19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

اثر بیوچار چوب انگور بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و شاخص‌های فیزیولوژیک ذرت

محمدتقی نیرگر سلطانی[1*]، حسینعلی بهرامی[2]،

۱- گروه علوم و مهندسی خاک دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران * **stsoltani@ut.ac.ir**

۲- گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی گلخانه‌ای اثر بیوچار چوب انگور بر هدایت روزنه‌ای، شدت فتوسنتز و کارایی مصرف آب ذرت (*Zea Mays* L.) تحت مکش‌های ماتریک مختلف خاک انجام شد. بیوچار مورد استفاده با نسبت‌های وزنی ۰، ۲ و ۴ درصد با یک خاک لوم شنی مخلوط و پس از اینکوباسیون به منظور کشت ذرت مورد استفاده قرار گرفت. گیاهان پس از هشت برگی تا پایان رشد تحت شرایط رطوبتی ناشی از مکش‌های ماتریک ۱۰۰، ۳۰۰، ۹۰۰ و ۳۰۰۰ سانتی‌متر قرار داده شدند. هدایت روزنه‌ای و شدت فتوسنتز برگ با استفاده از دستگاه Li-Cor اندازه‌گیری شدند. منحنی‌های نگهداشت آب با استفاده از جعبه شنی و صفحات فشاری و هدایت هیدرولیکی غیراشباع با دستگاه Hiprop اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد کاربرد بیوچار در خاک، هدایت روزنه و شدت فتوسنتز را به ترتیب ۱۸/۱ و ۱۷/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. با خشک‌تر شدن خاک، کارایی مصرف آب گیاه حدودا ۲۵٪ افزایش یافت. همچنین، اثر بیوچار بر کارایی مصرف آب (گیاه و دانه) نیز با خشک شدن خاک افزایش یافت. به نظر می‌رسد، توانایی بیوچار در جلوگیری از افت شدید هدایت هیدرولیکی غیراشباع (K_h) در محدوده خشک‌تر منحنی رطوبتی و افزایش نسبی نگهداشت آب خاک که منجر به تسهیل تحویل آب به ریشه گیاه می‌شوند، را می‌توان از دلایل بهبود پارامترهای فیزیولوژیک و کارایی مصرف آب در این مطالعه دانست.

واژگان کلیدی: شدت فتوسنتز، کارایی مصرف آب، هدایت روزنه‌ای، هدایت هیدرولیکی غیراشباع

مقدمه

کمبود و توزیع نامتعادل رطوبت در عمق توسعه ریشه، جذب آب را محدود نموده و ادامه وضع موجود می‌تواند اثرات تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیک و رشد گیاه را نمایان سازد. به طور معمول مهم‌ترین این اثرات شامل کاهش پتانسیل کل آب برگ، کاهش شدت تعرق، کاهش کلروفیل و شدت فتوسنتز، و نهایتا کاهش رشد و اجزای عملکرد گیاه می‌باشد. امروزه استفاده از مواد اصلاح‌کننده طبیعی در خاک که به بهبود نگهداشت و توزیع آب در محیط ریشه کمک می‌کنند، به عنوان یک رویه کارآمد در تعدیل اثرات خشکی بر گیاه به کار گرفته می‌شود (Khan et al., 2021). در دهه‌های اخیر استفاده از بیوچار (Biochar) در خاک به عنوان یک استراتژی چند منظوره با اهداف زیست‌محیطی و کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است (Martos et al., 2020). بیوچار فراورده‌ای با ساختار کربنی متخلخل و مقاوم به تجزیه است که حاصل فرآیند پیرولیز (تجزیه گرمایی در شرایط کمبود یا فقدان اکسیژن) مواد آلی می‌باشد (Gray et al., 2014). افت پتانسیل ماتریک خاک در ناحیه جذب آب ریشه و کاهش غیرخطی و شدید هدایت هیدرولیکی خاک (K_h) در منطقه جذب ریشه دو عامل اساسی کاهش فراهمی آب در خاک می‌باشند (Minasny & Mcbratney, 2003) که ممکن است تحت‌تاثیر افزودن اصلاح‌کننده‌ای مانند بیوچار به خاک تغییر کنند. اگرچه تاکنون اثر بیوچار بر نگهداشت آب خاک به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است (Blanco-Canqui,

