اثر بیوچار پوسته برنج و باکتری محرک رشد بر عملکرد و ترکیب شیمیایی اسفناج در خاک تحت تنش شوری

زهره بوالحسنی[1]، عبدالمجید رونقی، رضا قاسمی و مهدی زارعی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ z.bolhasani93@yahoo.com

استاد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ amronaghi@yahoo.com

دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ ghasemif@gmail.com

دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ mehdizarei20@yahoo.cam

دریافت: 97/6/10 و پذیرش: 98/4/12

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات کاربرد شوری، منابع ماده آلی و باکتری محرک رشد بر وزن تر و خشک اندام هوایی و غلظت برخی عناصر اندام هوایی اسفناج، پژوهشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح کلرید سدیم (شاهد 0(S0)، 2(S2) و 4(S4) گرم نمک در کیلوگرم خاک به ترتیب معادل 0/7، 8 و 16/8 دسی زیمنس بر متر)، پنج سطح مواد آلی (شاهد 0%(OM0)، 0/5% (RS0.5) و 1% (RS1) درصد وزنی پوسته برنج و 0/5% (Bi0.5) و 1% (Bi1) درصد وزنی بیوچار پوسته برنج) و دو سطح باکتری (بدون (P0) و با باکتری (P1)) بود. نتایج نشان داد با افزایش کلرید سدیم (شوری)، وزن خشک اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت. اما غلظت نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم اندام هوایی گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت وبر عکس، غلظت سدیم به طور معنی‌داری زیاد شد. با کاربرد منابع مواد آلی، وزن تر و خشک اندام هوایی و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، سدیم و منیزیم اندام هوایی افزایش معنی‌داری پیدا کرد. افزودن باکتری سودوموناس فلورسنس نیز سبب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک و غلظت عناصر اندام هوایی اسفناج گردید. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از مواد آلی به عنوان یک ماده اصلاح کننده خاک و منبع غنی از عناصر غذایی، می‌تواند تا حد زیادی سبب افزایش فراهمی عناصر غذایی در گیاه اسفناج شود و همچنین کاربرد باکتری سودوموناس فلورسنس به عنوان کود زیستی می‌تواند در شرایط تنش شوری سبب بهبود رشد و افزایش غلظت برخی عناصر غذایی در اندام هوایی اسفناج شود. کاربرد ماده آلی و باکتری (در تیمار غیر شور) نیز غلظت عناصر غذایی و عملکرد گیاه را افزایش داد. قبل از هر گونه توصیه‌ایی نتایج آزمایش حاضر بایستی در شرایط مزرعه نیز تایید گردد.

واژه‌های کلیدی: مواد آلی، پتانسیل اسمزی، عناصر غذایی، سودوموناس فلورسنس

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی، بخش علوم خاک

مقدمه

شوری یکی از تنش‌های اصلی و عمده محدود کننده رشد گیاهان در جهان می‌باشد (ژانگ و همکاران، 2011). مساحت خاک‌های شور به شدت در حال افزایش است، به‌طوری که وسعت آن‌ها تقریباً به 190 میلیون هکتار در جهان رسیده است (فائو، 2010). قسمت زیادی از خاک-های ایران با مشکل شوری مواجه است و دامنه این مشکل در حال گسترش می‌باشد، بطوری که سطح وسیعی از دشت لوت، جنوب گرمسار، جنوب سمنان، غرب کرج، زمین‌های بین قم و کاشان، قطعاتی از مناطق اطراف دریاچه ارومیه، مهارلو در فارس، جنوب قزوین، زمین‌های بین قم و تهران مبتلا به شوری است (کردوانی 1368). شوری از مهمترین عوامل موجود در زیست بوم‌های مختلف به شمار می‌رود، در نتیجه توجه به واکنش گیاهان به شوری از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (ایلماز، 2007). از آن‌جایی که مقابله با مشکل شوری مستلزم صرف تلاشی دراز مدت و هزینه هنگفت است، بنابراین آنچه که در حال حاضر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد، برنامه‌ریزی مناسب برای کاهش مشکل شوری از طریق تلاش برای یافتن و پرورش گیاهانی است که بتوانند در شرایط شوری نیز عملکرد قابل قبولی داشته باشند (ایپک و همکاران، 2014). شوری آب آبیاری یا خاک سبب تغییر ترکیب فاز محلول و تبادلی و حتی فاز جامد خاک شده و از این طریق نیز بر جذب عناصر غذایی به‌وسیله ریشه و رشد گیاه اثر می‌گذارد. شدت اثر به سطح شوری، نوع نمک، نوع گیاه، وجود سایر تنش‌ها و برخی عوامل دیگر بستگی دارد (گراتن و گریو 1998).

مواد آلی از شاخص‌های مهم و تأثیرگذار در حاصلخیزی خاک می‌باشد. با وجود مطالعات فراوان درباره مواد آلی و نقش آن در باروری خاک و کشاورزی پایدار، امروزه مزارع خشک و نیمه خشک ما با مشکل کمبود مواد آلی مواجه هستند و آنچه ضروری بنظر می‌رسد ارائه راهکارهای کاربردی برای افزایش بهره وری از این مزارع بوده و یکی از ضروریات آن افزایش مواد آلی خاک است (اسدی و همکاران، 1388). افزودن مواد آلی به خاک از طریق بقایای گیاهی یک شیوه مدیریتی مهم است که می تواند قابلیت دسترسی عناصر غذایی را افزایش داده و باعث اصلاح خاک‌های شور شود و رشد گیاه را افزایش دهد (مظاهری و مجنون حسینی، 1382). بیوچار، زغال تهیه شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که طی فرآیند پیرولیز[1] (آتشکافت) تولید می‌شود (لهمان و جوزف، 2009). بیوچار ترکیب پایداری از کربن، ماده‌ای متخلخل و بسیار ریزدانه است که در دمای کم تا متوسط تحت شرایطی با اکسیژن محدود تولید می‌شود، طی فرایند آتشکافت نوعی سوخت زیستی به صورت مایع یا گاز نیز تولید می‌شود که برای مصارف مختلف قابل استفاده است (سوهی و همکاران، 2009). استفاده از ذغال به عنوان ماده اصلاح-کننده خاک، برای اولین بار در 2500 سال پیش در منطقه تراپراتای[2] آمازون آغاز شد(دوکو و هاگان، 2011). این زغال‌ها از سوختن ناقص زیست توده گیاهی در اجاق‌های خانگی و در مزارع تولید شده است. وجود مقادیر زیاد ذغال در این منطقه نشان دهنده آن است که ذغال در خاک‌های این منطقه به منظور بهبود حاصلخیزی خاک به کار برده شده است. مهدی‌زاده و همکاران (1396) گزارش کردند شوری سبب کاهش صفات رشدی از جمله وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، طول ساقه و ریشه گردید و بیوچار سبب بهبود این صفات در تیمارهای شوری شد. احتمالاً بیوچار یون‌های نمک را در خاک‌های نسبتاً شور به خود جمع می‌کند و موجب بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه می‌گردد. بیوچار به دلیل داشتن تخلخل زیاد و چگالی کم می‌تواند مقدار زیادی آب را در خود ذخیره کند. همچنین بدلیل دارا بودن سطح ویژه بالا و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد قادر به جذب عناصر غذایی در خاک می‌شود (کوکانا و همکاران، 2011، گلاسر و همکاران، 2002). بنابراین استفاده از بیوچار در خاک شور می‌تواند تا حد زیادی سبب کاهش اثرات سو تنش شوری شود (کانوال و همکاران، 2017).

