نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴
19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025
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

تاثیر بیوچار بر برخی ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه‌ای (*Zea mays L.*) در شرایط کم‌آبیاری

مریم موسی پور[۱]، افسانه عالی‌نژادیان[۲]، محمد فیضیان[۳]، امیر لکزیان[۴]

۱. دانشجوی دکتری مدیریت حاصلخیزی و زیست فناوری خاک، گروه خاکشناسی دانشکده، کشاوورزی دانشگاه لرستان
۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۴. استاد، گروه علوم و مهندسی خاک ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

کم‌آبی یکی از بزرگترین تنش‌های محیطی مخرب در جهان است که توسعه کشاورزی را محدود کرده است. امروزه از استفاده از بیوچار بر کاهش تاثیر نامطلوب کم‌آبی بر محصولات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌همین منظور پژوهشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در ۳ تکرار و دو فاکتور شامل سه سطح بیوچار: شاهد (بدون بیوچار)، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی خاک و سه سطح آبیاری (شاهد :۱۰۰)، ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی) به‌صورت گلدانی بر روی ذرت علوفه‌ای اجرا شد. نتایج نشان داد کم‌آبیاری سبب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی، درصد فیبر و پروتئین خام و افزایش درصد ADF و NDF شد؛ درحالی‌که بیوچار سبب کاهش تاثیرات نامطلوب بر ویژگی‌های کیفی و رشد ذرت شد؛ به‌طوری‌که نتایج برهمکنش بیوچار و آبیاری نشان بیشترین وزن تر (۱۴۳/۷۹ گرم در گلدان) و خشک اندام هوایی(۱۷/۶۱ گرم در گلدان)، درصد پروتئین (۵/۴۹ درصد) در تیمار ۱ درصد بیوچار و آبیاری کامل (۱۰۰) مشاهده شد و بیشترین درصد NDF (۶۷/۱۳ درصد) در تیمار شاهد (بدون بیوچار) و آبیاری ۵۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق استفاده از بیوچار می‌تواند به عنوان یک راهکار برای بهبود کیفیت ذرت علوفه‌ای تحت شرایط کم‌آبی پیشنهاد گردد.

واژگان کلیدی: بیوچار، تنش خشکی، ADF، NDF

مقدمه

کم‌آبی بزرگترین تنش محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که توسعه کشاورزی را محدود کرده است (Sarshad et al., 2021; Kumar et al., 2020). کم‌آبی اجزای اصلی فتوسنتز را مختل کرده و زیست توده و عملکرد محصول را کاهش می‌دهد (Kappor et al., 2020). همچنین با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مسئول مرگ گیاهان است (Sharma et al, 2020). کمبود آب یکی از عمده‌ترین تنش‌های غیر زیستی در دنیاست که باعث محدودیت در تولید غلات به‌ویژه ذرت می‌شود (Bonea, 2020).

در میان غلات، ذرت (*Zea mays* L.) به دلیل اهداف متعدد به عنوان غذای انسان، خوراک دام، داروسازی و انرژی زیستی شناخته شده است (Sah et al., 2020). ارزش غذایی و کیفیت علوفه ملاکی مهم در تعیین مقدار ارزش علوفه برای دام است؛ به‌طوری‌که تولیدات دامی به مقدار زیادی به کیفیت علوفه در دسترس دام بستگی دارد. کربوهیدرات‌های ساختاری (سلولز، همی‌سلولز و لیگنین) عوامل کلیدی تعیین‌کننده ارزش غذایی ذرت علوفه‌ای هستند. محتوای بالاتر سلولز و همی‌سلولز، ماده خشک قابل هضم را بهبود می‌بخشد، در حالی که افزایش لیگنین، قابلیت هضم را کاهش می‌دهد (Riboulet et al., 2008). از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه می‌توان به درصد ADF (فیبر نامحلول در شوینده اسید) که از سلولز و لیگنین

