University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 15, No. 4, pp. 907-920 (Winter 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4142.1977

Original article

The effect of wood vinegar and biochar on the quantitative and qualitative yield of soybean in water shortage condition

S. Amini Pak Soltani[1], S.A.M. Modarres-Sanavy[2*], K. Sadat Asilan[3]

1. Master student of Crop Physiology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2. Professor in Crop Physiology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3. Associate Professor, Agrotechnology, Tehran Branch, Payame Noor University of Tehran, Tehran, Iran

Received 16 February 2021; Accepted 13 June 2021

Extended abstract

Introduction

Iran with an average rainfall of 240 mm per year is classified as arid and semi-arid regions of the world, so the occurrence of drought stress during plant growth is inevitable. In order to investigate the effect of biochar and wood vinegar on quantitative and qualitative characteristics of soybean under low irrigation stress, an experiment was conducted as split plots in a randomized complete block design with three replications during the 1398 crop season in the research farm of Tarbiat Modares, Faculty of Agriculture. The aim of this study was to investigate the effect of biochar and wood vinegar as organic sources on soybean nutrition as an important plant in the production of oil and protein needed by humans, through which the effect of these two treatments on plant resistance to water deficit stress.

Materials and methods

The main factors of this experiment were four irrigation regimes (Optimal irrigation, mild, medium, and severe irrigation deficit: withholding irrigation until the soil moisture content at plant root zone reaches 85, 65, 45 and 25%, of the soil available water respectively, and then irrigation to the field capacity). Water deficit stress was applied at the beginning of flowering of the plant and the sub-factors were anti-stress materials, ie three concentrations of wood vinegar (concentrations of 5000 ppm, 10000 ppm and 15000 ppm) and a biochar surface (5 t / ha) and control treatment (without anti-stress materials). Before planting, wood and biochar treatments were sprayed on soil surface according to the ratio of each experimental unit and post-growing wood vinegar treatment was applied at three-leaf, early flowering and podding stages as foliar application. Yield and yield components including plant height, plant leaf area, number of plant pods, 1000-seed weight and biological yields, seeds, straw and oil and greenness index were measured.

Results and discussion

The results showed that drought stress had a significant effect on height, plant leaf area, number of pods per plant, biological yields, grain yield, straw and oil yield and 1000-seed weight and decreased with the application of water deficit stress. Fertilizer treatments were not significant on plant height, pod number

[*] Corresponding author: Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy; E-Mail: modaresa@modares.ac.ir

© 2022, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

and straw yield but had a significant effect on other traits. The interaction effects of irrigation and fertilizer treatments on plant leaf area, biological yield, grain yield and oil yield were significant .

Conclusions

The results of this study showed that the occurrence of drought stress has a negative effect on yield and yield components of soybeans. The highest plant leaf area, biological, grain and oil yield in optimal irrigation were related to biochar fertilizer treatment. According to the results of the study, it seems that in conditions of water shortage stress, the use of biochar will not be very beneficial. In these conditions, the use of wood vinegar is recommended for mild, moderate and severe water deficiency, maximum plant leaf area and biological, grain and oil yields were observed with the use of wood vinegar. Researchers have identified pyroligneous acid as a turning point in organic farming that has a major impact on the management and growth of maize and soybeans (Coffman et al., 2005). Wood vinegar and biochar, as organic matter and naturally derived habitat, can be redirected to improve crop yields under environmental stress.

***Keywords*:** Drouth stress, Irrigation Regimes, Oil seeds, Organic Fertilizers, Yield Components

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4142.1977

مقاله پژوهشی

تأثیر سرکه چوب و بیوچار بر عملکرد کمی و کیفی گیاه سویا در شرایط تنش کمبود آب

سارا امینی پاک سلطانی[1*]، سید علی‌محمد مدرس‌ثانوی[2]، کمال سادات‌اسیلان[3]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲. استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲. دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
اجزای عملکرد
تنش خشکی
دانه‌های روغنی
رژیم‌های آبیاری
کودهای آلی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۳/۲۳

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۱

۱۵(۴): ۹۰۷-۹۲۰

چکیده

هدف پژوهش حاضر بررسی تاثیر بیوچار و سرکه چوب در تغذیه گیاه سویا به‌عنوان گیاهی پراهمیت در زمینه تولید روغن و پروتئین مورد نیاز انسان است، که از این طریق تأثیر این دو تیمار بر مقاومت گیاه به تنش خشکی به‌عنوان تنش مطرح محیطی در ایران شناخته شود. به این منظور آزمایشی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در طول فصل زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی تربیت مدرس انجام شد. عامل اصلی این آزمایش شامل چهار رژیم آبیاری (تنش کمبود آب شدید، متوسط و ملایم و آبیاری مطلوب) و عامل فرعی شامل مواد ضد تنش یعنی سه غلظت سرکه چوب (غلظت‌های ppm5000، ppm10000 و ppm 15000) و یک سطح بیوچار (۵ تن در هکتار) و تیمار شاهد (بدون مواد ضد تنش) بودند. تنش کمبود آب در اوایل گلدهی گیاه اعمال شد. نتایج نشان داد تنش کمبود آب باعث کاهش معنی‌داری بر صفات ارتفاع، سطح برگ، تعداد غلاف در بوته، عملکردهای بیولوژیک، دانه، کاه، روغن و وزن هزار دانه شد. به‌طورکلی تیمار کودی (شامل سطوح سرکه چوب و بیوچار) در جدول آنالیز واریانس برای صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف و عملکرد کاه معنی‌دار نبود، اما بر سایر صفات اثر معنی‌داری داشت. ترکیب تیماری روی سطح برگ و عملکردهای بیولوژیک، دانه و روغن در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. به‌طورکلی استفاده از بیوچار در شرایط مطلوب آبیاری و سرکه چوب در شرایط تنش کمبود آب موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه به تنش شده است.

مقدمه

ایران با متوسط نزولات آسمانی ۲۴۰ میلی‌متر در سال، در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود لذا وقوع تنش خشکی در دوره رشد گیاهان امری اجتناب‌ناپذیر است (Sarmadniya., 1994). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدودکننده تولید در گیاهان زراعی در سرتاسر جهان است (Omidi et al., 2012). تنش خشکی مهم‌ترین عاملی است که اثر منفی روی کلیه فرآیندهای رشد گیاهان زراعی ازجمله عملکرد پروتئین و روغن سویا می‌گذارد (Manavalan et al., 2009). سرکه چوب از فرآیند سوختن بقایای گیاهان و یا حیوانات به دست می‌آید. در تولید سرکه چوب بسیاری از مواد خام همانند زغال‌سنگ، چوب و پسماندهای محصولات جنگلی و کشاورزی مورداستفاده قرار می‌گیرند (Burnette, 2010). پیرولیگنئوس اسید از جمع‌آوری، تقطیر و فشرده‌سازی گازهای حاصل از چرخه تولید زغال چوب تولید می‌شود که در صنایع غذایی، داروسازی، کشاورزی و دام‌پروری استفاده‌های مختلفی برای آن وجود دارد (Tiilikkala et al., 2010; Guillen and Manzanos, 2002). در کشاورزی پیرولیگنئوس اسید به‌منظور کنترل آفات، حاصلخیزی خاک و تحریک رشد گیاهان استفاده می‌شود.