باکتری‌های محرک رشد می‌توانند از دو راه مستقیم و غیرمستقیم بر رشد و نمو گیاه اثر مفید داشته باشند. افزایش غیرمستقیم رشد گیاه زمانی اتفاق می‌افتد که این باکتری‌ها برخی اثرات مضر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا (اغلب قارچ‌ها) را با استفاده از یک یا چندین سازوکار حذف یا تعدیل کنند (گلیک، 1995). یکی از مکانیسم-هایی که باکتری در شرایط تنش از طریق آن به رشد گیاه کمک می‌کند کاهش سطح اتیلن تنشی گیاه از طریق تولید آنزیم ACC- دآمیناز است (گلیک و همکاران، 2004). یائو و همکاران (2010) نشان دادند که تلقیح با باکتری سودوموناس پوتیدا در خاک شور، منجر به تنظیم فشار اسمزی در گیاهچه‌های پنبه و بهبود سرعت جوانه زنی و رشد این گیاه می‌شود. مایاک و همکارن (2004) گزارش کردند که مایه‌زنی با باکتری *Achromobacter piechaudii* از طریق کاهش غلظت اتیلن تنشی سبب افزایش رشد

[1] Pyrolysis

[2] Terrra Preta (central Amazonia)

دانهال‌ها، جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی تحت تنش شوری شد. همچنین در محیط شور، عدم تعادل هورمونی رخ میدهد و استفاده از باکتری محرک رشد مولد هورمون‌های گیاهی (اکسین) می‌تواند با تغییر در شکل ریشه و در نتیجه بهبود جذب آب و عناصر غذایی، رشد و عملکرد گیاهان را افزایش دهد (شاهارونا و همکاران، 2007). اسفناج با نام علمی (*Spinacia oleracea*, L.) از سبزی‌های مهم فصل سرد از خانواده چغندریان است که ارزش غذایی زیادی داشته و به‌دلیل نقش تغذیه ای اسفناج برای انسان و افزایش عملکرد و بهبود کیفیت آن اهمیت فراوانی دارد (گرنت، 2005). با توجه به اینکه بررسی‌های انجام‌شده نشان داد در ارتباط با بررسی اثر بیوچار و باکتری محرک رشد بر غلظت برخی عناصر غذایی اسفناج در شرایط تنش شوری تاکنون تحقیقی انجام نشده است بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر بیوچار پوسته برنج و باکتری محرک رشد بر عملکرد و ترکیب شیمیایی اسفناج در خاک تحت تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر بیوچار پوسته برنج و باکتری محرک رشد بر عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی توسط اندام هوایی اسفناج، در خاک تحت تنش شوری، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در یک خاک آهکی طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل پنج سطح ماده آلی (صفر، 0/5 و 1 درصد وزنی پوسته برنج و 0/5 و 1 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج)، دو سطح باکتری (حضور باکتری و عدم حضور باکتری) و سه سطح شوری (صفر، 2و 4 گرم نمک بر کیلوگرم خاک از منبع کلرید سدیم که به ترتیب معادل 0/7، 8 و 16/8 دسی زیمنس بر متر) بود.

جمع آوری و تجزیه آزمایشگاهی خاک مورد استفاده

جهت انجام این پژوهش، مقدار مورد نیاز خاک (صفر تا 30 سانتی‌متری) از سری‌کوی اساتید (Loamy-skeletal over fragmental, carbonatic, mesic, Fluventic Xerorthents) واقع در منطقه باجگاه دانشکده کشاورزی استان فارس (در ارتفاع 1852 متری از سطح آزاد دریا و واقع در طول جغرافیای 52 درجه و 46 دقیقه و عرض جغرافیایی 29 درجه و 50 دقیقه) جمع‌آوری شد. پس از خشک کردن در هوا و عبور از الک دو میلی‌متری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه از جمله بافت خاک به روش هیدرومتر (جی و بادر، 1986)، ماده آلی به روش تر سوزانی (نلسون و سامرز، 1996)، پ‌هاش خاک در خمیر اشباع (توماس، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت سنج الکتریکی (رودرز، 1996)، فسفر قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم (اولسن و همکاران، 1954)، نیتروژن کل به روش کلدال (برمنر، 1996)، پتاسیم به وسیله عصاره‌گیری با استات آمونیوم (کنودسون و همکاران، 1982) و قرائت به وسیله دستگاه شعله سنج و عناصر کم مصرف کاتیونی (منگنز، مس، آهن و روی) به روش عصاره‌گیری با دی‌تی‌پی‌او قرائت با دستگاه جذب اتمی (لیندسی و نورول، 1978) اندازه‌گیری شد (جدول1).

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

ویژگی	مقدار/ تعریف	ویژگی	مقدار
شن (درصد)	42	نیتروژن کل (درصد)	0/09
سیلت (درصد)	30	فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم (میلی‌گرم برکیلوگرم)	20
رس (درصد)	28	پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (میلی‌گرم برکیلوگرم)	280
کلاس بافت	لوم رسی	آهن قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم برکیلوگرم)	4/4
pH خمیر اشباع	7/6	مس قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم برکیلوگرم)	1
EC عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر)	0/7	منگنز قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم برکیلوگرم)	9/4
ماده‌آلی (درصد)	1/2	روی قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم برکیلوگرم)	0/32

تهیه و تجزیه آزمایشگاهی پوسته برنج و بیوچار آن

پوسته برنج از کارخانه برنج کوبی شهرستان مرودشت (استان فارس) جمع‌آوری و به آزمایشگاه تحقیقاتی بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی منتقل شد. پس از هوا خشک شدن پوسته برنج را آسیاب کرده و از الک 2 میلی‌متری عبور داده شد. جهت تهیه بیوچار، پوسته‌های برنج هواخشک شده را در ورقه آلومینیومی بسته‌بندی و به مدت چهار ساعت در دمای 300 درجه سلسیوس در داخل کوره قرار داده شد تا فرآیند آتشکافت انجام شود و سپس خرد و از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد و تجزیه شیمیایی بر روی آن انجام گرفت (حمزئی و همکاران، 1391).

جدول 2- برخی ویژگی‌های شیمیایی پوسته برنج و بیوچار حاصل از آن

ویژگی	پوسته برنج	بیوچار پوسته برنج
pH	5/9	6
EC (دسی زیمنس بر متر)	0/34	2/4
OC (درصد)	62/20	68/37
N (درصد)	0/42	0/46
P (میلی‌گرم برکیلوگرم)	0/35	0/42
K (میلی‌گرم برکیلوگرم)	0/03	0/82
Fe (میلی‌گرم برکیلوگرم)	53/85	229/4
Cu (میلی‌گرم برکیلوگرم)	4/38	9/66
Mn (میلی‌گرم برکیلوگرم)	85/16	248/9
Zn (میلی‌گرم برکیلوگرم)	12/35	23/70

* پ‌هاش و قابلیت هدایت الکتریکی پوسته و بیوچار در نسبت 1:10 بیوچار به آب

تهیه باکتری فرازنده رشد

باکتری محرک رشد گیاه (*سودوموناس فلورسنس*) از آزمایشگاه میکروبیولوژی بخش علوم خاک تهیه گردید. به منظور تهیه زادمایه، باکتری‌ها بر روی محیط کشت NB[1] و به مدت 24 ساعت در دمای 28 درجه سلسیوس بر روی شیکر دورانی با شدت 120دور در دقیقه قرار داده شدند. سپس یکسان سازی جمعیت باکتری‌ها به روش مک فارلند به نحوی صورت گرفت که سوسپانسیون باکتری دارای جمعیت تقریبی 10^7 cfu ml $^{-1}$ بودند.