2017)، با این‌حال به دلایل مختلف از جمله دشواری‌های اندازه‌گیری مستقیم K_h به‌ویژه در محدوده خشک خاک، اطلاعات کمی از چگونگی تاثیر بیوچار بر هدایت هیدرولیکی غیراشباع (K_h) و بررسی همزمان اثر آن بر

شاخص‌های فیزیولوژیک و رشد گیاه وجود دارد (Villagra-Mendoza & Horn 2018; Hussain et al., 2020). بسیاری از کارهای انجام شده در این زمینه در غیاب گیاه و صرفاً متمرکز بر ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک تیمار شده با بیوچار بوده و مطالعات کمی، پاسخ گیاه به شرایط رطوبتی مختلف را در ارتباط با ویژگی‌های هیدرولیکی خاک تیمار شده با بیوچار مورد بررسی قرار داده‌اند (Ali et al., 2017; Zoghi et al., 2019; Yang et al., 2020). در مقاله حاضر ضمن بررسی اثر بیوچار بر هر دو جنبه اساسی قابلیت دسترسی آب (اندازه‌گیری مستقیم K_h در خاک خشک و نگهداشت آب) در خاک متاثر از مقادیر مختلف بیوچار، پاسخ گیاه ذرت (شامل شاخص‌های هدایت روزنه‌ای و شدت فتوسنتز برگ) و کارایی مصرف آب (کل زیست‌توده گیاه و دانه) در دامنه نسبتا وسیع مکش ماتریک خاک مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

بیوچار مورد استفاده با روش پیرولیز آهسته (تجزیه حرارتی در کمبود اکسیژن) از خرده‌های چوب سرشاخه‌های درخت انگور (*Vitis vinifera* L.) در بیشینه دمای $^{\circ}C$ ۳۵۰ تولید و پس از خردکردن به منظور تجزیه‌های آزمایشگاهی و آزمایش‌های گلدانی از الک ۱ میلی‌متر عبور داده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار تولید شده بر اساس رویه‌های استاندارد تعیین گردید (جدول ۱). خاک مورد استفاده در این پژوهش از لایه ۱۰ سانتی‌متر سطحی یک خاک لوم شنی با عنوان (Soil Survey Staff, 2014) coarse-loamy, mixed, thermic superactive, typic Haploxerepts برداشت و پس از هواخشک‌کردن جهت تجزیه‌های آزمایشگاهی از الک ۲ میلی‌متر و اختلاط با بیوچار و پرکردن گلدان‌ها از الک ۴/۷۵ میلی‌متر عبور داده شد. درصد رس، سیلت، شن و کربن آلی و کربنات معادل خاک به ترتیب ۶/۸، ۳۳/۵، ۵۹/۷، ۰/۲۶ و ۴/۲۵ بودند که به روش‌های استاندارد امریکایی (Methods of soil analysis, physical and chemical method) اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار مورد مطالعه

BD	SD	MWD	D_{50}	pH	EC	Ash	C_t	H	N	O	S	H/C_{org}	SSA
g cm^{-3}		mm			dS m^{-1}			%				mol mol^{-1}	m^2 g^{-1}
۰/۳۱	۱/۸۹	۰/۲۷	۰/۲۱	۹/۷	۱/۱۲	۸/۴۲	۷۸/۶	۲/۵۷	۱/۲۳	۹/۱	۰/۰۵	۰/۴	۱۴/۸۸

BD و SD به‌ترتیب جرم ویژه ظاهری و حقیقی، MWD میانگین قطر و D_{50} قطر میانه ذرات با روش Dane & Top 2002، pH واکنش خاک و EC هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۲۰ بیوچار و آب. C_t و C_{org} کربن کل (درصد) و کربن ناپایدار (مول). Ash درصد خاکستر اندازه‌گیری شده براساس روش استاندارد IBI. هیدروژن (H)، نیتروژن (N)، اکسیژن (O) و گوگرد (S) اندازه‌گیری شده به وسیله دستگاه CNS analyzer (Vario TOC cube, Elementar, Germany)، H/C_{org} نسبت مولی هیدروژن به کربن (شاخص آروماتیکی)، SSA سطح ویژه اندازه‌گیری شده به روش BET.

