطح حداکثر نگه می‌دارند ولی با تداوم دوره خشکی اقدام به کم‌کردن بازشدگی روزنه‌های خود و در نهایت بستن آن‌ها می‌نمایند (۳۰).

هم‌چنین در بررسی تیمار بیوچار نیز مشاهده گردید که در کلیه سطوح تیمار آب آبیاری، با افزودن بیوچار به خاک هدایت روزنه‌ای گیاه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت، به‌نحوی‌که در هر سه تیمار آبیاری، مقدار هدایت روزنه‌ای در تیمار $B_{3.75}$ بیش‌تر از B_0 بود (شکل ۲). بیوچار با بهبود خصوصیات خاک و دارابودن ظرفیت بالای نگهداشت آب در خاک سبب بهبود شرایط (از قبیل افزایش ظرفیت نگهداشت آب خاک (۵ و ۳۲)، افزایش تخلخل، افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی (۳۲)) برای رشد گیاه شد و به همین دلیل هدایت روزنه‌ای با افزودن بیوچار به خاک افزایش یافت (۱۵).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. هدایت روزنه‌ای گیاه گندم ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) در سطوح مختلف بیوچار (B) و آبیاری (I) در روزهای بعد از کاشت. (a) سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{100\%}$)، (b) سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{75\%}$) و (c) سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{50\%}$). خطوط عمودی میزان خطای استاندارد را نشان می‌دهد.

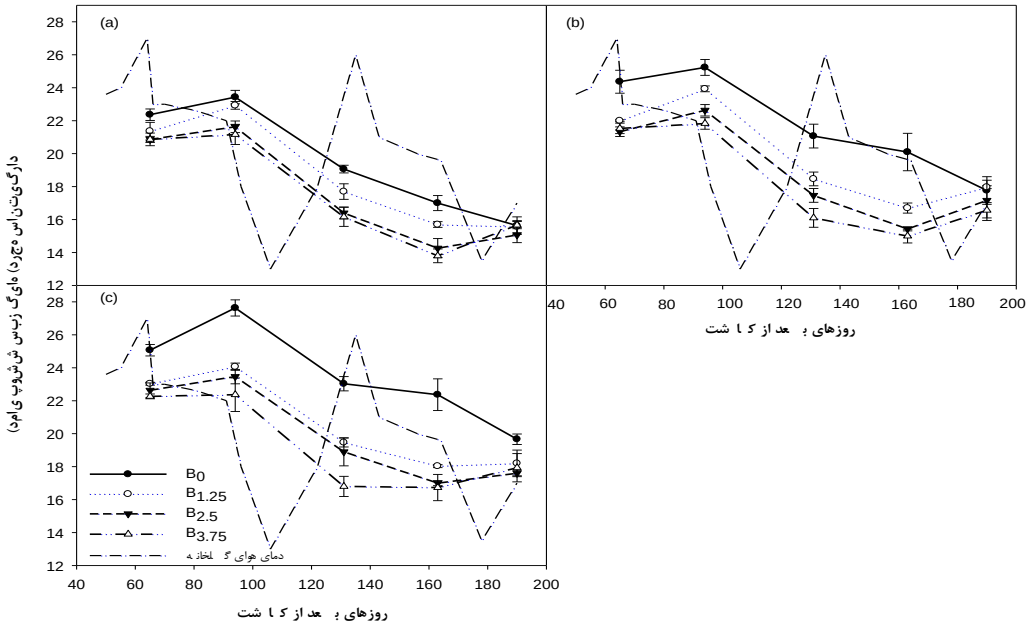
در روز ۱۶۳ام پس از کاشت (مرحله پرشدن دانه) مشاهده گردید که در تیمارهای $B_{1.25}$، $B_{2.50}$ و $B_{3.75}$ مقدار هدایت روزنه‌ای گیاه به‌ترتیب به‌میزان ۲۶/۸، ۳۱/۲ و ۳۷/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد B_0 افزایش یافت. هم‌چنین تیمار کم‌آبیاری $I_{75\%}$ و $I_{50\%}$ هدایت روزنه‌ای را به‌میزان ۶ و ۱۳/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد $I_{100\%}$ کاهش داد. بررسی اثر متقابل دو تیمار بیوچار و آبیاری در روز ۱۶۳ام پس از کاشت نشان داد که با افزودن ۱/۲۵ درصد وزنی بیوچار و در تنش رطوبتی ۵۰ درصد مقدار هدایت روزنه‌ای اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد $B_0I_{100\%}$ نداشت. هم‌چنین در روز ۱۶۳ام پس از کاشت، در آزمایشی اثر بیوچار تولیدشده از پوسته برنج و پوسته دانه کتان را در دو سطح صفر و ۵ درصد وزنی بر افزایش محصول و کیفیت گیاه گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف رطوبتی خاک بررسی و گزارش شد که تنش رطوبتی در تمام مراحل رشد، هدایت روزنه‌ای را کاهش داد و با افزودن بیوچار هدایت روزنه‌ای گیاه افزایش یافت (۱۷).