تشکیل شده است، درصد NDF (فیبر نامحلول در شوینده خنثی) که شامل سلولز، همی‌سلولز و لیگنین است و درصد فیبر اشاره کرد که تحت شرایط کم‌آبیاری محتوی آن‌ها تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Daneshvar Rad et al, 2021). همان‌طور که بیان شد لیگنین یکی از ترکیبات اصلی تشکیل دهنده‌ی درصد ADF و NDF است، لیگنین یک پلیمر پیچیده است که به استحکام گیاه کمک می‌کند و قابلیت هضم علوفه را کاهش می‌دهد. تنش کم‌آبیاری اغلب به عنوان یک پاسخ به تنش، محتوای لیگنین را افزایش می‌دهد (Malavasi et al., 2016) و کیفیت علوفه را کاهش می‌دهد. نتایج تحقیقات اسمعیلی و همکاران (۱۴۰۳) نشان داد تنش کم‌آبیاری سبب افزایش درصد ADF (فیبر نامحلول در شوینده اسید)، درصد NDF (فیبر نامحلول در شوینده خنثی) و درصد فیبر خام ذرت علوفه‌ای شد. هرچقدر مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) یا الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) کمتر باشد علوفه از کیفیت بالاتری برخوردار است (Baghdadi et al., 2017). امروزه استفاده از اصلاح‌کننده‌های مانند بیوچار برای کاهش تاثیر تنش کم‌آبی بر ویژگی‌های کمی و کیفی ذرت علوفه اثرات قابل توجهی داشته است.

بیوچار، یک ماده غنی از کربن که از طریق پیرولیز مواد آلی تولید می‌شود و به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک برای کاهش تنش کم‌آبی و بهبود عملکرد محصول شناخته شده است (Lohar et al., 2024). این ماده ویژگی‌های خاک، از جمله حفظ آب و مواد غذایی، محتوای کربن آلی و فعالیت میکروبی را بهبود می‌بخشد (Park et al, 2023; Ali et al, 2021) و از این طریق به بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش کم‌آبی کمک می‌کند. توانایی بیوچار در کاهش تنش کم‌آبیاری با بهبود رطوبت خاک و کاهش استرس اکسیداتیو (به عنوان مثال، گونه‌های فعال اکسیژن) ممکن است تجمع لیگنین را کاهش دهد و کیفیت علوفه را بهتر حفظ کند. همانطور که بیان شد تنش کم‌آبیاری سبب کاهش رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای می‌شود اما اطلاعات اندکی در مورد تأثیر تنش کم‌آبی و بیوچار بر ویژگی‌های کیفی علوفه وجود دارد. بنابراین در این تحقیق به بررسی تاثیر بیوچار بر برخی ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در شرایط کم‌آبیاری پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تاثیر بیوچار بر برخی ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه‌ای (Zea mays L.) در شرایط کم‌آبیاری، پژوهشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل با دو فاکتور در ۳ تکرار به‌صورت گلدانی در شرایط گلخانه اجرا شد. فاکتور اول شامل۳ سطح بیوچار: تیمار شاهد (بدون بیوچار)، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی بیوچار و فاکتور دوم شامل سه سطح آبیاری ۱۰۰ (شاهد)، ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی بود. برای تهیه بیوچار مقادیر کافی پوست سبز گردو از باغ‌های شهرستان الشتر تهیه شد. پس از شستشو با آب مقطر هوا خشک گردید؛ سپس آسیاب و با الک ۲ میلی‌متری غربال شد، در نهایت با افزایش نرخ دمای ۱۰ درجه سلسیوس در دقیقه به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس در شرایط بدون اکسیژن (اکسیژن محدود) در کوره الکتریکی قرار داده شد (توژی و همکاران.، ۱۳۹۹). برخی ویژگی‌های بیوچار مانند عناصر کربن و نیتروژن توسط دستگاه (Fadeeva) Analyzer-CHNS (Elementar, Vario EL III)، pH و هدایت الکتریکی در عصاره با نسبت ۱:۲۰ (بیوچار به آب دیونیزه) قرائت شد (جدول ۱).

برای انجام این پژوهش خاک لازم از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشته شد؛ سپس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل pH عصاره اشباع با استفاده از دستگاه pHمتر (Thomas 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود (Nelson and Sommers, 1982)، بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder 1986)، قابلیت هدایت

الکتریکی عصاره اشباع به‌وسیله هدایت سنج الکتریکی (Rhoades et al., 1966) و ماده آلی به روش‌تر سوزانی (Walkley and Black, 1934) انجام پذیرفت (جدول ۱). برای تهیه خاک گلدان‌ها پس از ترکیب نمودن تیمارهای بیوچار با خاک، خاک تیمار شده به گلدان‌ها (۵ کیلوگرمی) اضافه و گلدان‌ها توزین شدند. پس از گذشت دو روز ۵ عدد بذر ذرت علوفه‌ای (رقم ۶۰۰zp) در گلدان‌ها کشت شد. در نهایت به‌صورت کامل با آب شهری تا حد اشباع (پس از خروج اولین قطره آب از زیر گلدان) آب داده شدند. برای جلوگیری از تبخیر آب، سطح گلدان‌ها با پلاستیک پوشانده شد. پس از گذشت ۲ روز و خروج کامل آب ثقلی از انتهای گلدان، دوباره گلدان‌ها توزین و با توجه به داشتن وزن خاک خشک به همراه گلدان، وزن آب در حالت ظرفیت زراعی به دست آمد. این مقدار به‌عنوان مقدار آب در حالت ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد (پور منصور و همکاران، ۱۳۹۸). سپس تا رسیدن گیاه به مرحله ۶ برگی با همین مقدار آب آبیاری شدند. بر اساس مقدار رطوبت به‌دست‌آمده در حالت ظرفیت زراعی، سطوح ۵۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی محاسبه و تا زمان برداشت گیاه آبیاری شدند. پس از اتمام رشد رویشی (۹۰ روز پس از کشت بذر) و قبل از وارد شدن به رشد زایشی نمونه‌ها برداشت شدند. سپس برخی ویژگی‌های رویشی شامل وزن‌تر و خشک اندام هوایی و صفات کیفی علوفه شامل درصد فیبر خام، درصد فیبر، درصد ADF و NDF اندازه‌گیری شد. برای سنجش صفات کیفی از دستگاه NIR ساخت کشور سوئد شرکت Petrten (مدل DA7250) استفاده شد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و بیوچار

خاک	بافت	pH	هدایت الکتریکی	کربن آلی	آهک
	-	-	$dS.m^{-1}$	(درصد)	(درصد)
	کلی لوم	۸/۰۹	۱/۶۵	۰/۷۱	۲۷/۵
بیوچار	pH	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	C/N
	-	($dS\ m^{-1}$)	درصد	درصد	-
	۱۰/۰۱	۵/۸۴	۴۵/۶	۱/۰۹	۸/۴۸

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که وزن تر و خشک اندام هوایی با کاهش سطوح آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت درحالی‌که استفاده از بیوچار سبب بهبود این ویژگی‌ها هم در شرایط کم‌آبیاری و هم آبیاری کامل شد؛ به‌طوری‌که بیشترین وزن تر (۱۴۳/۷۹ گرم در گلدان) و خشک اندام هوایی (۱۷/۶۱۴ گرم در گلدان) در تیمار ۱ درصد وزنی بیوچار و سطح آبیاری شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده گردید؛ درحالی‌که کمترین مقدار وزن تر (۸۰/۳۵ گرم در گلدان) و خشک اندام هوایی (۶/۷۰۲ گرم در گلدان) در تیمار شاهد (بدون بیوچار) و سطح آبیاری ۵۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید.

کم‌آبی به‌طور قابل توجهی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاهان تأثیر می‌گذارد و منجر به تغییرات قابل مشاهده‌ای می‌شود که بر رشد، نمو و بهره‌وری تأثیر می‌گذارد. تنش کم‌آبی از طریق کاهش سطح برگ و سرعت تعرق، بیشتر به کاهش زیست توده کمک می‌کند (Prokić et al., 2019). در گزارشی مشاهده گردید (ابریشمی و همکاران، ۱۴۰۲) تنش‌کم‌آبی سبب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه (سورگوم علوفه‌ای) شد که مشابه نتایج این تحقیق است. در این تحقیق مشاهده گردید اعمال بیوچار به خاک سبب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی ذرت شد. در این خصوص تحقیقات نشان داده است که بیوچار از حفظ رطوبت و تامین عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز و کارایی مصرف آب می‌شود و قدرت کلی گیاه را افزایش می‌دهد؛ این امر به گیاهان کمک می‌کند تا با تنش کم‌آبی مقابله کنند (Zhang et al., 2024). مطالعات روی گندم (Mansour et al.,

2019) و سویا (Jahan et al., 2022) نشان داد که افزودن بیوچار منجر به افزایش نرخ رشد، سطح برگ و اجزای عملکرد بالاتر در مقایسه با خاک‌های تیمار نشده شد که همسو با نتایج این پژوهش است.

نتایج برهمکنش اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر درصد پروتئین خام و فیبر شوینده خنثی (NDF) نشان داد که کم‌آبیاری سبب کاهش درصد پروتئین خام و افزایش درصد NDF شد؛ درحالی‌که استفاده از بیوچار سبب افزایش درصد پروتئین و کاهش درصد NDF شد؛ به‌طوری‌که بیشترین درصد پروتئین خام (۵/۴۹ درصد) در سطح آبیاری کامل و تیمار ۱ درصد بیوچار و کمترین مقدار (۲/۸۲ درصد) در تیمار شاهد (بدون بیوچار) و سطح آبیاری ۵۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید. بیشترین (۶۷/۱۳ درصد) و کمترین درصد NDF (۳۹/۷۷ درصد) به ترتیب در تیمار شاهد (بدون بیوچار) + سطح آبیاری ۵۵ درصد ظرفیت زراعی و تیمار ۱ درصد بیوچار + سطح آبیاری شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده گردید.

جدول ۳. برهمکنش اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه‌ای

بیوچار	سطوح آبیاری	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	NDF	پروتئین خام
درصد وزنی خاک گلدان	درصد ظرفیت زراعی	گرم در گلدان	گرم در گلدان	(درصد)	(درصد)
شاهد	۱۰۰	۱۰۲/۴۳^{d}	۱۲/۹۸^{bc}	۴۹/۵۴^{c}	۴/۹۳^{b}
	۷۵	۹۶/۶۲^{de}	۱۰/۲۹^{de}	۵۹/۳۳^{b}	۴/۰۱۹^{c}
	۵۵	۸۰/۳۵^{f}	۶/۷۰۲^{g}	۶۷/۱۳^{a}	۲/۸۲^{c}
۰/۵	۱۰۰	۱۲۱/۶۰^{b}	۱۳/۹۳^{b}	۴۱/۷۲^{d}	۵/۱۶^{ab}
	۷۵	۱۰۶/۰۸^{cd}	۱۱/۷۸^{cd}	۴۷/۵۸^{c}	۵/۰۳^{ab}
	۵۵	۶۲/۸۲^{ef}	۸/۳۲^{fg}	۶۵/۳۸^{a}	۲/۹۱^{c}
۱	۱۰۰	۱۴۳/۷۹^{a}	۱۷/۶۱۴^{a}	۳۹/۷۷^{d}	۵/۴۹^{a}
	۷۵	۱۲۰/۳۲^{bc}	۱۳/۰۷۲^{bc}	۴۶/۵۹^{c}	۵/۴۶^{ab}
	۵۵	۹۲/۷۳^{def}	۹/۲۷^{ef}	۵۹/۸۴^{b}	۳/۷۸^{c}

تیمارهایی که دارای حروف یکسان اند اختلاف معنی دار ندارند

نتایج اثر اصلی کم‌آبیاری بر درصد ADF ذرت علوفه‌ای نشان داد که کم‌آبیاری سبب افزایش ADF شد؛ به‌طوری‌که در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت به سطح شاهد (۱۰۰) به ترتیب ۱۱/۷۶ و ۷/۵ درصد افزایش یافت. هرچند کاهش سطح آبیاری درصد ADF اندام هوایی را افزایش داد استفاده از بیوچار سبب کاهش آن شد به‌طوری‌که در سطح ۰/۵ و ۱ درصد وزنی بیوچار نسبت به سطح شاهد (بدون بیوچار) درصد ADF به ترتیب ۲/۱۵ و ۱۸/۲۶ درصد کاهش یافت. نتایج اثر اصلی بیوچار بر درصد فیبرخام ذرت علوفه‌ای نشان داد که بیوچار سبب افزایش درصد فیبر خام شد؛ به‌طوری‌که در تیمار ۰/۵ و ۱ درصد بیوچار نسبت به تیمار شاهد (بدون بیوچار) به ترتیب ۱۱/۳ و ۲۳/۶۶درصد افزایش یافت. هرچند استفاده از بیوچار درصد فیبر خام اندام هوایی را افزایش داد کم‌آبیاری سبب کاهش آن شد؛ به‌طوری‌که در سطح ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت به سطح شاهد (۱۰۰) درصد فیبر خام به ترتیب ۹/۱۲ و ۴۳/۷۴ درصد کاهش یافت.

