دو فصلنامه

نشریه علمی

زیست شناسی خاک

شاپا: ۲۵۳۶-۲۳۴۵

جلد ۱۱ شماره۱سال ۱۴۰۲

عنوان | فهرست | صفحه

تأثیر قارچ **Claroideoglomus etunicatum** بر رشد و جذب عناصر غذایی ذرت تحت تنش ترکیبی بور و شوری.....۱۵
نرگس آبدار و مهدی زارعی

تأثیر مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط آبیاری با آب شور.....۳۱
هوشنگ خسروی

ارزیابی ترکیبات لیگنوسلولزی، ویژگی‌های کمپوست و خاک پوششی تلقیح شده با باکتری‌ها بر رشد و تولید قارچ خوراکی (**Agaricus bisporus**).....۴۶
صاحب سودائی مشائی و الناز میرزاخانی

تنوع گونه ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در کاربری‌های طبیعی و زراعی و رابطه آنها با خصوصیات خاک در جنگل‌های زاگرس.....۶۲
جواد میرزایی ، منیره جعفری، جعفر حسین زاده و ناهید جعفریان

تأثیر کابرد باکتری‌های حل‌کننده ترکیبات نامحلول روی و پودر لاستیک بر رشد و محتوای روی و آهن در گیاه ذرت.....۸۳
آذر نصیرزاده ، پیمان عباس زاده، محسن حمیدپور، عبدالرضا اخگر و خلیل کریمان

اثر قارچ **Serendipita indica** و باکتری **Sinorhizobium meliloti** بر رشد گیاه یونجه (**Medicago sativa L.**) در خاک آهکی آلوده به روی.....۹۹
لیلا تابنده ، مژگان سپهری و مهدی زارعی

بررسی کاربرد زادمایه میکروبی برای تسریع تولید کمپوست از ضایعات باگاس نیشکر.....۱۱۴
سید حسین محمودی نژاد دزفولی و حسین صفاری

انجمن علوم خاک ایران **مؤسسه تحقیقات خاک و آب**

نشریه علمی
زیست‌شناسی خاک

جلد ۱۱ شماره (۱)
۱۴۰۲

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

تأییدیه درجه علمی

به استناد نامه شماره ۳/۱۸/۷۷۶۱۰ مورخ ۱۳۹۴/۴/۲۳ اعتبار علمی نشریه زیست شناسی خاک تمدید شده است

مدیر مسؤول: **دکتر کامبیز بازرگان** **رئیس انجمن علوم خاک ایران و دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب**

سردبیر: **دکتر علیرضا فلاح نصرت آباد** **استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب**

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

دکتر هادی اسدی‌رحمانی	**استاد و رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب**
دکتر حسین بشارتی	**استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب**
دکتر عبدالحسین ضیائیان	**دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس**
دکتر حسینعلی علیخانی	**استاد دانشگاه تهران**
دکتر ناصرعلی اصغرزاد	**استاد دانشگاه تبریز**
دکتر علیرضا فلاح نصرت آباد	**استاد مؤسسه تحقیقات خاک وآب**
دکتر احمد گلچین	**استاد دانشگاه زنجان**
دکتر امیر لکزیان	**استاد دانشگاه فردوسی مشهد**
دکتر حبیب اله نادیان قمشه	**استاد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین اهواز**
دکتر فرشید نوربخش	**استاد دانشگاه صنعتی اصفهان**

ویراستار انگلیسی: **دکتر امیر لکزیان**

تایپ و صفحه آرایی: **مهندس کیانا خامه چی**

تعداد انتشار در سال: **دو شماره**

پایگاه الکترونیکی نشریه علمی زیست‌شناسی خاک: **www.sbj.areeo.ir**

پایگاه الکترونیکی انجمن علوم خاک ایران: **www.soiliran.org**

پایگاه الکترونیکی موسسه تحقیقات خاک و آب: **www.swri.ir**

آدرس الکترونیکی دفتر مجله: **jsb.soilbiology@yahoo.com**

این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود:

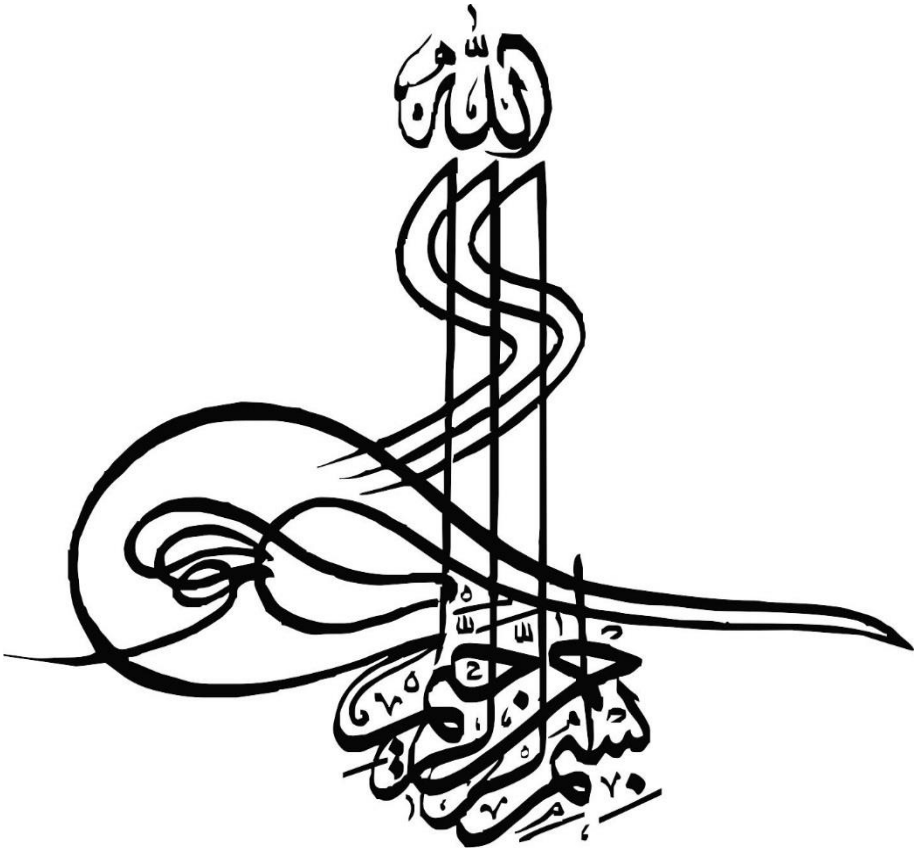
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (**ISC**): **www.isc.gov.ir**

پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی: **www.sid.ir**

پایگاه سیویلیکا: **www.civilica**

آدرس: کرج - میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعداز رزکان نو، بلوار امام خمینی – موسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵

تلفن و نمابر: ۳۶۲۰۸۷۹۶ (۰۲۶) *آدرس پایگاه الکترونیکی مجله: **www.journals.areo.ir***


بسم الله الرحمن الرحيم

عنوان فهرست صفحه

تأثیر قارچ **Claroideoglomus etunicatum** بر رشد و جذب عناصر غذایی ذرت تحت تنش ترکیبی بور و شوری.....۱۵
نرگس آبدار و مهدی زارعی

تأثیر مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط آبیاری با آب شور.....۳۱
هوشنگ خسروی

ارزیابی ترکیبات لیگنوسلولزی، ویژگی‌های کمپوست و خاک پوششی تلقیح شده با باکتری‌ها بر رشد و تولید قارچ خوراکی (**Agaricus bisporus**).....۴۶
صاحب سودائی مشائی و الناز میرزاخانی

تنوع گونه ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در کاربری‌های طبیعی و زراعی و رابطه آنها با خصوصیات خاک در جنگل‌های زاگرس.....۶۲
جواد میرزایی ، منیره جعفری، جعفر حسین زاده و ناهید جعفریان

تأثیر کابرد باکتری‌های حل‌کننده ترکیبات نامحلول روی و پودر لاستیک بر رشد و محتوای روی و آهن در گیاه ذرت.....۸۳
آذر نصیرزاده ، پیمان عباس زاده، محسن حمیدپور، عبدالرضا اخگر و خلیل کریمان

اثر قارچ **Serendipita indica** و باکتری **Sinorhizobium meliloti** بر رشد گیاه یونجه (**Medicago sativa L.**) در خاک آهکی آلوده به روی.....۹۹
لیلا تابنده ، مژگان سپهری و مهدی زارعی

بررسی کاربرد زادمایه میکروبی برای تسریع تولید کمپوست از ضایعات باگاس نیشکر.....۱۱۴
سید حسین محمودی نژاد دزفولی و حسین صفاری

راهنمای تهیه مقاله نشریه علمی زیست شناسی خاک

مجله زیست شناسی خاک اولین نشریهً تخصصی رشته علوم خاک در ایران می‌باشد که مقالات پژوهشی مرتبط با تحقیقات صورت گرفته در کلیه جنبه‌های زیست شناسی خاک را چاپ می‌نماید. هدف از انتشار این مجله ارتقاء دانش اساتید، محققان و دانشجویان علاقمند این گرایش و شناخت هر چه عمیق‌تر اززیست شناسی خاک برای حفظ و بهره‌برداری پایدار از خاک می‌باشد. از اهم زمینه‌های فعالیت این نشریه می‌توان به نقش موجودات زنده خاک در چرخه عناصر غذایی و فرآیندهای زیستی مرتبط با بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ارتقاء سطح حاصلخیزی خاک، تغذیه گیاه و افزایش عملکرد، مدل‌سازی مکانیسم‌ها و فرآیندهای زیستی مربوط به پویاسازی، معدنی شدن و آلی شدن عناصر غذایی، جایگاه موجودات زنده خاکزی در ذخیره سازی و تغییر و تبدیلات مواد آلی خاک، تنوع زیستی و عملکردی بخش زنده خاک،آنزیم های خاک، روابط موجودات زنده خاک با یکدیگر و همچنین ریشه گیاهان و تبادلات مولکولی بین آنها، تشخیص، بیان و تبادل ژن در خاک، اثرات متقابل انواع آلودگی‌ها و بخش زنده خاک منجمله زیست پالایی خاک‌های آلوده، فرآیندهای زیستی خاک و نقش آنها در تولید و مصرف گازهای گلخانه‌ای، فناوری زیستی موجودات خاکزی برای تولید انواع مایه تلقیح‌ها و کودهای زیستی، فعال کننده-های تجزیه مواد آلی و پاک کننده‌های زیستی خاک‌های آلوده، استفاده از فناوری‌های مولکولی جدید برای شناسایی و همچنین ردیابی موجودات زنده در خاک و نقش آنها در پدیده‌های مختلف خاک اشاره کرد.

نکات مهم:

1- متن مقاله نباید در هیچ نشریه‌ای چاپ و یا همزمان به نشریه دیگری ارسال شده باشد.

2- مسئولیت صحت و سقم کلیه مطالب مندرج در مقاله بر عهده نویسندگان می‌باشد.

3- مسئولیت صحت و سقم ترتیب نام نویسندگان بر عهده شخصی است که مقاله را برای نشریه ارسال می‌کند.

4- مقالات صرفاً می‌بایستی منتج از تحقیقات نویسنده یا نویسندگان و فقط در زمینه زیست شناسی خاک باشد.

مقالات باید با استفاده از word 2007 و در محیط windows xp و با استفاده از قلم نازنین 14 تایپ شده باشند. نویسنده(گان) محترم می‌بایستی مقاله از طریق سایت نشریه **www.iranjsb.ir** ارسال نمایند. ذکر نام و نام خانوادگی نویسندگان، مرتبه علمی، آدرس پستی نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیک کلیه نویسندگان به صورت یک مقاله کامل در قسمت فایلهای با نام و فایل بدون نام نویسندگان در فایلهای بدون نام نویسنده، تکمیل و ارسال نسخه اصل تعهدنامه با امضاء خود نویسنده(گان) در فایلهای پیشنیاز سایت الزامی است.

نحوهٔ نگارش مقاله

1- مقاله حداکثر در 15 صفحهٔ A4 با فاصلهٔ خطوط 1/5 و حاشیه‌های 3 سانتی‌متر از هر طرف و به صورت تک ستونی در نرم افزارWord 2007 تایپ شود.

2- نوع قلم فارسی و انگلیسی و اندازهٔ آنها مطابق جدول زیر استفاده شود.

3- تمامی سطور در متن مقاله دارای شماره گذاری (Line numbering) باشد.

4- پیش از نقطه (.) و کاما (،) گذاشتن فاصله لازم نیست، لیکن پس از آنها، یک فاصله لازم است.

5- اصول نگارش زبان فارسی به طور کامل رعایت شده و حتی الامکان از به کاربردن اصطلاحات انگلیسی که معادل فارسی آنها در فرهنگستان زبان فارسی تعریف شده‌اند، پرهیز گردد.

6- برای ذکر جنس و گونه گیاه، جانور و یا میکروارگانیسم ها از حالت *ایتالیک* استفاده شود.
7- در صورت استفاده از واژه (های) مخفف باید در اولین استفاده، واژه مذکور تعریف و پس از آن واژه مخفف در مقاله استفاده گردد.
8- استفاده از پاورقی برای ارائه اطلاعات تکمیلی در مقاله بلامانع است. در صورت استفاده از پاورقی، باید به ترتیب شماره گذاری انجام گیرد.

جدول 1- نوع و اندازه قلم برای تهیه بخش های مختلف مقاله

موقعیت استفاده	نام قلم	اندازه قلم
عنوان مقاله	**BNazaninپر رنگ**	14
متن مقاله	BNazanin	12
عناوین بخش های مقاله	**BNazanin پر رنگ**	12
نام مؤلفان	**BNazanin پر رنگ**	12
کلمات کلیدی(Keywords)	**BNazanin پر رنگ**	12
عناوین جداول و اشکال	**BNazanin پر رنگ**	11
متن جداول و شکل ها و منابع	BNazanin	10 و یا 11 برحسب نیاز
متن انگلیسی	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازهٔ فارسی در هر موقعیت

ساختار مقاله

هر مقاله باید شامل برگ مشخصات ، عنوان ، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی فارسی، مقدمه، مواد و روش-ها، نتایج، بحث، سپاسگزاری، منابع مورد استفاده، چکیده انگلیسی و واژه‌های کلیدی انگلیسی باشد.

برگ مشخصات مقاله: این قسمت در یک صفحه مجزا تهیه شده و شامل عنوان مقاله، نام و نام خانوادگی، مرتبه علمی، محل خدمت و آدرس پستی و پست الکترونیکی نویسنده(گان) و شماره تماس نویسنده مسئول می‌باشد.

عنوان مقاله: عنوان مقاله حداکثر در 20 کلمه و منعکس کننده محتوای مقاله باشد.در زیر عنوان نام و نام خانوادگی، مرتبه علمی، محل خدمت و آدرس پستی و پست الکترونیکی نویسنده(گان) ذکر گردد.

چکیده فارسی: چکیده مقاله در حداکثر 300 کلمه، بیانگر مسئله، هدف، روش و نتایج بدست آمده و نتیجه گیری کلی از پژوهش است. چکیده می‌بایستی ترجیحاً در یک پاراگراف تنظیم گردد.در زیر چکیده فارسی و در پاورقی آدرس پستی نویسنده مسئول ذکر گردد.

واژه‌های کلیدی:

واژه‌های کلیدی(**Keywords**) شامل حداقل 3 و حداکثر 6 کلمه مرتبط با پژوهش انجام شده باشد. این واژه‌ها می‌بایستی به گونه‌ای انتخاب گردد که در عنوان مقاله نبوده تا حداکثر استفاده از آنها برای تهیه فهرست موضوعی (index) امکان پذیر باشد. واژه های کلیدی بر اساس حروف الفبای فارسی مرتب شوند.

مقدمه

در این بخش بایستی موضوع پژوهش و فرضیه‌های موردنظر تعریف گردد. بـه مهـم‌تـرین تحقیقـات صـورت گرفته قبلی در داخل و خارج از ایران اشاره شود و سپس لزوم پژوهش موردنظر تشریح و با تأکید بر وجه تمایز ایـن پژوهش با مطالعات قبلی مشخص شود.

مواد و روش‌ها

این قسمت شامل مواد مورد استفاده و شرح روش بکار رفته مانند جامعه آمـاری، روش‌هـای نمونـه گیـری، اندازه گیری‌ها و نحوه تجزیه و تحلیل آماری می‌باشد. برای روش‌های متداول و شناخته شده نیازی به ذکر جزئیـات وجود نداشته و فقط به منبع مورد استفاده اشاره شود.

نتایج

در این بخش، نتایج بدست آمده از پژوهش به همراه جدول و شکل (اعم از تصویر یا نمودار) بیان می‌شود. از تکرار داده‌ها به صورت چندگانه (جدول، نمودار و غیره) پرهیز گردد. ارسال فایل Excel مربوط به نمودارها الزامی است. از کلماتی نظیر گراف، نقشه، تصویر و نظایر آن خودداری شده و تنها از واژه «شکل» استفاده شود. هر جدول از شماره، عنوان، سرستون ها و متن جدول تشکیل می‌شود. یک جدول باید با خطی افقی از شماره و عنوان جدول متمایز شود. همچنین سر جدول با یک خط افقی از متن جدول جدا و در زیر متن جدول نیز یک خط افقی رسم شود. عنوان جدول در بالای جدول درج و پس از کلمه جدول و شماره آن، خط تیره و سپس عنوان ذکر شود. در متن جدول تا جایی که ممکن است نباید از خطوط افقی و عمودی استفاده کرد. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط به کمیّت آن ستون باشد. اگر همهٔ ارقام جدول دارای یک واحد مشترک باشند، آن واحد در عنوان اصلی جدول ذکر شود. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول به صورت زیرنویس ارائه شوند.

در نمودارها از نشانه‌های○□Δ●■▲ به صورت توپر و توخالی استفاده شود. برای درج عنوان هر شکل، پس از کلمهٔ شکل و شمارهٔ آن، نقطه و سپس عنوان ذکر شود. اختصارات موجود در شکلها و جداول باید در زیرنویس توضیح داده شوند. تمام اعداد متن و توضیحات جداول و شکلها باید به زبان فارسی ارائه گردد. از ارسال نمودارهای رنگی جداً اجتناب نموده و از رنگهای سفید، سیاه و هاشورهای کاملاً متفاوت استفاده شود..

تمامی جداول و اشکال باید به ترتیب شماره در مقاله آورده شوند و شماره مذکور نیز باید به همان ترتیـب در مـتن مقاله مورد اشاره قرار گیرد.

بحث

در این قسمت با استفاده از سایر منابع، یافته‌های پژوهش علت‌یابی شده و دلایل قبول و رد آنها مورد بحث قرار می‌گیرد. بنابراین قسمت عمده بررسی منابع در این قسمت مورد استناد قرار می‌گیرد.

* در صورت لزوم می‌توان نتایج و بحث را توأماً تحت عنوان «**نتایج و بحث**» ارائه کرد.

نتیجه گیری

در این بخش نویسنده از پژوهش انجام یافته نتیجه گیری کرده و کاربرد عملی و یا تئوری حاصل از تحقیق را بیان می‌نماید. ارائه پیشنهادات در این بخش انتهائی نیز بلامانع است.

سپاسگزاری:

در این بخش نویسنده(گان) از اشخاص و سازمان‌هایی که در اجرای تحقیق همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌نماید. این بخش در حداکثر 50 کلمه تنظیم گردد.

منابع مورد استفاده:

فهرست منابع باید شامل منابعی باشد که در متن ذکر شده و انتشار یافته اند و نیز شامل منابعی می‌شوند که برای چاپ پذیرفته شده اند. مکاتبات شخصی و یا تحقیقات چاپ نشده فقط در متن مقاله قابل ذکر می باشند. در مورد منابعی که بصورت آنلاین چاپ شده اند و فاقد شماره جلد و یا صفحه می باشند، ذکر شناسه دیجیتال (DOI) ضروری است.

شیوۀ ارجاع به منابع علمی در تمام متن مقاله بایستی به صورتی باشد که منبع مورد ارجاع(چه فارسی و چه انگلیسی) در پایان جمله در داخل پرانتز به فارسی ارائه شود. برای منابع دارای دو نویسنده، نام هر دو نویسنده و منابعی که بیش از دو نویسنده دارند، نخست نام نفر اول و سپس " همکاران" و تاریخ بیان شود. مثال:

..... نتایج مشابهی توسط برخی پژوهشگران نیز گزارش شده است (کریمی و احمدی، 1389).

..... نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (آلوی و همکاران، 2010).

..... نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (آلوی و همکاران، 2010؛ کریمی و احمدی، 1389).

برای منابعی که لزوما در داخل پرانتز ارائه نمی شود بدین صورت عمل شود.

بای بوردی و همکاران (1382) گزارش کردند...

اسمیت (2002) گزارش کرد ...

اسمیت و جونز (2002) گزارش کردند...

اسمیت و همکاران (2002) گزارش کردند...

فهرست منابع مورد استفاده در پایان متن به صورت پیوسته و به ترتیب منابع فارسی و انگلیسی ارائه شوند. منابع مورد استفاده به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نگارنده، (یا اولین نگارنده برای منابعی که بیش از یک نگارنده دارند) زیر هم آورده شوند. چنانچه از یک نگارنده چندین منبع ذکر شود، ترتیب درج آن‌ها بر حسب سال انتشار، از جدید به قدیم است. اگر از نگارنده‌ای چندین منبع همسال وجود داشته باشد، با گذاشتن حروف a، b و c پس از سال انتشار منابع از یکدیگر متمایز شوند. چنانچه مقالات منفرد و مشترک در یک سال از یک نگارنده ارائه شود، نخست مقالات منفرد و سپس مقاله‌های مشترک به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان بعدی مرتب شوند.

برای یک مقاله یا کتاب به ترتیب نام خانوادگی نگارنده(گان)، حرف اول اسم کوچک نگارنده(گان)، تاریخ انتشار، عنوان مقاله، عنوان کامل مجله، شماره جلد، و اولین و آخرین صفحه مقاله ارائه شود. برای یک کتاب به ترتیب نام خانوادگی و سپس حرف اول نام کوچک نگارنده، تاریخ انتشار، عنوان کامل کتاب، نام ناشر، محل انتشار ارائه شود.

در مورد مرجعی که نویسنده آن مشخص نیست به جای نام نگارنده از "Anonymous" برای منابع انگلیسی و (بی نام) برای منابع فارسی استفاده شود.

چنانچه منبع ترجمه شده باشد، در فهرست منابع باید نخست نام نویسنده(گان) کتاب اصلی، عنوان مشخصات آن (به زبان انگلیسی) و سپس نام مترجم (مترجمان) ذکر شود.

مثال‌هایی برای تنظیم منابع

1- مقاله از مجله

Brennan, E.W. and Lindsay, W.L.1998. Reduction and oxidation effect on the solubility and transformation of iron oxides. Soil Science Society of America Journal 62:930–937.

2- مقاله از کارگاه آموزشی یا علمی

Hanbury, A. 2002. The taming of the hue, saturation and brightness colour Space, 7th Computer Vision Winter Workshop, February 2002, Bad Aussee, Austria.

3- مطلب از کتاب

Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibrium in soils. John Wiley & Sons, New York.

4- مطلب نقل شده یک نویسنده در یک مجموعه مقالات

Logsdon, S.D. and Laird, D.A. 2003. Ranges of bound water properties associated with a smectite clay. p. 101–108. In: Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substance. Proc. of Conf., Rotorua, New Zealand. 23–26 Mar. 2003. Industrial Research, Auckland, New Zealand.

5- ذکر مطلب از نویسنده ای در یک کتاب که نام ویراستاران روی جلد آن است

Olsen, S.R. and Sommers, L.E.1982. Phosphorus. p. 403–427. In: Page, A.L. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

6- ذکر مطلب از اینترنت

Soil Survey Staff. 2004. NRCS soils [Online]. Available at http://soils. usda.gov [verified 23 Mar. 2005]. USDA-NRCS, Washington, DC.

چکیده انگلیسی

چکیده انگلیسی بایستی ترجمه دقیق چکیده فارسی باشد.

واژه‌های کلیدی انگلیسی: باید ترجمه دقیق واژه‌های کلیدی فارسی باشد. واژهای کلیدی بر اساس حروف الفبای انگلیسی مرتب شوند و حرف اول کلمات به صورت بزرگ (کاپیتال) نوشته شود.

کلیه مقالات پس از دریافت توسط سردبیر بررسی و پس از تایید با راهنمای تهیه مقاله تطبیق و در صورت رعایت فرمت نشریه، مقاله برای داوری ارسال خواهد شد. پس از اتخاذ رأی داوران و تأیید گروه دبیران (هیأت تحریریه)، مقاله در نوبت چاپ قرار خواهد گرفت. چنانچه مقاله ارسالی با راهنمای تهیه مقاله تطبیق نداشته باشد به نویسنده مسئول عودت داده خواهد شد و مجدداً از زمان برگشت، تاریخ رسید مقاله منظور و برای داوری ارسال خواهد شد.