دمای پوشش سبز گیاه

دمای پوشش سبز در طول دوره رشد گیاه اندازه‌گیری شد و نتایج آن در شکل (۳) نشان داده شد. نتایج نشان داد که بیوچار با بهبود شرایط رشد گیاه و افزایش آب موجود در خاک (۵)، گیاه را کم‌تر در معرض تنش قرار داد و به‌همین سبب دمای پوشش سبز را در گیاه کاهش داد. هم‌چنین تیمارهای آبیاری $I_{75\%}$ و $I_{50\%}$ در طول فصل رشد سبب افزایش دمای پوشش سبز در گیاه شد. زیرا با اِعمال تنش خشکی، گیاه در معرض تنش قرار گرفته و دمای پوشش سبز در گیاه افزایش یافت.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. دمای پوشش سبز گیاه گندم (°C) در سطوح مختلف بیوچار (B) و آبیاری (I) و دمای هوای گلخانه در روزهای بعد از کاشت. (a) سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{100\%}$)، (b) سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{75\%}$) و (c) سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{50\%}$). خطوط عمودی میزان خطای استاندارد را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری دمای پوشش سبز در مراحل انتهایی رشد در روز ۱۶۳ام پس از کاشت نیز نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان دمای پوشش سبز در دو تیمار $B_0I_{50\%}$ و $B_{3.75}I_{100\%}$ مشاهده شد. از طرف دیگر، افزودن بیوچار به خاک به‌میزان $B_{1.25}$، $B_{2.50}$ و $B_{3.75}$ سبب کاهش دمای پوشش سبز به‌ترتیب به‌میزان ۱۵/۲، ۲۱/۴ و ۲۳/۴ درصد شد. در تیمارهای کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نیز مشاهده می‌گردد که تنش خشکی سبب افزایش دمای پوشش سبز به‌ترتیب به‌میزان ۹ و ۱۹/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. در روز ۱۶۳ام بعد از کاشت در تیمار شاهد بدون بیوچار (B_0) اعمال تنش رطوبتی دمای پوشش سبز را افزایش داد و این افزایش نسبت به تیمار شاهد ($I_{100\%}$) معنی‌دار بود. ولی با افزودن بیوچار به خاک، با بهبود شرایط خاک و افزایش نگهداری آب در خاک، گیاه را کم‌تر در معرض خطر تنش قرار داد و بیوچار تا حدودی اثرات منفی کم‌آبیاری را جبران کرد به‌نحوی‌که در هر سطح بیوچار، بین تیمار خشکی ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{75\%}$) و تیمار شاهد ($I_{100\%}$) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

تعداد خوشه گندم

نتایج مقایسه میانگین‌های تعداد خوشه گندم در گیاه نشان می‌دهد که با افزودن بیوچار به خاک تعداد خوشه در تیمار $B_{1.25}$ به‌میزان ۳۴/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد (B_0) افزایش یافت (جدول ۴). این افزایش به‌دلیل شرایط مناسب رشد گیاه به‌واسطه افزودن بیوچار در خاک می‌باشد، زیرا بیوچار با حفظ بیش‌تر آب و مواد غذایی در خاک سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شده و همین امر رشد گیاه را افزایش داده است (۲۶).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. تعداد خوشه در گیاه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزاردانه (g)، محصول دانه ($g\ pot^{-1}$) و وزن خشک اندام هوایی تحت سطوح مختلف بیوچار (B) و کم‌آبیاری (I)