* نگارنده پاسخگو: سیدعلی‌محمد مدرس‌ثانوی. پست الکترونیک: modaresa@modares.ac.ir

مهم‌ترین ترکیبات پیرولیگنئوس اسید متانول و استیک اسید است. سایر ترکیبات شامل استون، متیل استون، استالدئید، فرفورال و فورمیک اسید، پروپیونیک اسید و بوتیریک اسید و ۱۵ عنصر از عناصر کم‌مصرف و پرمصرف است؛ که شامل پتاسیم، مس، منیزیم، سدیم، فسفر، بور، آهن، کلسیم، روی، مولیبدن و به مقدار ناچیز از عناصر کروم، سرب، آلومینیوم، آلومینیوم و کادمیوم است (Zulkarami et al., 2011). گزارش شده است که سرکه چوب کیفیت خاک را بهبود می‌بخشد، آفات را از بین می‌برد و رشد گیاه را تسریع می‌کند (Apai and Thongdeethae, 2001). بنابراین کاربرد سرکه چوب به‌عنوان کود زیستی تخمیر شده برای سویا یک روش کشاورزی ارگانیک است که ممکن است به کاهش استفاده از سموم و کودها کمک کند.

بیوچار[1] عبارت است از زغال تهیه‌شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی که به‌عنوان کود استفاده می‌شود و خاک می‌تواند آن را به مدت هزاران سال در خود نگه دارد. بیوچار شامل کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، گوگرد و خاکستر در مقادیر متنوع است (Smider and Singh, 2014). پیرولیز این‌گونه مواد باعث تولید توأم انرژی و بیوچار شده که مقادیر نسبتاً زیادی از عناصر مغذی گیاهی مانند فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم دارد. اضافه کردن مواد بیوچار شده به خاک ترکیب شیمیایی ماده آلی خاک را با جذب کربن آلی محلول تغییر می‌دهد (Pitikainen et al., 2000). از اثرات سودمند کاربرد بیوچار در خاک‌های کشاورزی می‌توان به افزایش مواد آلی، بهبود نگهداری آب در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تعامل با چرخه مواد غذایی خاک از طریق تعدیل pH خاک و کاهش آبشویی عناصر غذایی و همچنین کاهش نیاز به آبیاری و نیاز کودی اشاره کرد (Nishio, 1996; Rondon et al., 2007; Mia et al., 2014). . استفاده از بیوچار می‌تواند سبب افزایش حدود ۲۵ درصدی عملکرد گیاهان زراعی شود (Jha et al., 2010). این ماده به علت تجزیه بسیار کند نسبت به سایر مواد آلی، ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای از قبیل دی‌اکسید کربن و متان دارد و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی ذخیره کند (Rabiee, 2013). هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر بیوچار و سرکه چوب[2] به‌عنوان منابع آلی در تغذیه گیاه سویا به‌عنوان گیاهی پراهمیت در زمینه تولید روغن و پروتئین موردنیاز انسان است که از این طریق تأثیر این دو تیمار بر مقاومت گیاه به تنش کمبود آب به‌عنوان تنش مطرح محیطی در ایران شناخته شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر بیوچار و سرکه چوب بر برخی صفات کمی و کیفی گیاه سویا در شرایط تنش کمبود آب، آزمایشی در بهار سال زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، واقع در ۱۷ کیلومتری غرب تهران با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرق و ارتفاع ۱۳۵۳ متر از سطح دریا اجرا شد.. بذر سویا مورداستفاده در این آزمایش از رقم ویلیامز بود که دارای رشد نامحدود بوده، متوسط رس است و دوره رشد آن به‌طور متوسط ۱۲۰ روز است. رنگ گل‌ها سفید و کرک‌ها طلایی است که با توجه دوره رشدی متوسط و مقاومت به خوابیدگی و ریزش، این رقم از سویا انتخاب گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. عامل اصلی شامل چهار رژیم آبیاری (آبیاری مطلوب، تنش کمبود آب ملایم، متوسط و شدید: قطع آبیاری تا زمانی که رطوبت قابل‌استفاده گیاه در منطقه ریشه به ترتیب به ۸۵٪، ۶۵٪، ۴۵٪ و ۲۵٪ برسد و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی) و عامل فرعی شامل مواد ضد تنش یعنی سه غلظت سرکه چوب (غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ ppm)، یک تیمار بیوچار (۵ تن در هکتار) و تیمار شاهد (بدون مواد ضد تنش) بودند. درمجموع ۶۰ واحد آزمایشی وجود داشت.

مراحل آماده‌سازی زمین با اجرای عملیات شخم، دیسک-زنی برای خرد کردن کلوخه‌ها، استفاده از علف‌کش ترفلان، تسطیح و ایجاد جوی و پشته توسط فاروئر قبل از کشت انجام شد. کشت به‌صورت خشکه‌کاری بود و آبیاری پس از کاشت و در طول دوره رشد به‌صورت قطره‌ای با استفاده از نوارهای آبیاری با توجه به نیاز آبی گیاه به‌طوری‌که تا اوایل گلدهی هیچ‌یک از واحدهای آزمایشی در شرایط تنش قرار نگیرد، انجام شد و سپس در زمان ۱۰٪ گلدهی تا انتهای فصل رشد تیمارهای آبیاری اعمال شد.. جهت تعیین نیاز آبی گیاه و زمان مناسب آبیاری برای هر تیمار با استفاده از دستگاه TDR[3] (مدل TRIME-FM ساخت کشور آلمان) اقدام به

[1]. Biochar
[2]. pyroligneous acid
[3]. Time Domain Reflectometry

سنجش میزان تخلیه‌ی رطوبتی خاک شد. در این روش، برنامه زمان‌بندی آبیاری بر اساس درصد تخلیه آب قابل‌دسترس خاک در منطقه‌ی ریشه است. آب قابل‌دسترس خاک، عبارت از مقدار آب موجود در ناحیه ریشه که بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم است. برای ارزیابی آب قابل‌دسترس خاک، عمق مدیریت آبیاری برای گیاه سویا حدود ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد بدون این‌که به مرحله رشدی توجه شود. به‌منظور ارزیابی تغییرات وضعیت آب خاک، رطوبت خاک در لایه‌های ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری نیم‌رخ خاک اندازه‌گیری گردید. مقدار آب خاک با استفاده از TDR در عمق‌های ذکرشده تعیین شد. برای این منظور در مرکز ۳ کرت آزمایشی (برای هر تکرار) فاقد علف هرز، یک لوله دسترسی از جنس PVC قرار داده شد. قبل از شروع آزمایش از منحنی‌های کالیبراسیون برای تعیین رابطه بین مقدار عددی ارائه‌شده توسط دستگاه‌های ذکرشده و مقدار حجمی رطوبت خاک استفاده شد. همچنین برای تعیین و کنترل مقدار آب آبیاری از لوله‌های مجهز به کنتور استفاده گردید. برای آبیاری مزرعه از تیپ‌های ۲۰ سانتی‌متری استفاده شد به این شکل که فاصله هر نازل با نازل بعدی ۲۰ سانتی‌متر فاصله داشت. درصورتی‌که فشار آب ثابت فرض شود، هر نازل در هر ساعت ۱/۲ لیتر آب در اختیار گیاه قرار می‌دهد؛ بنابراین با احتساب تعداد نازل در هر کرت (۳/۶ مترمربع) می‌توان میزان طول مدت‌زمان آبیاری برای هر کرت و هر رژیم آبیاری را مشخص کرد تا زمین دوباره به شرایط ظرفیت مزرعه برگردد.