فرم تعهد نامه

نشریه علمی زیست‌شناسی خاک

اینجانب ..... نویسنده مسئول مقاله زیر:

موارد زیر را به آگاهی می رسانم:

1. **کلیه تهیه کنندگان مقاله از ارسال آن به دفتر نشریه شما آگاهند**
2. **مقاله قبلاً در هیچ نشریه داخلی و خارجی منتشر نشده است**
3. **مقاله تا زمان پایان بررسی در آن نشریه به نشریه دیگری ارسال نخواهد شد.**
4. **هیچگونه تغییری در تعداد نویسندگان یا ترتیب ذکر اسامی انجام نخواهد شد.**

نام نام خانوادگی نویسنده اول: **امضاء نویسنده اول مقاله**

نام نام خانوادگی نویسنده دوم: **امضاء نویسنده دوم مقاله**

نام نام خانوادگی نویسنده سوم: **امضاء نویسنده سوم مقاله**

نام نام خانوادگی نویسنده چهارم: **امضاء نویسنده چهارم‌مقاله**

اسامی داوران	تعداد داوری
دکترهادی اسدی رحمانی	۱
دکتر احمد اصغرزاده	۲
دکتر حسین بشارتی	۱
دکتر مهدی بهشتی	۱
دکتر وحیداله جهاندیده	۴
دکتر هوشنگ خسروی	۱
دکتر علی اشرف سلطانی طولارود	۲
دکتر شایان شریعتی	۳
دکتر مهدیه شمشیری پور	۱
دکتر آزاده صالحی	۱
دکتر حسین صفاری	۱
دکتر پیمان عباس زاده دهجی	۲
دکتر محسن علمایی	۳
دکتر ناصر علی اصغرزاد	۶
دکتر حسینعلی علیخانی	۱
دکتر حسین کاری دولت آباد	۲
دکتر رسول میرخانی	۱
دکتر حبیب اله نادیان	۱
دکتر الهام نوری	۱

نشریه علمی زیست‌شناسی خاک / جلد ۱۱ / شماره ۱ / ۱۴۰۲/ص۱-۱۵
dx.doi.org/10.22092/sbj.2023.360855.244

تأثیر قارچ *Claroideoglomus etunicatum* بر رشد و جذب عناصر غذایی ذرت تحت تنش ترکیبی بور و شوری

نرگس آبدار* و مهدی زارعی

دانشجوی دکتری بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز؛ **n.abdar7395@yahoo.com**

دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز و گروه کشاورزی و منابع طبیعی، مرکز آموزش عالی اقلید؛ **mehdizarei@shirazu.ac.ir**

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۶ و پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۰

«مقاله پژوهشی»

چکیده

تنش شوری و بور در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک جهان رشد گیاه را محدود می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی اثر قارچ بر عملکرد و میزان جذب عناصر غذایی ذرت تحت تنش شوری و سمیت بور انجام گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو سطح شوری شاهد (بدون افزایش شوری) و ۸ دسی زیمنس بر متر و بور شامل دو سطح شاهد و ۳۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک از منبع اسیدبوریک و سدیم کلرید و دو سطح قارچی (با حضور و بدون قارچ Claroideoglomus etunicatum) بود. نتایج نشان داد که تنش شوری و سمیت بور تأثیر معنی‌داری بر درصد کلونیزاسیون ریشه نداشت (سطح احتمال ۵٪). با افزایش بور خاک، مایه‌زنی قارچ میزان کلروفیل، جذب بور اندام هوایی، جذب پتاسیم و فسفر را به ترتیب ۷/۰۹٪، ۱۵/۸۳٪، ۳۱/۶۲٪ و ۵۱/۵۷٪ در سطح احتمال ۵٪ به‌طور معنی‌دار افزایش داد، درحالی‌که جذب بور ریشه، جذب آهن، مس و منگنز را به ترتیب ۳۵/۱۵٪، ۲۸/۷۲٪، ۳۹/۶۲٪ و ۴۲/۱۲٪ در سطح احتمال ۵٪ به‌طور معنی‌دار کاهش داد. همچنین با افزایش شوری خاک و مایه‌زنی قارچ، میزان کلروفیل، جذب مس، منگنز به ترتیب ۵/۰۵٪، ۳۵/۳۸٪ و ۲۵/۹۷٪ به‌طور معنی‌دار افزایش و جذب سدیم ۴۰/۳۱٪ به‌طور معنی‌دار کاهش یافت (سطح احتمال ۵٪). در تنش ترکیبی شوری و بور، مایه‌زنی قارچ توانست کلروفیل برگ، جذب بور ریشه، پتاسیم، فسفر و آهن را به ترتیب ۸/۴۲٪، ۶۱/۵۶٪، ۶۸/۵۵٪، ۸۲/۰۱٪ و ۲۳/۶۳٪ به‌طور معنی‌دار افزایش و جذب سدیم، روی، مس و بور اندام هوایی را به ترتیب ۲۰/۹۸٪، ۴۰/۰۷٪، ۷۲/۵۴٪ و ۳۴/۳۸٪ به‌طور معنی‌دار کاهش دهد (سطح احتمال ۵٪). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مایه‌زنی قارچ می‌تواند به بهبود رشد و جذب عناصر غذایی در شرایط سمیت بور و تنش شوری خاک کمک کند.

واژه‌های کلیدی: ذرت، سمیت بور، شوری خاک، میکوریزا آربسکولار

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول: n.abdar7395@yahoo.com

CC BY

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، محصولات کشاورزی هم‌زمان در معرض تنش‌های شوری و سمیت بور قرار می‌گیرند. محققان شوری خاک را همدم بور می‌دانند، به علت ماهیت محلولی بور به‌صورت نمک سدیم در مناطق شور تجمع می‌یابد. ترکیب تنش بور و شوری را "بورسال" می‌نامند (باروا و همکاران، ۲۰۲۲). بورسال می‌تواند به طور طبیعی از طریق ۱) آبیاری با آب حاوی مقادیر زیاد نمک و بور (کاپولا-رودریگز و همکاران، ۲۰۱۶) یا ۲) قرار گرفتن در معرض خاک‌هایی که دارای سطح بالایی از شوری و بور طبیعی هستند ایجاد شود (گارسیا سانچز و همکاران، ۲۰۲۰). در مناطق شور، کم‌آب و خشک کشور نظیر کرمان، یزد، قم، جنوب فارس و جنوب خراسان که با مشکل شوری مواجه می‌باشند مقدار بور قابل استفاده در خاک بسیار بالا بوده و در آب‌های این مناطق نیز بور به وفور یافت می‌شود (حسنی و همکاران، ۱۳۹۹). شوری و سمیت بور باعث اختلال در فعالیت اجزای مختلف غشاء می‌شود که بر جذب و انتقال آب و عناصر غذایی تأثیر می‌گذارد و به دنبال آن بر جوانه‌زنی، طول ساقه و ریشه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و افزایش نفوذپذیری غشا نیز تأثیر می‌گذارد (محمد و همکاران، ۲۰۱۶). تحقیقات نشان داد که رشد و عملکرد ذرت و سورگوم (اسماعیل، ۲۰۰۴)، آفتاب‌گردان (جبین و احمد، ۲۰۱۱)، کلم بروکلی (اسمیت و همکاران، ۲۰۱۳)، گندم (محمد و همکاران، ۲۰۱۶) تحت سمیت بور و شوری کاهش یافته است.

علائم سمیت بور در غلظت پنج میلی‌گرم بر کیلوگرم ظاهر می‌شود و در غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم علائم شدیدتر می‌شود (پاندی و همکاران، ۲۰۱۹). تحقیقات نشان داد که ذرت در غلظت‌های بالاتر ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیز زنده مانده است (باروا و همکاران، ۲۰۲۲). سمیت بور با ایجاد لکه‌های نکروز در برگ که درنهایت به‌صورت بافت مرده درمی‌آیند باعث کاهش سطح برگ، فتوسنتز و به دنبال آن کاهش عملکرد گیاه می‌شود (بن گال و شانی، ۲۰۰۲). ازنظر شوری خاک، ذرت در خاک‌هایی با دامنه شوری ۱ تا ۴ میلی‌موس بر سانتی‌متر رشد می‌کند (باستیاس و همکاران، ۲۰۰۴). در مطالعات مختلف، هم شوری و هم سمیت بور کاهش قابل‌توجهی در عملکرد گیاه ذرت نشان داده است (اسماعیل، ۲۰۰۴؛ محمد و همکاران، ۲۰۱۶؛ باروا و همکاران، ۲۰۲۲). کومار و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که با کاربرد ترکیبی بور (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بور در لیتر) و شوری (۶۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید) وزن خشک اندام هوایی و ریشه گندم به‌طور معنی‌داری کاهش‌یافته است. الاگرودی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که شوری آب آبیاری (۸/۴ دسی زیمنس بر متر) تحمل ذرت را به سطوح مختلف بور (۱، ۲ و ۳ میلی‌گرم بور در لیتر) کاهش می‌دهد و عملکرد گیاه نیز کاهش می‌یابد.

یک رویکرد مؤثر برای کاهش سمیت بور و تنش شوری می‌تواند ریز جاندارانی باشد که با ریشه گیاه ارتباط دارند. مزیت آن، متابولیت‌های میکروبی است که قادر به کاهش اثرات منفی سمیت هستند (موراگا و همکاران، ۲۰۱۴). ازجمله ریز جانداران میکوریزا آربسکولار است. یافته‌های لیو و همکاران (۲۰۱۸) نشان می‌دهد که مایه‌زنی قارچ‌های F. mosseae و C. etunicatum نامزدهای بالقوه‌ای برای تسهیل رشد گیاه P. tenuiflora تحت سمیت بور با تنش شوری و خشکی هستند. اما مایه‌زنی قارچ هیچ اثر تسکین دهنده‌ای بر سمیت بور به‌تنهایی نداشته است (لیو وهمکاران، ۲۰۱۸). محققین گزارش کردند که ریزوباکتر Bacillus pumilus، در گوجه‌فرنگی و برنج (خان و همکاران، ۲۰۱۶؛ سیراجودین و همکاران، ۲۰۱۶) در کاهش سمیت بور مؤثر بودند در حالیکه سونمز و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که مایه‌زنی گندم با Glomus clarum تأثیری در کاهش سمیت بور نداشته است. این نتایج حاکی از آن است که تلقیح میکوریزا، بسته به گونه قارچی، زمانی‌که

گیاه در معرض بور اضافی همراه با نمک و تنش خشکی قرار بگیرد، اثر تسکین‌دهنده بیشتری دارد.

مقالات زیادی در مورد اثرات شوری و بور به صورت ترکیبی یا به‌تنهایی بر روی گونه‌های مختلف گیاهی موجود است. بااین‌حال، تحقیقات کمتری در مورد اثر قارچ بر رشد ذرت تحت تنش ترکیبی شوری و سمیت بور انجام شده است. بنابراین بررسی اینکه آیا میکوریزا آربسکولار عملکرد گیاه تحت تنش ترکیبی بور و شوری افزایش می‌دهد یا نه، بسیار مهم است. هدف‌های پژوهش حاضر عبارت بودند از: ۱) ارزیابی اثر قارچ Claroideoglomus etunicatum بر بهبود عملکرد ذرت تحت تنش ترکیبی شوری و سمیت بور ۲) ارزیابی اثر قارچ Claroideoglomus etunicatum بر میزان جذب بور، عناصر پرمصرف و کم‌مصرف ذرت تحت تنش ترکیبی شوری و سمیت بور.

مواد و روش

خاک از افق سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) از سری چیتگر از منطقه سروستان استان فارس با نام تاکسونومی Fine-loamy, carbonatic, thermic, Typic Calcixerepts (طول جغرافیای "۲۵ '۱۶ °۲۹ شمالی و عرض جغرافیایی "۱۳ '۱۳ °۵۳ شرقی) جمع‌آوری شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن نظیر غلظت روی، آهن، مس و منگنز قابل استخراج با DTPA (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) ، بور محلول در آب داغ (برگر و تروگ، ۱۹۳۹)، pH گل اشباع خاک با pHمتر مدل pH 7110 (توماس، ۱۹۹۶)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره خمیر اشباع خاک با ECمتر مدل CON500 (رودس و همکاران، ۱۹۹۶)، ماده آلی به روش اکسایش با اسیدکرومیک (نلسون و همکاران، ۱۹۹۶)، نیتروژن کل به روش کجلدال (برمنر، ۱۹۹۶)، فسفر به روش اولسن با اسپکتوفتومتر مدل Spectronic 20D (اولسن و همکاران، ۱۹۸۲)، پتاسیم به روش استات‌آمونیوم و با دستگاه فلیم فتومتر (نادسن و همکاران، ۱۹۸۲) و بافت خاک به روش هیدرومتر (بویوکوس، ۱۹۶۲) تعیین شد. آزمایش در گلخانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با تیمارها شامل دو سطح شوری شاهد (بدون افزایش شوری (S_0)) و ۸ دسی زیمنس بر متر (S_8) و بور شامل دو سطح شاهد (B_0) و ۳۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک (B_{30})) (کومار و همکاران، ۲۰۱۵؛ الاگرودی و همکاران، ۲۰۱۶؛ باروا و همکاران، ۲۰۲۲) از منبع اسیدبوریک و سدیم کلرید و دو سطح میکروبی (بدون حضور (M_0) و با قارچ (M_1) Claroideoglomus etunicatum) (لیو و همکاران، ۲۰۱۸) با سه تکرار با گیاه ذرت (Zea mays L) (رقم سینگل کراس ۷۰۴) انجام گرفت. نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز، مس و روی به ترتیب به مقدار ۱۵۰، ۲۵، ۱۰، ۱۰، ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، از اوره، منوکلسیم-فسفات، FeEDDHA ، سولفات منگنز، سولفات مس و سولفات روی به شکل محلول به‌طور یکنواخت به تمام گلدان‌ها اضافه گردید. نصف نیتروژن و تمام عناصر غذایی دیگر به‌صورت پیش‌کشت اضافه شد و باقی‌مانده نیتروژن در هفته چهارم به شکل محلول افزوده شد. مقدار خاک مورد استفاده در هر گلدان برای ذرت ۳ کیلوگرم بود. در بستر کشت (غیر استریل) ۱۰۰ گرم مایه تلقیح قارچ (هر گرم حاوی ۱۰ اسپور، تهیه شده از بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز) در فاصله‌ی ۳-۲ سانتی‌متری زیر بذرها قرار داده شد و سپس سطح بذرها توسط دو سانتی‌متر از بستر پوشانده شد (زارعی و همکاران، ۲۰۰۸؛ قنبرزاده و همکاران، ۲۰۲۱). ۵ عدد بذر در هر گلدان کشت شد و سه هفته پس از کشت، گیاهان تنک گردید به‌طوری‌که دو بوته ذرت برای رشد رویشی در هر گلدان نگهداری شد. در هفته دهم گیاه از محل طوقه قطع و اندام گیاهی پس از شست و شو با آب مقطر، در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک و وزن خشک گیاه تعیین گردید. قبل از برداشت گیاه، میزان کلروفیل برگ ذرت با دستگاه کلروفیل متر مدل SPAD-502 اندازه‌گیری شد. از ریشه‌های ریز تازه گیاه نمونه‌برداری و برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه استفاده شد (کورمانیک و مک گراو، ۱۹۸۲). ریشه‌ها در KOH ۸٪ پاکسازی شدند، در HCl ۲٪

اسیدی شدند و با جوهر لاکتیک-گلیسرول-آبی رویال رنگ آمیزی شدند. درصد کلونیزاسیون ریشه با استفاده از روش تقاطع خط شبکه برآورد شد (جووانتی و موس، ۱۹۸۰). نمونه‌های گیاهی به‌وسیله آسیاب رقی پودر گردید و عصاره گیری به روش هضم خشک انجام گردید (جونز و همکاران، ۱۹۹۱). پتاسیم و سدیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (CORNIN 405)، روی، آهن، منگنز و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AA-67OG) تعیین گردید. غلظت بور در عصاره گیاهی و ریشه با استفاده از آزومتین اچ (برگر و تروگ، ۱۹۳۹) اندازه‌گیری شد. میزان جذب عناصر با فرمول زیر محاسبه شد.

(۱) غلظت (میلی‌گرم در گلدان) = جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) × وزن خشک (گرم در گلدان)

تجزیه آماری و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با احتمال ۵٪ با کمک نرم فزار آماری SAS 9.2 انجام و نمودارها با اکسل ۲۰۱۳ رسم گردید.

نتایج و بحث

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بافت خاک سیلتی لومی، شوری خاک کم است. مقدار فسفر و بور این خاک کم و بقیه عناصر پرمصرف و کم مصرف در حد بهینه و یا نزدیک به حد بهینه هستند. به دلیل کم بودن میزان فسفر و بور قابل‌استفاده، این خاک برای اعمال تیمارهای آزمایش مناسب است.

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (واحد)	مقدار
pH گل اشباع خاک	۷/۶۸
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر)	۰/۶
شن (٪)	۲۴/۹
سیلت (٪)	۵۳/۳
رس (٪)	۲۱/۸
ماده آلی (٪)	۱/۲
نیتروژن کل (٪)	۰/۰۵
فسفر قابل‌استخراج با بی‌کربنات سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۰/۳
پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۹۳
بور محلول در آب داغ (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۲۵
مس قابل‌استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۵
روی قابل‌استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰/۶
منگنز قابل‌استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۴/۷
آهن قابل‌استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲/۱

تأثیر قارچ بر پارامترهای رشد ذرت

اثر اصلی بور و شوری ناشی از سدیم کلرید، مایه‌زنی قارچی و برهمکنش آن‌ها بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه و میزان کلروفیل برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. همچنین مایه‌زنی قارچی بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار و اثر اصلی بور و شوری و برهمکنش آن‌ها غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). علائم ظاهری سمیت بور و شوری در برگ ذرت مشاهده شد (شکل ۱). در ابتدا، برگ‌ها کلروز زرد-سبز را نشان دادند و به‌تدریج از نوک و حاشیه برگ زرد شدند که با نتایج لیو و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت داشت. محققین بیان کردند که سمیت بور و تنش شوری با لکه‌هایی نکروز روی برگ ایجاد و درنهایت به‌صورت بافت مردگی درمی‌آیند و باعث کاهش سطح برگ، فتوسنتز و به دنبال آن عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (پاندی و همکاران، ۲۰۱۹). مشاهدات نشان داد که مایه‌زنی قارچ تأثیری در بهبود علائم

ظاهری تنش شوری و سمیت بور نداشته است. مایه‌زنی قارچ در B_0S_0، وزن خشک اندام هوایی و میزان کلروفیل برگ ذرت را به ترتیب ۲۸/۹۵٪ و ۵/۸۸٪ نسبت به تیمار $B_0S_0M_0$ در سطح احتمال ۵٪ به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۳). تحقیقات نشان داده است که گسترش هیف و توسعه سیستم ریشه، سطح جذب آب بیشتری برای گیاه فراهم کرده و به دنبال آن عناصر غذایی بیشتری نیز جذب‌شده که منجر به تولید و تجمع ماده خشک بیشتری در گیاه می‌گردد (هگازی و همکاران، ۲۰۱۷). تورهان و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که مایه‌زنی قارچ سنتز رنگ‌دانه کلروفیل و کاروتنوئید را در گیاه گوجه‌فرنگی تحت سمیت بور افزایش داد. در تیمار $B_{30}S_0M_0$، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و میزان کلروفیل برگ را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۳۰/۵۴٪، ۴۵/۵۳٪ و ۱۲/۶۶٪ در سطح احتمال ۵٪ به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۳).

تحقیقات نشان داد که قدرت اتصال بور به‌اندازه‌ای است که می‌تواند به کوآنزیم‌های نوکلئوتیدی پیریدینی (NAD^+)، ATP، RNA و قندهای متعدد متصل گردد. حتی تغییرات ساختاری ناچیز در اثر اتصال بور به این مولکول‌ها، باعث عدم کارایی و ایجاد اختلال در فعالیت‌های آنزیمی شده و اختلالات متابولیکی را به همراه خواهد داشت (ویمر و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین سمیت بور باعث ناهنجاری کروموزومی و اثرات ژنوتوکسیک ذرت می‌شود که به دنبال آن تقسیم سلولی کاهش می‌یابد. افزایش غلظت بور باعث آسیب کلروپلاست در سلول‌های مزوفیل برگ و ساختار تیلاکوئید شده و به این دلیل غلظت کلروفیل درنتیجه مصرف بور کاهش می‌یابد (نابل و همکاران، ۱۹۹۷). اراسلن و همکاران (۲۰۰۷) و لیو و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که یک رابطه منفی بین میزان کلروفیل و کاربرد بور وجود دارد. در تیمار B_0S_0، مایه‌زنی قارچ میزان کلروفیل برگ را ۷/۰۹٪ نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی در سطح احتمال ۵٪ به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۲). تورهان و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند در گیاه گوجه مایه‌زنی شده با قارچ، غلظت کلروفیل و میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد. در تیمار $B_0S_8M_1$، میزان کلروفیل برگ ۵/۰۵٪ نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی افزایش یافت (جدول ۲). تحقیقات نشان داد که همزیستی از طریق جلوگیری از پر اکسیداسیون غشا به پایداری غشا کمک کرده و با حفاظت از کلروفیل از کاهش عملکرد فتوسنتزی جلوگیری می‌کند (عموآقایی و نیک اندیش، ۱۳۹۶). تنش ترکیبی $B_{30}S_8$، بدون مایه‌زنی قارچ وزن خشک ریشه ۷/۱۶ به ۱/۱۹ گرم در گلدان کاهش یافت و در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت اما وزن خشک اندام هوایی و میزان کلروفیل برگ در سطح احتمال ۵٪ کاهش معنی‌داری نداشت (جدول ۲). تحقیقات نشان داده است که سمیت بور مانع از رشد طولی ریشه می‌گردد زیرا این عنصر یکی از اجزای تشکیل‌دهنده دیواره سلولی اولیه بوده و مقادیر بیش‌ازحد آن باعث اختلال در فرآیند ساخت دیواره سلولی می‌شود و درمجموع سمیت بور می‌تواند تقسیم دیواره سلولی و رشد ریشه را کاهش دهد (پاندی و همکاران، ۲۰۱۹). در تیمار $B_{30}S_8$، مایه‌زنی قارچ توانست وزن خشک ریشه ۷۶/۵۷٪ و میزان کلروفیل برگ را ۸/۴۲٪ نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی در سطح احتمال ۵٪ به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (جدول ۲). لیو و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند تلقیح C. etunicatum وزن زیست‌توده گیاهی P. tenuiflora را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد.

در تیمارهای تلقیح شده با قارچ، درصد کلونیزاسیون ریشه‌های ذرت از ۲/۵٪ تا ۸۵/۹٪ بدون توجه به شرایط تنش متغیر بود (جدول ۳). تنش شوری و سمیت بور تأثیری بر درصد کلونیزاسیون ریشه نداشت (جدول ۳). لیو و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که درصد کلونیزاسیون ریشه‌های P. tenuiflora در شرایط بدون تنش به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از تنش‌های ترکیبی (۵۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم و ۴ گرم سدیم کلرید در کیلوگرم) بود، که با نتایج ما مطابقت نداشت. اما نشان دادند که کلونیزاسیون C. etunicatum به‌طور معنی‌داری بیشتر از F. mosseae بوده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین گیاه ذرت می‌تواند در تیمار $B_{30}S_8$ با قارچ C.

etunicatum همزیستی برقرار کند و عملکرد گیاه ذرت را بهبود بخشد. ما و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که رشد ذرت با C. etunicatum به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از بدون قارچ در هر مرحله رشد بوده است.

جدول ۲-تجزیه واریانس وزن خشک و جذب بور اندام هوایی و ریشه، میزان کلروفیل برگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کلروفیل	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	درصد کلونیزاسیون	جذب بور اندام هوایی	جذب بور ریشه
بور و شوری	۳	۳۱/۳۳**	۵۸**	۲۷/۱۱**	۶/۸۹ns	۲۱۲/۷۳**	۰/۱۹۹**
مایه‌زنی قارچ	۱	۳/۹۸*	۲۴/۷۲*	۴/۴۲*	۳۸۹۸۱/۳۸**	۱/۰۱ns	۰/۰۰۰۸ns
بور و شوری × مایه‌زنی قارچ	۳	۲/۹۷**	۴۳/۷۲**	۶/۱۷**	۱۲/۶۳ns	۸/۵۸**	۰/۰۴**
خطا	۱۶	۰/۵۳	۴/۳۸	۱/۰۱	۵۳/۶۶	۱/۰۴	۰/۰۰۱۷

** در سطح ۱٪ * در سطح ۵٪ معنی‌دار می باشند و ns از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد

جدول۳-مقایسه میانگین اثر قارچ بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، میزان کلروفیل برگ و درصد کلونیزاسیون ریشه ذرت تحت تنش شوری و بور

تیمار			کلونیزاسیون ریشه (٪)	کلروفیل	وزن خشک ریشه (g pot^{-1})	وزن خشک اندام هوایی (g pot^{-1})
شوری	بور	مایه‌زنی قارچ				
۰	۰	بدون مایه‌زنی	۲/۹۲b	۲۲/۱۰d	۷/۱۶a	۲۰/۶۹bc
۰	۰	قارچ	۸۱/۱۴a	۲۳/۴۰c	۷/۰۶a	۲۶/۶۸a
۰	۳۰	بدون مایه‌زنی	۲/۹۰b	۱۹/۳۰f	۳/۹۰b	۱۴/۳۷d
۰	۳۰	قارچ	۸۵/۹۰a	۲۰/۶۷e	۳/۵۳b	۱۷/۷۷cd
۸	۰	بدون مایه‌زنی	۲/۵۰b	۲۴/۹۵b	۷/۰۵a	۱۸/۹۶bcd
۸	۰	قارچ	۸۵/۷۳a	۲۶/۲۱a	۷/۰۷a	۲۳/۵۵ab
۸	۳۰	بدون مایه‌زنی	۴/۱۶b	۲۱/۹۵d	۱/۱۹c	۱۷/۸۱cd
۸	۳۰	قارچ	۸۲/۱۳a	۲۳/۸۰bc	۵/۰۸b	۱۷/۱۶cd

اعدادی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح ۵٪ براساس آزمون دانکن معنی‌دارنمی باشند. (منظور از تیمارهای صفر شوری و بور،عدم اعمال شوری و بور است)

شکل ۱- علائم ظاهری سمیت بور و تنش شوری در ذرت

تأثیر قارچ بر میزان جذب بور اندام هوایی و ریشه ذرت

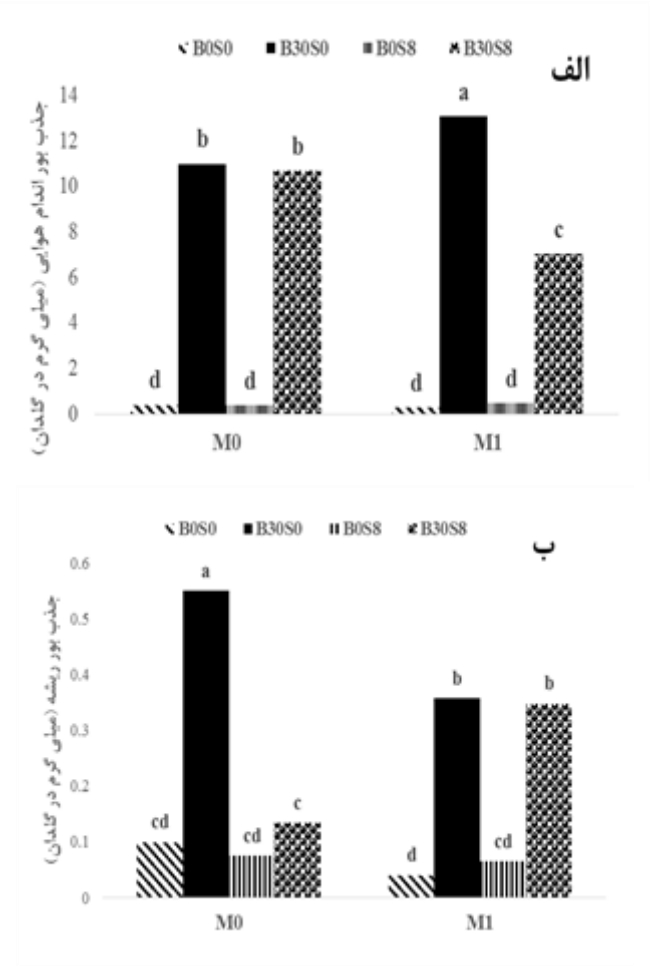
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی بور و شوری و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ بر میزان جذب بور ریشه و اندام هوایی ذرت معنی‌دار، اما اثر اصلی مایه‌زنی قارچی غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). میزان جذب بور اندام هوایی و ریشه با مایه‌زنی قارچ در تیمارهای شاهد در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نیست. با افزودن ۳۰ میلی‌گرم بور، جذب بور ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۸۱/۹۷٪ و ۹۶/۳۶٪ نسبت شاهد در سطح احتمال ۵٪ افزایش معنی‌دار داشته است (شکل ۲). درحالی‌که با مایه‌زنی قارچ میزان

جذب بور اندام هوایی از ۱/۰۸۶ به ۱۳/۰۵۴ میلی‌گرم در گلدان در سطح احتمال ۵٪ افزایش معنی‌دار و میزان جذب بور ریشه از ۰/۵۵۰۲۵ به ۰/۳۵۶۸۲ میلی‌گرم در گلدان در سطح احتمال ۵٪ کاهش معنی‌دار داشت (شکل ۲). جذب گیاه تابع دو عامل رشد ریشه و فراهمی عناصر غذایی در خاک است و کاربرد تیمار قارچی به دلیل افزایش سطح مؤثر جذب ریشه از طریق ایجاد هیف سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی به‌وسیله گیاهان می‌شوند (تورهان، ۲۰۲۱).