تیمار	سطوح	تعداد خوشه در گیاه	تعداد دانه در خوشه	وزن هزاردانه (g)	محصول دانه (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)
بیوچار (درصد)	صفر	۲/۸^{b*}	۳۲/۴^{b}	۴۲/۲^{b}	۱۶/۹^{b}	۵۶/۴^{b}
	۱/۲۵	۳/۷^{a}	۳۶/۱^{a}	۵۴/۱^{a}	۲۲/۹^{a}	۶۵/۰^{a}
	۲/۵۰	۲/۴^{c}	۲۳/۴^{c}	۴۵/۹^{b}	۱۶/۸^{b}	۳۹/۵^{b}
	۳/۷۵	۲/۲^{c}	۱۸/۷^{d}	۳۷/۴^{c}	۱۱/۶^{c}	۲۷/۰^{c}
آبیاری (درصد)	۱۰۰	۳/۲^{A}	۳۰/۶^{A}	۵۱/۳^{A}	۲۲/۲ ^{A}	۵۴/۶^{A}
	۷۵	۲/۷^{B}	۲۷/۹^{B}	۴۴/۲^{AB}	۱۷/۳^{B}	۴۶/۹^{B}
	۵۰	۲/۴^{C}	۲۴/۵^{C}	۳۹/۱^{B}	۱۱/۷^{C}	۳۹/۳^{C}

* در هر ستون، حروف مشابه کوچک و بزرگ، به‌ترتیب نشان‌دهنده نبودن اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین اثر سطوح مختلف تیمار بیوچار و تیمار آبیاری می‌باشد.

با افزودن مقادیر بالای بیوچار در تیمارهای $B_{2.5}$ و $B_{3.75}$ تعداد خوشه روندی کاهشی داشت و این کاهش احتمالاً به‌دلیل شورشدن خاک به‌واسطه مقادیر بالای بیوچار (مقدار هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در سطوح بیوچار B_0، $B_{1.25}$، $B_{2.5}$ و $B_{3.75}$ و در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب برابر با ۱/۰۶، ۵/۱۳، ۷/۰۵ و ۸/۹۱ دسی‌زیمنس بر متر) و هم‌چنین کمبود تهویه مناسب در خاک (حفظ رطوبت بیش‌تر در خاک در حضور بیوچار و عدم وجود زهکش (۳۲)) بود. در همین ارتباط در تحقیقی اثر بیوچار تولیدشده از بستر بلدرچین بر محصول سویا بررسی و گزارش شد که با افزایش بیوچار تعداد غلاف سویا افزایش یافت (۳۸). بررسی مقایسه میانگین‌ها در تیمار آبیاری نشان می‌دهد که در کم‌آبیاری تعداد خوشه در گیاه روندی کاهشی داشت و این کاهش در تیمارهای $I_{75\%}$ و $I_{50\%}$ به‌ترتیب ۱۷/۹ و ۲۸/۳ درصد نسبت به تیمار شاهد $I_{100\%}$ کاهش یافت. معمولاً تنش‌های رطوبتی قبل از ظهور سنبله، با کاهش تعداد پنجه‌ها، باعث کاهش تعداد سنبله بارور و در نهایت محصول می‌گردد. این امر در واکنش به کمبود منابعی مثل رطوبت رخ می‌دهد (۲۳).

تعداد دانه در خوشه

میانگین تعداد دانه در خوشه در هر تیمار نشان می‌دهد که کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی تعداد دانه در خوشه را کاهش داد. به‌طوری‌که در تیمارهای $I_{75\%}$ و $I_{50\%}$ تعداد دانه در خوشه به‌ترتیب به‌میزان ۸/۷ و ۲۲/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد ($I_{100\%}$) کاهش یافت (جدول ۴). در واقع خشکی به‌طور غیرمستقیم، میزان مواد فتوسنتزی صادرشده از برگ‌ها را کاهش می‌دهد، زیرا انتقال شیره از آوند آبکش وابسته به پتانسیل فشاری است که در طی تنش کم‌آبی، پتانسیل آب در آوند آبکش کاهش و کاهش در پتانسیل فشاری نیز از انتقال مواد فتوسنتزی می‌کاهد که این امر آسیب‌پذیری تشکیل دانه را در شرایط کم‌آبی افزایش می‌دهد (۱۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها در تیمار بیوچار نشان داد که با افزودن بیوچار به خاک مقادیر تعداد دانه روندی کاهشی نسبت به تیمار شاهد (B_0)

www.SID.ir

Archive of SID

داشت، به‌جز در تیمار $B_{1.25}$ که تعداد دانه در خوشه افزایش ۱۱/۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد (B_0) داشت. در تحقیقی بیان شد که اعمال ۳۰ تن در هکتار بیوچار در خاک موجب افزایش طول بلال و تعداد دانه در گیاه شد (۱۹). هم‌چنین افزودن بیوچار تولیدشده از چوب درخت، سبب افزایش تعداد دانه در خوشه گندم شده است (۱۸).