با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده و فرمول زیر، درصد تخلیه آب قابل‌دسترس خاک در منطقه مؤثر ریشه ارزیابی شد:

$$\text{بیشینه تخلیه مجاز}\,(MDA\ \%) = \frac{FCi-\theta i}{FCi-PWP} \qquad [۱]$$

در این فرمول n تعداد لایه‌ها در عمق مؤثر ریشه است که برای تعیین رطوبت خاک مورد نمونه‌برداری قرارگرفته‌اند، FCi رطوبت خاک در ظرفیت زراعی در لایه iام، θi رطوبت خاک قبل از آبیاری در لایه iام و PWP رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم می‌باشند. مقدار آب استفاده‌شده بعد از رسیدن به MAD از پیش تعیین‌شده به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$Vd=\frac{MDA\ (\%)\times(FC-PWP)\times Rz\times A}{100} \qquad [۲]$$

در این فرمول Vd حجم آب آبیاری (مترمکعب)، Rz عمق مؤثر ریشه (متر) و A مساحت کرت (مترمربع) است.

عملیات وجین علف‌های هرز غالب مزرعه ازجمله خرفه و تاج‌خروس پس از عملیات تنک در سه مرحله‌ی دوبرگی، قبل از گل‌دهی و غلاف‌دهی انجام گرفت. هر کرت آزمایشی مشتمل بر چهار پشته یا چهار خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و به طول ۱/۸ متر بود. عمق کاشت ۵ سانتی‌متر و فاصله‌ی روی ردیف ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذرکاری در مزرعه در دهه اول خردادماه ۱۳۹۸ به‌صورت کشت مستقیم بذر توسط کارگر صورت گرفت. قبل از کشت تیمارهای سرکه چوب و بیوچار با توجه به نسبت مربوط به هر واحد آزمایشی به‌صورت خاک مصرف اعمال‌شده و تیمار پس‌رویشی سرکه چوب در مراحل سه برگی، اوایل گلدهی و غلاف‌دهی به‌صورت محلول‌پاشی شاخ و برگ اعمال شد. بیوچار از چوب درختان لیمو به‌دست‌آمده است. اندازه هر کرت ۳/۶ متر بود و بنابراین با تناسب انجام‌شده مقدار ۲۱/۶ کیلوگرم بیوچار توزین و برای کرت‌های مربوطه به‌صورت خاک مصرف استفاده شد و خاک به‌صورت سطحی با بیل زیرورو شد. غلظت‌های تیمارهای کودی سرکه چوب در روش خاک مصرف و محلول‌پاشی یکسان در نظر گرفته شد.

شاخص سبزینگی برگ با استفاده از دستگاه SPAD (کلروفیل‌متر)، در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی و ظهور علائم تنش در پانزدهم مرداد اندازه‌گیری شد. در ۵ مهرماه از هر کرت تعداد پنج بوته به‌صورت تصادفی و با در نظر گرفتن اثر حاشیه برداشت شد و ارتفاع بوته، سطح برگ بوته، تعداد غلاف بوته اندازه‌گیری شد و در همین تاریخ عملکرد بیولوژیک از نیم مترمربع هر کرت اندازه‌گیری شد. همچنین برداشت نهایی به هنگام رسیدن فیزیولوژیک دانه و زمانی که دانه‌ها سفت و رنگ غلاف زرد شده بود انجام شد و سایر صفات شامل وزن هزار دانه، عملکردهای دانه، کاه و روغن در اوایل آبان ماه مورد ارزیابی قرار گرفت. اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل DELTA- T DEVICES ساخت کشور انگلستان) انجام شد.

برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نیز مطابق روش تجزیه واریانس از برنامه آماری SAS (Version 9.1)[۴] استفاده شد. سپس مقایسه میانگین‌های صفات موردبررسی به روش آزمون LSD[۵] انجام گرفت.

[4]. Statistical Analysis System

[5]. Least Significant Difference

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). ارتفاع بوته در رژیم‌های آبیاری مطلوب، ملایم و متوسط یکسان بود و گیاه حداکثر ارتفاع را در آبیاری مطلوب به دست آورد. تنها تنش کمبود آب شدید ارتفاع بوته را ازنظر آماری کاهش داد (جدول ۴). تنش کمبود آب ملایم، متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به ترتیب ۵/۴٪، ۶/۰٪، ۲۳/۷٪، ارتفاع بوته را کاهش دادند. نتایج مشابهی مبنی بر روند کاهشی ارتفاع بوته در اثر کم شدن میزان آب مصرفی توسط سایر محققین گزارش شده است (Halterlein, 1988; Dasberg et al., 1970; Fowden et al., 1993). در یک مطالعه سه‌ساله مشاهده شد که در تمام مراحل رشد گیاه سویا، اعمال تنش آبی کاهش در ارتفاع بوته را به همراه دارد (Kadhem et al., 1985). افزایش تنش خشکی در طول دوره رشد گیاه سبب رقابت جهت جذب آب و مواد غذایی بین بخش هوایی و زمینی بوته گیاه می‌گردد و در این رقابت، گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به ریشه اختصاص می‌دهد و درنتیجه مواد فتوسنتزی کمتری به بخش هوایی ازجمله ساقه رسیده، که این امر باعث کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Chanbdracar et al., 1994).