حسینی و همکاران (۱۳۸۳) بیان کردند کاربرد بور در تمام سطوح، ابتدا باعث افزایش جذب بور توسط ذرت شد اما سطوح بالاتر موجب کاهش گردید که ممکن است افزایش جذب به دلیل تأثیر بور بر غلظت این عنصر در گیاه و کاهش جذب به دلیل اثر بور بر کاهش ماده خشک است. سونمز و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کرد که بور طی تعرق فعال در طول یک شیب غلظت به داخل گیاهان حرکت می‌کند و به‌آسانی از طریق آوند چوبی در جریان تعرق حرکت می‌کند و در نقطه‌ای که آب از طریق روزنه‌های موجود در برگ از بین می‌رود تجمع می‌یابد. بنابراین، یافتن غلظت بور بالاتر در اندام هوایی نسبت به ریشه تعجب‌آور نیست. لیو و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که با مایه‌زنی F. mosseae و C. etunicatum، غلظت بور اندام هوایی گیاه افزایش‌یافته است. در این تحقیق کاربرد شوری و مایه‌زنی قارچی تأثیری بر میزان جذب بور گیاه نداشته است. اما در شرایط تنش ترکیبی $B_{30}S_8$، میزان جذب بور اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمار شاهد ۹۶/۲۶٪ و ۳۴/۸۴٪ افزایش‌یافته است اما نسبت به کاربرد جداگانه بور، میزان جذب بور ریشه از ۰/۵۵۰۲۵ به ۰/۱۳۳۷۵ میلی‌گرم در گلدان در سطح احتمال ۵٪ کاهش معنی‌دار داشته است و میزان جذب بور اندام هوایی تغییری نداشت (شکل ۲). با مایه‌زنی قارچ در شرایط تنش ترکیبی بور و شوری، میزان جذب بور اندام هوایی ۳۴/۳۸٪ کاهش و میزان جذب بور ریشه ۶۱/۵۶٪ در سطح احتمال ۵٪ افزایش معنی‌دار نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی داشته است (شکل ۲). در غلظت‌های بالای بور، جذب بور عمدتاً با فرآیند غیرفعال در جهت شیب غلظت انجام و انتقال بور از ریشه به ساقه توسط جریان تعرق هدایت می‌شود (ویمر و گلدبچ، ۲۰۱۲). شوری می‌تواند پتانسیل اسمزی آب خاک را کاهش دهد و باعث بسته شدن روزنه شود این ممکن است دلیل اصلی مهار تبخیر و تعرق در جذب بور و محدودیت انتقال بور از ریشه به ساقه باشد (بن گال و شانی، ۲۰۰۲؛ یرمیاهو و همکاران، ۲۰۰۸؛ بانوئلوس و همکاران، ۲۰۱۰). کاهش جذب بور و افزایش تحمل بور ناشی از نمک باعث سمیت بور کمتری در گیاه می‌شود. تنش شوری همچنین باعث افزایش میزان پروتئین ATPase شد که باعث تقویت فعالیت ATPase و مقاومت در برابر تنش بور و نمک می‌شود (یرمیاهو و همکاران، ۲۰۰۸). محمد و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که به‌طورکلی شوری جذب بور را کاهش می‌دهد، شوری می‌تواند سمیت بور را در گندم کاهش دهد.

از طرف دیگر لیو و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که تحت تنش ترکیبی، غلظت بور اندام هوایی با مایه‌زنی قارچ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و اثرات سه تلقیح قارچی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بااین‌حال، تلقیح قارچ غلظت بور ریشه را کاهش نداد، در مقابل، که به‌طور قابل‌توجهی با تلقیح F. mosseae + C. etunicatum افزایش یافت و با نتایج ما مطابقت داشت. این نتایج نشان می‌دهد که تلقیح C. etunicatum در شرایط تنش شوری، تجمع بور را در اندام هوایی محدود می‌کند، اما باعث افزایش تجمع بور در ریشه می‌شود. تحقیقات نشان داده است که کاهش غلظت بور اندام هوایی ممکن است تا حدی یک "اثر رقت" ناشی از افزایش زیست‌توده باشد (لیو و همکاران، ۲۰۱۸). «اثر رقت» به‌عنوان مکانیسم احتمالی افزایش تحمل میکوریزا نسبت به سمیت فلزی گیاهان میزبان در نظر گرفته‌شده است (لی و همکاران، ۲۰۱۶). شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد میکوریزا نقش مهمی در کاهش انتقال عناصر سمی به گیاهان داشته

و به‌عنوان مانعی برای انتقال این عناصر از ریشه به شاخساره عمل می‌کند (کابرال و همکاران، ۲۰۱۵).



شکل ۲- اثر قارچ بر میزان جذب بور الف) اندام هوایی و ب) ریشه ذرت تحت تنش شوری و بور

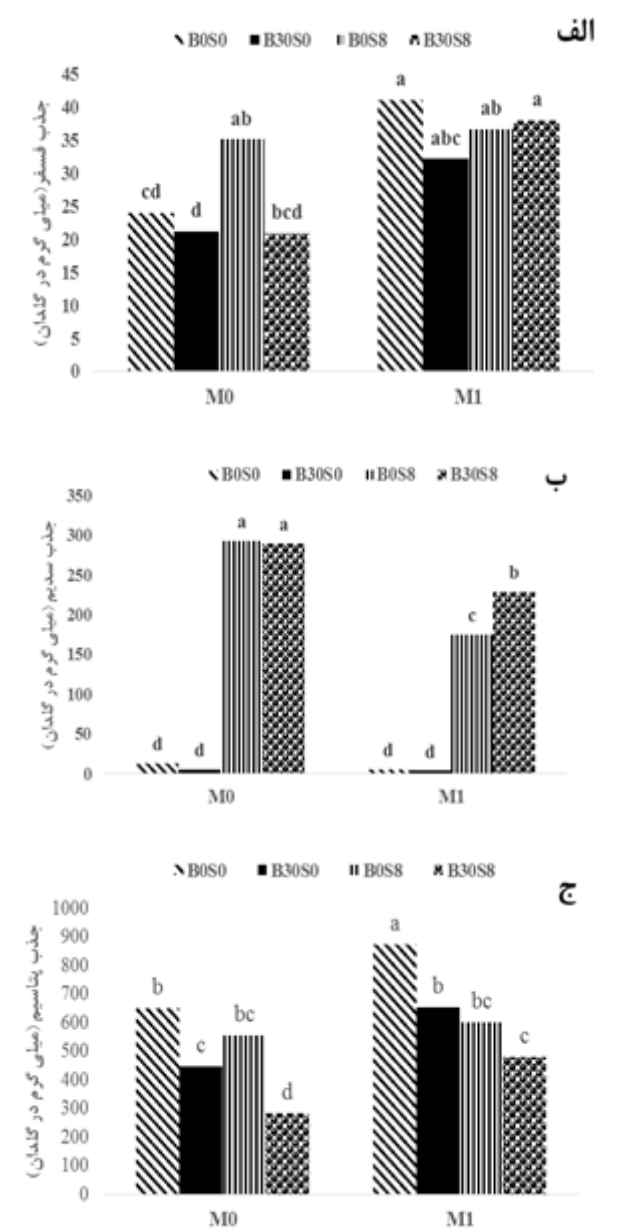
تأثیر قارچ بر میزان جذب عناصر پرمصرف اندام هوایی ذرت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی مایه‌زنی قارچی بر میزان جذب فسفر اندام هوایی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود اما اثر اصلی بور و شوری و برهمکنش آن‌ها غیر معنی‌دار بود (جدول ۴). در تیمار $B_0S_0M_1$ میزان جذب فسفر از ۲۳/۹۸۵ به ۴۱/۱۱۹ میلی‌گرم در گلدان در سطح احتمال ۵٪ نسبت به $B_0S_0M_0$ افزایش معنی‌داری داشت (شکل ۳ الف). در تیمار $B_{30}S_0M_0$، جذب فسفر تغییری نکرد درحالی‌که با مایه‌زنی قارچ ۵۱/۵۷٪ افزایش نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی مشاهده شد (شکل ۳ الف). با افزایش شوری خاک، میزان جذب فسفر را از ۲۳/۹۸۵ به ۳۵/۱۰۹ میلی‌گرم در گلدان در سطح احتمال ۵٪ افزایش معنی‌داری داشت اما با مایه‌زنی قارچ تغییری در جذب فسفر مشاهده نشد (شکل ۳ الف). تحقیقات نشان داده است که گسترش هیف به گیاهان میکوریزایی اجازه می‌دهد حجم بیشتری از خاک را در برگرفته و میزان بیشتری فسفر به دست آورند (چندرسکاران و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش فعالیت اسید فسفات از خاک ناشی از مایه‌زنی قارچ است که به‌عنوان یک مکانیسم اصلی مؤثر در تغذیه گیاهان در نظر گرفته‌شده است (هیو و همکاران، ۲۰۱۳). اثر اصلی بور و شوری و

مایه‌زنی قارچ و برهمکنش آن‌ها با احتمال ۱٪ تأثیر معنی‌داری بر میزان جذب سدیم اندام هوایی ذرت داشته است (جدول ۴). مایه‌زنی قارچ در تیمارهای B_0S_0 و $B_{30}S_0$، تأثیری بر میزان جذب سدیم نداشت اما با افزایش شوری خاک تا ۸ دسی زیمنس بر متر، میزان جذب افزایش چشمگیری داشت. با مایه‌زنی قارچ، میزان جذب سدیم ۴۰/۳۱٪ در سطح احتمال ۵٪ کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی داشت (شکل ۳ ب). در $B_{30}S_8M_0$، جذب سدیم نسبت به شاهد افزایش‌یافته است اما تفاوتی با تیمار کاربرد جداگانه بور نداشته است.

همچنین در این شرایط با مایه‌زنی قارچ نیز میزان جذب سدیم نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی ۲۰/۹۸٪ در سطح احتمال ۵٪ کاهش اما نسبت به تیمار شوری با مایه‌زنی قارچ ۳۰/۹۱٪ افزایش‌یافته است (شکل ۳ ب). لیو و همکاران (۲۰۱۸) بیان کرد که بور بر غلظت سدیم تأثیر کمی داشته است بااین‌حال تحت تنش بور و شوری مانع از انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی و افزایش جذب سدیم توسط ریشه دارد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. از طرف دیگر در تنش ترکیبی، مایه‌زنی قارچ افزایش غلظت سدیم اندام هوایی را محدود کرد. محدودیت جذب و یا انتقال سدیم از ریشه به ساقه به‌طور گسترده گزارش‌شده است (ناوارو و همکاران، ۲۰۱۴؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۸). این را می‌توان با دو مکانیسم توضیح داد: ۱) مایه‌زنی قارچ جذب پتاسیم را افزایش می‌دهد، که با جذب سدیم رقابت می‌کند (پاندی و همکاران، ۲۰۱۹). و ۲) میکوریزا آربسکولار رشد گیاه را تسهیل می‌کند و درنتیجه اثر رقت سدیم بافت، به‌ویژه در اندام هوایی ایجاد می‌کند (کومار و همکاران، ۲۰۱۵). اثر اصلی بور و شوری، مایه‌زنی قارچی بر میزان جذب پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار بود، اما برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). با مایه‌زنی قارچ در تیمار B_0S_0 میزان جذب پتاسیم ۳۴/۴۰٪ افزایش یافت. افزودن ۳۰ میلی‌گرم بور، جذب پتاسیم را نسبت به B_0S_0 ۳۱/۱۹٪ کاهش داد و با مایه‌زنی قارچ، جذب پتاسیم در سطح احتمال ۵٪ افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی داشت (شکل ۳ ج). $B_{30}S_8M_0$، جذب پتاسیم اندام هوایی ذرت را از ۶۵۰/۰۳۵ به ۲۸۴/۳۷۳ میلی‌گرم در گلدان کاهش داد. اما با مایه‌زنی قارچ ۶۸/۵۵٪ میزان جذب افزایش یافت (شکل ۳ ج). لیو و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که تنش‌های ترکیبی به‌طور قابل‌توجهی غلظت پتاسیم اندام هوایی را در مقایسه با گیاه شاهد کاهش داد، درحالی‌که مایه‌زنی قارچ به‌طور قابل‌توجهی غلظت پتاسیم اندام هوایی را افزایش داد (لیو و همکاران ، ۲۰۱۸). هنگامی‌که گیاهان در معرض شوری بالا قرار می‌گیرند، تمایل بیشتری به جذب سدیم دارند و درنتیجه جذب پتاسیم محدود می‌شود. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که میکوریزا می‌تواند جذب پتاسیم را در شرایط شور افزایش دهد (لاتف و میرانساری، ۲۰۱۴). که به گیاه کمک می‌کند نسبت K/Na بالاتری را حفظ کند، بنابراین از اختلال در فرآیندهای آنزیمی و مهار سنتز پروتئین ناشی از سدیم اضافی جلوگیری می‌کند (گیر و همکاران، ۲۰۰۷).

اثرات میکوریزا بر وضعیت آب گیاه و تعادل یونی با بهبود تغذیه گیاه میزبان، به‌ویژه برای فسفر و پتاسیم، که در تحمل به سمیت بور و تنش شوری مفید هستند، مرتبط است (ناوارو و همکاران، ۲۰۱۴؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۸). ما و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش کردند که قارچ C. etunicatum با تحریک ترشحات ریشه‌ای میزان جذب پتاسیم را افزایش می‌دهد.



شکل ۳- اثر قارچ بر میزان جذب الف) فسفر، ب) سدیم و ج) پتاسیم اندام هوایی ذرت تحت تنش شوری و بور

تأثیر قارچ بر میزان جذب عناصر کم‌مصرف اندام هوایی ذرت

اثر اصلی بور و شوری و برهمکنش آن‌ها بر میزان جذب آهن، مس، روی و منگنز در سطح احتمال ۱٪ معنی-دار بود اما اثر اصلی مایه‌زنی قارچی تنها بر میزان جذب روی و مس در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده است (جدول ۴). با مایه‌زنی قارچ، در تیمار B_0S_0 میزان جذب روی، مس و آهن به ترتیب ۳۳/۳۰، ۶۹/۷۲ و ۳۰/۵۷٪ و در تیمار $B_{30}S_0$ میزان جذب منگنز، مس و آهن به ترتیب ۴۴/۴۹، ۳۹/۶۲ و ۲۸/۷۲٪ نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی کاهش یافت (جدول ۵). کاهش غلظت منگنز برگ با کاربرد B ممکن است به دلیل اثر رقت یا رابطه متضاد بین B و منگنز باشد (عارف، ۲۰۱۲). سامت و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که سمیت بور غلظت منگنز و آهن در تربچه را کاهش داده است. همچنین علی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که نسبت روی به مس گیاه تنباکو و ذرت در غلظت‌های پایین‌تر بور افزایش و در غلظت‌های بالاتر بور کاهش‌یافته است. تیمار B_0S_8 برجذب منگنز و روی

بی‌تأثیر بود، درحالی‌که میزان جذب مس و آهن را کاهش داد. با مایه‌زنی قارچ میزان جذب منگنز و مس نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی به ترتیب ۲۵/۹۷ و ۳۵/۳۸٪ افزایش یافت (جدول ۵). لیو و همکاران (۲۰۰۴) افزایش جذب روی، مس، منگنز و آهن را در گیاه ذرت تلقیح شده با قارچ Glomus intraradices گزارش نمودند. همچنین گونه-های مختلف میکوریزا توانایی متفاوتی در جذب عناصر کم‌مصرف نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که میسلیوم قارچ با گسترش در خاک میزان جذب عناصر را افزایش می‌دهد که دلیل این امر متفاوت است. برخی شواهد حاکی از این است که میکوریز از طریق ترشح انواعی از سیدروفورها و کلاته کردن عناصر توانسته‌اند جذب و انتقال آن‌ها را افزایش دهند. همچنین افزایش جذب عناصر غذایی به دلیل انتشار میسلیوم‌های قارچ کلنیزه کننده بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم مکمل جذب در سیستم ریشه-ای گیاه بوده که بهره‌گیری از حجم بیشتر خاک را که ریشه-های تغذیه‌کننده به آن دسترسی ندارند، ممکن می‌سازد (برین و همکاران، ۱۳۹۶). در تیمار $B_{30}S_8M_0$ تنها میزان جذب مس را از ۰/۰۸ به ۰/۱۱۵ میلی‌گرم در گلدان در سطح احتمال ۵٪ نسبت به $B_0S_0M_0$ افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۵). مایه‌زنی قارچ در تیمار $B_{30}S_8$، میزان جذب روی و مس را نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی ۴۰/۰۷ و ۷۲/۵۴٪ کاهش و میزان جذب آهن ۲۳/۶۳٪ افزایش داد (جدول ۵). بر اساس گزارش لیو و همکاران (۲۰۰۴)، همزیستی قارچ Glomus intraradices با ذرت، جذب آهن، مس و روی افزایش می‌دهد (لیو و همکاران، ۲۰۰۴). درحالی‌که این تحقیق نشان می‌دهد که قارچ C. etunicatum تنها بر جذب آهن تأثیر مثبت دارد. دلیل اینکه میکوریزا آربسکولار بر غلظت منگنز و مس تأثیر نمی‌گذارد، می‌تواند به این دلیل باشد که هیف‌های میکوریزی تنها مسئول جذب این عناصر هستند، اما در جابه‌جایی آن‌ها دخیل نیستند (وو و همکاران، ۲۰۱۱).

مطالعاتی وجود دارد که نشان می‌دهد همزیستی قارچ C. etunicatum ممکن است اثرات کمی در بهبود یا حتی مانع از جذب مس و منگنز داشته باشد (حسینی و قراقانی، ۲۰۱۵). جدا الله و السعدی (۲۰۲۱) گزارش کردند که کمترین غلظت روی در برگ ذرت بین سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا مربوط به مایه‌زنی C.etunicatum بوده است.

جدول ۴- تجزیه واریانس جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف اندام هوایی ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		جذب سدیم	جذب فسفر	جذب پتاسیم	جذب آهن	جذب مس	جذب روی	جذب منگنز
بور و شوری	۳	۱۱۵۴۳۳**	۹۴/۴۸*	۷۷۴۰۶**	۰/۰۶**	۰/۰۰۰۷**	۰/۰۳**	۰/۴۰۸**
مایه‌زنی قارچ	۱	۱۳۳۱۵**	۸۱۷/۹۶**	۷۴۵۸۱**	۰/۰۰۹ ns	۰/۰۰۷**	۰/۰۲**	۰/۰۳۳ns
بور و شوری × مایه‌زنی قارچ	۳	۴۴۰۴**	۸۱/۴۲*	۱۶۵۱۱ns	۰/۰۵**	۰/۰۰۲**	۰/۰۱**	۰/۰۸۶**
خطا	۱۶	۲۰۷/۶۹	۲۰/۰۰۸	۷۵۸۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۶	۰/۰۱۲
CV	–	۱۱/۳۸	۱۴/۳۶	۱۶/۱۲	۱۱/۱۱	۱۰/۹۶	۱۲/۷۶	۱۳/۳۶

** در سطح ۱ ٪، * در سطح ۵٪ معنی‌دار می باشند و ns از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر قارچ برجذب عناصر کم‌مصرف اندام هوایی ذرت تحت تنش شوری و بور

تیمار			جذب منگنز (mg pot^{-1})	جذب روی (mg pot^{-1})	جذب مس (mg pot^{-1})	جذب آهن (mg pot^{-1})
شوری	بور	سطوح میکروبی				
۰	۰	بدون مایه‌زنی	۰/۹۸۴bc	۰/۳۵۰bc	۰/۰۸۰۹b	۰/۷۳۹ab
۰	۰	قارچ	۰/۸۰۲cd	۰/۲۳۴de	۰/۰۲۴۲e	۰/۵۱۳ed
۰	۳۰	بدون مایه‌زنی	۰/۶۷۳d	۰/۳۰۰cd	۰/۰۵۸۸cd	۰/۵۹۷cd
۰	۳۰	قارچ	۰/۳۸۹e	۰/۲۴۱de	۰/۰۳۵۵e	۰/۴۲۶e
۸	۰	بدون مایه‌زنی	۱/۰۲۶b	۰/۴۰۵ab	۰/۰۴۹۵d	۰/۵۶۰cd
۸	۰	قارچ	۱/۲۹۳a	۰/۴۵۴a	۰/۰۶۷۱c	۰/۶۴۲bcd
۸	۳۰	بدون مایه‌زنی	۰/۸۲۹bcd	۰/۳۳۷bc	۰/۱۱۵a	۰/۶۷۸bc
۸	۳۰	قارچ	۰/۷۲۷d	۰/۲۰۲e	۰/۰۳۱۵e	۰/۸۳۸a

اعدادی که در هر ردیف یا ستون دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند ازلحاظ آماری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن معنی‌دارنمی باشند. (منظور از تیمارهای صفر شوری و بور،عدم اعمال شوری و بور است)

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش شوری و سمیت بور تأثیری بر درصد کلونیزاسیون ریشه نداشت و مایه‌زنی قارچ C. etunicatum توانسته باریشه ذرت همزیستی برقرار کند. افزودن ۳۰ میلی‌گرم بور به خاک همراه با مایه‌زنی قارچ C. etunicatum کلروفیل، جذب بور اندام هوایی، جذب پتاسیم و فسفر افزایش و جذب بور ریشه، جذب آهن، مس و منگنز کاهش یافت. شوری هشت دسی زیمنس بر متر، با مایه‌زنی قارچ میزان کلروفیل، جذب مس، منگنز افزایش و جذب سدیم را کاهش داد. در شرایط تنش ترکیبی بور و شوری، جذب پتاسیم کاهش و جذب بور گیاه، جذب سدیم و مس افزایش یافت و با مایه‌زنی قارچ وزن خشک‌ریشه، کلروفیل برگ، جذب بور ریشه، پتاسیم، فسفر، آهن را افزایش و جذب روی، مس و بور اندام هوایی را کاهش داد. نتایج این مطالعه نشان داد که در شرایط تنش ترکیبی بور و شوری مایه‌زنی قارچ C. etunicatum می‌تواند رشد ذرت را بهبود بخشد. با این‌حال ارزیابی‌های بیشتر برای بررسی اثرات میکوریز آربوسکولار بر تنش ترکیبی شوری و سمیت بور مورد نیاز است.

فهرست منابع

۱. برین، م.، رسولی صدقیانی، م.، اشرفی سعیدلو، س.، و شکوری، ف. (۱۳۹۶). تأثیر شوری و تلقیح میکروبی بر عملکرد و شاخص‌های کارآیی فسفر در گیاه ذرت. تحقیقات کاربردی خاک, ۷(۱), ۱۴۸-۱۶۵.

۲. حسنی, قاسم, مجیدی, عزیز, فرخزاد, و سپهر. (۱۳۹۹). اثر برهمکنش بور× پایه بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیائی سیب رقم گلدن دلیشز. نهال و بذر, ۳۷(۱), ۲۳-۳۹.