وزن هزاردانه گندم

وزن هزاردانه گندم (g) در تیمارهای بیوچار و آبیاری در جدول ۴ آورده شده است. بررسی مقایسه میانگین سطوح مختلف بیوچار نشان می‌دهد که با افزودن مقادیر پایین بیوچار (۱/۲۵ درصد وزنی) بیش‌ترین وزن هزاردانه نسبت به تیمار شاهد و سایر سطوح بیوچار به‌دست آمد، به‌طوری‌که وزن هزاردانه در تیمار $B_{1.25}$ بیش از ۲۸ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد (B_0) داشت. در تیمار $B_{2.50}$ نیز افزایش ۸/۶ درصدی وزن هزاردانه مشاهده شد که البته این افزایش نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبود. در همین ارتباط در تحقیقی افزایش محصول گندم تحت تأثیر بیوچار بررسی و گزارش شد که کاربرد سطوح ۰/۵، ۱ و ۲/۵ درصد وزنی از دو نوع بیوچار (بقایای گندم و بقایای هرس‌شده درخت زیتون) در ترکیب با کود معدنی سبب افزایش معنی‌دار در وزن هزاردانه و زیست‌توده گیاه شد که نشان‌دهنده مفیدبودن کاربرد بیوچار در خاک است (۱۸). هم‌چنین بررسی سطوح آبیاری نیز نشان می‌دهد که تنش خشکی سبب کاهش وزن هزاردانه گندم شد، به‌طوری‌که وزن هزاردانه در تیمار $I_{50\%}$ نسبت به تیمار شاهد ($I_{100\%}$) ۱۳ درصد کاهش معنی‌دار داشت. ولی در تیمار $I_{75\%}$ این کاهش نسبت به تیمار شاهد ($I_{100\%}$) معنی‌دار نبود. دلیل کاهش وزن هزاردانه در شرایط تنش آبی می‌تواند به این دلیل باشد که وقوع تنش موجب کاهش جذب آب و املاح و در نتیجه کاهش فتوسنتز برگ و تولید شیره پرورده گردیده است. هم‌چنین کاهش ۱۹ درصدی وزن هزاردانه گندم (رقم شیراز) در اثر تنش شدید آبی نسبت به تیمار شاهد در تحقیقی گزارش کردند (۴). در تحقیقی دیگر نیز در بررسی تأثیر سه رژیم آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد رطوبت قابل دسترس بر محصول و اجزای محصول ذرت دانه مشاهده شد که تعداد دانه در بلال و وزن هزاردانه مهم‌ترین صفات مؤثر در کاهش محصول ذرت، طی تنش خشکی بودند (۱۲).

محصول دانه

نتایج محصول دانه گندم (g/pot) در سطوح مختلف آبیاری و بیوچار در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که محصول دانه گندم در تیمار $B_{1.25}$ بیش‌ترین مقدار را داشت و حدوداً ۳۵/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد (B_0) افزایش یافت. در تیمار $B_{2.50}$ نیز اختلاف معنی‌داری در محصول دانه گندم با تیمار شاهد (B_0) مشاهده نشد. اثر بیوچار حاصل‌شده از کاه و کلش گندم بر محصول باقلا نشان داد که افزایش بیوچار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی سبب افزایش معنی‌دار دانه خشک باقلا نسبت به شاهد (B_0) گردید و افزایش بیش‌تر بیوچار تا سطح ۳/۷۵ درصد وزنی سبب کاهش معنی‌دار آن شد (۳۳). در نتایج حاصل از تحقیقی اعلام شد که با کاربرد ۶۰ تن در هکتار بیوچار تولیدشده از چوب جنگلی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ درصد افزایش محصول گندم مشاهده شد (۴۱). از طرف دیگر لازم به‌ذکر است که کاربرد سطوح بالاتر بیوچار ($B_{3.75}$)، سبب افزایش شوری و عناصر موجود در خاک شده (۳۴) و هم‌چنین آب زیادتر درون خاک (جدول ۲)، تهویه را درون خاک کم‌تر کرده و همین امر سبب پوسیدگی ریشه و ازبین‌رفتن بوته گیاه و کاهش محصول در گیاه شده است. در تحقیقی اثر ۷ سطح بیوچار بر روی محصول گندم مورد بررسی قرار گرفته است