کشت گیاه و اعمال تیمارها

در ابتدا با توجه به کاربرد منابع مواد آلی (پوسته برنج و بیوچار آن)، نمونه‌های خاک به وزن سه کیلوگرم آماده و سپس در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شد. به‌منظور جلوگیری از کمبود احتمالی عناصر غذایی و بر اساس نتایج آزمون خاک عناصر نیتروژن، آهن، منگنز، روی و مس به ترتیب به مقدار 150، 10، 5، 10 و 2/5 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و از منابع اوره، سکوسترین آهن، سولفات منگنز، سولفات روی و سولفات مس و به‌صورت محلول به خاک اضافه شد. سپس خاک درون کیسه‌ها کاملاً مخلوط شده و به داخل گلدان‌های سه کیلوگرمی پلاستیکی منتقل شد. در هر گلدان ده عدد بذر اسفناج (رقم *Virology*) در عمق حدود سه سانتی‌متری خاک کاشته شد و به گلدان‌های با تیمار باکتری پس از کاشت بذر، دو میلی لیتر 10^7 cfu ml $^{-1}$، محلول حاوی باکتری محرک رشد افزوده و روی آن با مقدار کافی خاک پوشانده شد و رطوبت خاک در طول آزمایش در حدود رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری شد. بعد از استقرار کامل بوته‌ها، تعداد دانهال‌ها به پنج عدد کاهش یافت. نیتروژن در دو قسط یکسان (نصف قبل از کاشت و نصف دیگر 20 روز بعد از کاشت) اضافه شد. به‌منظور جلوگیری از تنش ناگهانی و مرگ دانهال‌ها، تیمار شوری بعد از استقرار کامل بوته‌ها و به‌صورت تدریجی و در طول دو هفته اعمال شد. آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر و در حدود ظرفیت مزرعه با روش توزین صورت گرفت. کلروفیل اندام هوایی اسفناج در هفته هشتم با استفاده از کلروفیل‌متر دستی (SPAD-502) اندازه‌گیری شد. بعد از برداشت گیاهان، ریشه‌ها و اندام هوایی اسفناج در هر گلدان از نزدیکی سطح خاک قطع و پس از توزین و شستشو با آب معمولی و سپس با آب مقطر، نمونه‌های گیاهی در دمای 65 درجه سلسیوس و به مدت 48 ساعت و تا رسیدن به وزن ثابت در آون خشک شد. سپس نمونه‌های خشک

1. Nutrient Broth

شده توزین شده و به‌وسیله آسیاب برقی جهت تجزیه آزمایشگاهی پودر شدند. برای تجزیه گیاه یک گرم ماده خشک گیاه در دمای 550 درجه سلسیوس خاکستر شده و سپس 5 میلی‌لیتر اسید کلریدریک 2 نرمال به آن افزوده شد تا نمونه حل شود. سپس نمونه‌های حل شده از کاغذ صافی عبور داده شد و حجم محلول صاف شده با آب مقطر به حجم 50 میلی‌لیتر رسانده شد و غلظت سدیم، پتاسیم با دستگاه شعله‌سنج، کاتیون‌های کلسیم و منیزیم به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد. غلظت نیتروژن و فسفر نیز به‌ترتیب با روش‌های کجلدال (برمنر، 1996) و آمونیوم مولیبدات وانادات (چاپمن و پرات، 1962) اندازه-گیری شدند. تجزیه و تحلیل آماری داده هاپس از به‌دست آوردن نتایج آزمایشگاهی و گلخانه‌ای، تجزیه و تحلیل آماری داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون دانکن و در سطح آماری پنج درصد با یکدیگر مقایسه شد.

نتایج

اثرات اصلی تیمارهای مختلف

بر اساس نتایج بدست آمده از لحاظ آماری اثرات اصلی سطوح کلرید سدیم (شوری) و منابع ماده آلی بر وزن تر اندام هوایی، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم در اندام هوایی گیاه و در سطح یک درصد معنی‌دار بود. کاربرد باکتری نیز تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی، غلظت نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم داشت (جدول3).

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر صفات مورد بررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر	وزن خشک	نیتروژن	فسفر
شوری	2	47/47**	1/181ns	7 /464**	1 /269**
منابع ماده آلی	4	427/6**	5/285**	0 /172**	0 /01**
باکتری	1	2170**	1/075**	0 /996**	0 /003**
شوری*منابع ماده آلی	8	6/677ns	0/430**	0 /008**	0 /000**
شوری*باکتری	2	3/377ns	0/004ns	0 /041**	0 /000**
منابع ماده آلی*باکتری	4	23/51**	0/032ns	0 /028**	0/000*
شوری*منابع ماده آلی*باکتری	8	8/403*	0/032ns	0 /031**	0 /000ns
خطا	60	4/357	0/043	0/002	0/000
		پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم
شوری	2	15/71**	24/94**	4 /698**	1 /169**
منابع ماده آلی	4	19/00**	0 /037**	0 /051**	0 /016**
باکتری	1	0/002ns	0 /001ns	0 /059**	0 /000**
شوری*منابع ماده آلی	8	0/365**	0 /008**	0 /000*	0 /000**
شوری*باکتری	2	0/003ns	0 /000ns	0 /000**	0 /000*
منابع ماده آلی*باکتری	4	0/028**	0 /000ns	0 /001**	0 /0000*
شوری*منابع ماده آلی*باکتری	8	0/001ns	0 /000ns	0 /000*	0 /000ns
خطا	60	0 /049	0/001	0/000	0/000

* و ** به ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

ns از لحاظ آماری معنی دار نمی‌باشد.

جدول 4- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر غلظت عناصر اندام هوایی اسفناج

تیمار	وزن تر	وزن خشک	Mg	Ca	Na	K	P	N
	(گرم در گلدان)			(درصد)				
S0	60/79b*	7/00a	4/395a	0/663a	6/205b	0/251c	0/586a	1/115a
S2	62/15ab	7/101a	4/289b	0/379b	7/459a	0/937b	0/337b	0/787b
S4	63/30a	7/28a	3/483c	0/263c	6/207b	2/057a	0/196c	0/327c
OM0	56/08e	6/317d	3/916d	0/407e	5/121d	1/022c	0/339d	0/686e
RS0.5	58/57d	6/945c	4/019c	0/419d	6/069c	1/073b	0/349c	0/706d
RS1	62/05c	7/267b	4/066b	0/432c	6/906b	1/059b	0/368b	0/725c
Bi0.5	66/12b	7/377b	4/096b	0/453b	7/472a	1/122a	0/402a	0/785b
Bi1	67/59a	7/762a	4/181a	0/464a	7/550a	1/132a	0/406a	0/812a
P0	57/17b	7/024b	3/951b	0/429b	6/619a	1/086a	0/370b	0/717b
P1	66/99a	7/243a	4/161a	0/441a	6/629a	1/077a	0/376a	0/769a

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترک می‌باشند از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

سطوح شوری: (S0: شاهد، S2: 2 گرم نمک در کیلوگرم خاک، S4: 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک) ، سطوح منابع ماده آلی: (OM0: شاهد، RS0.5: 0/5 درصد وزنی پوسته برنج، RS1: 1 درصد وزنی پوسته برنج، Bi0.5: 0/5 درصد وزنی بیوچار، Bi1: 1 درصد وزنی بیوچار، سطوح باکتری: (P0: بدون کاربرد باکتری، P1: با کاربرد باکتری.