سطح برگ بوته

رژیم‌های آبیاری، کودی و ترکیب تیماری آن‌ها تأثیر معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱٪، ۵٪ و ۱٪ بر سطح برگ بوته سویا داشتند (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد سویا تحت رژیم‌های آبیاری و کودی

Table 1. Analysis of variance (mean squares) for morphological traits and yield components of soybean under irrigation and fertilizer regimes

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته plant Height	سطح برگ بوته Leaf area per plant	تعداد غلاف بوته Number of pods per plant
Repetition (R)	تکرار	2	721.52	53508.82	0.11*
Irrigation regime (D)	رژیم آبیاری	3	1538.27*	16278482.31**	0.34**
Error a	خطای a	6	274.18	110946.06	0.01
Fertilizer regime (F)	رژیم کودی	4	139.71	340802.48*	0.02
D*F	اثر متقابل	12	95.31	497148.02**	0.02
Experimental error	خطای آزمایشی	32	114.81	104240.21	0.03
Coefficient of variation%	ضریب تغییرات		*11.95*	*13.82*	*9.1*

بدون علامت، ** و * به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌دار بودن در سطح آماری ۱ و ۵٪

Unsigned, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively

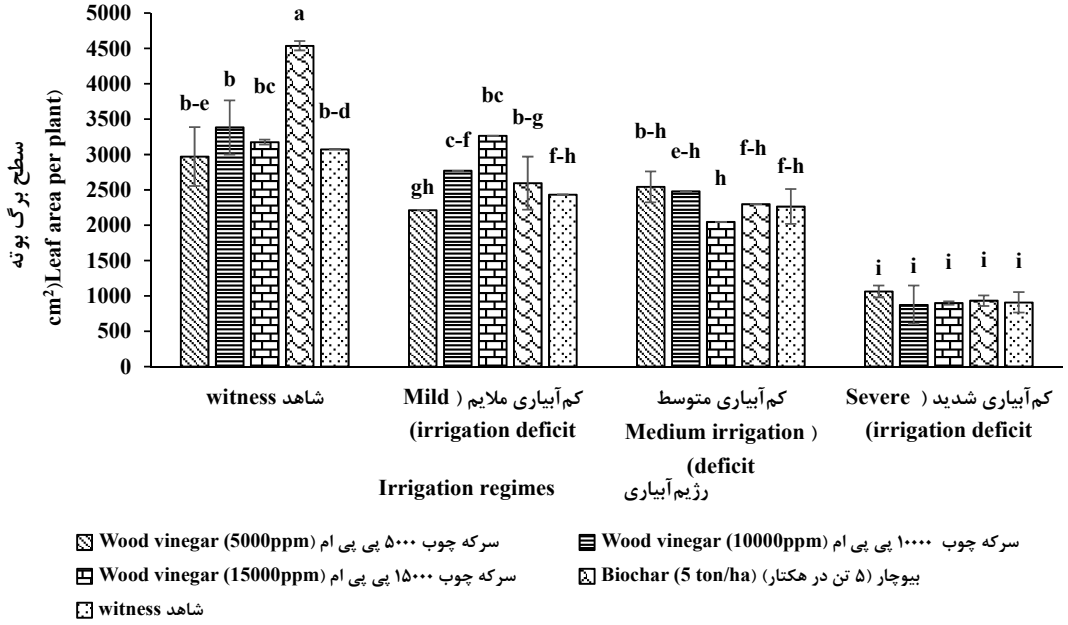
بیشترین سطح برگ بوته متعلق به آبیاری مطلوب همراه با کاربرد بیوچار بود. کمترین سطح برگ بوته در تیمار تنش کمبود آب شدید همراه با کاربرد سرکه چوب ۱۰۰۰۰ppm مشاهده شد که با سایر تیمارهای کودی در همین سطح تنش تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ نداشت. افزایشی به ترتیب به میزان ۱۲/۳٪، ۹/۴٪، ۱/۴٪ در سطح برگ بوته با کاربرد تنش کمبود آب متوسط و محلول‌پاشی ppm ۵ و ppm ۱۰ سرکه چوب و بیوچار نسبت به عدم کاربرد کود در همین سطح تنش مشاهده شد (شکل ۱).

در مطالعه‌ای با افزایش تنش آبی میزان شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد که با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد (Behtari et al., 2005). در یک پژوهش روی گیاه ریحان مشخص گردید که تیمارهای مختلف سرکه چوب تغییرات معنی‌دار را در سطوح برگ ریحان ایجاد کردند. سرکه چوب دارای موادی همچون متانول و فورفورال است که می‌تواند به‌عنوان تسریع‌کننده رشد یا افزایش‌دهنده رشد در گیاه محسوب گردد (Yatagai et al., 1989). در مطالعه‌ای با

کاربرد سرکه چوب سطح برگ گیاه افزایش یافت (Mungkunkamchao et al., 2013). در مطالعه‌ای دیگر سطح برگ سویا در همه تیمارهای بیوچار در مراحل مختلف رشد گیاه، افزایش یافت (Suppadit et al., 2012).

تعداد غلاف در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری بر تعداد غلاف بوته در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). گیاه حداکثر تعداد غلاف در بوته را در آبیاری مطلوب به دست آورد و تنش کمبود آب شدید ازنظر آماری موجب بیش‌ترین کاهش در تعداد غلاف بوته گردید (جدول ۴). تنش کمبود آب ملایم، متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به ترتیب ۲۲/۴٪، ۳۳/۵٪، ۵۶/۳٪، تعداد غلاف بوته را کاهش داد. کاکس و جولیف (Cax and Jolif, 1986) نشان دادند که تعداد غـلاف حساس‌ترین جزء عملکرد نسبت به کمبود آب است، به‌طوری‌که تیمارهای بدون آبیاری و کم‌آبیاری به ترتیب ۲۰٪ و ۷٪ غلاف کمتری نسبت به تیمار آبیاری مناسب تولید کردند. طی آزمایش‌هایی در تایلند، نشان داده شد که تنش رطوبتی بر عملکرد سویا مؤثر بوده و در بین اجزای عملکرد، تعداد غلاف حساسیت بیشتری نسبت بـه سایر اجزا داشته است (Laohasiriwong, 1986). دلایل کاهش تعداد غلاف در بوته، کاهش دوره رشد است که درنتیجه آن تولید مواد غذایی نقصان می‌یابد. کاهش سنتز مواد فتوسنتزی و افزایش رقابت درون بوته‌ای حاصل از آن به همراه ریزش گل‌ها در اثر تنش کمبود آب، باعث کاهش تعداد غلاف در بوته گردیده است. در مرحله گل‌دهی تنش خشکی باعث ریزش گل‌ها می‌شود که به‌تبع آن به کاهش تعداد غلاف نیز منجر می‌گردد. تنش خشکی شدید در اوایل گسترش غلاف‌ها، رشد غلاف‌ها را کاهش می‌دهد و منجر به کاهش قابل‌ملاحظه در وزن غلاف‌ها نیز می‌شود (Liu et al., 2004).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری و کودی بر سطح برگ بوته سویا

Fig. 1. Interaction mean comparison of irrigation and fertilizer regimes on soybean leaf area

عملکرد بیولوژیک

رژیم آبیاری و ترکیب تیماری رژیم آبیاری و کودی تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ بر عملکرد بیولوژیک سویا داشتند (جدول ۲).

بیشترین عملکرد بیولوژیک متعلق به آبیاری مطلوب همراه با کاربرد بیوچار بود که اختلاف آماری معنی‌داری با سایر تیمارهای کودی در همین سطح آبیاری و هم‌چنین با تنش کمبود آب ملایم با کاربرد سرکه چوب ppm ۱۵ نداشت.