www.SID.ir

Archive of SID

و نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار ۵-۲۰ تن در هکتار سبب افزایش محصول دانه گندم به‌میزان ۲/۹ تا ۱۹/۴ درصد در مقایسه با سطح شاهد (B_0) گردید، درحالی‌که سطوح بالاتر از ۳۰ تن در هکتار سبب کاهش محصول دانه شد (۳۷). در بررسی سطوح مختلف آبیاری مشاهده شد که کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، محصول دانه گندم را به‌میزان ۲۲/۹ و ۴۷/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. کاهش محصول دانه ناشی از تنش خشکی به‌علت اثرات منفی این تنش بر روی سطح برگ، فتوسنتز پوشش گیاهی، سرعت رشد محصول و اجزای محصول می‌باشد (۳۱).

وزن خشک اندام هوایی

نتایج وزن خشک اندام هوایی ($g\ pot^{-1}$) نشان می‌دهد که افزودن مقادیر پایین بیوچار تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی گندم داشت (جدول ۴) به‌طوری‌که در تیمار $B_{1.25}$ بیش‌ترین مقدار وزن خشک اندام هوایی (۶۵ گرم در گلدان) دیده شد و این تیمار افزایش ۱۵/۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد (B_0) نشان داد. ولی افزودن مقادیر بیش‌تر بیوچار در تیمارهای $B_{2.50}$ و $B_{3.75}$ موجب کاهش معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی (به‌ترتیب برابر با ۳۹/۵ و ۲۷ گرم در گلدان) نسبت به تیمار شاهد شد. افزایش وزن خشک اندام هوایی در اثر کاربرد بیوچار ($B_{1.25}$) به‌دلیل افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی در خاک (۳۲) و بهبود شرایط رشد گیاه و در نتیجه افزایش محصول می‌باشد و کاهش وزن خشک اندام هوایی در اثر کاربرد بیوچار ($B_{2.50}$ و $B_{3.75}$) می‌تواند به‌دلیل افزایش شوری ناشی از کاربرد بیوچار در مقادیر بالا باشد (۳۲). در تحقیقی که بر سطوح ۲ و ۴ درصد وزنی بیوچار تولیدشده از پوسته درخت کاج را بر رشد و محصول گیاه کاهو صورت گرفت، گزارش شد که وزن خشک گیاه با کاربرد ۲ درصد وزنی بیوچار افزایش یافت (۲۰).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی ارتفاع گیاه، هدایت روزنه‌ای و دمای پوشش سبز گیاه در تیمار حاوی بیوچار (خصوصا در $B_{1.25}$) نسبت به تیمار بدون بیوچار افزایش نشان داد که ناشی از توانایی بیوچار در نگهداشت رطوبت و کاهش اثر تنش خشکی بود. هم‌چنین محصول دانه گندم، وزن ماده خشک هوایی و اجزای محصول گیاه گندم در تیمار $B_{1.25}$ بیش‌ترین مقدار را نسبت به تیمار شاهد (B_0) داشت. کاربرد سطوح بالاتر بیوچار ($B_{3.75}$)، به‌دلیل افزایش شوری آب خاک و افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک و در نتیجه تهویه کم‌تر‌باعث کاهش محصول در گیاه شد. کاربرد کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، محصول دانه گندم را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. به‌طورکلی، سطح بیوچار ۱/۲۵ درصد وزنی و سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه با توجه به اثرات مثبت آن بر محصول و اجزای محصول گیاه گندم توصیه می‌گردد. علاوه بر آن توصیه می‌گردد که جهت عملی‌نمودن نتایج این تحقیق، علاوه بر انتخاب دقیق‌تر سطوح تیمارها با توجه به نتایج و یافته‌های این تحقیق برای شرایط مزرعه‌ای، جنبه‌های فنی و اقتصادی نیز موردمطالعه قرار گیرند.