بیوچار تولید شده با نسبت‌های وزنی ۲ و ۴ درصد به خوبی با خاک مخلوط و تا حد ممکن یکنواخت شدند. سپس هر تیمار در سه تکرار شامل خاک بدون بیوچار (B0) و مقادیر ۲ (B2) و ۴ (B4) درصد وزنی مخلوط بیوچار و خاک به شیوه یکسانی درون لوله‌های پلیکا (PVC) یک سر مسدود زهکش‌دار به ارتفاع و قطر ۴۹ و ۱۹ سانتی‌متر (به عنوان گلدان) پر شدند، بطوریکه در پایان کار جرم ویژه ظاهری برای تیمارهای B0، B2 و B4 به‌ترتیب ۱/۵۰، ۱/۴۰ و ۱/۳۱ گرم برسانتی‌متر مکعب بود. قبل از کاشت، تیمارهای مذکور در رطوبت خاک کافی و دمای هوای $30^{\circ}C$ به مدت ۶۰ روز قرار داده شدند. به منظور به حداقل رساندن تبخیر سطحی، لایه سطحی خاک با ورقه‌ای از سنگریزه به ضخامت دو سانتیمتر به‌طور کامل پوشانده شد. به منظور انجام نمونه‌برداری دست‌نخورده (استوانه نمونه برداری ۵×۵ سانتی‌متر) و تعیین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، تیمارهای مشابهی با شرایط یادشده، مهیا و همراه گلدان‌های اصلی تا پایان آزمایش در شرایط گلخانه قرار گرفتند.

داده‌های منحنی رطوبتی خاک در مکش‌های کم (از اشباع تا مکش ۱۰۰ سانتی‌متر) با استفاده از جعبه شنی (Sand box) و مکش‌های بالاتر (از ۳۰۰ تا ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر) با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara CA, USA) اندازه‌گیری و منحنی رطوبتی هر تیمار با استفاده از برازش مدل ونگنوختن-معلم (Van Genuchten, 1980) کمی شد. هدایت هیدرولیکی غیراشباع (K_h) نمونه‌ها با روش مبتنی بر تبخیر از سطح خاک[1] (Pertassek et al. 2015) و با استفاده از دستگاه هایپرپ Hyprop (METER Group) انجام شد. مقادیر K_h در تیمارها در محدوده وسیعی