کمترین عملکرد بیولوژیک در تیمار تنش کمبود آب شدید همراه با کاربرد سرکه چوب ۱۵۰۰۰ppm مشاهده شد که با سایر تیمارهای کودی در همین سطح تنش به‌جز کاربرد سرکه چوب ۵۰۰۰ppm و ۱۰۰۰۰ppm، تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ نداشت. بیشترین عملکرد بیولوژیک در رژیم آبیاری شدید مربوط به کاربرد سرکه چوب ۵۰۰۰ppm بود که اختلاف معنی‌داری با سرکه چوب ۱۰۰۰۰ppm در همین سطح آبیاری نداشت اما با سایر سطوح کودی در این رژیم آبیاری دارای اختلاف معنی‌دار بود (شکل ۲). نتایج پژوهش‌های مختلف بیانگر کاهش عملکرد زیستی سویا در شرایط تنش کمبود آب است (Dogan et al., 2007; Karam et al., 2005). بیوچار با تغییر pH، ظرفیت نگهداری آب، درصد کربن، شرایط زیستی خاک و ظرفیت نگهداری مواد مغذی سبب افزایش حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد در گیاهان می‌شود (Wimmer, 2011). در پژوهشی دیگر با کاربرد سرکه چوب و زغال میزان محصول نسبت به شاهد بسیار افزایش یافت به‌طوری‌که این افزایش به میزان ۲۴-۱۳٪ بیان گردید (Uddin et al., 1995).

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد سویا تحت رژیم‌های آبیاری و کودی

Table 2. Analysis of variance (mean squares) for soybean yield under irrigation and fertilizer regimes

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد کاه Straw yield
Repetition (R)	تکرار	2	1085354.6	24021.82*	1233625.02*
Irrigation regime (D)	رژیم آبیاری	3	44958720.5**	17639425.78**	6771557.75**
Error a	خطای a	6	332577.7	36822.59	328344.22
Fertilizer regime (F)	رژیم کودی	4	278278.5	427705.77*	428906.15
D*F	اثر متقابل	12	937656.00**	621407.32**	354512.86
Experimental error	خطای آزمایشی	32	222077.6	120907.67	313950.83
Coefficient of variation%	ضریب تغییرات		*9.55*	*20.10*	*16.19*

بدون علامت، ** و * به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌دار بودن در سطح آماری ۱ و ۵٪

Unsigned, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively

عملکرد دانه

رژیم‌های آبیاری، کودی و ترکیب تیماری آن‌ها تأثیر معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱٪، ۵٪ و ۱٪ بر عملکرد دانه سویا داشتند (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه متعلق به آبیاری مطلوب همراه با کاربرد بیوچار بود که اختلاف آماری معنی‌داری با تمامی سطوح کودی در رژیم‌های مختلف آبیاری به‌جز سرکه چوب ۵۰۰۰ppm در آبیاری مطلوب داشت. کمترین عملکرد دانه در تیمار تنش کمبود آب شدید همراه با کاربرد سرکه چوب ۱۵۰۰۰ppm مشاهده شد که با سایر تیمارهای کودی در همین سطح تنش، تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ نداشت. عملکرد دانه سویا به میزان ۷۹/۶٪، ۳۸/۸٪ و ۱۲/۸٪ در تنش کمبود آب شدید و با مصرف ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ppm سرکه چوب، نسبت به عدم کاربرد کود در همین سطح تنش افزایش یافت. افزایشی به میزان ۲۶/۳٪ در عملکرد دانه سویا با کاربرد تنش کمبود آب متوسط و خاک‌پاش بیوچار نسبت به عدم کاربرد کود در همین سطح تنش مشاهده شد (شکل ۳). در مطالعـه‌ای افزایش ۷/۵٪ و ۱۵٪ عملکرد ذرت در اثر مصرف بیوچار مشاهده شد (Zhang et al., 2012). استفاده از سرکه چوب سبب ایجاد بازده ذرت و بادام‌زمینی به میزان قابل‌توجهی در شرایط خاک نابارور گشته است (Yamato et al., 2006).

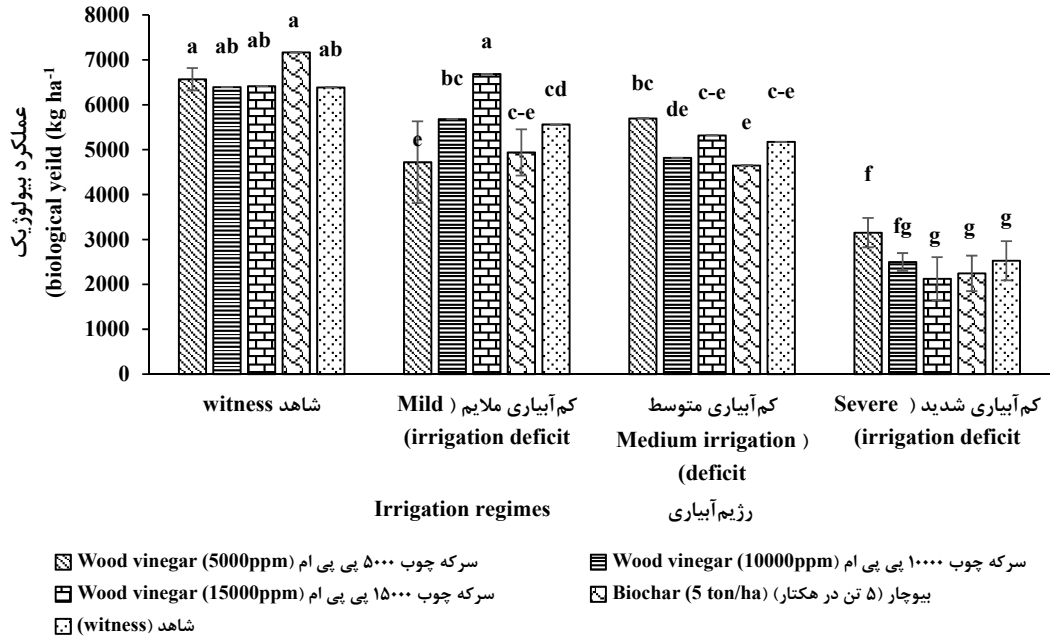
عملکرد کاه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد کاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). عملکرد کاه در رژیم‌های آبیاری مطلوب، ملایم و متوسط یکسان بود و گیاه حداکثر عملکرد کاه را در آبیاری مطلوب به دست آورد. تنها تنش کمبود آب شدید

ارتفاع بوته را ازنظر آماری کاهش داد (جدول ۴). تنش کمبود آب ملایم، متوسط و شدید نسبت به آبیاری مطلوب به ترتیب ۶/۸٪، ۶/۸٪، ۴۵/۲٪، عملکرد کاه را کاهش دادند.