سپاسگزاری

از حمایت مالی دانشگاه شیراز و حمایت مرکز مطالعات خشکسالی و قطب علمی مدیریت آب در مزرعه و هم‌چنین از صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران به‌خاطر امکاناتی که در اختیار نویسندگان قرار دادند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱. آمارنامه کشاورزی (۱۳۹۵). وزارت جهاد کشاورزی. ۴۸ صفحه.

www.SID.ir

Archive of SID

۲. بهشتی، م. و علیخانی، ح. (۱۳۹۵). تغییرات کیفیت بیوچار تولیدشده از کاه و کلش گندم در طی فرآیند پیرولیز آهسته در دماهای مختلف. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۶ (۲): ۲۰۱-۱۸۹.

۳. خادم، ا.، رئیسی، ف. و بشارتی، ح. (۱۳۹۶). مروری بر اثرات کاربرد بیوچار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک. مدیریت اراضی. ۵ (۱): ۳۰-۱۳.

۴. رخ‌افروز، خ.، امام، ی. و پیراسته انوشه، ه. (۱۳۹۵). اثر کلرمکوات کلراید بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گندم تحت شرایط تنش خشکی. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۶ (۲۰): ۲۲-۱۱.

۵. رزاقی ف. و رضایی، ن. (۱۳۹۶). اثر سطوح مختلف بیوچار بر خواص فیزیکی خاک با بافت‌های مختلف. حفاظت منابع آب و خاک. ۷ (۱): ۸۸-۷۵.

۶. شایان‌نژاد، م. (۱۳۸۹). تأثیر کم‌آبیاری بر روی خواص کمی گندم و تعیین عمق آب مصرفی بهینه در شهرکرد. مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱ (۲): ۳۶-۲۴.

۷. طهرانی، م.م.، بلالی، م.ر.، مشیریف ف. و دریاشناس، ع. (۱۳۹۱). توصیه و برآورد کود در ایران: چالش‌ها و راه‌کارها. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۲۶ (۲): ۱۴۴-۱۲۳.

۸. فیضی‌زاده، ب.، ابدالی، ح.، رضایی، م. و محمدی، غ. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی قابلیت کشت گندم دیم در سطح استان آذربایجان‌شرقی با استفاده از تحلیل‌های مکانی GIS. پژوهش‌های کاربردی زراعی (پژوهش و سازندگی). ۲۵ (۳): ۹۱-۷۵.

۹. قاسمی، ا.، قربانی، غ. ر. و خوروش، م. (۱۳۹۵). تأثیر تغذیه کاه گندم و سیلاژ کاه گندم فرآوری‌شده با سود، ملاس و دانه گندم بر عملکرد گاوهای شیرده. علوم دامی (پژوهش و سازندگی). ۲۹ (۱۱۲): ۴۶-۳۳.

۱۰. کریمی کاخکی، م. و سپهری، م. (۱۳۸۹). اثر کم‌آبیاری در دوره زایشی بر انتقال مجدد ماده خشک چهار رقم آفتابگردان. علوم زراعی ایران. ۱۲ (۴): ۴۳۵-۴۲۲.

۱۱. گویلی، ا.، موسوی، س. ع. ع.، و کامگار حقیقی، ع. ا. (۱۳۹۵). اثر بیوچار کود گاوی و تنش رطوبتی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب اسفناج در شرایط گلخانه‌ای. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰ (۲): ۲۵۹- ۲۴۳.

۱۲. لک، ش.، نادری، ا.، سیادت، س. ع.، آینه‌بند، ا.، نور محمدی، ق. و موسوی، س. ه. (۱۳۸۶). تأثیر سطوح مختلف آبیاری، نیتروژن و تراکم بوته بر محصول، اجزای محصول و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذرت دانه‌ای در شرایط آب‌وهوایی خوزستان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۲ (۱): ۱۴-۱.

۱۳. نباتی، ج. (۱۳۸۳). اثر فواصل آبیاری بر خصوصیات زراعی، مورفولوژیکی و کیفی ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۴. یوسفی، م.، دانشیان، ج.، شیرانی‌فرد، ا. ح.، ولدآبادی، س. ع. و سیف‌زاده، س. (۱۳۹۷). عملکرد و کارآیی مصرف نیتروژن کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تأثیر نیتروژن و رژیم‌های آبیاری. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۸ (۳): ۴۱-۲۹.

15. Ahmed F, Arthur E, Plauborg F and Andersen MN (2016) Biochar Effects on Maize Physiology and Water Capacity of Sandy Subsoil. *Mechanization in Agriculture and Conserving of the Resources* 6: 8-13.

16. Akhtar SS, Andersen MN and Liu F (2015) Biochar mitigates salinity stress in potato. *Agronomy and Crop Science* 201: 368-378.

17. Akhtar SS, Li G, Andersen MN and Liu F (2014) Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management* 138: 37-44.

www.SID.ir

Archive of SID

18. Alburquerque JA, Salazar P, Barron V, Torrent J, del Campillo MDC, Gallardo A and Villar R (2013) Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy Sustainable Development* 33:475-484.
19. Arif M, Ali A, Umair M, Munsif F, Ali K, Inamullah MS and Ayub G (2012) Effect of biochar FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield and yield components of maize. *Agriculture* 28: 191-195.
20. Artiola JF, Rasmussen C and Freitas R (2012) Effects of a biochar-amended alkaline soil on the growth of romaine lettuce and bermudagrass. *Soil Science* 177: 561-570.
21. Beesley L and Dickinson N (2011) Carbon and trace element fluxes in the pore water of an urban soil following greenwaste compost, woody and biochar amendments, inoculated with the earthworm Lumbricus terrestris. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 188-196.
22. Carter S, Shackley S, Sohi S, Suy TB and Haefele S (2013) The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy* 3: 404-418.
23. Chu CJ, Weiner J, Maestre FT, Wang YS, Morris C, Xiao S, Yuan JL, Du JZ and Wang G (2010) Effects of positive interactions, size symmetry of competition and abiotic stress on self-thinning in simulated plant populations. *Annals of Botany* 106: 647-652.
24. Curaqueo G, Meier S, Khan N, Cea M and Navia R (2014) Use of biochar on two volcanic soils: effects on soil properties and barley yield. *Soil Science and Plant Nutrition* 14: 911-924.
25. Demiral T & Türkan I (2004) Does exogenous glycinebetaine affect antioxidative system of rice seedlings under NaCl treatment?. *Journal of Plant Physiology* 161: 1089-1100.
26. Ding Y, Liu YX, Wu WX, Shi DZ, Yang M and Zhong ZK (2010) Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. *Water Air and Soil Pollution* 213: 47-55.
27. Kirda C (2002) Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. *Food and Agricultural Organization of the United Nations, Deficit Irrigation Practices, Water Reports* 22: 98-102.
28. Knudsen D, Peterson GA and Pratt PF (1982) Lithium, sodium, and potassium: Methods of soil analysis. Madison, WI: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
29. Lei O and Zhang R (2013) Effects of bio-chars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. *Soils and Sediments* 13: 1561-1572.
30. Lopez FB, Setter TL and Mc David CR (1988) Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in response to water deficit and recovery. *Crop Science* 28: 141-145.
31. Pannu RK and Singh DP (1993) Effect of irrigation on water use, water-use efficiency, growth and yield of mungbean. *Field Crops Research* 31: 87-100.
32. Razzaghi F, Poormansour S and Sepaskhah AR (2018) Effects of wheat straw biochar and irrigation water on hydraulic and chemical properties of a sandy loam soil under faba bean cultivation. Accepted for publication in *Iran Agricultural Research*.
33. Rezaie N, Razzaghi F and Sepaskhah AR (2019) Different levels of irrigation water salinity and biochar influence on faba bean yield, water productivity, and ions uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 50: 611-626.
34. Rhoades JD (1996) Salinity: Electrical conductivity and total dissolved salts: Methods of Soil Analysis. Madison, WI: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
35. Richards LA (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science* 78: 154-158.
36. Smider B and Singh B (2014) Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 191: 99-107.
37. Sun H, Shi W, Zhou M, Ma X and Zhang H (2019) Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil. *Plant, Soil and Environment* 65: 83-89.
38. Suppadit T, Phumkokrak N and Poungsuk P (2012) The effect of using quail litter biochar on soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) production. *Agricultural Research* 72: 244-250.
39. Thomas GW (1996) Soil pH and soil asidity: Method of Soil Analysis. Madison, WI: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
40. Uzoma KC, Inoue M, Andry H, Fujimaki H, Zahoor A and Nishihara E (2011) Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use and Management* 27: 205-212.
41. Vaccari FP, Baronti S, Lugato E, Genesio L, Castaldi S, Fornasier F and Miglietta F (2011) Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Agronomy* 34: 231-238.
42. Zimmerman AR, Gao B and Ahn MY (2011) Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 1169-1179.

www.SID.ir