داده‌های جدول مقایسه میانگین اثرات اصلی (جدول4)، نشان می دهد که افزایش سطوح کلرید سدیم سبب افزایش وزن تر اندام هوایی گردید ولی این افزایش معنی‌دار نبود. افزایش سطوح کلرید سدیم سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی گردید. افزایش سطوح کلرید سدیم سبب کاهش معنی‌دار غلظت نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم در اندام هوایی اسفناج نسبت به تیمار شاهدگردید. کاربرد 2 گرم نمک در کیلوگرم خاک سبب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در مقایسه با تیمار شاهد گردید. در حالیکه کاربرد 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک سبب افزایش معنی‌دار غلظت سدیم نسبت به تیمار شاهد شد. کاربرد منابع ماده آلی سبب افزایش معنی‌دار غلظت تمامی عناصر در مقایسه با عدم کاربرد ماده آلی شد. بیشترین تأثیر را کاربرد یک درصد وزنی بیوچار پوسته برنج در مقایسه با سایر سطوح منابع ماده آلی داشت. هرچند در غلظت پتاسیم، سدیم و منیزیم گیاه تفاوت معنی‌داری بین سطوح کاربرد 1 درصد با 0/5 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج مشاهده نشد. کاربرد باکتری محرک رشد (سودوموناس فلورسنس)، موجب افزایش معنی‌دار وزن تر، خشک اندام هوایی، غلظت نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم گیاه در مقایسه با تیمار عدم کاربرد باکتری گردید.

اثرکاربرد توأم شوری و منابع ماده آلی

اثر کاربرد توأم شوری و ماده آلی بر وزن خشک اندام هوایی، غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سدیم و منیزیم گیاه در سطح یک درصد و بر غلظت کلسیم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول3). جدول مقایسه میانگین (جدول 5)، نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک و 1 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج بود هر چند از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با برخی سطوح دیگر مشاهده نگردید. کمترین وزن خشک اندام هوایی نیز مربوط به تیمار بدون کاربرد شوری و بدون کاربرد مواد آلی بود. بیشترین غلظت نیتروژن، فسفر،کلسیم و منیزیم بخش هوایی اسفناج مربوط به تیمار بدون کاربرد شوری و 1 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج بود. هر چند در غلظت کلسیم و منیزیم تفاوت معنی‌داری بین سطح یک درصد و سطح 0/5 درصد وزنی بیوچار (تیمار بدون کاربرد شوری) پوسته برنج مشاهده نشد. بیشترین غلظت پتاسیم مربوط به تیمار 2 گرم نمک در کیلوگرم خاک و 1 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج بود هرچند از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار 2 گرم نمک در کیلوگرم خاک و 0/5 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج نداشت. بیشترین غلظت سدیم مربوط به تیمار 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک و 1 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج بود هرچند از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک و 0/5 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج مشاهده نشد.

جدول 5- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و منابع ماده آلی بر غلظت برخی عناصر اندام هوایی

Mg	Ca	Na	K	P	N	وزن خشک	تیمار	
(درصد)						(گرم در گلدان)		
0/546d	1/063c	0/162h	4/845g	0/622e	4/271d	5/703h*	OM0	
0/560c	1/083bc	0/276f	5/404f	0/638d	4/346c	6/855f	RS0	
0/581b	1/090b	0/235g	6/404d	0/655c	4/378c	7/080efd	RS1	S0
0/617a	1/166a	0/303f	7/155c	0/692b	4/457b	7/301cde	Bi0.5	
0/623a	1/174a	0/279f	7/217c	0/708a	4/525a	7/828a	Bi1	
0/316g	0/722g	0/934de	5/752e	0/355h	4/129e	6/243g	OM0	
0/320g	0/750f	0/921e	7/362c	0/366g	4/236d	6/916f	RS0	
0/333f	0/769f	0/916e	7/836b	0/375g	4/276d	7/345c	RS1	S2
0/355e	0/818e	0/944de	8/108a	0/395f	4/358c	7/333cd	Bi0.5	
0/362e	0/874d	0/969d	8/240a	0/404f	4/446b	7/670ab	Bi1	
0/155k	0/273j	1/971c	4/767g	0/244k	3/349h	7/005f	OM0	
0/168j	0/286j	2/021b	5/443f	0/252k	3/476g	7/065f	RS0	
0/190i	0/317i	2/028b	6/479d	0/265j	3/545f	7/376c	RS1	S4
0/233h	0/372h	2/119a	7/155c	0/273ij	3/474g	7/498bc	Bi0.5	
0/233h	0/389h	2/147a	7/194c	0/281i	3/573f	7/788a	Bi1	

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترک می‌باشند از نظر آماری اختلاف آماری معنی‌داری در سطح 5 درصد ندارند.

سطوح شوری: (S0: شاهد، S2: 2 گرم نمک در کیلوگرم خاک، S4: 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک) ، سطوح منابع ماده آلی: (OM0: شاهد، RS0.5: 0/5 درصد وزنی پوسته برنج، RS1: 1 درصد وزنی پوسته برنج، Bi0.5: 0/5 درصد وزنی بیوچار، Bi1: 1 درصد وزنی بیوچار

همچنین کمترین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم مربوط به تیمار 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک و بدون کاربرد منابع ماده آلی بود. هر چند در غلظت فسفر و کلسیم در این سطح از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک و 0/5 درصد وزنی پوسته برنج مشاهده نشد. همچنین در غلظت پتاسیم در این سطح از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار بدون کاربرد شوری و بدون کاربرد منابع ماده آلی مشاهده نگردید. کمترین غلظت سدیم نیز مربوط به تیمار بدون کاربرد شوری و بدون کاربرد منابع ماده آلی بود.

اثرکاربرد توأم شوری و باکتری

کاربرد توأم شوری و باکتری بر غلظت نیتروژن، فسفر و کلسیم بخش هوایی اسفناج در سطح یک درصد و بر غلظت منیزیم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول3). جدول مقایسه میانگین (جدول6)، نشان داد که بیشترین غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم مربوط به تیمار بدون کلرید سدیم و کاربرد باکتری محرک رشد بود. و کمترین غلظت این عناصر مربوط به تیمار 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک و بدون کاربرد باکتری بود هر چند در غلظت فسفر در این سطح از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک و کاربرد باکتری مشاهده نشد.

اثر کاربرد توأم منابع ماده آلی و باکتری

کاربرد توأم منابع ماده آلی و باکتری بر وزن تر اندام هوایی، غلظت نیتروژن، پتاسیم و کلسیم اندام هوایی اسفناج در سطح یک درصد و بر غلظت فسفر و منیزیم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول3). جدول مقایسه میانگین (جدول7)، نشان داد که بیشترین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم مربوط به تیمار 1 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج همراه با کاربرد باکتری بود هرچند از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با برخی تیمارها مشاهده نگردید. کمترین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد ماده آلی و بدون حضور باکتری) بود. هر چند کمترین غلظت پتاسیم و منیزیم در این سطح، از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار با کاربرد باکتری (بدون کاربرد ماده آلی) مشاهده نشد.

اثر کاربرد توأم شوری، منابع ماده آلی و باکتری

کاربرد توأم شوری، منابع ماده آلی و باکتری بر وزن تر اندام هوایی و غلظت نیتروژن در سطح یک درصد و بر غلظت کلسیم پنج درصد معنی‌دار بود (جدول3).

جدول6-مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و باکتری بر غلظت برخی عناصر اندام هوایی

تیمار		N	P	Ca	Mg
		(درصد)			
S0S0	P0	4/300c*	0/652b	1/103b	0/583a
	P1	4/491a	0/673a	1/127a	0/588a
S2	P0	4/215d	0/373d	0/758d	0/336b
	P1	4/363b	0/385d	0/816c	0/338b
S4	P0	3/337f	0/260e	0/291f	0/189d
	P1	3/630e	0/266e	0/364e	0/202c

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترک می‌باشند از نظر آماری اختلاف آماری معنی‌داری در سطح 5 درصد ندارند.