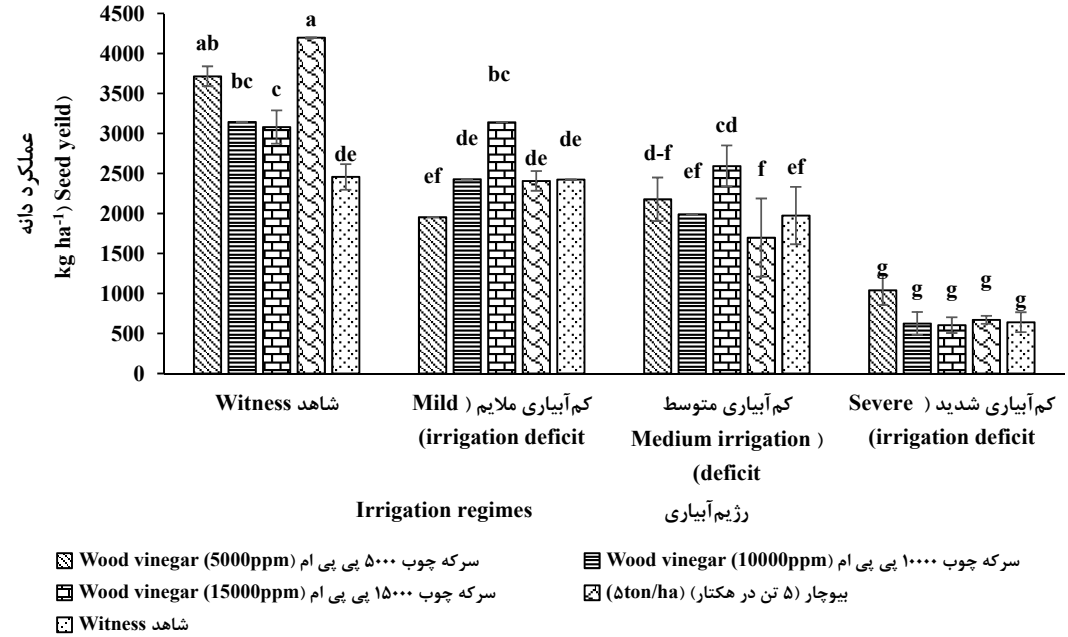
عملکرد روغن

رژیم‌های آبیاری و کودی و ترکیب تیماری آن‌ها تأثیر معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱٪، ۵٪ و ۱٪ بر عملکرد روغن سویا داشتند ولی هیچ‌کدام از تیمارها یا ترکیب تیماری آن‌ها بر درصد روغن معنی‌دار نبود (جدول ۳).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری و کودی بر عملکرد بیولوژیک بوته سویا

Fig. 2. Comparison of the average interaction effects of irrigation and fertilizer regimes on the biological yield of soybean plant



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری و کودی بر عملکرد دانه بوته سویا

Fig. 3. Comparison of the mean interactions of irrigation and fertilizer regimes on soybean grain yield

جدول ۳. آنالیز واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد سویا تحت رژیم‌های آبیاری و کودی

Table 3. Analysis variance (mean squre) of yield variance and yield components for soybeans under irrigation and fertilizer regimes

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	عملکرد روغن Oil yield	وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds	سبزینگی برگ Leaf greenness
Repetition (R)	تکرار	2	3104.02	1270.02	177.20*
Irrigation regime (D)	رژیم آبیاری	3	933221.45**	15999.26**	354.51**
Error a	خطای a	6	2044.53	441.66	23.37
Fertilizer regime (F)	رژیم کودی	4	26338.07*	713.21*	32.92
D*F	اثر متقابل	12	36030.04**	210.66	45.48
Experimental error	خطای آزمایشی	32	7013.49	199.94	32.36
Coefficient of variation%	ضریب تغییرات		*16.69*	*7.73*	*13.25*

بدون علامت، ** و * به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌دار بودن در سطح آماری ۱ و ۵٪

Unsigned, ** and * indicate insignificance and significance at the statistical level of 1 and 5%, respectively

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک سویا تحت رژیم‌های آبیاری

Table 4. Mean comparison of soybean physiological traits under irrigation regimes

Irrigation regime	رژیم آبیاری	ارتفاع بوته Shoot Hight	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	عملکرد کاه Straw yield
		cm		kg ha^{-1}
Optimal irrigation	آبیاری مطلوب	98.27±4.07^{a}	106.73±9.27^{a}	3267.7±124.05^{a}
Mild irrigation deficit	کم‌آبیاری ملایم	93.00±3.00^{a}	82.80±7.94^{b}	3046.00±1955.54^{a}
Medium irrigation deficit	کم‌آبیاری متوسط	92.40±3.45^{a}	70.93±6.10^{b}	3044.7±142.64^{a}
Severe irrigation deficit	کم‌آبیاری شدید	75.00±1.68^{b}	46.60±3.60^{c}	1792.3±153.06^{b}

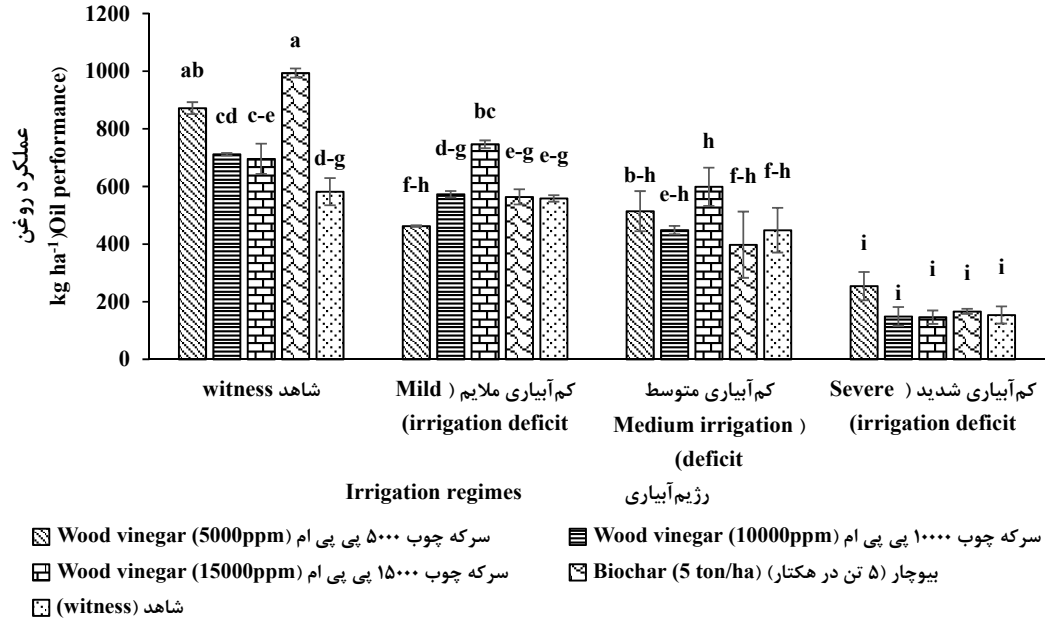
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون LSD، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند. بعد از علامت ± خطای استاندارد قرار دارد.

Means with at least one common letter in each column using LSD test have no significant difference at the 5% probability level. After the sign ± is the standard error

بیشترین عملکرد روغن متعلق به آبیاری مطلوب همراه با کاربرد بیوچار بود. کمترین عملکرد روغن در تیمار تنش کمبود آب شدید همراه با کاربرد سرکه چوب ۱۵۰۰۰ppm مشاهده شد که با سایر تیمارهای کودی در همین سطح تنش تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ نداشت (شکل ۴). درصد روغن در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد و با کاهش رطوبت موردنیاز سویا در خاک، عملکرد روغن در مترمربع کاهش می‌یابد که به دلیل کاهش نیتروژن موجود در گیاه و در نتیجه کاهش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه است (Farnia and Madani, 2011).