[1] - Evaporative method

از مکش ماتریک خاک (حدودا تا pF ۳/۹) اندازه‌گیری و منحنی هدایت هیدرولیکی تعیین شدند. تعداد سه بذر ذرت واریته سینگل کراس ۷۰۴ (*Zea mays* L. cv. SC704) در گلدان‌ها کاشته و پس از ۱۵روز با خارج کردن دو گیاه ضعیف‌تر، یک نهال برای ادامه دوره رشد در هر گلدان باقی گذاشته شد. طول دوره کشت ۹۵ روز بود. همه گلدان‌ها قبل از هشت برگی تحت آبیاری کافی قرار گرفتند و پس از آن تا پایان آزمایش، تحت چهار شرایط رطوبتی معین، متناظر با چهار مکش ماتریک خاک شامل ۱۰۰، ۳۰۰، ۹۰۰ و ۳۰۰۰ سانتی‌متر (براساس داده‌های منحنی رطوبتی تیمارها) قرار داده شدند. مقدار رطوبت خاک در هر تیمار با روش توزین گلدان تعیین و نیاز آبیاری هر تیمار با توجه به داده‌های منحنی رطوبتی در هر مکش معین، محاسبه و طی چند نوبت به صورت روزانه به گیاهان داده شد. شدت تعرق روزانه نیز با چشم‌پوشی از افزایش وزن روزانه گیاه در گلدان از طریق تفاضل وزن هر گلدان در فاصله زمانی ۲۴ ساعت تعیین شد. مقدار کل آب مصرفی (Consumptive use) از طریق جمع مقادیر آب آبیاری در طول دوره محاسبه گردید. پارامترهای تبادلات گازی برگ شامل هدایت روزنه و شدت فتوسنتز با استفاده از دستگاه لایکور (Li-Cor, LI-6400, Inc., Lincoln, NE, USA) در چهار مقطع زمانی در طول فصل رشد هر بار در ساعت ۱۰ تا ۱۳ زیر تابش خورشید انجام شدند. وزن خشک اندام هوایی، دانه و ریشه نیز پس از انتقال به آزمایشگاه و خشک کردن در آون تعیین شدند. کارایی مصرف آب ($WUE^{۲}$) برای کل زیست‌توده گیاه و نیز برای عملکرد دانه از تقسیم وزن خشک کل زیست‌توده گیاه و یا وزن خشک دانه بر کل آب مصرف شده در طول دوره (CU) به ترتیب به عنوان راندمان مصرف آب گیاه (WUE_{plant}) و راندمان مصرف آب دانه (WUE_{grain}) محاسبه شدند. پژوهش حاضر براساس یک آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل (۴×۳) در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار، سه نسبت اختلاط بیوچار با خاک ۰، ۲ و ۴ درصد وزنی و چهار سطح مختلف مکش ماتریک خاک انجام شد. کلیه تجزیه‌وتحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 (SAS Institute, 2014)، انجام شد.

نتایج و بحث

الف) اثر بیوچار بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک

نتایج نشان داد بیوچار میزان نگهداشت آب را در محدوده مکش‌های ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ سانتی‌متر به طور معنی‌داری افزایش داد، در حالی که هیچ تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از لحاظ مقدار نگهداشت آب بین مکش‌های ماتریک ۳۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی متر مشاهده نشد و در مکش‌های ماتریک نزدیک به PWP (۱۵۰۰۰ سانتی‌متر) منحنی رطوبتی همه تیمارها بر هم منطبق بودند. بر اساس نتایج، مقدار آب قابل دسترس (در محدوده مکش‌های ۱۰۰ تا ۱۵۰۰۰) در تیمارهای حاوی بیوچار، B2 و B4 به ترتیب ۳ و ۵ درصد بیشتر از تیمار بدون بیوچار بود. به طور کلی نتایج نشان دادند که بیشترین تاثیر بیوچار مورد استفاده بر میزان نگهداشت آب در محدوده مرطوب‌تر منحنی رطوبتی خاک بوده است. داده‌های اندازه‌گیری شده K_h تیمارها در مقابل مکش ماتریک خاک نشان داد، مطابق انتظار با خشک شدن خاک، هدایت هیدرولیکی غیراشباع (K_h) به صورت غیرخطی کاهش پیدا کرد. با این حال، با خشک شدن خاک میزان افت K_h تیمارهای حاوی بیوچار کمتر از خاک شاهد بود (جدول ۲). به عبارت دیگر، در شرایط خشکی خاک، حرکت آب در تیمارهای حاوی بیوچار نسبت به خاک شاهد با سهولت بیش‌تری انجام شده است. این نتایج می‌تواند به بازآرایی و بهبود اتصال منافذ بین ذرات خاک و بیوچار نسبت داده شود (Ajayi & Prendergast-Miller et al., 2014; Villagra-Mendoza & Horn, 2018). شایان ذکر است به دلیل محدودیت این نوشتار، در اینجا از آوردن منحنی-های رطوبتی و هدایت هیدرولیکی صرفه‌نظر شده است.