سطوح شوری: (S0: شاهد، S2: 2 گرم نمک در کیلوگرم خاک، S4: 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک)

سطوح باکتری: (P0: بدون کاربرد باکتری، P1: با کاربرد باکتری)

جدول 7- مقایسه میانگین اثر متقابل منابع ماده آلی و باکتری بر غلظت برخی عناصر اندام هوایی

تیمار		وزن تر	N	P	K	Ca	Mg
		(گرم در گلدان)			(درصد)		
OM0	P0	53/00f*	3/846f	0/398f	5/108d	0/665h	0/337e
	P1	59/17d	3/987de	0/416e	5/135d	0/707f	0/341de
RS0.5	P0	53/92f	3/939e	0/409e	6/073c	0/685g	0/345d
	P1	63/22c	4/100c	0/429cd	6/066c	0/727e	0/353c
RS1	P0	56/09e	3/989de	0/427d	6/910b	0/704f	0/360c
	P1	68/00b	4/144c	0/436c	6/903b	0/747d	0/377b
Bi0.5	P0	60/37d	3/948e	0/447b	7/465a	0/763cd	0/402a
	P1	71/87a	4/245b	0/459a	7/480a	0/808b	0/401a
Bi1	P0	62/49c	4/033d	0/462a	7/539a	0/770c	0/405a
	P1	72/70a	4/330a	0/467a	7/561a	0/855a	0/407a

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترک می‌باشند از نظر آماری اختلاف آماری معنی‌داری در سطح 5 درصد ندارند

سطوح منابع ماده آلی: (OM0: شاهد، RS0.5: 0/5 درصد وزنی پوسته برنج، RS1: 1 درصد وزنی پوسته برنج، Bi0.5: 0/5 درصد وزنی بیوچار، Bi1: 1 درصد وزنی بیوچار، سطوح باکتری: (P0: بدون کاربرد باکتری، P1: با کاربرد باکتری)

جدول 8- مقایسه میانگین اثر متقابل منابع شوری، منابع ماده آلی و باکتری بر غلظت نیتروژن و کلسیم اندام هوایی

تیمار	وزن تر	N	Ca
	(گرم در گلدان)	(درصد)	
S0OM0P0	49/43n*	4/192i	1/041d
S0RS0.5P0	53/50m	4/237ghi	1/067cd
S0RS1P0	53/80lm	4/294ghf	1/078bcd
S0Bi0.5P0	60/71g-j	4/334ef	1/162a
S0Bi1P0	62/83gh	4/444cd	1/161a
S0OM0P1	57/85ijk	4/351ef	1/080bc
S0RS0.5P1	62/61gh	4/455cd	1/098bc
S0RS1P1	67/15ef	4/463bc	1/103b
S0Bi0.5P1	70/29b-e	4/580a	1/170a
S0Bi1P1	69/75cde	4/606a	1/186a
S2OM0P0	54/23klm	4/041j	0/704k
S2RS0.5P0	54/05klm	4/181i	0/704jk
S2RS1P0	56/92j-m	4/188i	0/752ij
S2Bi0.5P0	60/45g-j	4/321efg	0/797gh
S2Bi1P0	61/64ghi	4/346ef	0/811fg
S2OM0P1	59/67hij	4/218hi	0/740j
S2RS0.5P1	64/33fg	4/291hi	0/776hi
S2RS1P1	67/43def	4/365def	0/786gh
S2Bi0.5P1	71/66bc	4/395cde	0/840f
S2Bi1P1	71/16bcd	4/546ab	0/936e
S4OM0P0	55/33klm	3/305n	0/244r
S4RS0.5P0	54/20klm	3/397n	0/265qr
S4RS1P0	57/55jkl	3/486m	0/281pq
S4Bi0.5P0	59/97hij	3/188o	0/329omn
S4Bi1P0	63/00gh	3/308n	0/336mn
S4OM0P1	60/00hij	3/392n	0/301op
S4RS0.5P1	62/72gh	3/556lm	0/308opn
S4RS1P1	69/44cde	3/604l	0/353m
S4Bi0.5P1	73/66b	3/760k	0/414l
S4Bi1P1	77/20a	3/838k	0/441l

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترک می‌باشند از نظر آماری اختلاف آماری معنی‌داری در سطح 5 درصد ندارند.

سطوح شوری: (S0: شاهد، S2: 2 گرم نمک در کیلوگرم خاک، S4: 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک) ، سطوح منابع ماده آلی: (OM0: شاهد، RS0.5: 0/5 درصد وزنی پوسته برنج، RS1: 1 درصد وزنی پوسته برنج، Bi0.5: 0/5 درصد وزنی بیوچار، Bi1: 1 درصد وزنی بیوچار، سطوح باکتری: (P0: بدون کاربرد باکتری، P1: با کاربرد باکتری)

داده‌های جدول مقایسه میانگین (جدول8)، نشان داد که بیشترین وزن تر اندام هوایی مربوط به تیمار 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک و 1 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج همراه با کاربرد باکتری بود و کمترین وزن تر اندام هوایی مربوط به تیمار بدون کاربرد نمک و منابع ماده آلی و بدون حضور باکتری بود. بیشترین غلظت نیتروژن اندام هوایی مربوط به تیمار بدون شوری و 1 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج همراه با کاربرد باکتری بود هرچند از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار بدون شوری و 0/5 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج همراه با باکتری مشاهده نشد. کمترین غلظت نیتروژن مربوط به تیمار 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک و 0/5 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج و بدون کاربرد باکتری بود. بیشترین غلظت کلسیم مربوط به تیمار بدون شوری و 1 درصد وزنی بیوچار پوسته برنج با کاربرد باکتری بود هر چند از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با برخی تیمارها دیگر مشاهده نشد. کمترین غلظت کلسیم مربوط به تیمار 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک و بدون کاربرد ماده آلی و بدون باکتری

بود هرچند از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک و 0/5 درصد وزنی پوسته برنج و بدون کاربرد باکتری مشاهده نشد.

بحث و نتیجه‌گیری

براساس داده‌ها و نتایج به‌دست آمده، کاربرد کلرید سدیم موجب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی شد. تحریک رشد به وسیله سدیم، به طور عمده به دلیل اثر آن بر رشد سلول و موازنه آب گیاهان به وجود می‌آید. در رابطه با تحمل گیاه اسفناج به میزان شوری، نتایج حاصل متناقض با نتایج برخی محققین دیگر است. براساس نتایج آزمایش حاضر، کاربرد شوری تا میزان 4 گرم نمک بر کیلوگرم خاک (16/8 دسی زیمنس بر متر)، بر وزن تر اندام هوایی اسفناج تأثیر منفی نداشت و حتی سبب افزایش آن نیز گردید. احتمالا این افزایش، به دلیل تعدیل اسمزی می‌باشد بدین معنی که با افزایش تدریجی سطح شوری و تجمع تدریجی نمک در سلول‌های ریشه، گیاه توانسته است خود را با تنش سازگار کند و به دلیل تعدیل اسمزی مقدار جذب آب بیشتر شده است و در نتیجه وزن تر گیاه افزایش پیدا کرده است. شیخی و رونقی (1392)، گزارش کردند، افزایش سدیم کلرید تا میزان 3 گرم نمک (11/5 دسی‌زیمنس بر متر) اثر معنی‌داری بر کاهش عملکرد اسفناج نداشت. شانون و همکاران (2010)، طی آزمایش برای بررسی اثر آبیاری با آب شور، سطح تحمل شوری برای اسفناج (رقم اسپس) (با 50% کاهش عملکرد محصول) را در هفته سوم از کاشت 10/7 دسی‌زیمنس بر متر و در هفته هفتم از کاشت 13/4 دسی‌زیمنس بر متر گزارش کردند. مارشنر و پوسینگهام (1975) نیز گزارش کردند اسفناج گونه‌ای سدیم دوست است و بالا بودن سدیم در محیط خارجی سبب رونق توسعه سلول و رشد می‌شود. ماس و هافمن (1997) طی آزمایشی، حد آستانه تحمل به شوری را برای اسفناج 2 دسی‌زیمنس بر متر در عصاره اشباع خاک و شیب کاهش عملکرد را 7/6 درصد، برای افزایش هر واحد هدایت الکتریکی به دست آوردند. یوسیف و همکاران (2010) نیز گزارش کردند وزن خشک اسفناج رقم نیوزیلند در ابتدا باکاربرد شوری کلرید سدیم افزایش پیدا کرد ولی با کاربرد شوری 9 دسی زیمنس بر متر کاهش پیدا کرد.