جدول ۴. اثر اصلی کم‌آبیاری و بیوچار بر ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه‌ای

		ADF	فیبر خام
		(درصد)	(درصد)
بیوچار	شاهد	۴۱/۷۷^{a}	۲۵/۳۱^{c}
(درصد وزنی خاک گلدان)	۰/۵	۴۰/۸۵^{a}	۲۸/۱۷^{b}

	۱	۳۷/۱۴^{b}	۳۱/۳۰^{a}
سطوح آبیاری (درصد ظرفیت زراعی)	۱۰۰	۳۷/۳۶^{b}	۳۴/۳۱^{a}
	۷۵	۴۱/۷۵^{a}	۳۱/۱۸^{b}
	۵۵	۴۰/۱۵^{ab}	۱۹/۳^{c}

تیمارهایی که دارای حروف یکسان اند اختلاف معنی دار ندارند

مطابق نتایج، کم‌آبیاری سبب کاهش درصد فیبر خام و پروتئین خام ذرت علوفه‌ای شد در حالی‌که درصد ADF و NDF را افزایش داد. تحقیقات نشان داده است که تنش آب به طور معمول غلظت فیبر شوینده خنثی (NDF) و فیبر شوینده اسیدی (ADF) را در ذرت افزایش می‌دهد (Ferreira et al., 2021)؛ درحالی‌که تمایل به کاهش محتوای پروتئین خام و ارزش غذایی کلی ذرت دارد (Rad et al., 2021). ADF از سلولز، لیگنین و خاکستر نامحلول (عمدتا سیلیس) تشکیل شده و فیبر شوینده خنثی (NDF) نشان دهنده محتوای دیواره سلولی، از جمله سلولز، همی سلولز و لیگنین است (Ferreira et al., 2021). در شرایط تنش کم‌آبی گیاهان در پاسخ به تنش، لیگنین بیشتری سنتز می‌کنند تا از ساختار سلولی در برابر آسیب محافظت کنند (Malavasi et al., 2016)؛ بنابراین لیگنین که یکی از اجزای اصلیNDF و ADF است، بر مقدار آن‌ها تاثیر می‌گذارد. دلایل کاهش محتوای پروتئین تحت تنش کم‌آبی می‌تواند به مهار فعالیت نیترات ردوکتاز، گلوتامین و گلوتامات سنتتاز تحت استرس مرتبط باشد (Neto et al., 2003). همانطور که مشاهده گردید ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه‌ای شامل درصد پروتئین و درصد فیبر با افزودن بیوچار به خاک در شرایط آبیاری کامل (۱۰۰) و کم‌آبیاری (۷۵ و ۵۵) بهبود یافت؛ درحالی‌که درصد NDF و ADF را کاهش داد. بیوچار می‌تواند با فراهم کردن عناصر غذایی، حفظ رطوبت خاک سبب بهبود فتوسنتز، رشد رویشی گیاه و تغییر در ترکیب دیواره سلولی در شرایط کم‌آبیاری و آبیاری نرمال شود و در نهایت سبب بهبود ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه‌ای ذرت شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق کم‌آبیاری سبب کاهش درصد فیبر و پروتئین و افزایش ADF و NDF شد درحالی‌که بیوچار اثرات نامطلوب کم‌آبیاری بر ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه‌ای را کاهش داد. بر اساس نتایج تیمار ۱ درصد وزنی بیوچار در شرایط کم-آبیاری و آبیاری کامل می‌تواند اثرات نامطلوب کم‌آبیاری را بر ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه‌ای کاهش دهد. بنابراین استفاده از بیوچار می‌تواند به عنوان یک راهکار برای بهبود کیفیت علوفه تحت شرایط کم‌آبی مورد توجه قرار گیرد. به‌طور کلی پیشنهاد می‌گردد تحقیقات بیشتر در این زمینه برای تعیین بهترین شرایط استفاده از بیوچار برای هر نوع گیاه و شرایط آب و هوایی مورد بررسی قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. ابریشمی، م.، جلیلیان، ج.، حیدرزاده، س. (۲۰۲۳). اثر منابع مختلف کودی و کم آبیاری بر خصوصیات کیفی علوفه و عملکرد سورگوم علوفه‌ای. علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۴(۳)، ۱-۱۴.

۲. پورمنصور، س.، رزاقی، ف.، سپاسخواه، ع. موسوی، ع. (۱۳۹۸). بررسی رشد و عملکرد گندم تحت سطوح مختلف بیوچار و کم آبیاری در شرایط گلخانه. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۹(۱)، ۲۸-۱۵.

۳. توژی، م.، قربانی دشتکی، ش.، متقیان، ح. قاسمی، ا. (۱۳۹۹). تأثیر زغال‌های زیستی چوب گردو و پوست سبز میوه گردو بر وضعیت نگهداشت آب در یک خاک شنی. تحقیقات کاربردی خاک، ۸(۴): ۵۶-۴۴.

4. Ali, L., Manzoor, N., Li, X., Naveed, M., Nadeem, S. M., Waqas, M. R., Yan, J. (2021). Impact of corn cob-derived biochar in altering soil quality, biochemical status and improving maize growth under drought stress. Agronomy, 11(11), 2300.
5. Baghdadi, A., Balazadeh, M., Kashani, A., Golzardi, F., Gholamhoseini, M., Mehrnia, M. (2017). Effect of pre-sowing and nitrogen application on forage quality of silage corn. Agronomy Research, 15(1).
6. Daneshvar Rad, R., Heidari Sharifabad, H., Torabi, M., Azizinejad, R., Salemi, H., Heidari Soltanabadi, M. (2021). Impact of drought stress on biochemical responses, energy, and water productivity on maize forage (Zea mays L.). SN Applied Sciences, 3, 834.
7. Ferreira, G., Martin, L. L., Teets, C. L., Corl, B. A., Hines, S. L., Shewmaker, G. E., Chahine, M. (2021). Effect of drought stress on in vitro neutral detergent fiber digestibility of corn for silage. Animal Feed Science and Technology, 273, 114803.
8. Gee, G.W., Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis. In 'Methods soil analysis. Part 1: physical and mineralogical methods'. Agronomy Monographs 9(1). (Ed. A Klute) pp. 383–409. (American Society of Agronomy: Madison, WI, USA)
9. Jahan, S., Iqbal, S., Rasul, F., Jabeen, K. (2022). Evaluating the effects of biochar amendments on drought tolerance of soybean (Glycine Max L.) using relative growth indicators. Pak. J. Bot, 54(5), 1629-1641.
10. Kappor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Ramakrishnan, M., Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. Appl Sci, 10(1), 19 -11.
11. Sarshad, A., Talei, D., Torabi, M., Rafei, F., Nejatkhah, P., (2021). Morphological and biochemical responses of Sorghum bicolor (L.) Moench under drought stress. SN Appl Sci 3,1–12 2.
12. Kumar, N., Poddar, A., Shankar, V., Shankhar, P.O., Johnson, A. (2020). Crop water stress index for scheduling irrigation of Indian mustard (Brassica juncea) based on water use efciency considerations. J Agron Crop Sci 206,148–159.
13. Lohar, S., Kumari, P., Sharma, A., Godara, V., Nagar, V., Prajapati, M. K., Singh, M. (2024). Biochar Enhancing Soil Resilience: A Dual Strategy for Mitigating Heavy Metal Contamination and Drought Stress.
14. Malavasi, U. C., Davis, A. S., Malavasi, M. D. M. (2016). Lignin in woody plants under water stress: a review. Floresta e Ambiente, 23, 589-597.
15. Mansour, W., Salim, B. B. M., Hussin S, S., Abd El-Rassoul, M. (2019). Biochar as a strategy to enhance growth and yield of wheat plant exposed to drought conditions. Arab Universities Journal of Agricultural Sciences, 27(1), 51-59.
16. Nelson, D. W., Sommers, L. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methods of soilan 2), 539-579.
17. Neto, C. O., Lobato, A. K. S., Costa, R. C. L., Maia, W. J. M. S., Santos Filho, B. G., Alves, G. A. R., Cruz, F. J. R. (2009). Nitrogen compounds and enzyme activities in sorghum induced to water deficit during three stages. Plant, Soil and Environment, *55*(6), 238-244.
18. Prokic, L., Luzaic, A., Zivanovic, B., Janosevic, D., Andjelkovic, V. (2019). The effect of drought stress on physiological responses of maize plants originating from seeds of different ages. Selekcija i semenarstvo, 25(2), 9-16.
19. Rad, R. D., Sharifabad, H. H., Torabi, M., Azizinejad, R., Salemi, H., Heidari Soltanabadi, M. (2021). Impact of drought stress on biochemical responses, energy, and water productivity on maize forage (Zea mays L.). SN Applied Sciences, 3, 1-11.
20. Rhoades, J. D., Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Sumner, M.E. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of soil analysis. Part 3-chemical methods, 417-435.