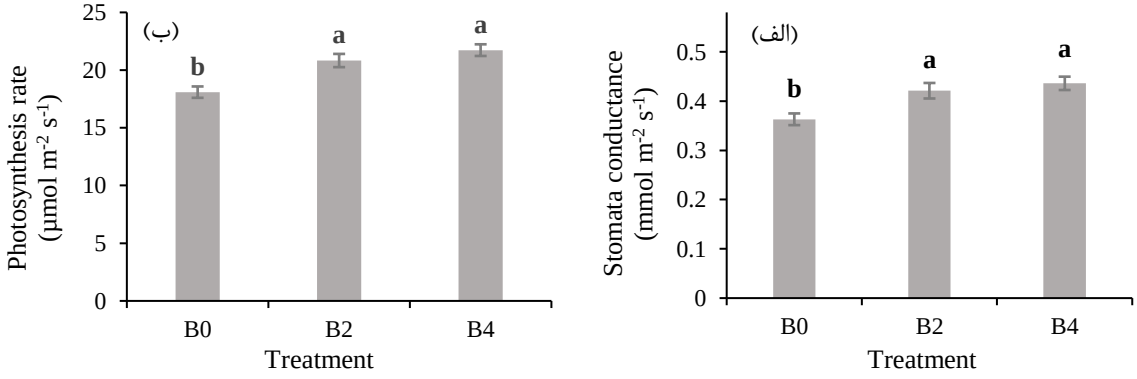
[2] - Water use efficiency

جدول ۲- مقادیر رطوبت خاک (θ) و هدایت هیدرولیکی غیراشباع (K_h) در تیمارهای B0، B2 و B4 برای مکش‌های ماتریک مختلف (h).

h (cm)	B0		B2		B4	
	θ ($cm^3\ cm^{-3}$)	K_h ($cm\ d^{-1}$)	θ ($cm^3\ cm^{-3}$)	K_h ($cm\ d^{-1}$)	θ ($cm^3\ cm^{-3}$)	K_h ($cm\ d^{-1}$)
۱۰۰	۰/۲۹۹	۲/۴۵	۰/۳۲۴	۲/۲۳۸	۰/۳۵۳	۵/۷۵۴
۳۰۰	۰/۲۴۲	۰/۰۴۵	۰/۲۶۰	۰/۰۶۰	۰/۲۸۱	۰/۱۱۵
۹۰۰	۰/۱۹۵	$5/89e^{-4}$	۰/۲۰۶	$1/15e^{-3}$	۰/۲۱۹	$1/38e^{-4}$
۳۰۰۰	۰/۱۵۴	$2/88e^{-5}$	۰/۱۵۹	$4/79e^{-5}$	۰/۱۶۵	$5/89e^{-5}$