همچنین نتایج نشان داد که کاربرد کلرید سدیم سبب کاهش معنی‌دار غلظت نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم شد. اما افزایش معنی‌دار غلظت سدیم در اندام هوایی اسفناج را به دنبال داشت. گرین وی و مونس (1980) نشان دادند که شوری موجب کاهش غلظت نیتروژن برگ کلزا شد و این امر می‌تواند به دلیل رابطه آنتاگونیستی بین نیترات و کلر در شرایط تنش شوری باشد. سقفی و همکاران (1392) گزارش کردند که غلظت نیتروژن اندام هوایی کلزا با افزایش شوری به طور معنی-داری کاهش یافت. کایا و همکاران (2002) گزارش نمودند که تحت شرایط شوری، غلظت فسفر در اسفناج و کاهو کاهش یافت. در محیط شور به واسطه افزایش قدرت یونی از فعالیت فسفر در محلول خاک کاسته می-شود (ملکوتی و طباطبایی، 1378). شیبلی و همکاران (2003) در تحقیقات انجام شده روی گیاهان مختلف تحت شرایط شوری نشان دادند که سدیم، باعث ایجاد عدم تعادل اسمزی، کاهش رشد، جلوگیری از تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها و تخریب غشاهای سلولی و در نتیجه کاهش میزان کلسیم در گیاهان می‌شود. یوسیف و همکاران (2010) گزارش کردند که غلظت کلسیم و منیزیم اسفناج رقم نیوزیلند رشد یافته در شرایط شوری کاهش یافت. مهمترین دلیل کاهش غلظت عناصر کلسیم، منیزیم و پتاسیم می‌تواند رابطه ناهمسازی بین سدیم با این عناصر باشد. گرین وی و مونس (1980) بیان کردند که مهمترین اثر نمک‌های کلرید سدیم، افزایش غلظت سدیم در بافت گیاهی است. سدیم اضافی می‌تواند منجر به تغییراتی در وضعیت تغذیه‌ای عناصر دیگر شود. بطور مثال کاهش جذب پتاسیم و کاهش رشد و عملکرد گیاه از آثار سوء افزایش غلظت سدیم در گیاه است.

کاربرد باکتری محرک رشد موجب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک و غلظت نیتروژن، فسفر،کلسیم و منیزیم اندام هوایی اسفناج گردید. کاربرد باکتری تأثیر مثبتی در صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش داشت. بانچیو و همکاران (2008) گزارش کردند استفاده از باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش حجم ریشه‌ها گردیده که در نهایت جذب آب و عناصر غذایی افزایش یافته و سبب افزایش عملکرد گیاه شد. باکتری‌های PGPR با تولید هورمون‌هایی مانند اکسین، عملکرد گیاهان به‌ویژه غلاتی مانند گندم را در مناطق خشک افزایش می‌دهد (یزدانی بیوکی و همکاران ،1389). کارلیداق و همکاران(2011) گزارش کردند که استفاده از باکتری محرک رشد (PGPR) تحت تنش شوری غلظت نیتروژن را در اندام هوایی گیاه توت فرنگی، افزایش می‌دهد، آنان بیان نمودند که PGPR از طریق محدود کردن جذب کلر منجر به افزایش جذب نیترات در گیاه می‌شوند. اردکانی و همکاران (2011)، علت اصلی افزایش غلظت نیتروژن در گیاه گندم را توسعه سیستم ریشه‌ای (افزایش انشعابات ریشه و طول ریشه) توسط جدایه‌های PGPR بیان نمودند.

شیدی و همکاران (1984) گزارش کردند ریز جانداران متعدد شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها و مخمرها قادرند سیلیکات را تجزیه کرده و عناصری چون پتاسیم، فسفر، آهن، روی و سیلیسیم را آزاد کنند . در این میان، باکتری‌ها از اهمیت زیادی برخوردارند. لذا، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که احتمالا باکتری سودوموناس با تولید مواد تنظیم کننده رشد، تغییر در مرفولوژی ریشه و تجزیه سیلیکات‌ها و انحلال کانی‌ها باعث آزادسازی پتاسیم و به تبع آن باعث بیشترین افزایش در میزان پتاسیم اندام هوایی گردیده است. هوفلیچ و همکاران (1997) گزارش نمودند که افزایش جذب عناصر به‌وسیله گیاهان همزیست با باکتری محرک رشد را می‌توان به تولید مواد تنظیم کننده رشد نسبت داد که به‌وسیله باکتری‌ها در سطح ریشه تحریک می‌شوند و رشد ریشه و جذب آب و عناصر را افزایش می‌دهند. کاوینو (2011) نشان داد که استفاده از دو گونه باکتری سودوموناس فلورسنس سبب افزایش غلظت عناصری چون نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ گیاه موز نسبت به تیمار بدون تلقیح با باکتری شده است. بانو و فاطیما (2009) در پژوهشی نشان دادند که تلقیح باکتری‌های سودوموناس و ریزوبیوم غلظت کلسیم را در برگ‌های گیاه ذرت در شرایط تنش شوری، افزایش داد.