21. Riboulet, C., Lefevre, B., Dénoue, D., Barrière, Y. (2008). Genetic variation in maize cell wall for lignin content, lignin structure, p-hydroxycinnamic acid content, and digestibility in set of 19 lines at silage harvest maturity. Maydica, 53(1), 11.
22. Sah, R.P., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M.V.K., Tudu, M.K., Chakravarty, S.C., Narayan, M.,, Rana, M., Moharana, D. (2020) Impact of water defcit stress in maize: phenology and yield components. Sci Rep 10,1–15 4.
23. Sharma, A., Wang, J., Xu, D., Tao, S., Chong, S., Yan, D., Li, Z., Yuan, H., Zheng, B. (2020) Melatonin regulates the functional components of photosynthesis antioxidant system, gene expression and metabolic pathways to induced drought resistance in grafted Carya cathayensis plants. Sci Total Environ 713, 2026–2032.
24. Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds.) part III, 3rd ed. American Society of Agronomy. Inc., Madison, WI. PP, 475- 490.
25. Walkley, A., Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining in soil organic matter, and a proposed modification of the chromic soil titration method. Soil Sci 37,29–38.
26. Zhang, W., Niu, W., Luo, H. (2024). Effect of Biochar Amendment on the Growth and Photosynthetic Traits of Plants Under Drought Stress: A Meta-Analysis. Agronomy, 14(12), 2952.

The effect of biochar on some quality characteristics of forage corn (*Zea mays* L.) under deficit irrigation

Maryam Musapour[1], Afsaneh Alinejadian[2], Mohammad Feizian[3], Amir Lakzian[4]

1. PhD Student in Soil Fertility Management and Biotechnology, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University
2. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University
3. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University
1. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Water scarcity is one of the most destructive environmental stresses in the world that has limited agricultural development. Today, the use of biochar is being used to reduce the adverse impact of water scarcity on crops. For this purpose, a completely randomized design study with factorial arrangement in 3 replications and two factors including three biochar levels including control treatment (without biochar), 0.5 and 1 weight percent biochar and three irrigation levels (control: 100, 75 and 55 % field capacity) was conducted on forage corn in pots. The results showed that irrigation deficiency caused a decrease in fresh and dry weight of shoots, crude fiber percentage, and crude protein percentage, and an increase in ADF and NDF percentage. While biochar reduced the adverse effects on the quality characteristics and growth of corn; as the results of the interaction of biochar and irrigation showed that the highest fresh weight (143.79 g per pot) and dry weight of the shoot (17.61 g per pot), percentage of protein (5.49%) were observed in the treatment of 1% biochar and full irrigation (100 % FC), and the highest NDF (67.13%) was observed in the control treatment (without biochar) and irrigation of 55% of the field capacity. Therefore, according to the results of this study, the use of biochar can be suggested as a solution to improve forage quality under water shortage conditions.

Keywords: Biochar, Drought Stress, ADF, NDF