ب) اثر بیوچار بر هدایت روزنه‌ای و شدت فتوسنتز برگ

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی بیوچار، آبیاری و زمان، معنی‌دار و اثرات متقابل این عوامل بر هدایت روزنه و شدت فتوسنتز معنی‌دار نبود. به‌طورکلی نتایج نشان داد کاربرد بیوچار هر دو کمیت هدایت روزنه و شدت فتوسنتز را به طور معنی‌داری افزایش داد و بین تیمارهای حاوی بیوچار (B2 و B4) اختلاف معنی‌داری از لحاظ هدایت روزنه و شدت فتوسنتز مشاهده نشد (شکل ۱- الف و ب). خاک شاهد با هدایت روزنه‌ای (n=۴۸، ±۰/۰۲SD) ۰/۳۶۳ mmol $m^{-2}\ s^{-1}$ کم‌ترین و تیمارهای B2 و B4 با (n=۴۸، ±۰/۰۳SD) ۰/۴۲۱ mmol $m^{-2}\ s^{-1}$ و (n=۴۸، ±۰/۰۳SD) ۰/۴۳۶ mmol $m^{-2}\ s^{-1}$ بیش‌ترین میانگین هدایت روزنه‌ای (n=۱۲) را در طول دوره نشان دادند (به طور متوسط ۱۸٪ بالاتر از B0 بودند) (شکل ۱ الف). هم‌چنین B0 با شدت فتوسنتز (n=۴۸، ±۰/۱۰SD) ۱۸/۰۹ µmol $m^{-2}\ s^{-1}$ کم‌ترین و تیمارهای B2 و B4 با (n=۴۸، ±۰/۱۲SD) ۲۰/۸۳ و (n=۴۸، ±۰/۱۱SD) ۲۱/۷۴ µmol $m^{-2}\ s^{-1}$ بیش‌ترین میانگین شدت فتوسنتز را در طول دوره نشان دادند (به طور متوسط ۱۷/۶٪ بالاتر از B0 بودند) (شکل ۱- ب). از آنجاکه هدایت روزنه‌ای و شدت فتوسنتز به شدت متاثر از قابلیت دسترسی رطوبت خاک هستند (Havranek & Benecke, 1978; Xiao et al. 2011; Hayat et al. 2020)، به نظر می‌رسد بهبود پارامترهای فیزیولوژیک گیاه در شرایط تنش خشکی در تیمارهای حاوی بیوچار می‌تواند نشان‌دهنده تاثیر مثبت بیوچار در بهبود ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و تسهیل دسترسی ریشه به رطوبت خاک باشد.

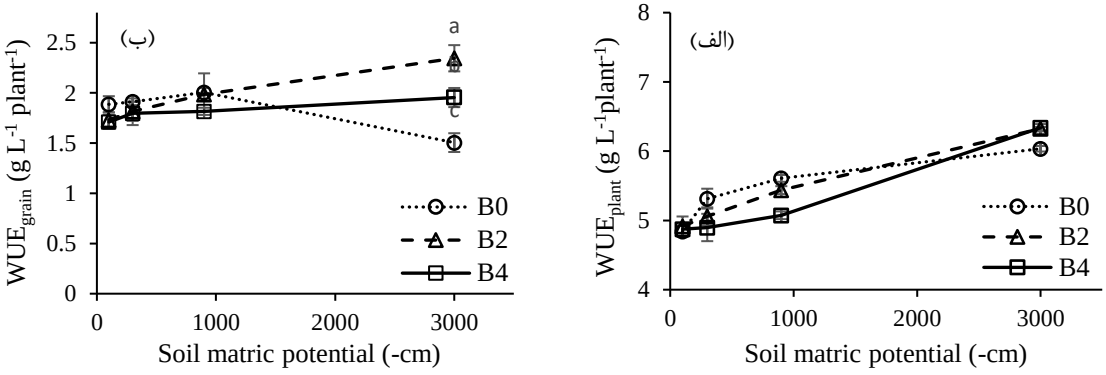


شکل ۱- اثر مقادیر ۰ (B0)، ۲ (B2) و ۴ (B4) درصد بیوچار بر میانگین الف) هدایت روزنه (n=۱۲) و ب) شدت فتوسنتز در (n=۱۲). حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون z است. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار هستند

ج) اثر بیوچار بر کارایی مصرف آب

نتایج نشان داد که با افزایش مکش ماتریک خاک (خشک‌تر شدن خاک) کارایی مصرف آب گیاه افزایش یافت به طوری که کم‌ترین و بیش‌ترین WUE_{plant} به ترتیب در مکش‌های ماتریک ۱۰۰ (±۰/۱۴SD, n=۹) ۴/۸۹ و ۳۰۰۰ سانتی‌متر (n=۹

۶/۱۳ (±۰/۱SD, n=۳) مشاهده شد (معادل ۲۵٪ افزایش) (شکل ۲-الف). هم‌چنین، نتایج بررسی اثر مقادیر مختلف بیوچار در هر مکش ماتریک نیز نشان داد که اثر بیوچار بر کارایی مصرف آب گیاه و دانه (WUE_{plant} و WUE_{grain}) با خشک شدن خاک به تدریج افزایش یافت، به‌طوری‌که برای گیاهانی که در مکش ۳۰۰۰ سانتی‌متر رشد کرده بودند، مقادیر WUE_{plant} و WUE_{grain} در تیمارهای حاوی بیوچار به طور معنی‌داری بیشتر از خاک شاهد بود (شکل۲- الف و ب). بر اساس نتایج در مکش ۳۰۰۰ سانتی‌متر کمترین و بیشترین WUE_{plant} به ترتیب در B0 (±۰/۰۷SD, n=۳) ۶/۰۳ و B2 (±۰/۰۹SD, n=۳) ۶/۳۴ مشاهده شد (شکل۲- الف). هم‌چنین در این مکش، B0 با (±۰/۱۶SD, n=۳) ۱/۵۰ و B2 با (±۰/۲۲SD, n=۳) ۲/۳۵ کم‌ترین و بیش‌ترین WUE_{grain} را داشتند (شکل۲- ب). نتایج به دست آمده در این بخش می‌تواند به انتقال مجدد آسیمیلات‌ها از برگ‌ها و ساقه به دانه (چند هفته پس از گل‌دهی در شرایط تنش خشکی) و افزایش نسبت وزن دانه به اندام هوایی نسبت داده شود (Plaut et al., 2004; Djaman et al., 2013; Ion et al., 2015).



شکل ۲- اثر مقادیر ۰ (B0)، ۲ (B2) و ۴ (B4) درصد بیوچار بر کارایی مصرف آب (n= ۳) برای الف) گیاه (WUE_{plant}) و ب) دانه (WUE_{grain}). حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون z است. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که بیوچار (چوب انگور) مخلوط شده با خاک (لوم شنی) می‌تواند سبب بهبود قابلیت دسترسی آب خاک شود. نتایج نشان داد که علاوه بر تاثیر بیوچار بر افزایش نگهداشت آب، بهبود سرعت جریان آب در شرایط خشکی خاک عامل اصلی افزایش قابلیت دسترسی ریشه به آب خاک بوده است. به عبارت دیگر، بیوچار با تاثیر بر توزیع تخلخل خاک از افت شدید هدایت هیدرولیکی غیراشباع در هنگام خشک شدن خاک جلوگیری نمود. بالاتر بودن هدایت روزنه‌ای و شدت فتوسنتز گیاهان رشد یافته در تیمارهای حاوی بیوچار نسبت به گیاهان خاک شاهد در شرایط خشکی خاک، نشان‌دهنده بهبود قابلیت دسترسی آب و جذب آب ریشه تحت تاثیر بهبود هدایت هیدرولیکی غیراشباع بودند.

فهرست منابع

Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M. F., Ok, Y. S., Ibrahim, M., Riaz, M., Arif, M. S., Hafeez, F., Al-Wabel, M. I. and Shahzad, A. N. (2017). Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. Environmental Science and Pollution Research, 24, 12700-12712.

Blanco-Canqui, H., (2017). Biochar and soil physical properties.Soil Science Society American Journal, 81,687-711.

Dane, J. H. and Topp, G. C. (2002) Physical methods. In *methods of soil analysis*, Part 4 SSSA Book Series. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Djaman, K., Irmak, S., Rathje, W.R., Martin, D.L., Eisenhauer D.E. (2013). Maize evapotranspiration, yield production functions, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. Biological Systems Engineering. 56(2), 273-293.

Gray, M., Johnson, M. G., Dragila, M. I. and Kleber, M. (2014). Water uptake in biochars: The roles of porosity and hydrophobicity. Biomass and Bioenergy, 61, 196-205.

Havranek, W. M. and Benecke, U. (1978). The influence of soil moisture on water potential, transpiration and photosynthesis of conifer seedlings. *Plant and Soil,* 49, 91-103.