در تحقیقی جلیلی و همکاران (2011) به منظور بررسی تأثیر سودوموناس‌های فلورسنس محرک رشد گیاه بر میزان جذب عناصر غذایی و رشد کلزا در شرایط شور به این نتیجه رسیدند که کاربرد سویه‌های P_f 196، P_p 108 و Pf_o 169 غلظت منیزیم را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون باکتری) افزایش داد. کاربرد منابع ماده آلی موجب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی و غلظت تمامی عناصر اندام هوایی گردید. گاسکین و همکاران (2008) گزارش نمودند که بیوچار می‌تواند منبع تغذیه مستقیم برای گیاه باشد و بسیاری از عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم را برای گیاه فراهم کند و سبب افزایش غلظت این عناصر در گیاه شود. چن و همکاران (2007) با بررسی اثر بیوچار بر عملکرد تربچه نشان دادند که افزایش بیوچار سبب افزایش غلظت فسفر در گیاه شده است. اینال و همکاران (2015) نیز گزارش کردند که افزودن بیوچار سبب افزایش غلظت پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم و نیتروژن در گیاه لوبیا شد. استفاده از بیوچار در خاک شور می‌تواند تا حد زیادی سبب کاهش اثرات سو تنش شوری شود (کانوال و همکاران، 2017). مهدی‌زاده و همکاران (1396) گزارش کردند شوری سبب کاهش صفات رشدی از جمله وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، طول ساقه و ریشه گردید و بیوچار سبب بهبود این صفات در تیمارهای شوری شد. احتمالا بیوچار یون‌های نمک را در خاک‌های نسبتاً شور به خود جمع می‌کند و موجب بهبود ویژگیهای رشدی گیاه می‌گردد. بیوچار به دلیل داشتن تخلخل زیاد و چگالی کم می‌تواند مقدار زیادی آب را در خود ذخیره کند. همچنین بدلیل دارا بودن سطح ویژه بالا و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد قادر به جذب عناصر غذایی در خاک می‌شود (کوکانا و همکاران، 2011، گلاسر و همکاران، 2002).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش سدیم کلرید تا میزان 4 گرم (16/8 دسی‌زیمنس بر متر)، اثر معنی‌داری بر کاهش عملکرد نداشت. بنابراین آستانه شوری برای اسفناج رقم ویروفلی در شرایط آزمایش حاضر حداقل 16/8 دسی‌زیمنس بر متر بدست آمدکه به مراتب بیشتر از آستانه ذکر شده برای اسفناج در بیشتر منابع (2 دسی‌زیمنس بر متر) است. با این وجود، قبل از هرگونه توصیه‌ای لازم است آزمایش‌های بیشتری، به‌ویژه در شرایط مزرعه، جهت تأیید نتایج پژوهش حاضر انجام شود. کاربرد 4 گرم نمک در کیلوگرم خاک، غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم اندام هوایی را به ترتیب به میزان 20/75، 82/64، 66/5 و 70/67 درصد نسبت به شاهد کاهش داد. در حالیکه کاربرد 2 گرم نمک در کیلوگرم خاک، غلظت پتاسیم اندام هوایی را 20/20 درصد نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین کاربرد 4 گرم نمک نیز سبب افزایش 8 برابری غلظت سدیم اندام هوایی در مقایسه با شاهد شد. استفاده از مواد آلی به عنوان یک منبع غنی از عناصر غذایی، می‌تواند تا حد زیادی سبب افزایش فراهمی عناصر غذایی در گیاه شود. کاربرد بیوچار توانست در شرایط شور، سبب افزایش وزن تر و خشک، غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم اندام هوایی شود. در حضور باکتری محرک رشد، وزن تر و خشک، غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم اندام هوایی در مقایسه با عدم حضور باکتری افزایش معنی‌داری را نشان داد. مایه‌زنی باکتری محرک رشد گیاه (سودوموناس فلورسنس) با افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی، توانست اثر منفی تنش شوری بر غلظت برخی عناصر غذایی را در اندام هوایی اسفناج کاهش دهد. کاربرد این باکتری به عنوان کود زیستی می‌تواند در شرایط تنش شوری سبب بهبود رشد و افزایش غلظت برخی عناصر غذایی در اندام هوایی اسفناج شود. کاربرد ماده آلی و باکتری محرک رشد در شرایط بدون تنش شوری، غلظت عناصر غذایی و عملکرد گیاه را بطور

کلی افزایش داد. به منظور تایید نتایج آزمایش قبل از هر مزرعه نیز تأیید شود.
گونه توصیه‌ایی، نتایج پژوهش حاضر بایستی در شرایط

فهرست منابع:

1. اسدی، ر.، رضایی، ر. و امیری، ا. 1388. تأثیر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام اصلاح شده برنج. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. سال اول. شماره سوم پائیز، 24-37.
2. حمزئی، ا.، لکزیان، ا.، آستارایی، ع. و فتوت، ا. 1391. تأثیر بیوچار و فاضلاب بر غلظت کادمیوم قابل جذب و رشد گیاه ماش. مجموعه مقالات سومین همایش ملی جامع مدیریت جامع منابع آب. 20 و 21 شهریور ماه، ساری.
3. سقفی، د.، علیخانی، ح. و متشرع زاده، ب. 1392. اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر بهبود شرایط تغذیه‌ای کلزا تحت تنش شوری. نشریه دانش آب و خاک. جلد 23. شماره 4. صفحه 159-176.
4. شیخی، ج. و رونقی، ع. 1392. اثر شوری و کاربرد ورمی کمپوست بر غلظت عناصر غذایی و عملکرد اسفناج (رقم ویروفلی) در یک خاک آهکی. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. سال 4. شماره 13. صفحه 81- 92.
5. کردوانی، پ. 1368. جغرافیای خاک‌ها. انتشارات دانشگاه تهران. صفحه 257-357.
6. مظاهری، د. و مجنون حسینی، ن. 1382. مبانی زراعت عمومی. چاپ سوم. انتشارات دانشگاه تهران. 32 صفحه.
7. ملکوتی، م.ج. و طباطبایی، س.1387. تغذیه مناسب درختان میوه برای بهبود عملکرد و کیفیت محصولات باغبانی در ایران. انتشارات آموزش کشاورزی. کرج. ایران.
8. مهدی‌زاده، ل.، مقدم، م. و لکزیان، ا. 1396. اثر بیوچار بر ویژگی‌های رشدی مرزه تابستانه تحت تنش شوری. کنفرانس بین المللی علوم کشاورزی، گیاهان دارویی و طب سنتی. مشهد. ایران.
9. یزدانی بیوکی، ر.، رضوانی مقدم، پ.، کوچکی، ع.، امیری، م.ب.، فلاحی، ج. و دیهیم فرد، ر. (1389). اثرات تغذیه نیتروژنی متفاوت گندم (Tritium aestivum L.) رقم سایونز بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت‌تأثیر سطوح تنش خشکی و کودهای بیولوژیک. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. 2(2)، 266-276.
10. Ardakani, M. R., Mazaheri, D., Rad, A. S, and Mafakheri, S. 2011. Uptake of micronutrients by wheat (Triticum aestivum L.) in a sustainable agroecosystem. Middle-East Journal Science Research, 7(4): 444-451.
11. Bano, A, and Fatima, M. 2009. Salt tolerance in Zea mays (L). following inoculation with Rhizobium and Pseudomonas. Biology and fertility of Soils, 45(4): 405-413.
12. Banchio, E., Bogino, P. C., Zygadlo, J, and Giordano, W. 2008. Plant growth promoting rhizobacteria improve growth and essential oil yield in Origanum majorana L. Biochemical Systematics and Ecology, 36(10): 766-771.
13. Bremner, J. M., Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabian, M. A., Johnston, C. T, and Sumner, M. E. 1996. Nitrogen-total. Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods., 1085-1121.
14. Chapman, H. D, and Pratt, P. F. 1962. Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. Soil Science, 93(1): 60-62.
15. Chen, J., Zhu, D, and Sun, C. 2007. Effect of heavy metals on the sorption of hydrophobic organic compounds to wood charcoal. Environmental Science & Technology, 41(7): 2536-2541.
16. FAO, 2010, Available on URL: http:/www.fao.org
17. Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K. C, and Bibens, B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use.