وزن هزار دانه

رژیم‌های آبیاری و کودی تأثیر معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ بر وزن هزار دانه سویا داشتند (جدول ۳). برهمکنش رژیم‌های کودی و آبیاری تأثیری بر وزن هزار دانه نداشت (جدول ۳). وزن هزار دانه در رژیم‌های آبیاری مطلوب، ملایم و متوسط یکسان بود و گیاه حداکثر وزن هزار دانه را در آبیاری مطلوب به دست آورد. تنها تنش کمبود آب شدید وزن هزار دانه را ازنظر آماری کاهش داد (جدول ۵). تنش کمبود آب ملایم و متوسط نسبت به آبیاری مطلوب وزن هزار دانه را به ترتیب ۳/۲٪ و ۵/۳٪ افزایش و تنش کمبود آب شدید ۳۰/۶٪ کاهش دادند. در مطالعه‌ای با کاربرد سرکه چوب، تعداد میوه و وزن خشک میوه افزایش یافت (Mungkunkamchao et al., 2013).



شکل ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری و کودی بر عملکرد روغن بوته سویا

Fig. 4. Comparison of the mean interactions of irrigation and fertilizer regimes on soybean oil yield

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک سویا تحت رژیم‌های آبیاری

Table 5. Mean comparison of soybean physiological traits under irrigation regimes

رژیم آبیاری Irrigation regime	وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds	سبزینگی برگ Leaf greenness
	kg ha^{-1}	spad
آبیاری مطلوب Optimal irrigation	193.67±3.33^{a}	42.85±1.47^{b}
کم‌آبیاری ملایم Mild irrigation deficit	199.80±4.77^{a}	44.36±0.69^{ab}
کم‌آبیاری متوسط Medium irrigation deficit	203.87±3.94^{a}	48.07±2.56^{a}
کم‌آبیاری شدید Severe irrigation deficit	134.33±5.60^{b}	36.41±1.15^{c}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون LSD، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند. بعد از علامت ± خطای استاندارد قرار دارد.

Means with at least one common letter in each column using LSD test have no significant difference at the 5% probability level. After the sign ± is the standard error

شاخص محتوای کلروفیل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری بر شاخص محتوای کلروفیل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). گیاه حداکثر سبزینگی برگ را در تنش کمبود آب متوسط به دست آورد که با تنش کمبود آب ملایم اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. تنش کمبود آب شدید ازنظر آماری موجب بیش‌ترین کاهش در سبزینگی برگ گردید (جدول ۴). تنش کمبود آب ملایم و متوسط نسبت به آبیاری مطلوب به ترتیب ۳/۵٪، ۱۲/۲٪، سبزینگی برگ را افزایش و تنش کمبود آب شدید نسبت به آبیاری مطلوب ۱۵٪ سبزینگی برگ را کاهش داد. تنش خشکی باعث ازهم‌گسیختگی ساختار سلول و در نتیجه اختلال در آنزیم‌های سلول و ازجمله کلروفیل می‌شود که عامل اصلی در فرایند فتوسنتز است و در نتیجه موجب کاهش آسیمیلات سازی شده و کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Ahmadi and Siosemardeh, 2004). کاهش شاخص محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی در گیاهان دیگر ازجمله ماش نیز مشاهده شده است (Shokohfar and Abofitilenegad, 2013). با افزایش تنش خشکی غلظت کلروفیل برگ‌ها کاهش ولی نسبت کلروفیل a/b افزایش می‌یابد که افزایش این نسبت موجب تیره شدن برگ‌ها و افزایش میزان سبزینگی برگ می‌گردد. با توجه به تأثیر خیلی زیاد میزان کلروفیل در سبزینگی برگ، پایداری کلروفیل به‌عنوان شاخصی از تنش خشکی شناخته شده است و میزان

پایداری آن به معنی شاخصی از تحمل گیاه به تنش است (Modhan et al., 2000).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از این بود که وقوع تنش کمبود آب بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا تأثیر منفی دارد. به‌طوری‌که در تمامی صفات موردبررسی، تیمار تنش کمبود آب معنی‌دار شده و بیشترین کاهش عملکرد و اجزای عملکرد بین تیمارهای آبیاری مربوط به تنش کمبود آب شدید بود. استفاده از بیوچار موجب افزایش و بهبود سطح برگ بوته، عملکردهای بیولوژیک، دانه و روغن تنها در آبیاری مطلوب شد به‌طوری‌که بیشترین میزان سطح برگ بوته، عملکردهای بیولوژیک، دانه و روغن در آبیاری مطلوب مربوط به تیمار کودی بیوچار بود. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش به نظر می‌رسد که در شرایط تنش کمبود آب ملایم، متوسط و شدید کاربرد بیوچار چندان سودمند نخواهد بود و قادر به جبران اثرات تنش کمبود آب نیست و در این شرایط کاربرد سرکه چوب توصیه می‌گردد، زیرا در شرایط تنش کمبود آب، حداکثر سطح برگ بوته و عملکردهای بیولوژیک، دانه و روغن گیاه با کاربرد سرکه چوب مشاهده شد. پژوهشگران پیرولیگنئوس اسید را نقطه عطفی در کشاورزی ارگانیک مطرح کردند که تأثیرگذاری زیادی در مدیریت و افزایش محصول ذرت و سویا داشته است (Coffman et al., 2005). سرکه چوب و بیوچار به‌عنوان محلول ارگانیک و به‌دست‌آمده از طبیعت می‌توانند شروع جهت‌گیری جدید برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی باشند.

منابع

Ahmadi, A., Siosemardeh, A., 2004. Effects of water stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline contents of four Iranian wheat cultivars under different moisture regimes. Iranian Journal of Agricultural Science. 35, 753-763. [In Persian with English Summary].

Apai, W., Thongdeethae, S., 2002. Wood vinegar: new organic for Thai Agriculture. The 4th Toxicity Division Conference, Department of Agriculture. pp. 166-169.

Behtari, B., Golazani, K., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Torchi, M., 2005. Effects of water restriction on oil storage, protein and grain yield in two soybean cultivars, Master Thesis in Agriculture, University of Tabriz. p. 76. [In Persian].

Burnette, R., 2010. An introduction to wood vinegar. ECHO Asia Regional Office. from http://c.ymcdn.com/sites/www.echocommunity.org

Chanbdracar, B.L., Sechar, N., Tuteja, S.S., Tripathi, R.S., 1994. Effect of irrigation and nitrogen of growth and yield of summer sesame (*Sesamum indicum*) Indean. Journal of Agronomy and Crop Science. 39, 701-702.

Coffman, C.B., Radhakrishnan, J., Teasdale J. R., 2005. Corn and soybean responses to basal applications of vinegar. Proceedings of Northeastern Weed Science Society. pp. 59-79.

Cox, W.J., Jollif, G.D., 1986. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. Agronomy Journal. 78, 226-230.

Daneshian, J., Noor Mohammadi, G H., Jonoobi, P., 2002. Responses of soybean to drought stress and different amounts of phosphorus, Abstracts of Seventh Iranian Crop Sciences Congress, Karaj, Seed and Plant Improvement Research Institute. [In Persian].

Dasberg, S., Bakker, J.W., 1970. Characterizing soil aeration under changing soil moisture conditions for bean growth. Agronomy Journal. 62, 689-692. https://doi.org/10.2134/agronj1970.00021962006200060001x

Dogan, E., Kirnak, H., Copur, O., 2007. Deficit irrigation during soybean reproductive stages and CROPGRO-soybean simulations under semi-arid climatic conditions. Field Crops Research. 103,154-159. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.05.009

Farnia, A., Madani, H., 2011. The effect of drought stress and different strains of Rhizobium japonica on quantitative and qualitative characteristics of Clark cultivar soybean. New Agricultural Findings. 4, 391-404. [In Persian with English Summary].

Fowden, L., Mansfield, T., Stoddart, J., 1993. Plant Adaptation to Environmental Stress. Springer Dordrecht, pp. 132-149.

Guillen, M.D., Manzanos, M.J., 2002. Study of the volatile composition of an aqueous oak smoke preparation. Food Chemestry. 79, 283-292. https://doi.org/10.1016/S03088146(02)00141-3

Halterlein, A.J., 1988, Bean. In: . Teare, I.D., Peet, M.M. (eds.), Crop Water Relations. pp 158–185. Wiley, New York.

Jha, P., Biswas, A.K., Lakaria, B.L., Subba Rao, A., 2010. Biochar in agriculture – prospects and related implications. Current Science. 99, 1218– 1225.

Kadhem, F.A., Specht, J.E., Williams, J.H., 1985. Soybean irrigation serially timed during stage R1 to R6. Agronomic responses. Agronomy Journal. 77, 291-298. https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700020026x

Karam, F., Masaad, R., Sfeir, T., Mounzer, O., Rouphael, Y., 2005, Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. Agricultural Water Managment. 75, 226-244.

https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.12.015

Laohasiriwong, S., 1986. Yield response of selected soybean cultivars to water stress during different reproductive growth periods. In: Sulzberger, E.W., Mclean, B.T. (eds.), Soybean in Tropical and Subtropical Cropping Systems; Symposium, Tsukuba, Japan, September 26-October 1986. The Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan. ystems. pp.383-386.

Liu, F., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2004. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set. Field Crops Research. 86, 1–13. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00165-5

Manavalan, L. P., Guttikonda, S. K., Tran, L.S.P., Nguyen, H.T., 2009. Physiological andmolecular approaches to improve drought resistance in soybean. Plant Cell Physiology. 50,1260–1276. https://doi.org/10.1093/pcp/pcp082

Mia, S., van Groenigen, J .W., van de Voorde, T.F.J., Oram, N.J., Bezemer, T.M., Mommer, L., Jeffery, S., 2014. Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability. Agriculture, Ecosystems & Environment. 191, 83-91. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.011

Modhan, M.M., Narayanan, S. L., Ibrahim, S. M., 2000. Chlorophyll stability indexes (CSI): its impacts on salt tolerance in rice. International Rice Research Institute. Notes. 25, 38-40.

Mungkunkamchao, T., Kesmala, T., Pimratch, S., Toomsan, B., Jothityangkoon, D., 2013. Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Horticultural Science and Technology. 154, 66-72.

https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.02.020

Nishio, M., 1996. Microbial Fertilizers in Japan. Extension Bulletin. Food and Fertilizer Technology Center, National Institute of Agro-Environmental Science, Ibaraki.

Omidi. H., Movahadi, F., Movahadi, S.H., 2012. The effect of salicylic acid and scarification on germination characteristics and proline, protein and soluble carbohydrate content of Prosopis (*Prosopis farcta* L.) seedling under salt stress. Scientific Information Database. 18, 608-623.

Pitikainen, J., Kiikkila, O., 2000. Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. Oikos. 89, 231-242. https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.890203.x

Rabiee, H., Davari, M., Moghiminejad, S., Armaghan, F., 1352. Biochar (semi-combustible biomaterial), soil modifier in sustainable agriculture. National Conference on Agricultural Science and Technology. Malayer. [In Persian with English Summary].

Rondon, M.A., Lehmann, J., Ram´ırez, J., Hurtado, M., 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. Biology and Fertility of Soils. 43, 699–708.

https://doi.org/10.1007/s00374-006-0152-z

Sarmadniya, Gh., 1994. The importance of environmental stresses in agriculture. Key Articles of the First Iranian Congress of Agriculture and Plant Breeding. Karaj. 18-15. [In Persian].

Shin, S.H., Park, K.Y., Lim, S.G., Shin, S.O., Ha, T.Y., Suh, D.Y., 2005. Changes in source-sink balance during full-pod stage of soybean under

drought stress. Yeongnam Agricultural Research Institute, Nation Institute of Crop. from http://w.w.w.rims.rda.go.kr/rims_2005

Shokohfar, A., Abofitilenegad, S., 2013. Effects of drought stress on some physiological and biological function mung bean varieties (*Vigna radiate* L.) in Desful. Crop Phisiology Journal. 5, 49-59. [In Persian with English Summary].

Smider, B., Singh, B., 2014. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. Agriculture, Ecosystems & Environment. 191, 99–107. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.024

Suppadit, T., Phumkokrak, N., Poungsuk, P., 2012. The effect of using quail litter biochar on soybean (*Glycine max* L.) Production. Chilean Journal of Agricultural Research. 72, 244-251.

Tiilikkala, K., Fagernas, L., Tiilikkala, J., 2010. History and use of wood pyrolysis liquids as biocide and plant protection product. The Open Agriculture Journal. 4, 111-118.

Uddin, S., Murayama, S., Ishimine, Y., Tsuzuki, E.H., 1995. Effect of the Mixture of Charcoal with Pyroligneous Acid on dry matter production and root growth of summer planted sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). Japanese Journal of Crop Science. 64, 747-753. https://doi.org/10.1626/jcs.67.149

Wimmer, J., 2011. Biochar Research and a Case Study in Kansas. University of Kansas.

Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S., Ogawa, M., 2006. Effects of the application of charred bark of Acacia mangium on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. Soil Science and Plant Nutrition. 52, 489-495. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00065.x

Yatagai, M., Unrinin, G., 1989. Germination and growth regulation effects of wood vinegar components and their homologs on plant seeds - acids and neutrals. Mokuzai. Gakkaishi. 35, 564–571.

Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., Zhang, X., 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil from central China plain. Plant and Soil. 351, 263–275. https://doi.org/10.1007/s11104-011-0957-x

Zulkarami, B., Ashrafuzzaman, M., Husni, M.O., Ismail, M.R., 2011. Effect of pyroligneous acid on growth, yield and quality improvement of rockmelon in soilless culture. Australian Journal of Crop Science. 5, 1508-151.