Hayat, F., Ahmed, M. A., Zarebanadkouki, M., Javaux M, Cai, G. and Carminati, A. (2020). Transpiration reduction in Maize (Zea mays L) in response to soil drying. *Frontiers in Plant Science*, 10:1695.
Hussain, R., Garg, A. and Ravi, K. (2020). Soil-biochar-plant interaction: differences from the perspective of engineered and agricultural soils. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 79, 4461-4481.
Iden, S.C., Durner, W., 2014. Comment on "'Simple consistent models for water retention and hydraulic conductivity in the complete moisture range'" by A. Peters. Water Resour. Assoc. 50, 7530–7534.
Martos, S., Mattana, S., Ribas, A., Albanell, E. and Domene, X. (2020). Biochar application as a win-win strategy to mitigate soil nitrate pollution without compromising crop yields: a case study in a Mediterranean calcareous soil. Journal of Soils and Sediments, 20, 220-233.
Minasny, B. and McBratney, A. B. (2003). Integral energy as a measure of soil-water availability. Plant and Soil, 249, 253-262.
Pertassek, T., Peters, A., Durner, W. (2015) HYPROP-FIT User's Manual, V.3.0, METER group AG.
Plaut, Z., Butow, B. J., Blumenthal, C. S. and Wrigley, C. W. (2004). Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. Field Crops Research, 86, 185-198.
Prendergast-Miller, M. T., Duvall, M. and Sohi, S. P. (2014). Biochar-root interactions are mediated by biochar nutrient content and impacts on soil nutrient availability. European Journal of Soil Science, 65, 173-185.
Soil Survey Staff (2014) Keys to Soil Taxonomy (12 th ed.). USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
Van Genuchten, M.Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 892-898.
Villagra-Mendoza, K. and Horn, R. (2018). Effect of biochar on the unsaturated hydraulic conductivity of two amended soils. International Agrophysics, 32, 373-378.
Xiao, J. F., Liu, Z. D., Liu, Z. G. and Nan, J. Q. (2011). Effects of drought at different growth stages and different water availabilities on growth and water consumption characteristics of summer Maize. Journal of Maize Sciences, 19, 64.
Yang, A., Akhtar, S. S., Li, L., Fu, Q., Li, Q., Naeem, M. A., He, X., Zhang, Z. and Jacobsen, S. E. (2020). Biochar mitigates combined effects of drought and salinity stress in Quinoa. Agronomy, 10, 912.
Zoghi, Z., Hosseini, S. M., Kouchaksaraei, M. T., Kooch, Y. and Guidi, L. (2019). The effect of biochar amendment on the growth, morphology and physiology of Quercus castaneifolia seedlings under water-deficit stress. European Journal of Forest Research, 138, 967-979.

The effect of grapevine wood biochar on soil hydraulic properties and physiological indices of maize

Mohammadtaghi Tirgarsoltani[1*], Hosseinali Bahrami

1-Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

2- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University

Abstract

The present study was conducted to investigate the greenhouse effect of grapevine biochar on stomatal conductance, photosynthesis rate and water use efficiency of maize (Zea Mays L.) under different soil matric suctions. The biochar used was mixed with a sandy loam soil at weight ratios of 0, 2 and 4% and then incubated for maize cultivation. Plants were placed under moisture conditions resulting from matric suctions of 100, 300, 900 and 3000 cm after the eight-leaf stage until the end of growth. Stomatal conductance and leaf photosynthesis rate were measured using a Li-Cor device. Water retention curve was measured using a sand box and pressure plates, and unsaturated hydraulic conductivity curve was measured using a Hiprop device. The results showed that the application of biochar into the soil increased stomatal conductance and photosynthesis rate by 18.1 and 17.6 percent, respectively, compared to the control. As the soil became drier, the plant water use efficiency increased by about 25 percent. Also, the effect of biochar on water use efficiency (plant and grain) also increased with soil drying. It seems that the ability of biochar to prevent a sharp drop in unsaturated hydraulic conductivity (K_h) in the drier range of the moisture curve and the relative increase in soil water retention, which leads to facilitating water delivery to plant roots, can be considered as the reasons for the improvement of physiological parameters and water use efficiency in this study.

Keywords: photosynthesis rate, water use efficiency, stomatal conductance, unsaturated hydraulic conductivity