18. Gee, G. W., Bauder, J. W, and Klute, A. 1986. Particle-size analysis. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods, 383-411.
19. Glick, B. R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Canadian Journal of Microbiology, 41(2): 109-117.
20. Glaser, B., J. Lehmann, and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal–a review. Biology and Fertility of Soils. 35(4): 219-230.
21. Grant, C., Bittman, S., Montreal, M., Plenchette, C, and Morel, C. 2005. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. Canadian Journal of Plant Science, 85(1): 3-14.
22. Grattan, S. R, and Grieve, C. M. 1998. Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae, 78(1): 127-157.
23. Greenway, H, and Munns, R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annual Review of Plant Physiology, 31(1): 149-190.
24. Hoflich, G., E. Tappe, G. Khun and W. Wiehe. 1997. Einflux associative Rhizospharen bakterien auf die.ahrstoffaufnahme und den Ertrag von Mais. Archiv fuer Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 1: 323–333.
25. Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M. B, and Kaya, E. C. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. Soil use and Management, 31(1): 106-113.
26. Ipek, M., Pirlak, L., Esitken, A., Figen Dönmez, M., Turan, M, and Sahin, F. (2014). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) increase yield, growth and nutrition of strawberry under high-calcareous soil conditions. Journal of Plant Nutrition, 37(7): 990-1001.
27. Jalili F, Khavazi K and Asadi Rahmani H. 2011. Effects of Fluorescent Pseudomonads with ACC deaminase activity on growth characteristics of canola (Brassica napus L.) under salinity condition. Soil and Water Research, 21(2): 175-187. (in Farsi with English Summary).
28. Karlidag, H., Esitken, A., Yildirim, E., Donmez, M. F, and Turan, M. 2011. Effects of plant growth promoting bacteria on yield, growth, leaf water content, membrane permeability, and ionic composition of strawberry under saline conditions. Journal of Plant Nutrition, 34(1): 34-45.
29. Kanwal, S., N. Ilyas, S. Shabir, M. Saeed, R. Gul, M. Zahoor, N. Batool, and R. Mazhar. 2018. Application of biochar in mitigation of negative effects of salinity stress in wheat (Triticum aestivum L.). Journal of Plant Nutrition. 41(4): 526-538.
30. Kavino, M., Harish, S., Kumar, N., Saravanakumar, D, and Samiyappan, R. 2010. Effect of chitinolytic PGPR on growth, yield and physiological attributes of banana (Musa spp.) under field conditions. Applied Soil Cology, 45(2): 71-77.
31. Kaya, C., Higgs, D, and Sakar, E. 2002. Response of two leafy vegetables grown at high salinity to supplementary potassium and phosphorus during different growth stages. Journal of Plant Nutrition, 25(12): 2663-2676.
32. Kookana, R.S., A.K. Sarmah, L. van Zwieten, E. Krull, and B. Singh. 2011. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. Advances in Agronomy. 112: 103-143.
33. Knudsen, D., Peterson, G. A, and Pratt, P. F. 1982. Lithium, sodium, and potassium. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, (methods of soil an2), 225-246
34. Lehmann, J, and Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan, London & Sterling, VA.

35. Lindsay, W. L, and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America journal, 42(3): 421-428.
36. Marschner, H. and J. V. Possingham. 1975. Effect of K+ and Na+ on growth of leaf discs of sugar beet and spinach. Z. Pflanzenphysiol. 75: 6-16.
37. Mass, E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. ASCE, J. Irr. Drain. Div. 103(2): 115-134.
38. Mayak S, Tirosh T and Glick BR, 2004. Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. Plant Physiology and Biochemistry. 42:565-572.
39. Nelson, D. W, and 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.
40. Olsen, S. R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circuiar 939, US Gov.Printing Office, Washington, DC.
41. Rietz, D. N, and Haynes, R. J. 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. Soil Biology and Biochemistry, 35(6): 845-854.
42. Shady, M. a., I. Ibrahim, and A. H. Afify. 1984. Mobilization of elements and their effects on certain plant growth characteristics as influenced by some silicate bacteria. 27(7), 17-30.
43. Shaharoona B, Jamro GM, Zahir ZA, Arshad M and Memon KS, 2007 . Effectiveness of various Pseudomonas spp. and Burkhaldaria caryophylli containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (Triticum aestivum L.). Journal of Microbiology and Biotechnology 17: 1300–1307.
44. Shannon, M. C., Grieve, C. M., Lesch, S. M, and Draper, J. H. (2000). Analysis of salt tolerance in nine leafy vegetables irrigated with saline drainage water. Journal of the American Society for Horticultural Science, 125(5): 658-664.
45. Shibli, R. A., Shatnawi, M. A, and Swaidat, I. Q. 2003. Growth, osmotic adjustment, and nutrient acquisition of bitter almond under induced sodium chloride salinity in vitro. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 34(13-14): 1969-1979.
46. Shilev, S., Sancho, D.E, and Benlloch-Gonzalez, M. 2010. Rhizosphericm bacteria alleviate salt-produced stress in sunflower. Journal of Environmental Management, 3: 1-5.
47. Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E, and Bol, R. 2009. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report, 5(09): 17-31.
48. Thomas, G. W., Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N, and Sumner, M. E. 1996. Soil pH and soil acidity. Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods., 475-490.
49. Yao, L., Wu, Z., Zheng, Y., Kaleem, I. and Li, C. 2010. Growth promotion and protection against salt stress by Pseudomonas putida Rs-198 on cotton. European Journal of Soil Biology.46: 49-54.
50. Yousif, B. S., N. T. Nguyen, Y. Fukuda, H. Hakata, Y. Okamoto, Y. Masaoka and H. Saneoka. 2010. Effect of salinity on growth, mineral composition, photosynthesis and water relations of two vegetable crops: New Zealand Spinach (Tetragonia tetragonioides) and Water Spinach (Ipomoea aquatic). International Journal Agriculture Biology. 12: 211-216
51. Zhang, H. J., Dong, H. Z., Li, W. J, and Zhang, D. M. 2011. Effects of soil salinity and plant density on yield and leaf senescence of field-grown cotton. Journal of Agronomy and Crop Science, 198(1): 27-37.

Influence of Rice-Husk Derived Biochar and Growth Promoting Rhizobacteria on the Yield and Chemical Composition of Spinach in Soil under Salinity Stress

Z. Bolhasani[1], A. M. Ronaghi, R. Ghasemi, and M. Zarei

M Sc. Graduate, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University;
E-mail: z.bolhasani93@yahoo.com
Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University;
E-mail: amronaghi@yahoo.com
Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University;
E-mail: ghasemif@gmail.com
Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University;
E-mail: mehdizarei20@yahoo.cam

Received: December, 2018 and Accepted: July, 2019

Abstract

In order to investigate the effects of application of sodium chloride, organic matter, and growth promoting bacteria on fresh and dry shoot weights and also concentration of some nutrients in aerial parts of spinach, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The treatments consisted of three levels of sodium chloride (control (S0), 2 (S_2) and 4 (S_4) g Na Cl kg^{-1} soil equivalent to 0.7, 8 and 16.8 dS/m, respectively), five levels of organic matter (control 0%(OM_0), 0.5% ($RS_{0.5}$) and 1% (RS_1) % rice husk and 0.5% ($Bi_{0.5}$) and 1% (Bi_1) % rice husk biochar, w/w) and two bacterial levels i.e. without (P0) and with bacteria (P1). Results showed that increasing salinity levels significantly increased spinach dry weight, but significantly decreased concentrations of N, P, Ca and Mg in aerial part, while concentration of Na increased. With the use of organic matter sources, fresh and dry weights of spinach shoot and concentration of all nutrients increased significantly. Also, addition of Pseudomonas fluorescence significantly increased fresh and dry weights and concentration of nutrients of spinach aerial part. According to the results obtained in this study, it can be concluded that the use of organic matter as a soil amendment and rich source of nutrients can greatly increase concentration of nutrients in spinach. Also, addition of Pseudomonas fluorescence as a biofertilizer can improve spinach growth and increase concentration of some nutrients in spinach aerial part under salinity conditions. Application of organic matter and bacteria in salinity-free conditions increased concentration of nutrient and yield of plant. In general, further investigations under field conditions are necessary to verify the results of the present study.

Keywords: Organic matter, Osmotic potential, Food elements, Pseudomonas fluorescence

[1]. Corresponding author: Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz