بررسی اثر بیوچار بر ویژگی‌های ریشه و اندام هوایی ذرت علوفه‌ای تحت تنش کم آبیاری در خاک آلوده به آرسنیک

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

امروزه استفاده از بیوچار به دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فرد آن برای به حداقل رساندن اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی مانند تنش کم‌آبی و فلزات سنگین افزایش یافته است. به همین منظور پژوهشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در ۳ تکرار به‌صورت گلدانی بر روی ذرت علوفه‌ای در خاک آلوده به آرسنیک اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه سطح بیوچار شامل تیمار شاهد (بدون بیوچار)، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی بیوچار و سه سطح آبیاری (شاهد :۱۰۰)، ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی) بودند. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبیاری سبب کاهش وزن‌تر و خشک برگ و ریشه شد در حالی‌که غلظت آرسنیک ریشه و برگ را افزایش داد. نتایج همچنین نشان داد که بیوچار سبب کاهش اثر منفی تنش کم‌آبیاری و بهبود ویژگی‌های مذکور هم در شرایط تنش و عدم تنش شد؛ بطوری‌که بیشترین وزن تر (۳۱/۹۶ گرم در گلدان) و خشک برگ (۴/۶۷ گرم در گلدان) ، وزن تر ریشه (۴۰/۹۶ گرم در گلدان) و خشک ریشه (۳/۹۹ گرم در گلدان) در تیمار ۱ درصد وزنی بیوچار و آبیاری کامل مشاهده شد و کمترین آن‌ها در تیمار شاهد (بدون بیوچار) و سطح ۵۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد؛ درحالی‌که بیشتر غلظت آرسنیک برگ (۷/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) و ریشه (۲۰/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار شاهد (بدون بیوچار) و سطح آبیاری ۵۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد؛ درنتیجه با توجه به نتایج این تحقیق استفاده از بیوچار در شرایط کم‌آبیاری و آلودگی آرسنیک می‌تواند کمک شایانی به بهبود رشد ذرت علوفه‌ای داشته باشد.

واژگان کلیدی: بیوچار، فلزات سنگین، کم آبیاری، وزن تر و وزن خشک

مقدمه

ذرت علوفه‌ای با نام علمی (*Zea mays* L.) از خانواده (Poaceae) به عنوان یکی از مهم‌ترین غلات جهان، اهمیت زیادی در تامین انرژی انسان دارد و با توجه به گزارش سازمان خوار و بار کشاورزی، پنجمین کالای تولید شده در جهان است (FAOSTAT, 2018). ذرت علاوه بر مصرف مستقیم انسان، برای تولید اتانول، خوراک دام و سایر محصولات مانند نشاسته ذرت و شربت ذرت نیز استفاده می‌شود (Foley, 2019).

در سال‌های اخیر آلودگی منابع آب و خاک با آلاینده‌های حاوی آرسنیک (As) تبدیل به یک نگرانی جهانی شده است. تماس با آرسنیک و ورود آن به بدن انسان اکثر سیستم‌ها و اندام‌های بدن از جمله دستگاه تنفسی، قلب و عروق، گوارشی، عصبی، تولیدمثلی، کبد، کلیه‌ها و پوست را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gupta and Chatterjee, 2017). آرسنیک به‌عنوان یک شبه فلز برای گیاهان جزء عناصر غیرضروری محسوب شده و در سیستم‌های فیزیولوژیکی و متابولیسمی گیاه کاربردی ندارد (Tu and Ma, 2003). قرار گرفتن گیاه در معرض آرسنیک تأثیر نامطلوبی بر خصوصیات مورفولوژیکی آن دارد. درکنار آلودگی فلزهای سنگین، کمبود آب یکی دیگراز تنش‌های غیرزیستی است که بر رشد و نمو گیاهان تأثیر می‌گذارد و حدود ۷۰ درصد از ضررهای بالقوه عملکرد و بهره‌وری ذرت در سطح جهان را تشکیل می‌دهد (Yadav et al., 2020). مطابق تحقیقات کمبود آب می‌تواند بر تجمع عناصر سنگین و غلظت آن‌ها در خاک اثرات مختلفی داشته باشد (Sardans et al., 2008). بطور کلی تنش کم‌آبی عملکرد ذرت را از طریق محدودیت آب و اختلال در فتوسنتز کاهش می‌دهد، در حالی که تنش آرسنیک با ایجاد سمیت و آسیب متابولیکی، رشد گیاه را مختل می‌کند. ترکیب این دو تنش به‌ویژه در خاک‌های آلوده و مناطق خشک اثرات

مخرب‌تری دارد. بنابراین با عنایت به این‌که قسمت اعظمی از خاک‌های ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک هستند، افزایش آلودگی و تشدید تنش کم‌آبی در این مناطق نیاز به ارائه راه‌کارهای اساسی است. بیوچار به دلیل ساختار غنی از کربن و همچنین سطح ویژه بالا و ساختاری متخلخل، می‌تواند به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خوب برای بهبود رشد محصول با تعدیل شرایط خاک و با حفظ گروه‌های عملکردی خاک مورد استفاده قرار گیرد. نتایج مطالعات نشان داده افزودن بیوچار به خاک به‌عنوان یک منبع کربن و سطح ویـژه زیاد، تراکم بار سطحی بالا سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ویژگی-های بیوشیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک و کاهش اثرات تنش خشکی (Kim et al., 2016) می‌شود. بنابراین با توجه به اهمیت ذرت علوفه‌ای در تغذیه دام و طیور و انسان در این تحقیق به بررسی اثر بیوچار بر ویژگی‌های ریشه و اندام هوایی تحت تنش کم آبیاری در خاک آلوده به آرسنیک پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی با آرایش فاکتوریل در ۳ تکرار به‌صورت گلدانی به اجرا درآمد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه سطح بیوچار شاهد (بدون بیوچار)، ۰/۵و ۱ درصد وزنی بیوچار و ۳ سطح کم آبیاری شاهد (۱۰۰)، ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی) بود. برای تهیه بیوچار از پوست سبز گردو استفاده شد پس از شستشو با آب مقطر خشک گردید؛ سپس در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس در شرایط بدون اکسیژن (یا اکسیژن محدود) در کوره گرافیکی به مدت ۲ ساعت قرار داده شد و برخی ویژگی‌های آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). برای تهیه خاک گلدان‌ها، خاک لازم از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشته شد؛ پس از هوا خشک شدن برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن که در جدول (۱) مشاهده می‌گردد، اندازه‌گیری شد. برای آلوده‌کردن خاک معادل ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، آرسنیک از منبع آرسنات سدیم به خاک اضافه و پس از چندبار هم-زدن برای آلوده‌سازی کامل خاک، به گلدان‌های ۵ کیلویی اضافه شد؛ سپس دو روز قبل از کشت بر اساس مقادیر عنوان شده، بیوچار به خاک اضافه شد و گلدان‌ها توزین شدند. پس از دو روز بذر ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۶۰۰ در خاک گلدان کشت شد و تا زمان ۶ برگی در حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. پس از این مرحله به منظور اعمال سطوح کم آبیاری با استفاده از روش توزین گلدانی بر اساس مقدار رطوبت در حد ظرفیت زراعی سطوح ۵۵ و ۷۵ درصد محاسبه و تا زمان برداشت بر اساس این روش آبیاری شدند. پس از گذشت ۹۰ روز از کشت قبل از وارد شدن به مرحله زایشی نمونه‌ها برداشت شدند و برخی ویژگی‌های رشدی شامل وزن تر و خشک برگ و ریشه اندازه‌گیری شدند. برای غلظت آرسنیک برگ و ریشه، ابتدا نمونه‌ها با استفاده از روش هضم تر عصاره تهیه گردید (Gaskin et al., 2008) و سپس با استفاده از دستگاه پلاسمای جفت القائی (ICP) قرائت گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای آماری انجام Minitab نسخه ۱۹ انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند مرحله‌ای دانکن در سطح پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل انجام شد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و بیوچار

خاک	مقدار	روش اندازه‌گیری	بیوچار	مقدار	روش روش اندازه‌گیری
بافت	کلی لوم	(Gee and Bauder 1986)	pH*	10.01	(Singh et al., 2017)
pH	۸/۰۹	(Thomas 1996)	هدایت الکتریکی($dS\ m^{-1}$)	5.84	(Singh et al., 2017)
هدایت الکتریکی(ds.m-1)	۱/۶۵	(Rhoades et al., 1966)	کربن کل (درصد)	45.6	Analyzer-CHNS
کربن آلی(درصد)	۰/۷۱	Walkley and Black,) (1934	نیتروژن کل (درصد)	1.09	Analyzer-CHNS
آهک (درصد)	۲۷/۵	Nelson and Sommers,) (1982	ظرفیت تبادل کاتیونی ($Cmolc\ Kg^{-1}$)	49	(Gaskin et al., 2008)
آرسنیک قابل جذب($mg.kg^{-1}$)	ND*	(Wenzel et al., 2001)	C/N	48.8	-

Nd*: زیر حد تشخیص دستگاه، **pH** و هدایت الکتریکی بیوچار در عصاره با نسبت ۱:۲۰ (بیوچار به آب دیونیزه) قرائت شد

نتایج و بحث

ویژگی‌های رشدی

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر اصلی کم‌آبیاری و بیوچار بر وزن تر و خشک برگ در سطح ۱ درصد مثبت و معنی‌دار شد؛ در حالی‌که برهمکنش آن‌ها در همه ویژگی‌های رشدی بجز وزن خشک برگ (معنی‌دار در سطح ۱ درصد) در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر ویژگی‌های رشدی و غلظت آرسنیک برگ و ریشه ذرت علوفه‌ای

	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	آرسنیک برگ	آرسنیک ریشه
سطوح آبیاری (A)	۱۲۷/۰۷**	۵/۳۵**	۳۶۸/۳۹**	۲/۷۳**	۱۷/۳۰**	۸۸/۵۶**
بیوچار (B)	۱۲۰/۴۸**	۰/۴۳۱**	۱۳۶/۷۸**	۳/۵۴**	۲۲/۴۹**	۱۶/۴۹**
A×B	۱۳/۶۹*	۰/۲۸۶**	۱۰/۸۶*	۰/۱۸۵*	۳/۰۸**	۱/۱۷**
خطا	۳/۶۰۹	۰/۰۵۲	۳/۱۷	۰/۰۵۹	۰/۰۵۲.	۰/۱۳۸
ضریب تغییرات	۶/۷۸	۶/۶۸	۶/۰۷	۹/۸۱	۷/۳	۲/۲۸

*و** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ .

نتایج برهمکنش (جدول ۳) اثر تنش کم آبیاری و بیوچار بر وزن تر و خشک برگ ذرت علوفه‌ای نشان داد که کم‌آبیاری سبب کاهش وزن تر و خشک برگ گیاه شد، در حالی‌که افزودن بیوچار به خاک سبب افزایش وزن تر وخشک برگ هم در شرایط کم‌آبیاری و هم آبیاری کامل شد؛ بطوری‌که بیشترین وزن تر (۳۸/۹۲ گرم در گلدان) و وزن خشک برگ (۴/۶۷ گرم در گلدان) در سطح شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و تیمار ۱ درصد وزنی بیوچار و کمترین مقدار وزن تر (۲۴/۶۴ گرم در گلدان) و وزن خشک برگ (۲/۴۶ گرم در گلدان) در تیمار شاهد (بدون بیوچار) و سطح ۵۵ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. نتایج همچنین نشان داد بیشتر وزن تر (۴۰/۹۶ گرم در گلدان) و خشک ریشه (۳/۹۹ گرم در گلدان) در سطح شاهد (آبیاری کامل) و تیمار ۱ درصد وزنی بیوچار مشاهده شد؛ درحالی‌که کمترین مقدار وزن تر (۱۹/۳۸ گرم در گلدان) و خشک (۱/۴۰۵ گرم در گلدان) ریشه در تیمار شاهد (بدون بیوچار) و سطح ۵۵ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (جدول ۳).

بطور معمول تنش کم‌آبی از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ها، کاهش در آبگیری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم و کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل، سبب اثر کاهنده بر فرایند فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۶). در گزارشی مشاهده گردید که تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری سبب کاهش رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای شد، به‌طوری‌که در تیمارهای ۷۵، ۵۵ و ۲۵ درصد نیاز آبی به ترتیب ۷، ۴۷/۴ و ۷۹/۱ درصد عملکرد زیست توده گیاه نسبت به سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت (Esmaily et al., 2024). کاهش ویژگی‌های رشدی گیاه علاوه بر کم‌آبیاری می‌تواند به تأثیر نامطلوب آرسنیک بر رشد گیاه مرتبط باشد (Ma et al., 2020). کاهش رشد گیاهان و تغییر در پارامترهای مربوط به رشد، به‌عنوان یک پاسخ عمومی در برابر تنش فلزهای سنگین محسوب می‌شود که در اغلب گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Rodriguez-Ruiz et al., 2018). بنابراین آلودگی آرسنیک در ترکیب با تنش کم‌آبیاری اثرات مخرب‌تری خواهد داشت. مطالعات Zhou و همکاران (2023) نشان داد اعمال سطوح ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آرسنیک بطور معنی‌داری سبب کاهش وزن تر و خشک برگ و ریشه ذرت شد که مشابه نتایج این تحقیق است. در این تحقیق مشاهده گردید استفاده از بیوچار سبب افزایش ویژگی‌های رشدی گیاه هم در شرایط کم‌آبیاری و هم آبیاری کامل در خاک آلوده به آرسنیک شد. بیوچار می‌تواند به‌طور بالقوه به بهبود ساختار ریشه کمک کند، درنتیجه جذب آب و مواد مغذی از خاک را تسهیل نموده و به بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی کمک کند (Wu et al., 2023; Imran et al., 2022)؛ بنابراین افزایش خصوصیات رشدی گیاه در اثر کاربرد بیوچار می‌تواند به این نقش بیوچار مرتبط باشد. نتایج تحقیقی نشان داد افزودن بیوچار به خاک با بهبود خواص خاک، آلودگی آرسنیک را کاهش داد و سبب افزایش رشد ذرت در شرایط کم‌آبی شد (Kumar et al., 2024)؛ که همسو با نتایج این تحقیق است.

جدول ۳. برهمکنش اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر ویژگی‌های رشدی و غلظت آرسنیک برگ و ریشه ذرت علوفه‌ای

سطوح بیوچار	سطوح آبیاری	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	آرسنیک برگ	آرسنیک ریشه
درصد وزنی	درصد ظرفیت	گرم در گلدان				مبلی‌گرم در کیلوگرم	

خاک گلدان	زراعی					
شاهد	۱۰۰	۲۷/۹۸^{cde}	۴/۳۴^{ab}	۲۹/۲^{cd}	۲/۴^{bcd}	۲/۴۳^{de}	۱۴/۵۵^{d}
	۷۵	۲۷/۹۶^{cde}	۳/۱۰^{cde}	۲۶/۳۰^{de}	۲/۱۱^{cd}	۴/۷۸^{b}	۱۶/۵۶^{c}
	۵۵	۲۴/۶۴^{e}	۲/۴۶^{e}	۱۹/۳۸^{f}	۱/۴۰۵^{e}	۷/۵۳^{a}	۲۰/۶^{a}
۰/۵	۱۰۰	۳۷/۳۸^{ab}	۳/۷۴^{bc}	۳۶/۰۵^{ab}	۲/۶۱^{bc}	۱/۸۱^{e}	۱۴/۳۵^{d}
	۷۵	۳۱/۲۲^{cd}	۳/۴۶^{cd}	۲۷/۶۷^{cde}	۲/۵۶^{bc}	۲/۶۸^{d}	۱۶/۳۵^{c}
	۵۵	۲۶/۸۸^{de}	۲/۶۸^{e}	۲۳/۲۲^{ef}	۱/۷۲^{de}	۳/۳۶^{c}	۱۹/۹۶^{a}
۱	۱۰۰	۳۸/۹۲^{a}	۴/۶۷^{a}	۴۰/۹۶^{a}	۳/۹۹^{a}	۱/۰۰۸^{f}	۱۱^{e}
	۷۵	۳۲/۸۲^{bc}	۳/۳۵^{cd}	۳۲/۰۶^{bc}	۲/۹۸^{b}	۱/۹۸^{e}	۱۵/۱۱^{d}
	۵۵	۳۰/۱۹^{cd}	۳/۰۱^{de}	۲۵/۲۴^{de}	۲/۵۸^{bc}	۲/۶۷^{d}	۱۸/۱^{b}

*تیمارهایی که دارای حروف یکسان اند اختلاف معنی دار ندارند

آرسنیک ریشه و برگ

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر غلظت آرسنیک برگ و ریشه ذرت علوفه‌ای نشان داد که اثرات اصلی و برهمکنش آن‌ها بر غلظت آرسنیک برگ و ریشه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. نتایج برهمکنش (جدول ۳) اثر کم آبیاری و بیوچار بر غلظت آرسنیک برگ و ریشه ذرت علوفه‌ای نشان داد که کم‌آبیاری سبب افزیش غلظت آرسنیک در ریشه و برگ گیاه شد، در حالیکه افزودن بیوچار به خاک سبب کاهش غلظت آرسنیک در برگ و ریشه گیاه شد؛ بطوری‌که بیشترین غلظت آرسنیک در برگ (۷/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) و ریشه گیاه (۲۰/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) در سطح آبیاری ۵۵ درصد ظرفیت زراعی و تیمار شاهد (بدون بیوچار) و کمترین مقدار آرسنیک برگ (۱/۰۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و ریشه (۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار ۱ درصد وزنی بیوچار و سطح آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌دست آمد. تحقیقات نشان داده است تنش آبی می‌تواند سمیت آرسنیک را تشدید کند، زیرا گیاهان تحت تنش آبی ممکن است غلظت بیشتری از آرسنیک را در بافت های خود جمع کنند (Spagnoletti et al., 2015)؛ بنابراین افزایش غلظت آرسنیک برگ و ریشه گیاه در شرایط کم‌آبیاری می‌تواند به فاکتور رقت در ارتباط باشد (Khan et al., 2019)؛ زیرا در شرایط کم‌آبیاری زیست توده گیاه کاهش معنی‌داری داشت؛ بنابراین غلظت آرسنیک افزایش یافت. در این تحقیق اعمال بیوچار به خاک بر کاهش غلظت آرسنیک برگ و ریشه در سطوح مختلف آبیاری موثر بود. مطالعات نشان داده است بیوچار در بهبود کیفیت خاک در شرایط کم‌آبی، از طریق کاهش فراهمی زیستی آرسنیک موثر است (Kumar et al., 2024). بیوچار همچنین از طریق افزایش رطوبت خاک و مواد آلی به طور قابل توجهی عملکرد محصول را بهبود بخشد و تجمع آرسنیک را در گیاهان کاهش دهد (Kumar et al., 2024). مطالعات Kumar و همکاران (2024) کاهش غلظت آرسنیک در اندام هوایی برنج تحت اعمال بیوچار در شرایط کم‌آبیاری را بیان کردند که همسو با نتایج این تحقیق است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق بیوچار سبب افزایش وزن تر و خشک برگ و ریشه ذرت در سطوح مختلف آبیاری شد؛ ترکیب بیوچار با خاک آلوده به آرسنیک همچنین غلظت آرسنیک در برگ و ریشه را کاهش داد که به نقش بیوچار در کاهش زیست فراهمی آرسنیک ممکن است در ارتباط باشد؛ بنابراین بیوچار در خاک‌های آلوده به آرسنیک که کمبود آب لازم برای آبیاری دارند؛ می‌تواند به احیای آن‌ها کمک کند. برای تایید این نتایج بهتر است در سطح مزرعه بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. علی زاده، ا.، مجیدی هروان، ا.، نادیان، ح. ب.، نورمحمدی، ق.، عامریان، م. (۱۳۸۶). بررسی اثر تنش خشکی و مقادیر مختلف نیتروژن بر فنولوژی و رشد و نمو ذرت. نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۴(۵): ۱۱۶-۱۲۸.

2. Esmaily, M., Dadashi, M.R., Feyzbakhsh, M.T., Kaboosi, K., Sheikh, F. 2024. Influence of deficit Irrigation regimes on the quantitative and qualitative yield of forage maize hybrids. Journal of Crop Health, 76(2): 549-560.

3. FAOSTAT. 2018. Food and Agriculture Organization Statistical Database.

4. Foley, J. 2019. "It's Time to Rethink America's Corn System". Scientific American. Retrieved February 18,.
5. Gaskin, J., C., Steiner, K., Harris, K., Das, Bibens, B. (2008). Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. Journal of American Society of Agricultural and Biological Engineers, 51: 2061-2069.
6. 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)
7. Gupta, D. K., Chatterjee, S. (2017). Arsenic Contamination in the Environment: The Issues and Solutions. In: Springer.
8. Imran, S., Sarker, P., Hoque, M. N., Paul, N. C., Mahamud, M. A., Chakrobortty, J., Rhaman, M. S. (2022). Biochar actions for the mitigation of plant abiotic stress. Crop and Pasture Science.
9. Khan, Z. S., Rizwan, M., Hafeez, M., Ali, S., Javed, M. R., Adrees, M. (2019). The accumulation of cadmium in wheat (Triticum aestivum) as influenced by zinc oxide nanoparticles and soil moisture conditions. Journal of Environmental Science and Pollution Research International, 26: 19859-19870.
10. Kim, H.S., Kim, K.R., Yang, J.E., Ok, Y.S., Owens, G., Nehls, T., Wessolek, G., Kim, K.H. (2016). Effect of biochar on reclaimed tidal land soil properties and maize (Zea mays L.) response. Chemosphere, 142, 153-159.
11. Kumar, A., Bhattacharya, T., Shaikh, W. A., Roy, A.(2024). Sustainable soil management under drought stress through biochar application: Immobilizing arsenic, ameliorating soil quality, and augmenting plant growth. Journal of Environmental Research, 259: 119531.
12. Ma, X., Sharifan, H., Dou, F., Sun, W. (2020). Simultaneous reduction of arsenic (As) and cadmium (Cd) accumulation in rice by zinc oxide nanoparticles. Chemical Engineering Journal, 384:123802.
13. 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.
14. Rodriguez-Ruiz, M., Aparicio-Chacon, M.V., Palma, J.M., Corpas, G.J. (2018). Arsenate disrupts ion balance, sulfur and nitric oxide metabolisms in roots and leaves of pea (Pisum sativum L.) plants. Journal of Environmental and Experimental Botany, 161: 143-156.
15. 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.
16. Sardans, J., Peñuelas, J., Estiarte, M. (2008). Warming and drought change trace element bioaccumulation patterns in a Mediterranean shrubland. Chemosphere, 70, 874–885.
17. Spagnoletti, F., Lavado, R. S. (2015). The arbuscular mycorrhiza Rhizophagus intraradices reduces the negative effects of arsenic on soybean plants. Agronomy, 5(2), 188-199.
18. Singh, B., Camps-Arbestain, M., J. Lehmann. (2017). Biochar pH, electrical conductivity and liming potential. In: Singh, B., Mei Dolk, M., Shen, Q. and Camps-Arbestain, M. (Ed.). Biochar: A Guide to Analytical Methods. Csiro Publishing. London, New York, pp. 23-38.
19. Tu, C., Ma, L.Q. (2003). Interactive Effects of pH, Arsenic and Phosphorus on Uptake of As and P and Growth of the Arsenic Hyperaccumulator Pteris vittata L. under Hydroponic Conditions. Environmental and Experimental Botany, 50, 243-251.
20. 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.
21. Yadav, S., Modi, P., Dave, A. (2020). Effect of abiotic stress on crops. In: Hasanuzzaman M, editor. Sustainable crop production. Rijeka, Croatia: InTech. 3–23.
22. Wenzel, W.W., Kirchbaumer, N., Prohaska, T., Stingeder, G., Lombi, E., Adriano, D.C. (2001). Arsenic fractionation in soils using an improved sequential extraction procedure. Journal of Analytica Chimica Acta, 436: 309-323.
23. 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.
24. Wu, Y., Wang, X., Zhang, L., Zheng, Y., Liu, X., Zhang, Y. (2023). The critical role of biochar to mitigate the adverse impacts of drought and salinity stress in plants. Frontiers in Plant Science, 14, 1163451.

Study of the effect of biochar on root and shoot characteristics of forage corn under deficit irrigation stress in arsenic contaminated soil

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

Today, the use of biochar to minimize the adverse effects of environmental stress such as water stress and heavy metals has increased due to its unique characteristics. For this purpose, a research was conducted in the form of a completely randomized design with a factorial arrangement in 3 replications in pots on fodder corn in soil contaminated with arsenic. The experimental factors included three levels of biochar including the control treatment (no use of biochar), 0.5% and 1% by weight of biochar and three levels of irrigation (control: 100%, 75% and 55% of field capacity). The results showed that low-irrigation stress caused a decrease in leaf dry weight, root dry weight, and height. The results also showed that biochar reduced the negative effect of drought stress and improved the aforementioned characteristics in both stress and non-stress conditions; the highest leaf fresh weight (31.96 g/pot) and dry weight (4.67 g/pot), root fresh weight (40.96 g/pot) and root dry weight (3.99 g/pot) were observed in the 1% biochar by weight treatment and full irrigation, and the lowest were observed in the control treatment (without biochar) and 55% of the field capacity. Based on the results of this research, the growth characteristics were reduced according to the 90-day growth period of corn, even with the use of biochar modifier, which can be related to the inhibitory effect of arsenic on corn plant performance; As a result, it is recommended that in arsenic-contaminated soils that lack the necessary water for full irrigation of agricultural crops, the use of biochar can help improve plant growth.

Keywords: Biochar, heavy metals, deficit irrigation, fresh weight and dry weight