۳. حسینی، س م.، مفتون، م, کریمیان، ن.، رونقی، ع.، و امام، ی. (۱۳۸۳). تاثیر سولفات روی بر مقاومت به سمیت بور در ذرت. مجله علوم خاک و آب، ۲(۱۸): ۱۲۵-۱۳۵.

۴. عمو آقایی، ر.، و نیک اندیش، ف. (۱۳۹۴). اثر مایه‌زنی دو رقم یونجه با جدایه‌هایی از گونه‌های سینوریزوبیوم و باسیلوس بر رشد، مقدار کلروفیل و تمامیت غشای سلول در شرایط تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، ۱: ۱۴۰-۱۵۲.

5. Ali, F., Ali, A., Gul, H., Sharif, M., Sadiq, A., Ahmed, A., & Kalhoro, S. A. (2015). Effect of boron soil application on nutrients efficiency in tobacco leaf. American Journal of Plant Sciences, 6(09), 1391.

6. Aref, F. (2012). Manganese, iron and copper contents in leaves of maize plants (Zea mays L.) grown with different boron and zinc micronutrients. African Journal of Biotechnology, 11(4), 896-903.
7. Banuelos, G. S., Wu, L., Akohoue, S., Zambrzuski, S., & Mead, R. (2010). Trace element composition of different plant species used for remediation of boron-laden soils. In Plant Nutrition—from Genetic Engineering to Field Practice (pp. 425-428). Springer, Dordrecht: New York.
8. Barua, D., Mishra, A., Kirti, P. B., & Barah, P. (2022). Identifying signal-crosstalk mechanism in maize plants during combined salinity and boron stress using integrative systems biology approaches. BioMed Research International, 2022.
9. Bastías, E. I., González-Moro, M. B., & González-Murua, C. (2004). Zea mays L. amylacea from the Lluta Valley (Arica-Chile) tolerates salinity stress when high levels of boron are available. Plant and Soil, 267, 73-84.
10. Ben-Gal, A., & Shani, U. (2002). Yield, transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress. Plant and soil, 247(2), 211-221.
11. Berger, K. C., & Truog, E. (1939). Boron determination in soils and plants. Industrial and Engineering Chemistry Analytical Edition, 11(10), 540-545.
12. Bouyoucos, G. J. (1962). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. Agronomy Journal, 43(9), 434-438.
13. Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-total. Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods, (methodsofsoilan3), 1085-1121.
14. Cabral, L., Soares, C. R. F. S., Giachini, A. J., & Siqueira, J. O. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of contaminated areas by trace elements: mechanisms and major benefits of their applications. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 31, 1655-1664.
15. Capula-Rodríguez, R., Valdez-Aguilar, L. A., Cartmill, D. L., Cartmill, A. D., & Alia-Tejacal, I. (2016). Supplementary calcium and potassium improve the response of tomato (Solanum lycopersicum L.) to simultaneous alkalinity, salinity, and boron stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47(4), 505-511.
16. Chandrasekaran, S., Sato, N., Tölle, F., Mülhaupt, R., Fiedler, B., & Schulte, K. (2014). Fracture toughness and failure mechanism of graphene based epoxy composites. Composites Science and Technology, 97, 90-99.
17. El-Agrodi, M., EL-Shebiny, G., Mosa, A., & El-sherpiny, M. (2016). Maize tolerance to different levels of boron and salinity in irrigation water. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 7(1), 35-44.
18. Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., & Alpaslan, M. (2007). Boron toxicity alters nitrate reductase activity, proline accumulation, membrane permeability, and mineral constituents of tomato and pepper plants. Journal of Plant Nutrition, 30(6), 981-994.
19. García-Sánchez, F., Simón-Grao, S., Martínez-Nicolás, J. J., Alfosea-Simón, M., Liu, C., Chatzissavvidis, C., & Cámara-Zapata, J. M. (2020). Multiple stresses occurring with boron toxicity and deficiency in plants. Journal of hazardous Materials, 397, 122713.
20. Ghanbarzadeh, Z., Zamani, H., Mohsenzadeh, S., Marczak, Ł., Stobiecki, M., & Zarei, M. (2021). Rhizosphere symbionts improve water stress tolerance in Moldavian balm through modulation of osmolytes. Rhizosphere, 19, 100367.
21. Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist, 489-500.
22. Giri, C., Pengra, B., Zhu, Z., Singh, A., & Tieszen, L. L. (2007). Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. Estuarine, coastal and shelf science, 73(1-2), 91-100.
23. Hegazi, A. M., El-Shraiy, A. M., & Ghoname, A. A. (2017). Mitigation of salt stress negative effects on sweet pepper using arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), Bacillus megaterium and brassinosteroids (BRs). Gesunde Pflanzen, 69(2), 91-102.
24. Hosseini, A., & Gharaghani, A. (2015). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of apple rootstocks in calcareous soil. International Journal of Horticultural Science and Technology, 2(2), 173-185.

25. Hu, Y., Liu, X., Bai, J., Shih, K., Zeng, E. Y., & Cheng, H. (2013). Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. Environmental Science and Pollution Research, 20(9), 6150-6159.
26. Ismail, A.M. (2004). Response of Maize and Sorghum to Excess Boron and Salinity. Plant Biology., 47: 313-316.
27. Jabeen, N., & Ahmad, R. (2011). Effect of foliar-applied boron and manganese on growth and biochemical activities in sunflower under saline conditions. Pakistan Journal of Botany, 43(2), 1271-1282.
28. Jadallah, S. O., & ALsaadi, A. H. (2021). Evaluation of Some Mycorrhizae Strains on Improving Nutrients Absorption in Maize Plant Grown in (Sirte–Libya) Saline Soil. Mediterranean Journal of Basic and Applied Sciences (MJBAS).
29. Jones, J. B., Jr. (1991). Plant tissue analysis in micronutrients. P. 477-521. In J. J. Mortvelt et al. (eds). Micronutrient in agriculture. 2 nd. SSSA Book Sea. 4.SSSA. Madison, WI.
30. Khan, A., Zhao, X. Q., Javed, M. T., Khan, K. S., Bano, A., Shen, R. F., & Masood, S. (2016). Bacillus pumilus enhances tolerance in rice (Oryza sativa L.) to combined stresses of NaCl and high boron due to limited uptake of Na+. Environmental and experimental botany, 124, 120-129.
31. Knudsen, E. I. (1982). Auditory and visual maps of space in the optic tectum of the owl. Journal of Neuroscience, 2(9), 1177-1194.
32. Kormanik, P. P., & McGraw, A. C. (1982). Qualification of vesicular arbuscular mycorrhizae in plant root. In: Mathod and principles of mycorrhizal research, Scheneck, N. C. (Ed). American Phytopathol SocietyS Saint Paul. 37-45.
33. Kumar, A., Sharma, S. K., Lata, C., Sheokand, S., & Kulshreshta, N. (2015). Combined effect of boron and salt on polypeptide resolutions in wheat (Triticum aestivum) varieties differing in their tolerance. Indian Journal of Agricultural Sciences,, 85, 1626-1632.
34. Latef, A. A. H., & Miransari, M. (2014). The role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress. Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses: Volume 2: Alleviation of Soil Stress by PGPR and Mycorrhizal Fungi, 23-38.
35. Li, H., Luo, N., Zhang, L. J., Zhao, H. M., Li, Y. W., Cai, Q. Y., & Mo, C. H. (2016). Do arbuscular mycorrhizal fungi affect cadmium uptake kinetics, subcellular distribution and chemical forms in rice?. Science of the Total Environment, 571, 1183-1190.
36. Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper 1. Soil Science Society of America Journal, 42(3), 421-428.
37. Liu Ch., Dai Zh, Xia J., Chang C., & Sun H. (2018). Combined effect of salt and drought on boron toxicity in Puccinellia tenuiflora. Ecotoxicology and Environmental Safety, 157:395–402.
38. Liu, Y., Mi, G., Chen, F., Zhang, J., & Zhang, F. (2004). Rhizosphere effect and root growth of two maize (Zea mays L.) genotypes with contrasting P efficiency at low P availability. Plant science, 167(2), 217-223.
39. Ma, J., Wang, W., Yang, J., Qin, S., Yang, Y., Sun, C., & Huang, J. (2022). Mycorrhizal symbiosis promotes the nutrient content accumulation and affects the root exudates in maize. BMC Plant Biology, 22(1), 64.
40. Mohamed, A. K. S. H., Qayyum, M. F., Shahzad, A. N., Gul, M., & Wakeel, A. (2016). Interactive effect of boron and salinity on growth, physiological and biochemical attributes of wheat (Triticum aestivum). International Journal of Agriculture And Biology, 18(2), 238-244.
41. Moraga, N. B., Amoroso, M. J., & Rajal, V. B. (2014). Strategies to ameliorate soils contaminated with boron compounds. In Bioremediation in Latin America (pp. 41-51). Springer, Cham.
42. Nable, R. O., Bañuelos, G. S., & Paull, J. G. (1997). Boron toxicity. Plant and Soil, 193(1-2), 181-198.
43. Navarro, J. M., Pérez-Tornero, O., & Morte, A. (2014). Alleviation of salt stress in citrus seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi depends on the rootstock salt tolerance. Journal of Plant Physiology, 171(1), 76-85.

44. Nelson, D. W., Sommers, L. E., Sparks, D., Page, A., Helmke, P., Loeppert, R., & Sumner, M. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical and microbiological properties. Soil Science of America and American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin 961-1010.
45. Olsen, S. R., Sommers, L. E. (1982). Phosphorus. P. 403-424. In A. L. Page (ed.) Methods of soil analysis, Part 2. Soil Science Society of America Journal., Madison, WI.
46. Pandey, A., Khan, M. K., Hakki, E. E., Gezgin, S., & Hamurcu, M. (2019). Combined boron toxicity and salinity stress—An insight into its interaction in plants. Plants, 8(10), 364.
47. Rhoades, J., Sparks, D., Page, A., Helmke, P., Loeppert, R., Soltanpour, P., & Summer, M. (1996). Salinity: Electrical Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods conductivity and total dissolved solids., 417-435.
48. Samet, H., Cikili, Y., & Dursun, S. (2015). The role of potassium in alleviating boron toxicity and combined effects on nutrient contents in pepper (Capsicum annuum L.). Bulgarian Journal of Agricultural Science, 21(1), 64-70.
49. Shao, Y. D., Zhang, D. J., Hu, X. C., Wu, Q. S., Jiang, C. J., Xia, T. J., & Kuča, K. (2018). Mycorrhiza-induced changes in root growth and nutrient absorption of tea plants. Plant, Soil and Environment, 64(6), 283-289.
50. Sirajuddin., Khan, A., Ali, L., Chaudhary, H. J., Munis, M. F. H., Bano, A., & Masood, S. (2016). Bacillus pumilus alleviates boron toxicity in tomato (Lycopersicum esculentum L.) due to enhanced antioxidant enzymatic activity. Scientia Horticulturae, 200, 178-185.
51. Smith, T. E., Grattan, S. R., Grieve, C. M., Poss, J. A., Läuchli, A. E., & Suarez, D. L. (2013). pH dependent salinity-boron interactions impact yield, biomass, evapotranspiration and boron uptake in broccoli (Brassica oleracea L.). Plant and soil, 370, 541-554.
52. Sonmez, O., Aydemir, S. A. L. İ. H., & Kaya, C. E. N. G. İ. Z. (2009). Mitigation effects of mycorrhiza on boron toxicity in wheat (Triticum durum) plants. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 37(2), 99-104.
53. Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods, (methodsofsoilan3), 457-490.
54. Turhan, A. (2021). Interactive effects of boron stress and mycorrhizal (AMF) treatments on tomato growth, yield, leaf chlorophyll and boron accumulation, and fruit characteristics. Archives of Agronomy and Soil Science, 67(14), 1974-1985.
55. Wimmer, M. A., & Goldbach, H. E. (2012). Boron-and-salt interactions in wheat are affected by boron supply. Journal of plant nutrition and soil science, 175(2), 171-179.
56. Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Keren, R., & Reid, R. J. (2008). Combined effect of salinity and excess boron on plant growth and yield. Plant and Soil, 304(1), 73-87.
57. Zarei M, König S, Hempel S, Nekouei MK, Savaghebi G, Buscot F. (2008). Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi associated to Veronica rechingeri at the Anguran zinc and lead mining region. Environmental Pollution, 156:1277-1283.

نشریه علمی زیست‌شناسی خاک / جلد ۱۱ / شماره ۱ / ۱۴۰۲/ص۱۷-۳۱
dx.doi.org/10.22092/sbj.2023.361368.247

تأثیر مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط آبیاری با آب شور

هوشنگ خسروی*

دانشیار پژوهش و عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
hkhosravi@areeo.ac.ir

دریافت:۱۴۰۱/۱۱/۱۹ و پذیرش:۱۴۰۲/۶/۲۰

«مقاله پژوهشی»

چکیده

منابع زیادی از آب‌های شور وجود دارند که می‌توانند با روش‌های ویژه‌ای در کشاورزی استفاده شوند. با توجه به اینکه تنش شوری سبب کاهش رشد گیاهان ازجمله گندم می‌شود، بنابراین هرگونه فناوری که سبب افزایش تحمل گندم به تنش شوری شود دارای اهمیت زیادی است. کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) یکی از راهکارهای مبتنی بر توسعه پایدار برای کاهش اثرات تنش در گیاهان است. در این پژوهش از پنج سویه برگزیده از باکتری‌های PGPR که بر اساس ویژگی‌های محرک رشدی غربالگری شده بودند استفاده شد. توان تحمل سویه‌ها به شوری در مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی (EC) ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر موردبررسی قرار گرفت. آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی در سه تکرار در شرایط تنش شوری در طی یک دوره ۱۰۰ روزه بر رشد گندم رقم نارین در سال ۱۴۰۰ در ایستگاه مرکزی مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد. تنش شوری از طریق آبیاری در چهار سطح، شامل آب معمولی (هدایت الکتریکی ۰/۴۰) و آب با قابلیت هدایت الکتریکی ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر اعمال شد. فاکتور مایه‌زنی شامل سطوح بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی با سویه‌های Pseudomonas putida P186، P. fluorescens P187، P. sp P241، Azotobacter chroococcum Azto478 و Azospirillum lipoferum A443 بود. مایه‌زنی به مقدار دو میلی‌لیتر به ازای هر بذر از زادمایه با جمعیت $1/5\times10^{8}$ cfu ml^{-1} در هنگام کاشت انجام شد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که همه سویه‌ها تا شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر کاهش رشدی نشان ندادند. نتایج آزمون گلخانه‌ای نشان داد که آبیاری با آب شور بر همه شاخص‌های رشد اثرات کاهشی معنی‌داری داشت. تنش در سطوح ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر به ترتیب سبب کاهش ۱۳/۵، ۳۵ و ۵۷ درصدی وزن تر اندام هوایی شد. همچنین سطوح یادشده به ترتیب باعث کاهش ۳۷/۵، ۵۰ و ۵۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی شد. وزن خشک ریشه ۸۰، ۸۷ و ۹۱ درصد کاهش یافت. ارتفاع بوته ۱۱، ۱۷ و ۱۸ درصد، طول خوشه ۱۶، ۲۵، ۳۱ درصد و تعداد خوشه ۲۳، ۳۱، ۴۵ درصد به ترتیب در سطوح مختلف شوری کاهش نشان دادند. مایه‌زنی با باکتری‌های برگزیده، تأثیر معنی‌داری بر هیچ‌کدام از شاخص‌های رشد گندم در شرایط تنش شوری نشان نداد. در این پژوهش نتیجه‌گیری شد از دلایل عدم تأثیر معنی‌دار مایه‌زنی در شرایط شور می‌تواند مقاوم بودن رقم نارین به شوری و عدم توان باکتری‌ها برای ایجاد تحمل بیشتر گیاه به شوری و یا بی‌تأثیر شدن خصوصیات محرک رشدی باکتری‌ها در این شرایط باشد.

واژه‌های کلیدی: زادمایه، رقم نارین، کود زیستی

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول:khosravi_1971@yahoo.co

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در ایران، وجود شوری در منابع خاک و آب است. از مجموع ۱۸ میلیون هکتار زمین‌های قابل‌کشت در ایران حدود ۶/۸ میلیون هکتار آن دارای درجات مختلفی از شوری هستند (مؤمنی، ۱۳۸۹). همچنین منابع آب شور با سطوح مختلف شوری در کشور فراوان است که مصرف پایدار این منابع برای مقاصد کشاورزی نیازمند راهکارها و روش‌های مدیریتی مبتنی بر پژوهش‌های کاربردی است. با کاربرد منطقی آب شور به‌عنوان یک منبع آب آبیاری، ضمن افزایش تولیدات کشاورزی می‌توان رقابت برای مصرف آب شیرین را کاهش داد؛ بنابراین برای افزایش تولید و بهره‌وری آب، استفاده از آب‌های شور در کشاورزی یک نیاز ضروری است (کیانی و آبیار، ۱۳۹۸).

پژوهش‌ها نشان داده است که باکتری‌های محرک رشد گیاه[1] یا به‌اختصار PGPR دارای پتانسیل افزایش تحمل گیاهان به تنش‌ها مانند شوری و یا خشکی در گیاهان هستند (شیرین‌بیان و همکاران، ۲۰۱۹؛ خسروی و محمودی، ۱۳۹۲؛ خسروی، ۱۳۹۸). باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق سازوکارهای مختلفی شامل تأمین نیاز عناصر غذایی گیاه، تولید هورمون‌های محرک رشد ریشه، سیدروفور[2]، پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی[3]، آنزیم - ACC دآمیناز[4]، تجزیه سیلیکات‌ها و آزادسازی عناصری مانند پتاسیم موجب بهبود رشد گیاهان می‌شوند که در انواع شرایط تنشی اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند (خسروی، ۱۳۹۸). از مهم‌ترین باکتری‌های PGPR می‌توان به جنس‌های Pseudomonas، Azotobacter و Azospirillum اشاره نمود (اگامبردیوا و هولفیچ، ۲۰۰۲).

گندم مهم‌ترین محصول زراعی ایران بوده و حدود یک‌سوم از اراضی قابل‌کشت کشور معادل ۶/۷۵ میلیون هکتار به این محصول راهبردی اختصاص یافته است (بی‌نام، ۱۴۰۱). با توجه به اهمیت گندم و همچنین وجود معضل شوری در کشور به‌کارگیری راه‌کارهای مبتنی بر توسعه پایدار برای تولید محصولات کشاورزی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است (خسروی، ۱۳۹۵). در پژوهشی اثر مایه‌زنی Pseudomonas fluorescens، P. putida و Azotobacter vinelandii در شرایط تنش شوری بر رشد ذرت معنی‌دار گزارش شده است (عبدالغنی و همکاران، ۲۰۱۵). در پژوهش دیگری، تأثیر مایه‌زنی باکتری‌های برگزیده محرک رشد در تعدیل اثرات زیان‌بار شوری در دوره رشد رویشی گندم رقم قدس مثبت گزارش شده است (صفدریان و همکاران، ۱۳۹۷). در این پژوهش از باکتری‌های بومی محرک رشد برگزیده‌ای استفاده شد که در پژوهش‌های پیشین اثرات معنی‌داری بر رشد گندم در شرایط تنش خشکی داشته‌اند (اوتادی، ۱۴۰۰). در این پژوهش، از گندم رقم نارین استفاده شد که به‌عنوان یک رقم برای مناطق شور و آبیاری با آب‌شور معرفی شده است. هدف از این پژوهش ارزیابی اثر مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد گیاه بومی ایران است که در شرایط تنش شوری قادر به افزایش تحمل بیشتر گندم رقم نارین باشند.

مواد و روش‌ها

تهیه زادمایه

برای تهیه زادمایه‌ها از پنج سویه برگزیده شامل Pseudomonas putida P186، P. fluorescens P187، P. sp P241، Azotobacter chroococcum Azto478 و Azospirillum lipoferum A443 استفاده شد. این سویه‌ها در پژوهش‌های پیشین از بین ۶۳ سویه از باکتری‌های بومی محرک رشد گیاه موجود در کلکسیون میکروبی مؤسسه تحقیقات خاک و آب ازنظر خصوصیات منسوب به محرک رشد گیاه، غربالگری شده بودند (اوتادی، ۱۴۰۰). ویژگی‌های محرک رشد گیاه سویه‌های گفته‌شده شامل توان تولید هورمون ایندول استیک اسید، سیدروفور، اگزوپلی‌ساکارید و آنزیم ۱-

1 Plnat Growth Promoting Rhizobacteria
2 - Siderophore
3 - Exopolysaccharides
4 - ACC-deaminase

آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات (ACC)[5] -دآمیناز، توان انحلال فسفات‌های آلی و معدنی و حل‌کنندگی ترکیب‌های نامحلول آهن و قابلیت آزادسازی پتاسیم از کانی‌های مسکوویت[6] و بیوتیت[7] که در جدول یک نشان داده‌شده است (اوتادی، ۱۴۰۰).

بررسی تحمل به شوری باکتری‌ها در شرایط محیط کشت

توان تحمل سویه‌ها به شوری در محیط‌های کشت جامد حاوی نمک کلرید سدیم و درون پتری‌دیش[8] در مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر مورد بررسی قرار گرفت. برای Azotobacter از محیط کشت اختصاصی وینوگرادسکی، Azospirillum از محیط آر-سی و برای Pseudomonas از محیط کشت کینگ-بی استفاده شد. محیط کشت اختصاصی هر باکتری قبل از استریل نمودن، با استفاده از مقادیر گفته‌شده نمک مخلوط و پس از اتوکلاو کردن درون پتری‌دیش‌ها تقسیم شد. پتری‌دیش‌ها درون انکوباتور با دمای ۲۸ درجه سلسیوس به مدت یک هفته نگهداری شدند. درنهایت قطر کلنی‌ها اندازه‌گیری و درصد کاهش رشد کلنی در مقادیر مختلف قابلیت هدایت الکتریکی نسبت به شاهد محاسبه شد (شارما و همکاران، ۲۰۲۱).

تهیه و آماده‌سازی خاک مورداستفاده در کشت گلخانه‌ای

خاک مورداستفاده در کشت گلخانه‌ای از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر مزرعه ایستگاه تحقیقات مرکزی مؤسسه تحقیقات خاک و آب واقع در کرج به مختصات جغرافیایی 35°45'26.8"N 50°57'17.1"E تهیه شد. آزمون بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد. مقدار نیتروژن کل به روش کجلدال، پتاسیم قابل‌جذب با روش استات آمونیوم یک نرمال و فسفر قابل‌جذب با روش اولسن اندازه‌گیری شد. عناصر روی، آهن، مس و منگنز قابل‌جذب با استفاده از روش عصاره‌گیری خاک با DTPA[9] و قرائت عناصر یادشده در عصاره گرفته‌شده با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی[10] انجام شد (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، ۲۰۱۴). هدایت الکتریکی[11] (EC) و اسیدیته (pH) در عصاره اشباع خاک، کربن آلی با روش والکی-بلاک[12]، درصد شن، سیلت و رس خاک با روش هیدرومتری تعیین شد. رطوبت ظرفیت مزرعه[13] (FC) با استفاده از روش صفحه تحت‌فشار در ۰/۳ بار محاسبه شد. رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP)[14] با استفاده از روش صفحه تحت‌فشار در ۱۵ بار اندازه‌گیری شد (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، ۲۰۱۴). ویژگی‌های آب آبیاری مورداستفاده شامل نسبت جذب سدیم (SAR)، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، سدیم، کلسیم، منیزیم، کلر و سولفات نیز با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (خانا و بوتیانی، ۲۰۰۸).

بررسی درصد جوانه‌زنی بذر در مقادیر مختلف شوری

برای بررسی درصد جوانه‌زنی بذر در مقادیر مختلف شوری ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر، نخست، بذور گندم با استفاده از الکل ۹۶ درصد به مدت ۳۰ ثانیه و هیپوکلریت سدیم ۱/۵ درصد به مدت ۱۰ دقیقه سترون سطحی شدند. به‌منظور حذف هیپوکلریت، بذرها با استفاده از آب مقطر استریل، ۱۰ بار شستشو شده و به مدت ۲۴ ساعت در زیر هود لامینار قرار داده شدند. بذرهای استریل سطحی شده به‌منظور جوانه‌زنی به پتری-دیش‌های دارای آب-آگار ۱ درصد (در سه تکرار) حاوی مقادیر مختلف شوری از منع کلرید سدیم منتقل و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند (کوردازو، ۱۹۹۹).

5 - 1-Aminocyclopropane 1-carboxylic acid (ACC)
6 - Muscovite
7 - Biotite
8 - Petri dish

9 - Diethylenetriaminepentaacetic acid
10 - Atomic absorption spectrometry
11- Electrical conductivity
12 -Walkley-Black
13 -Field Capacity
14 -Permanent Wilting Point

جدول ۱- مشخصات محرک رشدی باکتری‌های برگزیده (اوتادی، ۱۴۰۰)

سویه باکتری	ایندول استیک اسید	انحلال فسفر معدنی	انحلال فسفر آلی	آزادسازی پتاسیم از مسکوویت	آزادسازی پتاسیم از بیوتیت	تولید اگزوپلی‌ساکارید	انحلال ترکیب‌های نامحلول آهن	تولید سیدروفور	تولید آنزیم ACC-دآمیناز
	$\mu g.ml^{-1}$				$g.lit^{-1}$		قطر هاله به کلونی		
A. Lipoferum A443	۲۴/۹	۳۴/۲	۴۰/۳۵	۱۶/۶۷	۲۹/۵۹	۰	۱/۹	۱/۴۲	۰/۷۰
A. chroococcum Azto478	۲۷/۸۹	۲۷/۰۶	۱۷/۲۷	۵/۳۳	۷/۳۳	۴/۷۹	۰	۰	۰/۴۴
P. putida P186	۸/۰۰	۲۷۴/۱۸	۴۶/۵۱	۲۲/۳۳	۱۵/۸۶	۵/۲۱	۳/۵۵	۲/۳۳	۰/۷۰
P. fluorescens P187	۴۳/۹۰	۳۳۴/۳۱	۷۴/۷۸	۱۴/۳۱	۱۳/۷۹	۵/۳۸	۳/۷۷	۱/۹۲	۰/۷۲
P. sp P241	۴۴/۹۳	۲۱۴/۱۵	۴۸/۵۵	۱۴/۳۸	۱۶/۴۵	۵/۹۲	۳/۸۸	۱/۶۶	۰/۵۵

جدول ۲- تحمل سویه‌های برگزیده به مقادیر مختلف هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)

سویه باکتری	محیط کشت معمولی	EC=5			EC=10			EC=15			EC=20		
	*قطر کلنی شاهد	قطر کلنی	اختلاف قطر کلنی با شاهد	درصد کاهش نسبت به شاهد	قطر کلنی	اختلاف با شاهد	درصد کاهش نسبت به شاهد	قطر کلنی	اختلاف با شاهد	درصد کاهش نسبت به شاهد	قطر کلنی	اختلاف با شاهد	درصد کاهش نسبت به شاهد
A. chroococcum Azto478	۸	۵	۳	۳۸	۵	۳	۳۸	۳	۵	۶۳	۲	۶	۷۵
A. lipoferum A443	۴	۴	۰	۰	۴	۰	۰	۳	۱	۲۵	۳	۱	۲۵
P. putida P186	۸	۷	۱	۱۳	۷	۱	۱۳	۷	۱	۱۳	۶	۲	۲۵
P. fluorescens P187	۷	۷	۰	۰	۷	۰	۰	۷	۰	۰	۶	۱	۱۴
P. sp P241	۷	۶	۱	۱۴	۶	۱	۱۴	۵	۲	۲۹	۵	۲	۲۹

* واحد قطر کلنی‌ها بر اساس سانتیمتر است

طرح آزمایش گلخانه‌ای

آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل، بر پایه طرح کامل تصادفی و در سه تکرار از بهمن ۱۴۰۰ تا اردیبهشت ۱۴۰۱ و در گلخانه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب اجرا شد. بذر گندم مورداستفاده رقم نارین بود که از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. در این پژوهش از گلدان‌های پلاستیکی ۳۰۰ گرمی به ارتفاع ۲۳ و قطر دهانه ۲۹ سانتی‌متر و دارای زهکش استفاده شد. هر گلدان با ۸ کیلوگرم خاک عبور داده‌شده از الک ۵ میلی‌متری پر شد. در هر گلدان، چهار عدد بذر جوانه‌دار شده کشت شد که پس از یک هفته گیاهان تُنُک شده و سه گیاه در هر گلدان نگهداری شد. برای تهیه زادمایه‌ها، هر سویه خالص باکتری برگزیده در ارلن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری حاوی محیط کشت اختصاصی وینوگرادسکی[15] برای Azotobacter و محیط کشت نوترینت‌براث[16] برای Pseudomonas و Azospirillum کشت شدند.

ارلن‌های حاوی باکتری به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۸ درجه سلسیوس روی شیکر-انکوباتور با ۱۴۰ دور بر دقیقه قرار گرفتند. مایه‌زنی به مقدار دو میلی‌لیتر به ازای هر بذر از زادمایه با جمعیت زادمایه (cfu) $۱/۵\times۱۰^{۸}$ در هنگام کاشت انجام شد (میشرا و بارولیا، ۲۰۲۰). جمعیت باکتری‌ها با روش محتمل‌ترین تعداد (MPN)[17] اندازه‌گیری شد (وومر، ۱۹۹۴).

شوری در چهار سطح شامل آبیاری با آب معمولی با قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۴۲ (S0)، ۶ (S1)، ۱۰ (S2) و ۱۴ دسی زیمنس بر متر (S3) اعمال شد. برای اعمال تنش شوری با رعایت نسبت جذب سدیم[18] (SAR) از سه کاتیون سدیم، کلسیم و منیزیم که کاتیون-های غالب خاک‌های شور هستند استفاده شد. این کاتیون-ها از نمک‌های کلرید سدیم (NaCl)، سولفات منیزیم ($MgSO_4.6H_2O$) و کلرید کلسیم ($CaCl_2.2H_2O$) تأمین شدند. برای این منظور SAR آب آبیاری ۱۰ در نظر گرفته شد.

با توجه به نتیجه آزمون خاک برای جبران کمبود عناصر، در ابتدای کشت از محلول غذایی استفاده شد. عنصر نیتروژن، به شکل اوره و تقسیط در سه مرحله شامل یک هفته پس از کاشت، مرحله ساقه رفتن و مرحله خوشه رفتن مصرف شد (خادمی و اسدی، ۱۳۹۰).

در طول دوره کشت، برای همه تیمارها رطوبت خاک بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد FC به روش وزنی تأمین شد. پس از ۱۰۰ روز، اندام هوایی گیاه از محل طوقه جدا و ریشه‌ها نیز با غوطه‌وری گلدان‌ها در آب برداشت شدند. فاکتورهای وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه، طول خوشه و تعداد خوشه اندازه‌گیری شدند. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistics 10 و با روش ANOVA یک‌طرفه انجام شد. میانگین‌ها با روش LSD[19] و در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تحمل سویه‌ها به سطوح مختلف تنش شوری در شرایط آزمایشگاهی

نتایج بررسی توان تحمل سویه‌های برگزیده به سطوح مختلف تنش شوری در شرایط آزمایشگاهی در جدول دو نشان داده‌شده است. سویه P187 تا شوری ۱۵ دسی زیمنس بر متر هیچ کاهش رشدی نشان نداد و در شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر فقط ۱۴ درصد نسبت به شاهد کاهش رشد نشان داد؛ بنابراین P187 به‌عنوان مقاوم‌ترین سویه به شوری در شرایط آزمایشگاهی معرفی شد. کمترین رشد باکتری در شوری‌های مختلف مربوط به سویه Azto478 بود بطوریکه در شوری ۱۵ و ۲۰ به ترتیب ۶۳ و ۷۵ درصد کاهش رشد نشان داد. درهرحال اگرچه با افزایش سطح شوری سایر سویه‌ها دچار کاهش رشد شدند اما توقف رشدی مشاهده نشد. با توجه به اینکه در این بررسی بیشترین شوری آب آبیاری برای

15 - Winogradesky
16 - Nutrient Broth
17 - Most Probable Number
18 - Sodium Adsorption Ratio
19 - Least Significant Difference

آزمون گلخانه‌ای ۱۴ دسی زیمنس بر متر در نظر گرفته شده بود لذا مشکلی بابت رشد باکتری‌ها در این شرایط گلخانه‌ای وجود نداشت.

گزارش‌شده است که باکتری‌های برگزیده ریزوسفری در شرایط آزمایشگاهی و در سطوح مختلف شوری حداکثر تا ۶۰۰ میلی‌مولار (۶۴ دسی زیمنس بر متر) رشد قابل‌توجهی از خود نشان دادند (سرچشمه‌پور و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین گزارش‌شده است که باکتری‌های P. fluorescens تحمل زیادی به شوری تا ۶۰۰ میلی‌مولار (معادل ۵۵ دسی زیمنس بر متر) در محیط دارای کلرید سدیم در شرایط آزمایشگاهی داشتند (آزادیخواه و همکاران، ۲۰۱۷). در مطالعه دیگری، تحمل به شوری باکتری‌های محرک رشد جداسازی شده از ریزوسفر گیاه جو معنی‌دار گزارش‌شده است (صفدریان و همکاران، ۱۳۹۷).

نتایج بررسی درصد جوانه‌زنی بذر در سطوح مختلف شوری

درصد جوانه‌زنی بذر در مقادیر مختلف شوری در جدول سه نشان داده‌شده است. بذر گندم مورداستفاده در این پژوهش، رقم نارین بود که در پژوهش‌های مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌عنوان رقم گندم مقاوم به شوری معرفی‌شده است (امینی‌سفیداب، ۱۳۹۶). یکی از نگرانی‌های کشاورزان استقرار مطلوب گیاه در مناطق خشک و شور است و مرحله جوانه‌زنی یکی از مراحل مهم و حساس به تنش شوری است؛ بنابراین، انتخاب رقم مناسب برای گذر از این مرحله اهمیت زیادی دارد.

نتایج آزمون خاک و آب مورداستفاده درکشت گلخانه‌ای

نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مورداستفاده در کشت گلخانه‌ای در جدول چهار و ویژگی‌های آب مورداستفاده جهت آبیاری در جدول پنج ارائه شده است.

جدول ۳– نتایج بررسی درصد جوانه‌زنی بذر گندم رقم نارین در سطوح مختلف شوری

قابلیت هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	جوانه‌زنی بذر (٪)
۰	۱۰۰
۲	۱۰۰
۴	۱۰۰
۶	۹۷/۳۳
۸	۹۴
۱۰	۹۱
۱۴	۸۹/۳۳

جدول ۴- نتایج آزمون خاک مورداستفاده جهت کشت گلخانه‌ای

pH	EC	بافت	رس	شن	سیلت	کربن آلی	FC	PWP	نیتروژن کل	TNV* معادل درصد آهک	پتاسیم قابل‌جذب	فسفر قابل‌جذب	روی	مس	آهن	منگنز
	$dS.m^{-1}$		درصد								$mg.kg^{-1}$					
۷/۷۸	۱/۴۴	لومی رسی شنی	۲۸	۴۶	۲۶	۰/۶۵	۱۸/۲۵	۱۱/۹۳	۰/۰۷	۱۴/۵۰	۲۸۵	۱۲/۶۰	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۸۰	۵/۴۶

* Total Nutralizig Value

جدول ۵- نتایج آزمون آب مورداستفاده جهت آبیاری در کشت گلخانه‌ای

EC	pH	پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم	کلر	سولفات	نیترات	کلسیم/ منیزیم	SAR*
$dS.m^{-1}$		$mmol.l^{-1}$								
۰/۴۲	۷/۹۲	۰/۰۱۵	۱/۸۷	۰/۸۴	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۶۹	۰/۳۱	۳/۵۴	۱/۸۰

* نسبت جذب سدیم

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر تیمار مایه‌زنی، تنش شوری و برهمکنش آن‌ها بر شاخص‌های رشد گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	طول خوشه (سانتیمتر)	تعداد خوشه
مایه‌زنی	۵	۳۲/۳ ns	۲۱/۲ ns	۱/۲ ns	۹/۰ ns	۰/۶ ns	۳/۳ ns
تنش شوری	۳	۱۵۳۰/۷ **	۹۷۱/۰**	۱۹۸/۷**	۴۷۴/۷**	۲۳/۴**	۷۲/۵**
مایه‌زنی× تنش شوری	۱۵	۴۲/۶ns	۲۰/۱ns	۱/۰ns	۲۰/۲ns	۱/۴ns	۳/۲ns
خطا	۴۶	۲۹/۵	۹/۶	۱/۶	۲۶/۸	۱/۰	۳
ضریب تغییرات (CV)		۲۰	۱۷/۴	۲۰	۹/۳	۱۴/۴	۲۱/۶

ns؛ غیر معنی‌دار، *؛ معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، **؛ معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

تجزیه واریانس اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر شاخص‌های رشد

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به سطوح تنش شوری، سطوح مایه‌زنی با باکتری و اثرات متقابل شوری و مایه‌زنی بر شاخص‌های وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، طول خوشه و تعداد خوشه در جدول شش ارائه شده است. همان‌طور که جدول نشان می‌دهد تنش شوری بر همه شاخص‌های مذکور اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشته است. مایه‌زنی با باکتری‌های مورداستفاده و اثر متقابل مایه‌زنی و شوری تأثیر معنی‌داری بر هیچ‌کدام از شاخص‌های رشد نشان نداد.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر وزن تر اندام هوایی

مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن تر اندام هوایی در شکل یک نشان داده شده است. بر این اساس، آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۱۳/۵، ۳۵ و ۵۷ درصدی وزن تر اندام هوایی شد.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر وزن خشک اندام هوایی

در شکل دو مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک اندام هوایی نشان داده شده است. بر این اساس آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۳۷/۵، ۵۰ و ۵۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی شد.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر وزن خشک ریشه

مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک ریشه در شکل سه نشان داده شده است. بر این اساس، آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۸۰، ۸۷ و ۹۱ درصدی وزن خشک ریشه شد که بیشترین اثر منفی شوری بر شاخص‌های رشد بود.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر ارتفاع بوته

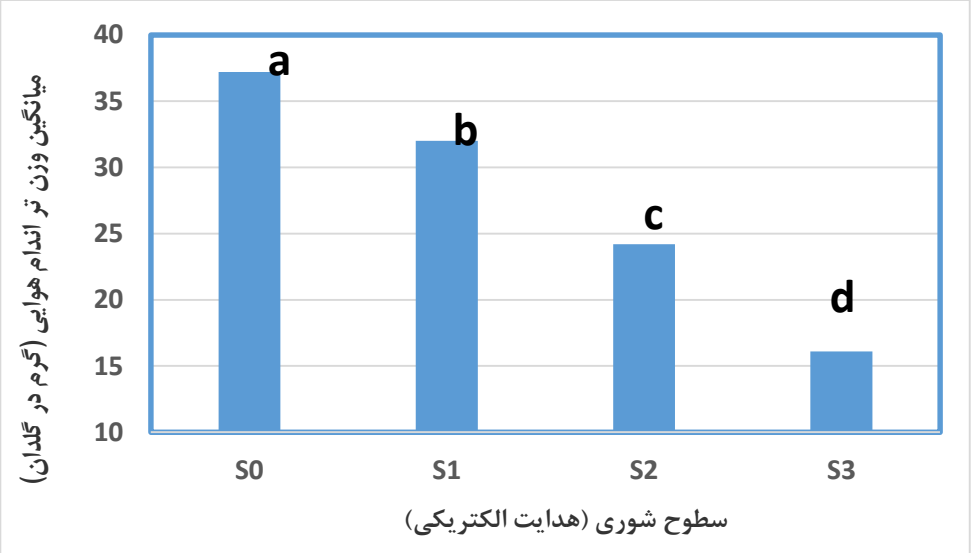
مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر ارتفاع بوته در شکل چهار نشان داده شده است. بر این اساس آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۱۱، ۱۷ و ۱۸ درصدی ارتفاع بوته شد.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر طول خوشه

مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر طول خوشه در شکل پنج نشان داده شده است. بر این اساس آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۱۶، ۲۵ و ۳۱ درصدی طول خوشه شد.

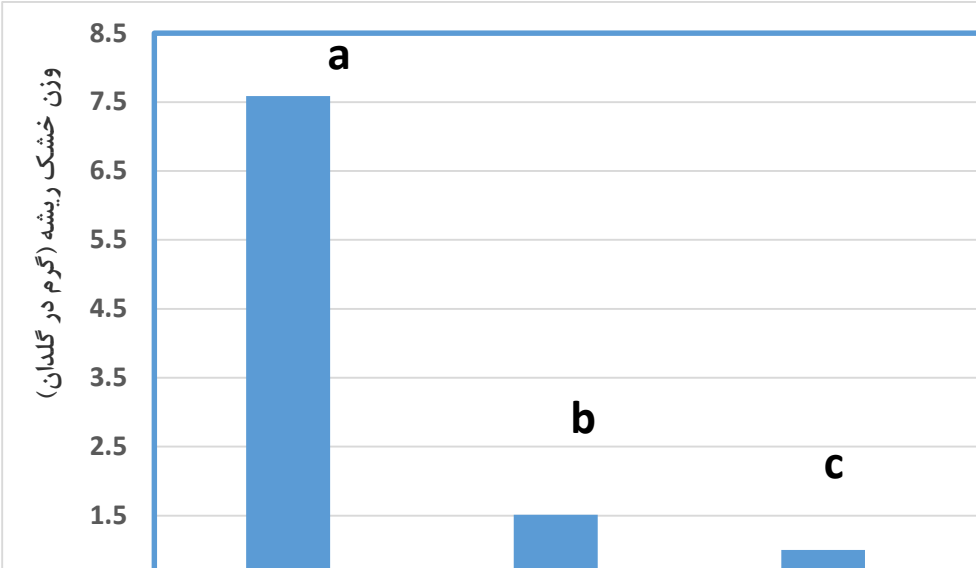
مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر تعداد خوشه

مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر تعداد خوشه در شکل شش نشان داده شده است. بر این اساس آبیاری با آب شور در سطوح S2،S1 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۲۳، ۳۱، ۴۵ درصدی تعداد خوشه شد.

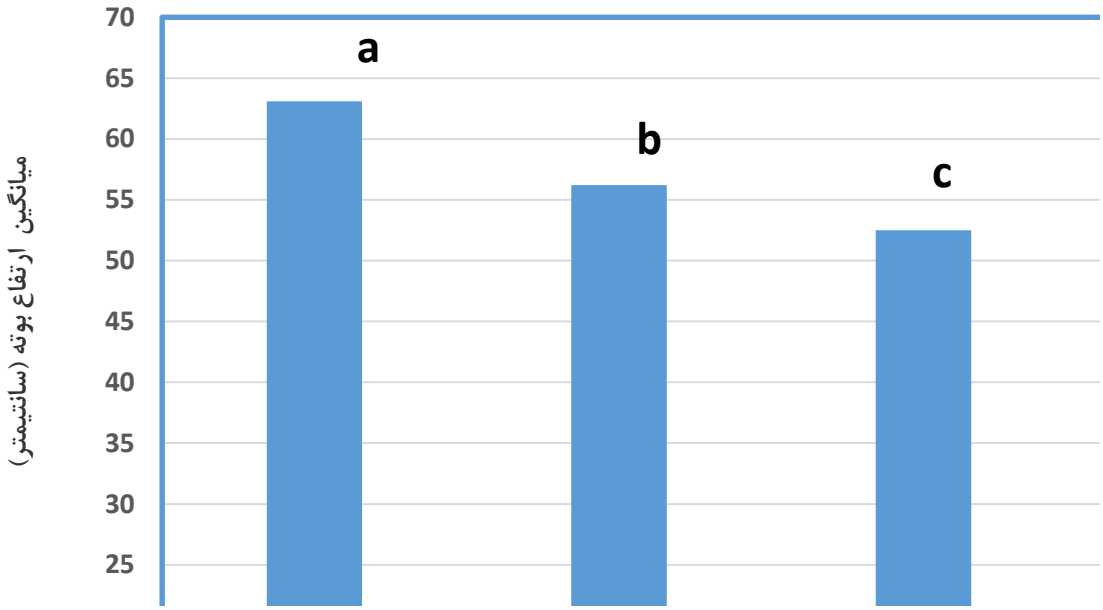


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن تر اندام هوایی
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر می‌باشند)

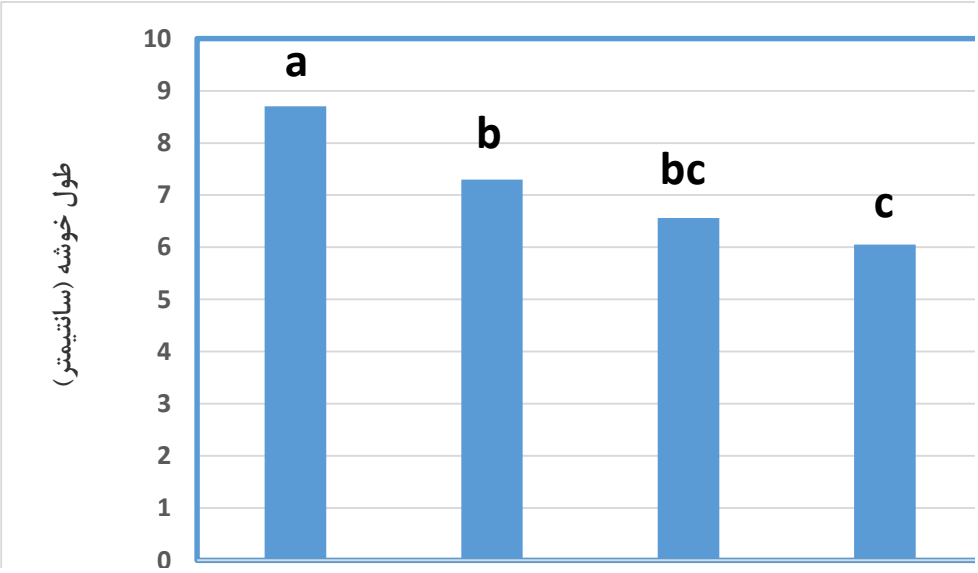
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک اندام هوایی
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند)



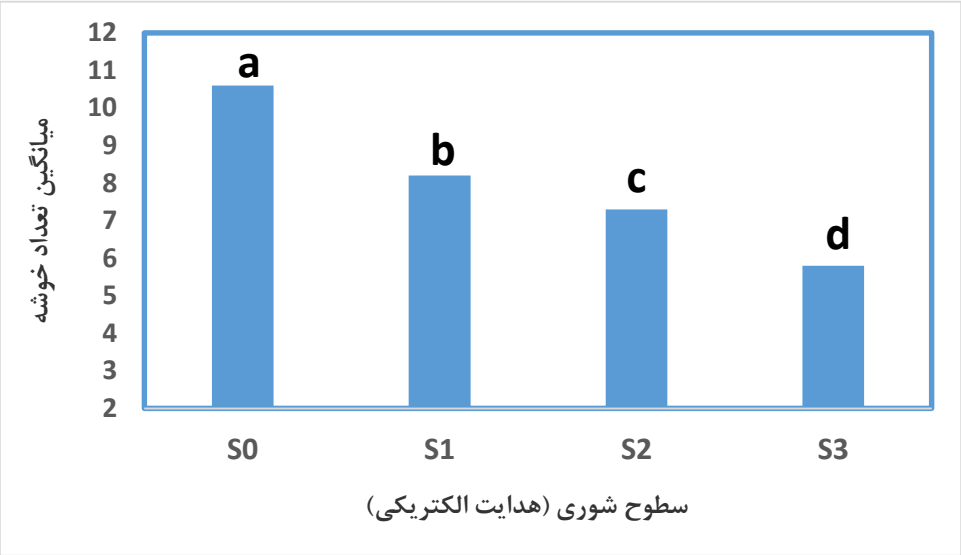
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک ریشه
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند)



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر ارتفاع بوته
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند)



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر طول خوشه
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر می‌باشند)



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر تعداد خوشه
(S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس بر متر می‌باشند)

نتایج آزمایشگاهی این پژوهش نشان داد که اگرچه باکتری‌ها، ویژگی‌های منسوب به محرک رشد خوبی داشتند و همچنین در شوری‌های زیاد در کشت درون شیشه‌ای توانایی رشدی خوبی از خود نشان دادند بااین‌حال در شرایط گلخانه‌ای و در محیط خاک، مایه‌زنی آن‌ها به گندم رقم نارین در شرایط تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد گندم نداشت؛ بنابراین عدم موفقیت مایه‌زنی در کاهش اثرات تنش شوری را بایستی در موضوعاتی غیر از توانایی رشد آن‌ها در شرایط شور جستجو کرد. یکی از دلایل این می‌تواند باشد که در این پژوهش ویژگی‌های منسوب به محرک رشد گیاه بر اساس دستورالعمل‌ها و روش‌های موجود در شرایط محیط کشت آزمایشگاهی و بدون تنش شوری اندازه‌گیری شد و سپس اثر مایه‌زنی آن‌ها در شرایط تنشی بر رشد گیاه بررسی شد؛ بنابراین اگر سویه‌ای در شرایط بهینه آزمایشگاهی، توانایی تولید هورمون محرک رشدی را

نشان دهد ممکن است در شرایط تنشی ازجمله شوری این ویژگی را بروز ندهد (احمد و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین، این ویژگی‌های در شرایط خاک نیز پیچیده‌تر خواهد بود. گزارش شده که همیشه نمی‌توان با قاطعیت ویژگی‌های رشد و فعالیت باکتری‌ها در شرایط تنشی به شرایط محیط طبیعی و شرایط خاک و یا کشت درون شیشه‌ای تعمیم داد (وسی، ۲۰۰۳).

گزارش شده که غلظت‌های بالای نمک بر ویژگی‌های منسوب به محرک رشد گونه‌های مختلف Pseudomonas ازجمله تولید اکسین، سیدروفور و توانایی حل‌کنندگی فسفات‌های نامحلول اثرات منفی دارد (دشوال و کومار، ۲۰۱۳). در پژوهش دیگری تعداد ۱۰۰ جدایه باکتری ریزوسفری از دو گیاه متحمل به شوری جداسازی و ویژگی‌های محرک رشدی آن‌ها در شرایط آزمایشگاهی بررسی و ۲۲ سویه برگزیده در شرایط شور به گیاه جو مایه‌زنی شدند. نتایج نشان داد که بهترین سویه‌ها که در شرایط آزمایشگاهی بالاترین مقادیر را در ویژگی‌های محرک رشدی نشان داده بودند هیچ تأثیری بر رشد گیاه نشان ندادند. برعکس سویه‌ای که در شرایط آزمایشگاهی ویژگی‌های محرک رشدی خوبی نشان نداده بود سبب افزایش قابل‌توجه رشد گیاه شد (کاردینال و همکاران، ۲۰۱۵). گزارش شده که دوسوم از سویه‌های Rhizobium در شرایط شور کارایی تولید اکسین را نداشتند (پرابهاواتی و ملالاه، ۲۰۰۹). گزارش‌های متفاوت و متضادی نیز در این زمینه وجود دارد. در این مورد اثر مایه‌زنی Rhizobium بر رشد گندم رقم تجن در شرایط تنش شوری ۷ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر معنی‌دار گزارش‌شده است (خسروی و همکاران، ۱۳۷۸) تأثیر مایه‌زنی باکتری‌های محرک رشد بر گندم رقم قدس بر وزن خشک ریشه و ساقه و وزن خشک کل، در شرایط تنش شوری نشان داد که مایه‌زنی با باکتری‌های برگزیده Bacillus atrophaeus،Bacillus amyloliquefaciens و Enterobacter aerogenes در تعدیل تأثیر زیان‌بار شوری در دورهٔ رشد رویشی گندم با تأثیر معنی‌دار گزارش شده است (صفدریان و همکاران، ۱۳۹۷).

لازم به ذکر است که سویه‌های مورداستفاده در این پژوهش، در پژوهش‌های پیشین اثرات معنی‌داری بر رشد گندم رقم رخشان در شرایط تنش خشکی نشان دادند. در آن پژوهش وزن خشک دانه به‌عنوان مهم‌ترین شاخص رشد گندم در تنش مربوط به ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه در اثر تلقیح با P. fluorescens P187، نسبت به شاهد بدون تلقیح ۷۰ درصد افزایش نشان داد. تلقیح در تنش مربوط به ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک دانه نداشت اما وزن خشک اندام هوایی و ریشه را به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. (اوتادی، ۱۴۰۰). در تائید این موضوع، در تحقیقی به‌منظور کنترل تنش خشکی در گندم با استفاده از باکتری‌های محرک رشد مشخص شد که مایه‌زنی به‌طور زیادی میزان آسیب حاصل از تنش خشکی را کاهش داد (کاسیم، ۲۰۱۳). در گزارشی اثر مایه‌زنی ذرت با Azotobacter موجب کاهش اثرات تنش خشکی شد (خسروی، ۱۳۹۸). مایه‌زنی ذرت با Azotobacter و Azospirillum تحت تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد بالاترین میزان ارتفاع بوته، ردیف بلال، تعداد دانه و وزن هزار دانه را ایجاد کرد (ناصری و همکاران، ۲۰۱۳).

استنتاج از این موضوع این می‌تواند باشد که سازوکارهای مؤثر باکتری بر رشد گیاه ممکن است در شرایط شور در این آزمایش تحت تأثیر منفی شوری قرار بگیرند اما در شرایط خشکی چنین اثر منفی رخ نداده باشد.

پیشنهاد شده است که برای حصول نتیجه بهتر در غربالگری باکتری‌های محرک رشد بایستی سازوکارهای محرک رشد دیگری را جستجو و موردبررسی قرارداد (وسی، ۲۰۰۳). گزارش شده است که موفقیت مایه‌زنی با باکتری‌های محرک رشد در افزایش مقاومت گیاهان به شرایط تنشی به نوع و رقم گیاه، نوع تنش و میزان آن، وضعیت ویژگی‌های محرک رشدی و سایر شرایط محیطی بستگی دارد (وسی، ۲۰۰۳).

موضوع دیگر این است که رقم مورداستفاده در این پژوهش (نارین) رقمی است که برای مناطق شور توصیه‌شده است بااین‌حال عملکرد آن در سطوح مختلف شوری ۱۰۰ درصد نخواهد بود. در پژوهش‌های کاربردی، هدف، افزایش عملکرد محصول با اتخاذ راه‌کارهای مختلف است؛ لذا در این پژوهش هدف آن بود که حداقل عملکرد اندام هوایی این رقم در شوری‌های مختلف افزایش داده شود که متأسفانه محقق نشد. استفاده از ارقام حساس به شوری ممکن بود نتیجه مطلوبی داشته باشد بااین‌حال با توجه به وجود ارقام مقاوم به شوری همانند نارین، چنان پژوهشی منطقی و هدفمند نمی‌بود. درهرصورت بررسی اثر باکتری‌های حاصل از این پژوهش در شرایط شور نیاز به تحقیقات تکمیلی دارد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی غربالگری باکتری‌ها ازنظر ویژگی‌های محرک رشدی در شرایط تنش شوری نیز انجام شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش گلخانه‌ای اثر مایه‌زنی ۵ سویه برتر غربالگری شده از باکتری‌های محرک رشد بومی خاک‌های ایران شامل Pseudomonas، Azotobacter و Azospirillum بر رشد گندم رقم نارین در شرایط آبیاری با آب شور موردبررسی قرار گرفت. نتایج در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که باکتری‌های برگزیده در ۲۰ شوری دسی زیمنس بر متر رشد کردند. آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که آبیاری با آب شور تأثیر کاهشی معنی‌داری بر شاخص‌های رشد گندم داشت. مایه‌زنی، تأثیر معنی‌داری بر کاهش اثرات سوء شوری بر وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، طول خوشه و تعداد خوشه نشان نداد. عدم موفقیت مایه‌زنی در مقابله با تنش شوری می‌تواند به علت مقاوم بودن رقم گندم به شوری و یا ناکارآمد شدن ویژگی‌های محرک رشدی باکتری‌ها در شرایط شور و به‌ویژه در محیط پیچیده خاک باشد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های تکمیلی، در مرحله غربالگری، باکتری‌های برگزیده ازنظر ویژگی‌های محرک رشدی در شرایط آزمایشگاهی، در شرایط تنش شوری غربالگری شوند.

فهرست منابع

۱. امینی سفیدآب ا.، اکبری مقدم ح.، صابری م.ح.، طباطبایی م.ت.، افیونی د.، راوری ذ.، محمدی ع.، افشاری ف.، ذاکری ع.، حسینی م.ع.، اکبری ع.، حاجی آخوندی میبدی ه. ۱۳۹۶. نارین، رقم جدید گندم آبی با سازگاری و عملکرد بالا مناسب برای مناطق با تنش شوری خاک و آب در اقلیم معتدل و معتدل گرم کشور. یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی، ۶(۲): ۱۷۴-۱۳۵.

۲. اوتادی ا. ۱۴۰۰. پتانسیل کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط تنش کم‌آبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک. ۹۶ صفحه.

۳. بی‌نام. ۱۴۰۱. گزارش برآورد سطح، تولید و عملکرد محصولات زراعی در سال زراعی ۹۸-۱۴۰۰-۱۳۹۹. مرکز اطلاعات و ارتباطات، وزارت جهاد کشاورزی، ۹۱ صفحه.

۴. خادمی ز. و اسدی ف. ۱۳۹۰. مدیریت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مراحل مختلف رشد گندم. نشریه فنی شماره ۵۰۳.

۵. خسروی ه. ۱۳۹۵. نقش باکتری‌های مفید خاک‌زی در مدیریت تولید محصول در اراضی شور و خشک از طریق کاهش اتیلن تنشی در گیاه. نشریه مدیریت اراضی، ۴(۱): ۴۳-۳۳.

۶. خسروی ه. ۱۳۹۸. واکنش ذرت به تلقیح با Azotobacter در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۳، شماره ۱: ۳۸-۲۹.

۷. خسروی ه. و ح. محمودی. ۱۳۹۲. بررسی اثرات مایه تلقیح ازتوباکتر به همراه کود دامی بر رشد گندم دیم. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۳(۲): ۲۱۹-۲۰۵.

۸. خسروی، ه.، ح. علیخانی و ب. یخچالی. ۱۳۷۸. بررسی اثر سویه‌های ریزوبیوم دارای آنزیم ACC daminase بر رشد گندم در شرایط تنش شوری. مجله تحقیقات آب‌وخاک ایران (مجله علوم کشاورزی ایران)، ۳۹(۱):۱۰۳-۹۳.

۹. سرچشمه پور، م.، ثواقبی، غ.، صالح راستین، ن.، ناهید، علیخانی، ح. و پوربابایی، ا. ۱۳۸۸. جداسازی، غربالگری، شناسایی نسبی و تعیین تحمل به تنش شوری و خشکی جدایه های برتر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR) درختان پسته. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۰(۲): ۱۹۰-۱۷۷.

۱۰. صفدریان م.، عسکری ح.، سلطانی‌نجف‌آبادی م.، نعمت‌زاده ق. ۱۳۹۷. تأثیر باکتری‌های محرک رشد مقاوم به شوری بر رشد و مقاومت گندم تحت تنش شوری. علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۹(۱): ۵۶-۴۵.

۱۱. علی احیائی، م .و ع .ا .بهبهانی زاده. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک .سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره ۸، جلد اول، ۱۲۹ صفحه.

۱۲. کیانی، ع. و آبیار، ن. ۱۳۹۸. استفاده از آب‌های شور برای تولید پایدار گندم. مدیریت آب در کشاورزی، ۶(۲): ۲۰-مؤمنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. مجله پژوهش‌های خاک، ۲۴(۳): ۲۱۵-۲۰۳.

13. Abd El-Ghany, T.M., Masrahi, Y.S., Mohamed, A., Abboud, A., Alawlaqi, M.M. and Elhussieny, A. (2015). Maize (Zea mays L.) growth and metabolic dynamics with plant growth-promoting rhizobacteria under salt stresses. Journal of Plant Pathology and Microbiology, 6(305), p.2.
14. Ahmad, I., Pichtel, J. and Hayat, S., eds. (2008). Plant-bacteria Interactions: Strategies and techniques to promote plant growth: John Wiley & Sons. 330p.
15. Azadikhah, M., Jamali, F., Nooryazdan, H.R. and Bayat, F. (2017). Screening Pseudomonas fluorescens strains for plant growth promoting properties and salinity tolerance. Biological Journal of Microorganism, 6(23), pp.95-107.
16. Cardinale, M., Ratering, S., Suarez, C., Montoya, A.M.Z., Geissler-Plaum, R. and Schnell, S. (2015). Paradox of plant growth promotion potential of rhizobacteria and their actual promotion effect on growth of barley (Hordeum vulgare L.) under salt stress. Microbiological Research, 181, pp.22-32.
17. Cordazzo, C.V., 1999. Effects of salinity on seed germination, seedling growth and survival of Spartina ciliata Brong. Acta Botanica Brasilica, 13, pp.317-322.
18. Deshwal, V.K. and Kumar, P. (2013). Effect of salinity on growth and PGPR activity of Pseudomonads. Journal of Academia and Industrial Research, 2(6), pp.353-356.
19. Egamberdiyeva, D. and Höflich, G. (2002). Root colonization and growth promotion of winter wheat and pea by Cellulomonas spp. at different temperatures. Plant Growth Regulation, 38(3), pp.219-224 .
20. Kasim, W.A., Osman, M.E., Omar, M.N., El-Daim, I.A.A., Bejai, S. and Meijer, J. (2013). Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. Journal of Plant Growth Regulation, 32(1): 122-130.
21. Khanna, D.R. and Bhutiani, R., 2008. Laboratory manual of water and wastewater analysis. Delhi: Daya Publishing House.
22. Mishra, B.K. and Barolia, S.K., 2020. Quality Assessment of Microbial Inoculants as Biofertilizer. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci, 9(10), pp.3715-3729.

23. Naseri, R., Moghadam, A., Darabi, F., Hatami, A. and Tahmasebei, G.R. (2013). The Effect of deficit irrigation and Azotobacter chroococcum and Azospirillum brasilense on grain yield, yield components of maize (SC 704) as a second cropping in western Iran. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences [BEPLS], 2(10): 104-112.
24. Prabhavati, E. and Mallalah, K.V. (2009). Effect of salt concentration on indole acetic acid production by Rhizobium sp. nodulating horse gram. International Journal of Agricultural Sciences, 5(1): 46-49.
25. Sharma, A., Dev, K., Sourirajan, A. and Choudhary, M., 2021. Isolation and characterization of salt-tolerant bacteria with plant growth-promoting activities from saline agricultural fields of Haryana, India. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 19(1), pp.1-10.
26. Shirinbayan, S., Khosravi, H. and Malakouti, M.J., 2019. Alleviation of drought stress in maize (Zea mays) by inoculation with Azotobacter strains isolated from semi-arid regions. Applied soil ecology, 133, pp.138-145.
27. Vessey. J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil, 255: 571–586.
28. Woomer, P.L., 1994. Most probable number counts. Methods of Soil Analysis: Part 2 Microbiological and Biochemical Properties, 5, pp.59-79.

نشریه علمی زیست‌شناسی خاک / جلد ۱۱ / شماره ۱ / ۱۴۰۲/ص۳۳-۴۶
dx.doi.org/10.22092/sbj.2023.360696.243

ارزیابی ترکیبات لیگنوسلولزی، ویژگی‌های کمپوست و خاک پوششی تلقیح شده با باکتری‌ها بر رشد و تولید قارچ خوراکی (*Agaricus bisporus*)

صاحب سودائی مشائی* و الناز میرزاخانی

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. **soodaie@sku.ac.ir**

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. **Elnaz.mirzakhani2014@yahoo.com**

دریافت:۱۴۰۱/۹/۱ و پذیرش:۱۴۰۲/۴/۱۲

«مقاله پژوهشی»

چکیده

به منظور ارزیابی ویژگی‌های کمپوست و خاکی پوششی تلقیح شده با باکتری‌ها بر رشد و عملکرد قارچ خوراکی، آزمایشی بصورت بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در شرکت قارچ نگین فصل شهرکرد اجرا شد. تیمارها باکتری‌های تلقیح شده به خاک پوششی شامل (ازتوباکتر کروکوکوم، سودوموناس پوتیدا، آزوسپیریلوم لیپوفروم، باسیلوس سابتیلیس، انتروباکتر کلوآسه و سیانوباکترها) و شاهد بودند. خصوصیات شیمیایی و زیستی کمپوست در طی مراحل مختلف کمپوست‌سازی شامل تنفس میکروبی، جمعیت میکروبی، کربن آلی، کربن آلی محلول در آب سرد و داغ، خاکستر، میزان ترکیبات لیگنوسلولزی، اسیدیته و هدایت الکتریکی و شاخص‌های رشد قارچ شامل وزن قارچ، عملکرد، راندمان بیولوژیکی و نرخ تولید اندازه‌گیری شد. نتایج این مطالعه نشان داد که خصوصیات شیمیایی و زیستی کمپوست طی فرآیند کمپوست‌سازی تغییر نموده که بیشترین فعالیت میکروبی یا تنفس میکروبی (پایه ۱۴۵/۹ و برانگیخته ۱۷۶/۹ میکروگرم CO_2 بر گرم کمپوست در ساعت) در نمونه‌های برداشت شده در شروع فاز II کمپوست‌سازی اتفاق افتاد که در این مرحله بیشترین جمعیت باکتریایی ($1/25 \times 10^{9}$ $CFU.g^{-1}$) هم بدست آمده است. جمعیت باکتریایی در خاک پوششی کمتر از کمپوست بود. میزان همی‌سلولز دامنه‌ای بین ۲۲/۶ الی ۴۵/۱ درصد را نشان داد و مقدار سلولز دامنه‌ای از ۱۶/۷ الی ۴۲/۲ درصد داشته و مقدار لیگنین هم دامنه‌ای از ۱۷/۷ الی ۳۳/۷ درصد حاصل گردید. افزودن باکتری‌ها به خاک پوششی تاثیر مثبت خود را بر عملکرد (۱۵/۹ درصد) و میانگین وزن هر قارچ (۱۸/۰ درصد) نسبت به شاهد (تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد) نشان داد. در بین باکتری‌های استفاده شده، باکتری‌های ازتوباکتر کروکوکوم و سودوموناس پوتیدا تاثیر بیشتری نسبت به بقیه باکتری‌ها بر صفات عملکردی قارچ نشان دادند. بنابراین، تحقیقات بیشتر برای تعیین راهبردهایی برای افزایش عملکرد و کیفیت صفات زراعی در کشت تجاری قارچ خوراکی مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: جمعیت میکروبی، سودوموناس پوتیدا، عملکرد قارچ خوراکی، کربن آلی و لیگنین

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول:soodaie@sku.ac.ir

CC BY

مقدمه

قارچ دکمه‌ای محبوب‌ترین قارچ خوراکی در جهان است. تولید و بهره‌وری قارچ دکمه‌ای توسط عوامل متعددی مانند کیفیت کمپوست، سویه قارچ، اسپان، بستر کشت، شرایط محیطی و آبیاری کنترل می‌شود. نوع بستر و مؤلفه‌های کیفی آن، مهمترین عامل تاثیرگذار بر بهره‌وری قارچ خوراکی است (ویجی و همکاران، ۲۰۱۲). کمپوست قارچ یک محیط بسیار ناهمگن است که در آن طیف وسیعی از گونه‌های میکروبی از جمله آرکئا، باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها زندگی می‌کنند و بررسی جوامع میکروبی در فرآیند کشت قارچ به طور کلی به باکتری‌ها و قارچ‌ها محدود شده است (مک‌گی، ۲۰۱۸). متابولیسم ریزجانداران در روند کمپوست‌سازی، یک عامل اساسی در ارزش غذایی آن است. کاه و کلش، بقایای آلی کشاورزی هستند که با نرخ جهانی $۲-۴\times۱۰^{۹}$ تن در سال تولید می‌شوند که ۱/۴ برابر عملکرد سالانه محصول است (اسمیل، ۱۹۹۹). پرورش قارچ یکی از کارآمدترین و اقتصادی‌ترین فرآیندهای بیوتکنولوژی برای تبدیل و بازچرخش مواد لیگنوسلولزی مانند کاه گندم و برنج به مواد غذایی با کیفیت بالا است (سونگ و همکاران، ۲۰۲۱). استفاده از بقایای کشاورزی در صنعت تولید قارچ خوراکی نه تنها از اتلاف منابع طبیعی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوزاندن آنها رها می‌شود، بلکه دارای مزایای اقتصادی نیز می‌باشد (لیو و همکاران، ۲۰۱۸). تعداد زیادی از باکتری‌ها و قارچ‌ها نقش کلیدی در تولید کمپوست قارچ خوراکی دارند. آن‌ها با فرآیند گرمادوست در کمپوست‌سازی، کاه و کلش را به بستری با کیفیت بالا برای قارچ خوراکی تخمیر می‌کنند. این ریزجاندارن ترکیبات را تجزیه می‌کنند، آمونیاک آزاد می‌کنند و سپس سلولز و همی‌سلولز را به زیست توده میکروبی کمپوست هضم می‌کنند که منبع تغذیه میسلیوم قارچ دکمه-ای است (کرتیسز و تای، ۲۰۱۸).

قارچ خوراکی در مرحله رویشی به صورت میسلیوم درون کمپوست رشد می‌کند و اضافه کردن خاک پوششی روی بستر مقدمه‌ای برای عبور میسلیوم از مرحله رویشی به مرحله زایشی و تشکیل کلاهک قارچ می‌باشد. ازجمله دلایل دیگر استفاده از خاک پوششی می‌توان به مواردی نظیر جلوگیری از خشک شدن بستر، ایجاد یک لایه مرطوب در سطح بستر برای تشکیل گره‌های زایشی اولیه و تکامل آن‌ها، فراهم کردن ذخیره آبی برای اندام زایشی قارچ، ایجاد مصونیت قارچ‌ها در برابر حمله بیماری‌ها، حمایت از رشد و تکثیر ریزجانداران‌های موثر در میزان تولید قارچ اشاره کرد (شمسی و همکاران، ۲۰۱۰). جامعه باکتریایی کمپوست بسیار متنوع است و تغییرات دینامیکی را در پاسخ به کیفیت کمپوست نشان می‌دهد (مک‌گی و همکاران، ۲۰۱۷). مواد اولیه پس از اختلاط و خیس شدن در کمپوست فاز I خود گرم می‌شوند و از طریق فعالیت بالای میکروبی مشخص می‌شوند، در حالی که ریزجانداران هوازی به دلیل شرایط دمایی کنترل شده در کمپوست فاز II فرآیند تخمیر غالب می‌شود (استریتسمن و همکاران، ۱۹۹۵).

لوسی و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که پروتئوباکتری‌ها[1] و بعد فیرمیکیوت‌ها[2] و پلنکتومایست‌ها[3]، فراوان‌ترین شاخه‌های میکروبی در هر دو عصاره کمپوست قارچ خوراکی (در زمان یک و ۲۴ ساعت خیساندن) بودند. در مجموع ۲۷۵ گونه مختلف باکتریایی از نمونه‌های عصاره کمپوست یک ساعت خیس‌شده و ۱۶۶ گونه از عصاره کمپوست ۲۴ ساعت خیس‌شده طبقه‌بندی شدند که نشان‌دهنده کاهش تنوع باکتریایی با زمان خیساندن طولانی‌تر در طول آماده‌سازی عصاره کمپوست است. استفاده از عصاره کمپوست ۲۴ ساعت خیسانده شده باعث

[1] Proteobacteria
[2] Firmicutes
[3] Planctomycetes

افزایش ۲۵ درصدی کارایی بیولوژیکی، ۵۳ درصدی در تعداد قارچ و ۴۰ درصدی در وزن قارچ نسبت به شاهد شد. برای بهبود روش‌های کشت قارچ، نقش جوامع میکروبی در خاک پوششی باید درک شود. به‌طورکلی، گزارش‌های اخیر نشان می‌دهد که کشت قارچ‌های خوراکی با افزودن میکروب‌های مفید به بستر، عملی امکان‌پذیر است (سان و همکاران، ۲۰۲۰). این ریزجانداران موجود در کمپوست و خاک پوششی ممکن است به شدت بر رشد و بارور شدن قارچ‌های خوراکی تأثیر بگذارند و در برخی موارد برای آن‌ها لازم است (کاراسکو و پرستون، ۲۰۲۰)؛ بنابراین، روشن ساختن جوامع میکروبی در بسترهای قارچ یک گام کلیدی برای شناسایی سویه‌های محرک رشد مرتبط با عملکرد بالاتر و ویژگی‌های زراعی بهتر در قارچ و توسعه جوامع مصنوعی برای تولید قارچ موردبررسی قرار گیرد. استفاده از ریزجانداران محرک رشد قارچ می‌تواند شامل دو سطح کاربرد فناوری باشد: یکی با سرمایه‌گذاری بالا، شامل محیط کشت خاص (جامد یا مایع) و گونه‌های شناخته‌شده برای چنین کاربردهایی و دیگری با سرمایه‌گذاری کم، شامل یک فرآیند استخراج ساده، با انتخاب گونه‌های طبیعی که نشان‌دهنده تنوع بالایی از میکروارگانیسم‌ها هستند (سان و همکاران، ۲۰۲۰). هدف از اجرای این پژوهش، بررسی خصوصیات شیمیایی و زیستی کمپوست طی فرآیند تولید و مصرف، استفاده از باکتری‌ها در خاک پوششی برای بهینه-سازی فرآیند تولید و تاثیر آنها بر عملکرد قارچ خوراکی در سالن‌های پرورش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از آغاز فرآیند تولید کمپوست تا پایان تولید قارچ خوراکی که به طور مرسوم در شرکت کشت و صنعت قارچ نگین فصل شهرکرد در سال ۱۴۰۰ انجام شد. برای این منظور، پنج نمونه ساده از توده کمپوست در ۱۰ فاصله زمانی مشخص از مراحل تولید کمپوست شامل فاز I (چهارنمونه در روزهای یک، پنج، هفت و هشت روز از شروع فرآیند)، فاز II (روزهای ۱۵، ۲۲ و ۲۳) و فاز III (روزهای ۳۶، ۵۱ و ۷۵) برداشت و نمونه‌های منفرد به طور کامل مخلوط و در انتها یک نمونه مرکب (حدود سه کیلوگرم) تهیه شد. نمونه‌برداری در سه تکرار از کل توده کمپوست صورت گرفته و از این‌رو تعداد کل نمونه‌های مرکب ۳۰ نمونه بود. نمونه‌ها به آزمایشگاه دانشگاه منتقل و در یخچال دمای (چهاردرجه سلسیوس) تا زمان شروع تجزیه آزمایشگاهی نگهداری شدند. برخی از خصوصیات شیمیایی و زیستی نمونه‌ها شامل: pH (نسبت ۱:۵)، قابلیت هدایت الکتریکی (نسبت ۱:۵)، تنفس میکروبی، تنفس میکروبی ناشی از سوبسترا (اندرسون و همکاران، ۱۹۹۰)، جمعیت میکروبی کمپوست به روش لورچ و همکاران (۱۹۹۵)، کربن آلی روش والکلی‌بلاک (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲)، کربن محلول در آب سرد و داغ (کوری و همکاران، ۱۹۹۹)، خاکستر و وزن خشک (شارما، ۱۹۹۵)، میزان سلولز، همی سلولز و لیگنین (لین و همکاران، ۲۰۱۰؛ اسلویتر و همکاران، ۲۰۰۸)، به‌عنوان شاخص‌های کیفی کمپوست اندازه‌گیری شدند. پس از تهیه کمپوست آماده و تلقیح شده با بذر یا اسپان قارچ دکمه‌ای، در سالن پرورش به میسلیوم قارچ اجازه داده شد تا به مدت ۱۵ روز بطور کامل کمپوست را پر کند. بعد از تلقیح باکتری و خاک‌دهی کمپوست، حدود ۱۸ روز بعد از خاک‌دهی، قارچ‌ها قبل از بلوغ کامل یا به عبارتی قبل از باز شدن، برداشت شدند (لطفی و همکاران، ۱۳۹۷) و پس از تمیز نمودن، برخی صفات مثل وزن قارچ دکمه‌ای، عملکرد، راندمان بیولوژیکی و نرخ تولید (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ مامیرو و همکاران، ۲۰۰۷) در سالن پرورش اندازه‌گیری و محاسبه شد. برای تعیین جمعیت میکروبی از روش سری رقت‌های متوالی تا رقت 10^{-8} استفاده گردید که برای تعیین جمعیت باکتری‌ها از محیط کشت نوترینت آگار (NA) (زارع‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۲)، جمعیت قارچ‌ها از محیط کشت دکستروز آگار

(PDA) حاوی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر از هر یک از آنتی-بیوتیک‌های پنی‌سیلین و استرپتومایسین برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها (داوری و همکاران، ۱۳۹۷) و برای جمعیت اکتینومیست‌ها محیط کشت زاپک دکس آگار حاوی قارچ‌کش نیستاتین (۱۰۰ واحد در میلی‌لیتر) به‌منظور جلوگیری از رشد قارچ‌ها، استفاده گردید (پاکدین، ۱۳۸۸).

به‌منظور ارزیابی باکتری‌های تلقیح شده در خاک پوششی بر تولید قارچ خوراکی، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی و جداگانه در سالن پرورش قارچ شرکت انجام گردید. افزودن این باکتری‌های به‌عنوان مکمل زیستی در هفت تیمار شامل تیمار شاهد (بدون تلقیح)، افزودن باکتری ازتوباکتر کروکوکوم، سودوموناس پوتیدا، آزوسپیریلوم لیپوفروم، باسیلوس سابتیلیس، انتروباکتر کلوآسه و سیانوباکترها (جنس آنابنا و نوستوک) در فاز III کمپوست‌سازی همراه با خاک پوششی (Casing run) در سالن پرورش انجام گردید. مایه تلقیح باکتریایی (با جمعیت حدود $۱۰^{۸}$ سلول در میلی‌لیتر) با حجم مشخص (۵۰۰ میلی-لیتر) یکبار در سطح (۲/۸ مترمربع) کمپوست مرحله خاکدهی مه‌پاشی شد و در همان روز در هنگام دادن خاک پوششی، بار دیگر (۵۰۰ میلی‌لیتر دیگر) روی خاک پوششی مه‌پاشی شد (شکل ۱). باکتری‌ها از کلکسیون میکروبی آزمایشگاه میکروبیولوژی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شدند. جهت بررسی تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های پژوهش، ابتدا فرضیات تجزیه واریانس شامل همگن بودن واریانس و توزیع نرمال باقیمانده‌ها بررسی و تجزیه واریانس در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و سه تکرار انجام شد. نتایج حاصله توسط نرم‌افزار SAS (V. 9.2)تجزیه و تحلیل‌شده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن با سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

شکل ۱: دو مرحله تلقیح باکتری‌ها در سالن کشت: مرحله اول (سمت راست) مه‌پاشی مایه تلقیح روی کمپوست و مرحله دوم (سمت چپ) مه‌پاشی مایه تلقیح روی خاک پوششی. هر دهانه سالن یک تیمار با سه بار تکرار در نظر گرفته شد

نتایج

ویژگی‌های مواد اولیه در تهیه کمپوست

مواد خام مورد استفاده در تهیه کمپوست قارچ خوراکی در شرکت کشت و صنعت قارچ نگین فصل شامل کاه گندم (۵۰- ۴۵ ٪)، کود مرغی (۳۵-۳۰ ٪)، باگاس نیشکر (۱۰-۸ ٪) و گچ (۱۰ ٪) می‌باشد. کاه گندم، کود مرغی و باگاس نیشکر به ترتیب دارای ۳۱/۸، ۴۱/۰ و ۵۰/۰ درصد کربن آلی؛ ۰/۴۳، ۳/۲۰ و ۰/۹۵ درصد نیتروژن کل؛ ۳۶، ۲۶ و ۳۵ درصد سلولز؛ ۲۰، ۱۸ و ۳۱ درصد همی-سلولز؛ ۱۷، ۱۸ و ۲۰ درصد لیگنین، دارای قابلیت هدایت الکتریکی ۲/۴، ۸/۵ و ۳/۱ دسی زیمنس بر متر و pH برابر ۶/۷۳، ۶/۸۵ و ۷/۶۱ بودند. نسبت کربن به نیتروژن (C/N) که شاخص مهمی در تجزیه‌پذیری زیستی ترکیبات آلی می-

باشد در کاه گندم حدود ۷۴، در کود مرغی حدود ۱۳ و در باگاس نیشکر حدود ۵۳ بود.

ویژگی‌های زیستی و شیمیایی کمپوست تهیه شده

زمان‌های نمونه‌برداری (روزهای ۱، ۵، ۷، ۸، ۱۵، ۲۲، ۲۳، ۳۶، ۵۱ و ۷۵ از آغاز فرآیند) از مراحل مختلف تولید کمپوست و تولید قارچ خوراکی به‌عنوان تیمار آزمایشی در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های زیستی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در مراحل مختلف نمونه‌برداری از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد با هم اختلاف معنی‌داری را برای همه ویژگی‌ها نشان دادند.

مقایسه میانگین بین تیمارها برای صفات اندازه‌گیری شده در جدول یک نشان می‌دهد که میزان تنفس پایه نمونه‌های کمپوست در مراحل مختلف تولید قارچ خوراکی، در مرحله حمل (atfilling یا پر کردن تونل) که نمونه کمپوست خروجی بانکر ۳ است بیشترین میزان تنفس میکروبی پایه (۱۴۵/۹ میکروگرم CO_2 بر گرم در ساعت) و ناشی از سوبسترا (۱۷۶/۹ میکروگرم CO_2 بر گرم در ساعت) در آن اتفاق افتاد. در بونکر سه شدت گاز آمونیاک (۰/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر خواهد بود رنگ تیره و براق به همراه بوی مطبوع و تند نشانه خوب کار کردن کمپوست در این مراحل است. نمونه کمپوست در بونکر یک از لحاظ تنفس میکروبی پایه و ناشی از سوبسترا در رتبه دوم قرار گرفت که دقیقا روز بعد از میکس کمپوست کلش به داخل بونکر منتقل می‌شود به دلیل احتمال بی‌هوازی شدن در بونکر یک، سعی می‌شود رطوبت کلش روز قبل تامین شود، بیشترین فعالیت میکروبی و بالاترین حجم گاز آمونیاک در این بونکر اتفاق می‌افتد و مدت‌زمانی که کمپوست در این بونکر می‌ماند تأثیر زیادی بر پوسیدگی نهایی کمپوست خواهد داشت. کربن آلی کل در مراحل مختلف کمپوست‌سازی روند کاهشی را نشان داد که از ۲۷ درصد در کلش اولیه به ۱۹/۳ درصد در مرحله خاکدهی در سالن کشت رسید که نشان از تلفات کربن آلی به شکل گاز CO_2 و مصرف توسط میکروارگانیسم‌ها دارد. بیشترین میزان کربن آلی محلول در آب سرد (۲/۹۶ درصد) و آب داغ (۶/۷۱ درصد) در نمونه کمپوست مرحله خاکدهی (در سالن کشت) که انتهای فاز III کمپوست‌سازی برای پرورش قارچ خوراکی است، اتفاق افتاد. روش عصاره‌گیری کربن با آب داغ به‌عنوان یک روش ساده برای برآورد قابلیت معدنی شدن کربن در توده در حال کمپوست شدن پیشنهاد می‌شود. اندازه pH توده کمپوست در مراحل مختلف نشان داد که در دامنه‌ای بین ۶/۵۱ در مرحله کمپوست خاکدهی (فاز III) تا ۷/۱۸ در خاک پوششی متغییر بود. اندازه قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در دامنه‌ای بین ۱/۳۸ در خاک پوششی تا ۵/۹۰ دسی‌زیمنس بر متر در کمپوست نمونه کشت مشاهده گردید که نشان می‌دهد در پایان فاز II کمپوست‌سازی هدایت الکتریکی به حداکثر خود می‌رسد.

شمارش جمعیت میکروبی کمپوست و خاک پوششی

نتایج تجزیه واریانس جمعیت باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها در نمونه‌های کمپوست نشان داد که بین زمان‌های نمونه‌برداری از لحاظ این صفات اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد که نشان از تنوع و تغییرات جمعیت میکروبی در طی مراحل مختلف کمپوست‌سازی و تولید قارچ خوراکی دارد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد (جدول ۲) بیشترین جمعیت باکتری‌ها ($۱۲/۵\times۱۰^{۸}$ $CFU.g^{-1}$) در مرحله حمل (atfilling یا پرکردن تونل) که نمونه کمپوست خروجی بانکر ۳ است، مشاهده گردید که با میزان تنفس پایه میکروبی و ناشی از سوبسترا مطابقت دارد. کمترین جمعیت باکتریایی ($۲/۳\times۱۰^{۷}$ $CFU.g^{-1}$) در مرحله اولیه کمپوست‌سازی در کلش شستشو (با آب goody water) حاصل گردید. جمعیت قارچ‌ها در بانکر ۱ ($۲۸/۳\times۱۰^{۴}$ $CFU.g^{-1}$) مشاهده شد، در بانکر ۱ بیشترین فعالیت قارچ‌ها و بالاترین حجم گاز

آمونیاک در این بونکر اتفاق می‌افتد و مدت زمانی که کمپوست در این بونکر می‌ماند تاثیر زیادی بر پوسیدگی نهایی کمپوست خواهد داشت.

جدول ۱- مقایسه میانگین نمونه‌های برداشته‌شده کمپوست برای ویژگی‌های اندازه‌گیری شده درطی تولید قارچ خوراکی

تیمارها یا نمونه‌برداری‌ها	تنفس میکروبی پایه (µgCO2.g-1.h-1)	تنفس ناشی از سوبسترا ($\mu gCO_2.g^{-1}.h^{-1}$)	رطوبت بر وزن خشک (٪)	خاکستر (٪)	کربن آلی کل (٪)	کربن آلی محلول درآب سرد (٪)	کربن آلی محلول‌درآب داغ (٪)	pH (1:10)	EC (dS/m)
کلش شستشو	۵/۸۶f	۲۷/۳e	۳۳۰a	۱۰/۴j	۲۷/۰a	۰/۹۹f	۲/۲۰e	۷/۰۶ab	۲/۷۴c
کلش قبل مخلوط	۱۰۳/۴c	۱۴۶/۶b	۲۰۶f	۱۲/۰i	۲۳/۰d	۱/۵۱de	۲/۳۷e	۷/۰۳b	۳/۲۵bc
روز اول بونکر۱	۱۲۱/۷b	۱۷۶/۰a	۲۸۶d	۱۶/۲h	۲۵/۰c	۱/۶۴de	۳/۳۲d	۶/۷۹cd	۴/۱۰b
روز دوم بونکر۱	۸۵/۸d	۱۲۰/۲c	۲۸۹c	۲۰/۴g	۲۶/۳b	۱/۷۱cd	۳/۳۰d	۶/۸۸c	۳/۷۹bc
نمونه حمل	۱۴۵/۹a	۱۷۶/۹a	۲۹۰b	۲۲/۶f	۲۰/۵e	۱/۸۴cd	۲/۳۷e	۶/۸۹c	۳/۶۰cb
نمونه کشت۱	۸۶/۰d	۸۸/۰d	۱۹۲g	۲۶/۰e	۱۶/۶g	۲/۱۳bc	۵/۰۱c	۶/۸۰cd	۵/۵۰a
نمونه کشت۲	۱۰۴/۹c	۱۱۴/۸c	۱۶۱h	۲۷/۳d	۱۹/۷f	۲/۳۰b	۶/۰۰b	۶/۷۱d	۵/۹۰a
کمپوست مرحله خاکدهی	۱۰۴/۲c	۹۲/۱d	۲۲۱e	۳۴/۷c	۱۹/۳f	۲/۹۶a	۶/۷۱a	۶/۵۱e	۵/۷۳a
خاک پوششی	۵۵/۱e	۱۰/۷f	۹۸j	۷۱/۴a	۱۲/۱i	۱/۲۷ef	۶/۱۱b	۷/۱۸a	۱/۳۸c
نمونه SMC[4]	۸۸/۶dc	۸۱/۲d	۱۴۷i	۴۵/۴b	۱۵/۱h	۱/۷۱cd	۳/۵۱d	۶/۵۲e	۲/۶۳c

*در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۲- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف (نمونه‌های برداشته شده) برای جمعیت میکروبی نمونه‌ها

تیمارها یا نمونه‌ها	جمعیت باکتری‌ها ($CFU.g^{-1}$)(×۱۰^۸)	جمعیت قارچ‌ها ($CFU.g^{-1}$)(×۱۰^۴)	جمعیت اکتینومیست‌ها ($CFU.g^{-1}$)(×۱۰^۴)
کلش شستشو	۰/۲۳e	۱/۳۳e	۰/۰۰d
کلش قبل مخلوط	۵/۵۰c	۱۰/۰cd	۱۶/۶۶cd
روز اول بونکر ۱	۸/۳۳b	۲۸/۳۳a	۱۹/۳۳cd
روز دوم بونکر۱	۷/۶۶b	۱۳/۶۷c	۲۵/۶۶bc
نمونه حمل	۱۲/۵۰a	۰/۶۶e	۲۷/۶۶abc
نمونه کشت۱	۱/۷۳de	۲۱/۳۳b	۱۲/۶۶cd
نمونه کشت۲	۵/۱۶c	۶/۱۰d	۱۸/۳۳cd
کمپوست مرحله خاکدهی	۲/۱۶d	۰/۰۰e	۴۸/۰a
خاک پوششی	۱/۳۳e	۱/۳۳e	۰/۰۰d

[4] Spent Mushroom Compost (پسماند کمپوست مصرف شده برای تولید قارچ خوراکی)

نکته قابل توجه مربوط به جمعیت اکتینومیست‌ها، در نمونه کمپوست مرحله خاکدهی (در سالن کشت) که انتهای فاز III کمپوست‌سازی برای پرورش قارچ خوراکی است، بیشترین جمعیت آنها ($۴۸/۰\times۱۰^{۴}$ $CFU.g^{-1}$) اتفاق افتاد، که در این مرحله، بیشترین میزان کربن محلول در آب سرد و داغ نیز حاصل شد (جدول). بعد از این مرحله، نمونه حمل (atfilling یا پر کردن تونل) که نمونه کمپوست خروجی بانکر ۳ است بیشترین جمعیت اکتینومیست‌ها ($۲۷/۷\times۱۰^{۴}$ $CFU.g^{-1}$) را نشان داد که در این مرحله بیشترین میزان جمعیت باکتری‌ها و تنفس میکروبی نیز ثبت گردید.

تجزیه ترکیبات لیگنوسلولزی در زمان‌های مختلف نمونه-برداری در طی تولید

نتایج میزان ترکیبات لیگنوسلولزی در جدول ۳ نشان می‌دهد که مواد استخراجی لیگنوسلولزی (شامل چربی‌زدایی و ... مواد اولیه می‌باشد که در ابتدای فرآیند اندازه‌گیری توسط استن استخراج می‌شود) دامنه‌ای بین ۱۳/۱–۱۹/۶ درصد دارد و روند افزایشی کمی را در طول فرآیند کمپوست‌سازی نشان می‌دهد. میزان همی‌سلولز دامنه-ای بین ۲۴/۹ الی ۴۵/۱ درصد را نشان داد که مقادیر بیشتر آن در نمونه SMC (پسماند کمپوست قارچ) دیده شده است. مقدار سلولز دامنه‌ای از ۱۶/۷ الی ۳۲/۵ درصد را نشان داد که روند کلی کاهش از حدود ۳۲/۵ درصد در اوایل مرحله کمپوست‌سازی تا حدود ۲۰/۱ درصد را در مرحله کمپوست آماده خاکدهی نشان می‌دهد. مقدار لیگنین هم دامنه‌ای از ۱۷/۵ الی ۳۳/۷ درصد را نشان داده که روند تقریباً کاهشی را در مراحل کمپوست‌سازی نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقادیر ترکیبات لیگنوسلولزی توده کمپوست نمونه‌برداری شده در زمان‌های مختلف

زمان‌های نمونه‌برداری از توده کمپوست	روز نمونه‌برداری از زمان شروع	مواد استخراجی لیگنوسلولزی (٪)	همی‌سلولز (٪)	سلولز (٪)	لیگنین (٪)
کلش شستشو	۱	۱۳/۷	۳۶/۸	۲۹/۸	۱۹/۶
کلش قبل مخلوط	۵	۱۴/۱	۳۴/۱	۳۲/۵	۱۹/۳
روز اول بونکر۱	۷	۱۳/۱	۴۱/۰	۲۸/۲	۱۷/۷
روز دوم بونکر۱	۸	۱۴/۱	۳۷/۷	۲۹/۹	۱۸/۳
نمونه حمل	۱۵	۱۹/۳	۳۲/۱	۲۸/۹	۱۷/۵
نمونه کشت	۲۳	۱۹/۶	۳۵/۰	۲۸/۶	۱۷/۸
کمپوست مرحله خاکدهی	۳۶	۱۹/۶	۳۶/۶	۲۶/۱	۱۷/۶
خاک پوششی	۵۱	۱۵/۷	۲۴/۹	۳۱/۵	۲۷/۸
نمونه SMC قبل کوکات[5]	۷۴	۱۴/۷	۴۵/۱	۱۶/۷	۲۳/۵
خاک پوششی قبل کوکات	۷۴	۱۶/۳	۳۱/۷	۱۸/۳	۳۳/۷

[5] Cook out

اثر تیمارهای زیستی بر عملکرد و تولید قارچ خوراکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به وزن قارچ برداشت شده در فلش (برداشت) اول، دوم و سوم و وزن کل قارچ خوراکی برداشت شده، میانگین وزن هر قارچ، عملکرد، راندمان بیولوژیکی و نرخ تولید براساس وزن‌تر بین تیمارهای میکروبی اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شده است. مقایسه میانگین بین تیمارهای برای صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۴ آورده شد. در تیمار میکروبی که از باکتری‌های مختلف در فاز III کمپوست‌سازی در ابتدای مرحله اسپان-زنی و خاکدهی مورد استفاده قرار گرفت، وزن قارچ در فلش اول در تیمار باکتری ازتوباکتر (۱۱/۵۷ کیلوگرم بر مترمربع) و سودوموناس (۱۱/۲۶ کیلوگرم بر مترمربع) بیشترین بود که با تیمار شاهد (۸/۷۲ کیلوگرم بر مترمربع) از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد. در فلش دوم و سوم میزان قارچ برداشت شده در تیمارها تغییر کرد. در فلش دوم باکتری آزوسپیریلوم (۵/۵۴ کیلوگرم در مترمربع) و ازتوباکتر (۵/۴۴ کیلوگرم در مترمربع) و در فلش سوم باکتری باسیلوس (۴/۳۲ کیلوگرم در مترمربع) و انتروباکتر (۳/۸۰ کیلوگرم در مترمربع) بیشترین مقادیر قارچ برداشت‌شده را نشان دادند (جدول ۴). بزرگ‌ترین اندازه و کیفیت قارچ برداشت‌شده در تیمار باکتری سودوموناس (۲۲/۰۸ گرم) و انتروباکتر (۲۲/۰۰ گرم) بود که نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نشان داد. بیشترین مقدار عملکرد، راندمان بیولوژیکی و نرخ تولید در تیمار باکتری ازتوباکتر کروکوکوم (به ترتیب ۱۹/۴۰ کیلوگرم در متر مربع، ۲۲/۳۵ درصد و ۲/۰۳ کیلوگرم بر کیلوگرم در روز) حاصل گردید که با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری در سطح احمال پنج درصد نشان داد. درواقع این نتایج نشان دادند که مصرف مایه تلقیح میکروبی ازجمله باکتری ازتوباکتر و سودوموناس و انتروباکتر در فاز III کمپوست‌سازی بر میزان تولید و کیفیت قارچ خوراکی تاثیرگذار هستند.

جدول ۴- مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف زیستی برای صفات عملکرد و تولید قارچ خوراکی در سالن پرورش

تیمارها	وزن فلش اول (Kg/m^2)	وزن فلش دوم (Kg/m^2)	وزن فلش سوم (Kg/m^2)	میانگین وزن هر قارچ (گرم)	عملکرد (Kg/m^2)	راندمان بیولوژیکی (BE) (٪)	نرخ تولید ($Kg.Kg^{-1}.day^{-1}$)	رطوبت قارچ بر وزن تر (٪)
ازتوباکتر	۱۱/۵۷a	۵/۴۴a	۲/۴۰c	۱۹/۵۳bc	۱۹/۴۰a	۲۲/۳۵a	۲/۰۳۳a	۸۹/۶۷a
سودوموناس	۱۱/۲۶ab	۴/۰۰c	۲/۵۱bc	۲۲/۰۸a	۱۷/۷۷ab	۲۰/۴۷ab	۱/۸۵۶ab	۹۰/۷۹a
آزوسپیریلوم	۸/۹۷c	۵/۵۴a	۳/۰۴bc	۲۰/۸۲ab	۱۷/۵۵ab	۲۰/۲۱ab	۱/۸۴۰ab	۸۹/۶۰a
باسیلوس	۸/۸۶c	۳/۹۳c	۴/۳۲۸a	۱۹/۰۱bc	۱۷/۱۰ab	۱۹/۶۹ab	۱/۷۹۰ab	۸۶/۹۲a
انتروباکتر	۸/۸۴c	۴/۳۹bc	۳/۸۱a	۲۲/۰۰a	۱۷/۰۵ab	۱۹/۶۴ab	۱/۷۸۳ab	۹۰/۲۷a
سیانوباکتری	۹/۷۷bc	۵/۱۳ab	۲/۶۷bc	۱۷/۸۴c	۱۷/۵۴ab	۲۰/۲۱ab	۱/۸۳۶ab	۹۱/۱۱a
شاهد	۸/۷۲c	۴/۵۱bc	۳/۰۸b	۱۸/۱۱c	۱۶/۳۲b	۱۸/۸۱b	۱/۷۱۰b	۸۹/۱۸a

بحث

با توجه به نتایج، نسبت کربن به نیتروژن بالای کاه گندم (۷۴) و باگاس نیشکر (۵۲)، درواقع کود مرغی به‌عنوان منبع تأمین‌کننده نیتروژن و ترکیبات آلی سهل‌الوصول برای میکروب‌های تجزیه‌کننده ترکیبات لیگنوسلولزی به توده کمپوست اضافه می‌شود و علاوه بر آن منابع کود شیمیایی نیتروژن (سولفات آمونیوم یا اوره) هم به توده اضافه می‌شوند. شاخص C/N از اساسی‌ترین و مهم-ترین شناسه‌های رسیدگی کمپوست در فرآیند تجزیه بقایای آلی است، زیرا نشان‌دهنده قابلیت دسترسی مواد کمپوست

است. اسپارلینگ و همکاران (۱۹۸۲) گزارش کردند که کاه گندم یک منبع کربن مهم برای کشت قارچ دکمه‌ای است و ریزجانداران نقش کلیدی در فرآیند تخریب و تجزیه دارند. تنفس میکروبی شاخصی از وضعیت و فعالیت میکروب‌های کمپوست است و بیانگر روند و چگونگی تجزیه مواد آلی، فعالیت آنزیمی و چرخه برخی از عناصر غذایی می‌باشد و به‌شدت تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی قرار می‌گیرد (ژان و همکاران، ۲۰۱۸). براساس نتایج، در مرحله حمل و شروع فاز II کمپوست‌سازی، تنفس میکروبی حدود ۲۵ برابر نسبت به شروع فرآیند (مرحله شستشوی کاه) افزایش‌یافته است و در پایان مرحله (تولید SMC) حدود ۳۹ درصد (۱/۷ برابر) نسبت به مرحله حمل کاهش‌یافته است (جدول ۱). سودائی و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که میزان تنفس میکروبی پایه در طی فرآیند کمپوست‌سازی روند افزایشی دارد که در اواخر فاز ترموفیلیک (روز ۱۲ ام) به بیشترین میزان می‌رسد که نشان از کارکرد میکروارگانیسم‌ها در تجزیه کربن آلی توده کمپوست دارد. کربن آلی کل در مراحل مختلف کمپوست‌سازی از شروع در کلش اولیه تا مرحله خاکدهی حدود ۲۸/۵ درصد کاهش را نشان داد که تلفات کربن آلی به شکل گاز CO_2 و مصرف توسط میکروارگانیسم‌ها و ... را نشان می‌دهد. میزان کربن محلول در آب به‌عنوان یک روش ساده برای برآورد قابلیت معدنی شدن کربن در توده درحال کمپوست شدن پیشنهاد می‌شود. میزان کربن محلول در آب داغ نه‌تنها شامل کربن زیتوده میکروبی بلکه شامل کربوهیدرات‌های محلول و آمینواسیدها است و از آنجا که اکثر آنزیم‌ها در این دما ماهیت خود را از دست می‌دهند، شامل آن بخشی که با آنزیم‌ها در ارتباط است نیز می‌باشد؛ بنابراین، با توجه به این نتایج، کمپوست مرحله خاکدهی در سالن کشت بیشترین منابع کربنی در دسترس برای میکروارگانیسم‌ها و میسلیوم قارچ خوراکی را دارد. احتمالاً همین میزان بالای کربن آلی محلول در این مرحله به همراه مواد غذایی محلول بیشتر برای میسلیوم‌های قارچی باعث هدایت الکتریکی (EC) بیشتر این نمونه کمپوست شده است. شارما و همکاران (۲۰۰۴) نیز نشان دادند که EC در پایان فاز II کمپوست-سازی به حدود ۳/۵ و در فاز III کمپوست‌سازی به حدود ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسد. عوامل فیزیکی و شیمیایی، مانند دما، اکسیژن، رطوبت، مواد کمپوست و نسبت C/N، بر تغییرات جامعه میکروبی در سیستم‌های کشت و در رشد قارچ‌ها در بسترها تأثیر می‌گذارند و همچنین یک جامعه میکروبی پیچیده می‌تواند بر تغییرات ساختار کمپوست، ازجمله دما، pH، هوادهی، محتوای آب و مواد آلی تأثیر بگذارد (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۳).

فناوری تولید قارچ با بهینه‌سازی عوامل زراعی مرتبط با جنبه‌های شیمیایی، فیزیکی-شیمیایی، میکروبیولوژیکی و محیطی پیشرفت کرده است (بلتینی و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعات متعددی نقش ریزجانداران را در تولید قارچ نشان داده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹) و تجزیه‌وتحلیل میکروبیوم در بازیدیوم‌ها نشان داد که به‌شدت تحت‌تاثیر تنوع باکتریایی خاک پوششی قرار دارد (کاراسکو و همکاران ۲۰۱۹). بدیهی است که از مرحله تلقیح تا میوه-دهی و برداشت قارچ، توالی میکروبی در کمپوست و خاک پوششی وجود دارد. درواقع، چندین گزارش در مورد تغییرات در دینامیک میکروبیوم در خاک پوششی و کمپوست در طول کشت قارچ وجود دارد (سان و همکاران، ۲۰۲۰). نتایج این پژوهش بیشترین جمعیت باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها را به ترتیب در مرحله حمل نمونه به درون تونل پاستوریزاسیون (یعنی شروع فاز II کمپوست-سازی که تنفس میکروبی هم بیشترین مقدار بود)، مرحله بونکر یک و در مرحله خاکدهی کمپوست (انتهای فاز III کمپوست‌سازی) نشان داد. الگوی کلونیزاسیون باکتریایی خاک پوششی و کمپوست قارچ خوراکی *A. bisporus*، پس از اسپان‌دهی، جمعیت باکتریایی بیشتری در لایه‌های بالایی کمپوست نسبت به اعماق پایین‌تر نشان داد و جمعیت

باکتری در کمپوست کمتر از خاک پوششی بود. افزودن کمپوست اسپان‌دهی شده به خاک پوششی منجر به افزایش قابل‌توجهی در جمعیت باکتریایی، تعداد بازیدیوکارپ‌های تشکیل‌شده میسلیوم قارچ و تعداد قارچ برداشت‌شده در مقایسه با خاک پوششی اصلاح‌نشده بدست آمد. شروع تشکیل بازیدیوکارپ زمانی که برخی از باکتری‌های فوق به خاک پوششی اضافه شدند به‌طور قابل‌توجهی بیشتر بود (ردی و پاتریک، ۱۹۹۰). در این پژوهش جمعیت میکروبی و به‌ویژه باکتریایی در خاک پوششی کمتر از کمپوست بوده که می‌تواند به دلیل پاستوریزه‌کردن خاک پوششی قبل از استفاده در سالن پرورش باشد. روش پاستوریزاسیون مورداستفاده در این فرآیند به دلیل تأثیر آن بر جوامع میکروبی در بستر باید با دقت اعمال شود (سوارز و همکاران، ۲۰۲۰). شهریاری و همکاران (۲۰۱۸) مشاهده کردند که رشد قارچ‌ها با شدت و جمعیت بیشتر در کاه گندم در طی فرآیند کمپوست شدن، منجر به سطح قابل‌دسترسی بیشتر و تخریب ساختاری در کاه می‌شود.

به طور خلاصه، تولید صنعتی بستر قارچ خوراکی یا کمپوست شامل یک پیش‌تیمار گرمادوست کوتاه (PI)، یک‌فاز کمپوست میکروبی (PII)، یک مرحله رشد رویشی (PIII) قارچ *A. bisporus* و یک‌فاز تشکیل بدنه میوه (PIV) است. در طول مرحله PII یک جامعه میکروبی متنوع یک بستر لیگنوسلولزی مقاوم (کاه گندم) را تخریب می‌کنند و باعث تشکیل یک بستر خاص و انتخابی برای استفاده در کشت صنعتی قارچ خوراکی دکمه‌ای می‌شود (کرتیز و تای، ۲۰۱۸). کمپوست قارچ بر پایه کاه گندم است و از پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی و لیگنین تشکیل‌شده است که تا حدی در طی فاز دو (PII) تجزیه می‌شوند. این پلی‌ساکاریدها عمدتاً از سلولز و همی‌سلولز تشکیل شده‌اند. در این پژوهش مقادیر همی‌سلولز از سلولز در طول دوره تولید کمپوست‌سازی بیشتر بوده و گاهاً روند کاهشی را نشان دادند. لیگنین یک پلیمر پیچیده و هتروآروماتیک است که از واحدهای پی- هیدروکسی‌فنیل، سیرنگیل و گواياسیل با پیوند β-O-4′ آریل اتر به‌عنوان فراوان‌ترین پیوند بین واحدی (حدود ۷۵ درصد) تشکیل‌شده است. تجزیه کربوهیدرات (زایلان و سلولز) در طول فاز II ناشی از آنزیم‌های دفع شده توسط میکروب‌ها در مرحله دوم کمپوست‌سازی (PII) است (Duran et al., 2022). تجزیه باگاس نیشکر و کاهش سلولز و لیگنین آن بعد از ۹۰ روز توسط قارچ *Polyporus giganteus* بدون وجود همبستگی بین مقدار آنزیم‌های لیگنولیتیک و ترکیب بقایای به‌جامانده گزارش‌شده است (برکسیا و همکاران، ۱۹۹۷). در این پژوهش روند تقریباً کاهشی در مقادیر لیگنین اندازه-گیری شده در طول فرآیند تولید قارچ خوراکی مشاهده شده است.

در این پژوهش تأثیر باکتری‌های تلقیح شده در خاک پوششی بر عملکرد، وزن و اندازه قارچ و راندمان بیولوژیکی قابل‌توجه بوده است به‌طوری که تیمار باکتری ازتوباکتر کروکوکوم و سودوموناس پوتیدا بر عملکرد قارچ خوراکی به ترتیب ۱۸/۸ و ۸/۹ درصد بیشتر از شاهد بدون تلقیح باکتری بود و میانگین وزن هر قارچ در تیمار باکتری سودوموناس پوتیدا ۲۱/۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. بارس و همکاران (۲۰۲۰) هم نشان دادند که سودوموناس پوتیدا، باردهی و تشکیل کلاهک قارچ را تحریک کرده و بر عملکرد قارچ تأثیر می‌گذارد. افزایش وزن و تعداد قارچ و درنتیجه افزایش عملکرد قارچ دکمه‌ای در اثر تیمار باکترهای محرک رشد، توسط لطفی و همکاران (۱۳۹۷)، زارع‌نژاد و همکاران (۲۰۱۲)، بارس و همکاران (۲۰۲۰) و کرتیسز و تای (۲۰۱۸) نیز گزارش شده است؛ بنابراین، افزودن مکمل-های زیستی مثل باکتری‌ها بر عملکرد و راندمان بیولوژیکی قارچ خوراکی تأثیر بسزایی داشته است.

نتیجه‌گیری

درک اجزای میکروبی بسترهای قارچ می‌تواند منجر به استفاده از آن‌ها به‌عنوان نشانگر برای بسترهای مناسب و زیست تلقیح گونه‌های خاص شود که نویدبخش رشد و عملکرد قارچ خوراکی هستند (کاراسکو و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج این مطالعه نشان داد که خصوصیات شیمیایی و زیستی کمپوست طی فرآیند کمپوست‌سازی تغییر نموده که بیشترین فعالیت میکروبی یا تنفس میکروبی در نمونه‌های برداشت‌شده در مرحله حمل به تونل (شروع فاز II کمپوست‌سازی) اتفاق می‌افتد که در این مرحله بیشترین جمعیت باکتریایی هم بدست آمده است. جمعیت باکتریایی در خاک پوششی باید بیشتر از کمپوست باشد (ردی و پاتریک، ۱۹۹۰) درحالی‌که این پژوهش نشان داد که به دلیل پاستوریزاسیون خاک پوششی قبل از استفاده در سالن پرورش باعث کاهش چشمگیر باکتری‌ها نسبت به کمپوست می‌شود که با تلقیح باکتری‌ها به خاک پوششی می‌توان کمک شایانی به تولید قارچ خوراکی نمود. تغییرات میزان ترکیبات لیگنوسلولزی (همی‌سلولز، سلولز و لیگنین) در مراحل مختلف کمپوست‌سازی و تولید قارچ خوراکی نشان داد که روند خاصی را نمی‌توان در تغییر این ترکیبات با توجه به پیچیدگی فرآیندها و تغییرات شرایط تولید و پرورش قارچ نشان داد هرچند این روش اندازه‌گیری شیوه‌ای غیرآنزیمی و تقریبی بوده است. افزودن باکتری‌ها در خاک پوششی، تأثیر مثبت بر عملکرد و راندمان بیولوژیکی داشت که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد نشان داد. در بین باکتری‌های استفاده‌شده در تیمار زیستی باکتری‌های ازتوباکتر کروکوکوم، سودوموناس پوتیدا و انتروباکتر کلوآسه تأثیر بیشتری نسبت به بقیه باکتری‌ها بر صفات عملکردی قارچ خوراکی نشان دادند؛ بنابراین فرموله کردن این باکتری‌های مفید در خاک پوششی می‌تواند میزان تولید را در واحدهای صنعتی پرورش قارچ خوراکی افزایش دهد که صرف اقتصادی خوبی را می‌تواند به همراه داشته باشد. پیشنهاد می‌شود که سه گروه از جوامع میکروبی در طول چرخه کشت و تولید قارچ، شامل؛ جوامع میکروبی مرتبط با کیفیت و رسیدگی کمپوست به‌عنوان بستر، جوامع میکروبی مربوط به کلونیزاسیون میسلیوم در کمپوست رسیده و جوامع میکروبی مرتبط با میوه‌دهی قارچ، مورد مطالعه قرار گیرند.

سپاسگزاری

این پژوهش توسط شرکت کشت و صنعت قارچ نگین فصل شهرکرد و دانشگاه شهرکرد طی انعقاد قرارداد شماره ۴۹۰د/۱۰۰ به تاریخ ۱۴۰۰/۱۱/۰۶ تأمین مالی شده است. بدین وسیله از مدیرعامل محترم شرکت جناب آقای مهندس کاظمی برای مساعدت بی‌دریغ ایشان در انجام کارهای تحقیقاتی و فراهم نمودن بستر تحقیقاتی در شرکت، تشکر می‌شود.

فهرست منابع

۱. پاکدین، ع.، فارسی، م.، مرعشی، ح.، ملک‌زاده، خ. و جلال‌زاده، ب. ۱۳۸۸. شناسایی اکتینومیست‌های کمپوست قارچ خوراکی دکمه‌ای با استفاده از ژن 16s RNA. ششمین کنگره علوم باغبانی، ۲۲- ۲۵ تیرماه. دانشگاه گیلان.

۲. داوری، م.، شهریار، ا.، بهنامیان، م.، دژستان، س. و علی‌حسین زاده، ف. ۱۳۹۷. شناسایی قارچهای بیماری زای متداول در مراکز پرورش قارچ دکمه ای سفید استان اردبیل با روش های ریخت شناسی و مولکولی. پژوهش های کاربردی در گیاه پزشکی، ۷ (۱): ۱۲۲-۱۰۹.

۳. سودائی مشایی، ص. و بنی‌طالبی، گ. ۱۴۰۰. فناوری استفاده از کاه گندم در فرآیند کمپوست‌سازی برای تولید قارچ خوراکی (*Agaricus bisporus*)، هفدهمین کنگره ملی و سومین کنگره بین‌المللی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵–۷ بهمن ماه ۱۴۰۰.

۴. شمسی، ب.، محمدی، ح.ر. و صداقت، ا. ۱۳۹۲. پرورش علمی و عملی قارچ دکمه‌ای (چاپ دوم). انتشارات آییژ. تهران ایران، ص. ۱۶۵.

۵. لطفی، م.، فارسی، م.، میرشمسی کاخکی، ا. و جانپور، ج. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر جدایه باکتری *Pseudomonas putida* بر عملکرد قارچ خوراکی دکمه‌ای سفید (*Agaricus bisporus*). نشریه علوم باغبانی، ۳۲ (۲): ۲۷۳–۲۸۶.

6. Anderson, T.H. and Domsch, K.H. 1990. Application of eco-physiological quotient (qCO_2 and Dq) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. Soil Biology and Biochemistry, 22, 251–255.
7. Baars, J.J.P., Scholtmeijer, K., Sonnenberg, A.S.M. and Van Peer, A. 2020. Critical factors involved in primordia building in Agaricus bisporus: A review. Molecules, 25, 2984.
8. Bellettini, M.B.; Fiorda, F.A.; Maieves, H.A.; Teixeira, G.L.; Ávila, S.; Hornung, P.S. and Ribani, R.H. 2019. Factors affecting mushroom Pleurotus spp. Saudi Journal of Biological Sciences, 26, 633–646.
9. Bellettini, M.B., Fiorda, F.A., Maieves, H.A., Teixeira, G.L., Ávila, S., Hornung, P.S. and Ribani, R.H. 2019. Factors affecting mushroom Pleurotus spp. Saudi Journal of Biological Sciences, 26: 633–646.
10. Breccia, J.D., Bettucci, L., Piaggio, M., and Sireeizi, F. 1997. Degradation of sugar cane bagasse by several white-rot fungi. Acta Biotechnologica, 17(2): 177-184.
11. Carrasco, J., Zied, D.C., Pardo, J.E., Preston, G.M. and Pardo-Giménez, A. 2018. Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. AMB Express, 8, e146.
12. Carrasco, J. and Preston, G.M. 2020. Growing edible mushrooms: A conversation between bacteria and fungi. Environmental Microbiology, 22, 858–872.
13. Carrasco, J., Tello, M.L., Toro, M., Tkacz, A., Poole, P., Pérez-Clavijo, M. and Preston, G. 2019. Casing microbiome dynamics during button mushroom cultivation: Implications for dry and wet bubble diseases. Microbiology, 165, 611–624.
14. Corre, M.D., Schnabel, R.R. and Shaffer, J.A. 1999. Evaluation of soil organic carbon under forests, cool-season and warm-season grasses in the northeastern US. Soil Biology and Biochemistry, 31(11), 1531-1539.
15. Duran, K., den Dikkenberga, M., Erven, G., Baars, J.J.P., Comans, R.N.J., Kuyper, T.W. and Kabel, T.W. 2022. Microbial lignin degradation in an industrial composting environment. Bioresource Technology Reportsm, vol. 17. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100911.
16. Iossi, M.R., Palú, I.A., Soares, D.M., Vieira, W.G., Alves, L.S., Stevani, C.V., Caitano, C.E.C., Atum, S.V.F., Freire, R.S., Dias, E.S. and Zied, D.C. 2022. Metaprofiling of the Bacterial Community in Colonized Compost Extracts by Agaricus subrufescens. Journal of Fungi, 8, 995. https://doi.org/10.3390/jof8100995.
17. Kertesz, M.A. and Thai, M. 2018. Compost bacteria and fungi that influence growth and development of Agaricus bisporus and other commercial mushrooms. Applied Microbiology and Biotechnology. 102:1639-1650. DOI 10.1007/s00253-018-8777-z.

18. Lin, L., Yan, R., Liu, Y. and Jiang, W. 2010. In-depth investigation of enzymatic hydrolysis of biomass wastes based on three major components: cellulose, hemicellulose, and lignin. Bioresource Technology, 101(21): 8217-8223.
19. Lorch, H.J., Benckieser, G. and Ottow, J.C.G. 1995. Basic methods for counting microorganism in soil and water. In: Alef K. and Nannipieri P. (Eds). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press. pp. 146–161.
20. Lu, W., Yu, S., Ma, Y. and Huang, H. 2018. Integrated economic and environmental analysis of agricultural straw reuse in edible fungi industry. PeerJ, 6: e4624 DOI 10.7717/peerj.4624.
21. Martins, L.F., Antunes, L.P., Pascon, R.C., de Oliveira, J.C.F., Digiampietri, L.A., Barbosa, D., Peixoto, B.M., Vallim, M.A., Viana-Niero, C. and Ostroski, E.H. 2013. Metagenomic analysis of a tropical composting operation at the Sao Paulo Zoo Park reveals diversity of biomass degradation functions and organisms. PLoS ONE, 8, e61928.
22. McGee, CF, Byrne, H, Irvine, A and Wilson, J. 2017. Diversity and dynamics of the DNA and cDNA-derived compost fungal communities throughout the commercial cultivation process for Agaricus bisporus. Mycologia. 109:475–484. DOI 10.1080/00275514.2017.1349498.
23. McGee, CF. 2018. Microbial ecology of the Agaricus bisporus mushroom cropping process. Appllied and Microbiology and Biotechnology 102(3):1075-1083.
24. Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. Methods of Soil Aanalysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 9, 539–577.
25. Reddy, M.S. and Patrick, Z.A. 1990. Effect of bacteria associated with mushroom compost and casing materials on basidiomata formation in Agaricus bisporus. Canadian Journal of plant pathology, 12:236-242.
26. Shahryari, Z., Fazaelipoor, M.H., Setoodeh, P., Nair, R.B., Taherzadeh, M.J. and Ghasemi, Y. 2018. Utilization of wheat straw for fungal phytase production. International Journal of Re-cycling of Organic Waste in Agriculture 7:345_355 DOI 10.1007/s40093-018-0220-z.
27. Sharma, H.S.S. 1995. Thermogravimetric analysis of mushroom (Agaricus bisporus) compost for fiber components. In Science and cultivation of edible fungi, Vol. 1. Edited by T. Elliott. Balkema, Rotterdam. pp. 267–273.
28. Sharma, H.S.S., Kilpatrick, M., Lyons, G., Murray, J., Moore, S., Cheung, L., Finnegan, K., Sturgeon, S. and Mellon, R. 2004. Changes in the quality of mushroom compost during the last decade. In P. Romaine, C. B. Keil, D. L. Rinker and D. J. Royse (Eds.), Science and Cultivation of Edible and Medicinal Fungi, 229-239, Pennsylvania: Pennsylvania State University.
29. Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter J., and Templeton, D. 2008. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass: laboratory analytical procedure (LAP). Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory; April. NREL Report No.: TP-510-42618. Contract No.: DE-AC36-99-G010337. Sponsored by the U.S. Department of Energy.
30. Smil, V. 1999. Crop residues: agriculture's largest harvest: crop residues incorporate more than half of the world's agricultural phytomass. Bioscience 49:299–308. DOI 10.2307/1313613.
31. Song, T., Shen, Y., Jin, Q., Feng, W., Fan, L., Cao, G., and Cai, W. 2021. Bacterial community diversity, lignocellulose components, and histological changes in composting using agricultural straws for Agaricus bisporus production. PeerJ, 9, e10452. https://doi.org/10.7717/peerj.10452.

32. Sparling, G.P., Fermor, T.R. and Wood, D.A. 1982. Measurement of the microbial biomass in composted wheat straw, and the possible contribution of the biomass to the nutrition of Agaricus bisporus. Soil Biology & Biochemistry. 14:609-661. DOI 10.1016/0038-0717(82)90096-7.
33. Straatsma, G., Olijnsma, T.W., Gerrits, J.P.G. and VanGriensven, L.J.L.D. 1995. Inoculation of indoor phase I compost with thermophiles. In: Elliott TJ, ed. Mushroom Science; Science and cultivation of edible fungi. Rotterdam: A. A. Balkema, 283–288.
34. Suarez, C., Ratering, S., Weigel, V., Sacharow, J., Bienhaus, J., Ebert, J., Hirza, A., Rüh, M. and Schnell, S. 2020. Isolation of bacteria at different points of Pleurotus ostreatus cultivation and their influence in mycelial growth. Microbiological Research, 234, 126393.
35. Sun, S., Li, F., Xu, X., Liu, Y., Kong, X., Chen, J., Liu, T. and Chen, L. 2020. Study on the community structure and function of symbiotic bacteria from different growth and developmental stages of Hypsizygus marmoreus. BMC Microbiology. 20(1): 311. doi: 10.1186/s12866-020-01998-y.
36. Vijay, B., Nitika, S. Shwet, K. 2012. Cellulase production by Scytalidium thermophilum and its potential use in rapid composting for Agaricus bisporus. Mushroom Research, 21(1):83-86.
37. Zarenejad, F., Yakhchali, B. and Rasooli, I. 2012. Evaluation of indigenous potent mushroom growth promoting bacteria (MGPB) on Agaricus bisporus production. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28(1): 99- 104.
38. Zhan, J., Li, T., Zhang, X., Yu, H. and Zhao, L. 2018. Rhizosphere characteristics of phytostabilizer Athyrium wardii (Hook.) involved in Cd and Pb accumulation. Ecotoxicology and Environmental Safety, 148, 892-900.
39. Zhang, H.L., Wei, J.K., Wang, Q.H., Yang, R., Gao, X.J., Sang, Y.X., Cai, P.P., Zhang, G.Q. and Chen, Q.G. 2019. Lignocellulose utilization and bacterial communities of millet straw based mushroom (Agaricus bisporus) production. Scientific Reports, 9:1151-1162. https://doi.org/10.1038/s41598-018-37681-6.

نشریه علمی زیست‌شناسی خاک / جلد ۱۱ / شماره ۱ / ۱۴۰۲/ص۴۷-۶۲
dx.doi.org/10.22092/sbj.2023.361383.246

تنوع گونه ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در کاربری‌های طبیعی و زراعی و رابطه آنها با خصوصیات خاک در جنگل‌های زاگرس

جواد میرزایی *، منیره جعفری، جعفر حسین زاده و ناهید جعفریان

دانشیار گروه علوم جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام؛ **j.mirzaei@mail.ilam.ac.ir**

دانشجوی کارشناسی ارشد علوم جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام **monirejafari71@gmail.com**

دانشیار گروه علوم جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام**j.hoseinzadeh@gmail.com**

دکتری علوم زیستی جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام**nahidjafareiyan2013@gmail.com**

دریافت:۱۴۰۱/۱۱/۱۶ و پذیرش:۱۴۰۲/۵/۱

«مقاله پژوهشی»

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تنوع گونه‌ای قارچ‌های آربوسکولار همزیست در کاربری‌های جنگل طبیعی بلوط، جنگل دست-کاشت پهن‌برگ، جنگل دست کاشت سوزنی‌برگ، زمین زراعی و مرتع در رویشگاه لنه، شهرستان چرداول در استان ایلام انجام گرفت. بدین منظور از هر کاربری در عمق‌های ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متری خاک به طور تصادفی پنج نمونه ترکیبی خاک برداشت شد و خصوصیات خاک و قارچ‌های میکوریزی این نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. جهت استخراج قارچ از روش الک مرطوب و شیب غلظت ساکاروز استفاده شد. همچنین شناسایی آنها بر اساس صفات مورفولوژیکی اسپور نظیر شکل، رنگ، اندازه، تعداد لایه دیواره، ضخامت لایه‌های دیواره و شکل ریسه انجام گرفت. در مجموع ۱۹ گونه قارچ میکوریزی متعلق به هشت جنس Glomus، Acaulospora، Claroideoglomus، Rhizophagus، Septoglomus، Dentiscutata، Paraglomus، Entrophospora شناسایی شد. نتایج نشان داد که تنوع زیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و فراوانی اسپور قارچ‌ها در کاربری‌های مختلف متفاوت است ($p<0.05$). بیشترین میانگین تراکم جمعیت اسپور به ترتیب مربوط به جنگل طبیعی (۷۸/۱۲)، جنگل‌کاری پهن برگ (۶۶/۲۸) و مرتع (۵۷/۴۸) و کمترین آن مربوط به زمین زراعی (۵۰/۹۶) و جنگل‌کاری سوزنی‌برگ (۲۸/۱۶) بود. همچنین مشخص شد که غنای قارچ‌های همزیست در جنگل طبیعی (۱۶/۶) و مرتع (۱۵/۸) بیشترین و در کاربری زراعی (۱۱/۶) و جنگل‌کاری سوزنی برگ (۱۴/۴) کمترین بود. شاخص‌های تنوع شانون‌وینر و سیمپسون در کاربری‌های جنگل طبیعی، مرتع و جنگل‌کاری‌ها به طور معنی‌داری از کاربری زمین زراعی بیشتر بود. بر اساس نتایج تحقیق، اختلاف معنی‌داری بین دو عمق ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متری در تراکم اسپور و شاخص‌های تنوع گونه‌ای وجود ندارد ($p>0.05$). نتایج این تحقیق نشان داد که تغییر کاربری جنگل بر تنوع و فراوانی قارچ‌های میکوریزی همزیست تاثیر منفی دارد. بنابراین توصیه می‌گردد برای حفظ این جوامع، جنگل‌های طبیعی تحت حفاظت بیش‌تری قرار گیرند.

واژه های کلیدی: سوزنی‌برگ، قارچ‌های میکوریزی، جنگلکاری، جنگلهای طبیعی، ایلام

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول:j.mirzaei@mail.ilam.ac.ir

مقدمه

امروزه تغییر کاربری جنگل یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در تمام کشورهاست (وینکلر و همکاران، ۲۰۲۱). تغییر کاربری جنگل با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، ظرفیت تولید اکوسیستم را کاهش می-دهد (کببو و همکاران، ۲۰۲۲). خاک به‌عنوان بخش مهم اکوسیستم، نقش مهمی در توسعه پوشش گیاهی و درنتیجه افزایش کیفیت تنوع‌زیستی دارد (کوچ و همکاران، ۲۰۱۰). خصوصیات پوشش گیاهی در یک منطقه می‌تواند روی جوامع میکروبی، تولید لاشبرگ، ارتباط متقابل با گیاهخواران و ارتباط همزیستی از قبیل قارچ‌های میکوریزا تأثیرگذار باشد (پرسکوت و گریستون، ۲۰۱۳). یکی از مهم‌ترین میکروارگانسیم‌های داخل خاک، قارچ میکوریز آربوسکولار است که در بیشتر اکوسیستم‌های دنیا حضور داشته و نقش مهمی را در خاک بازی می‌کند (شوبلر و همکاران، ۲۰۰۱). این همزیستی، متداول‌ترین شکل از همزیستی میکوریزایی است که در تمام جوامع گیاهی از عرصه‌های منابع طبیعی تا اراضی کشاورزی گسترش داشته و با بیشتر گیاهان خشکی‌زی دارای همزیستی اجباری هستند، بطوریکه که تنها در حضور گیاه میزبان مناسب، قادر به اسپورزایی و تکمیل دوره زندگی خود هستند و گیاه نیز از این همزیستی سود می‌برد (اصغری و همکاران، ۲۰۰۸). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار اثرات مهمی بر رشد و عملکرد گیاهان دارند که در نتیجه این همزیستی تحمل گیاه به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد (کیرس و همکاران، ۲۰۱۱) (Kiers et al. 2011) و همچنین با تثبیت نیتروژن زیستی در گیاه میزبان (وهنر و همکاران، ۲۰۱۰) (Wehner et al. 2010)، به رشد و استقرار نهال‌ها کمک می کند (براوندرت، ۱۹۹۱) (Brundrett, 1991). علاوه بر این، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، توانایی گیاهان را برای جذب آب و مواد غذایی (به‌ویژه فسفر) از خاک بهبود می‌بخشد (رکونا و همکارانف ۲۰۰۱) (Requena et al. 2001).

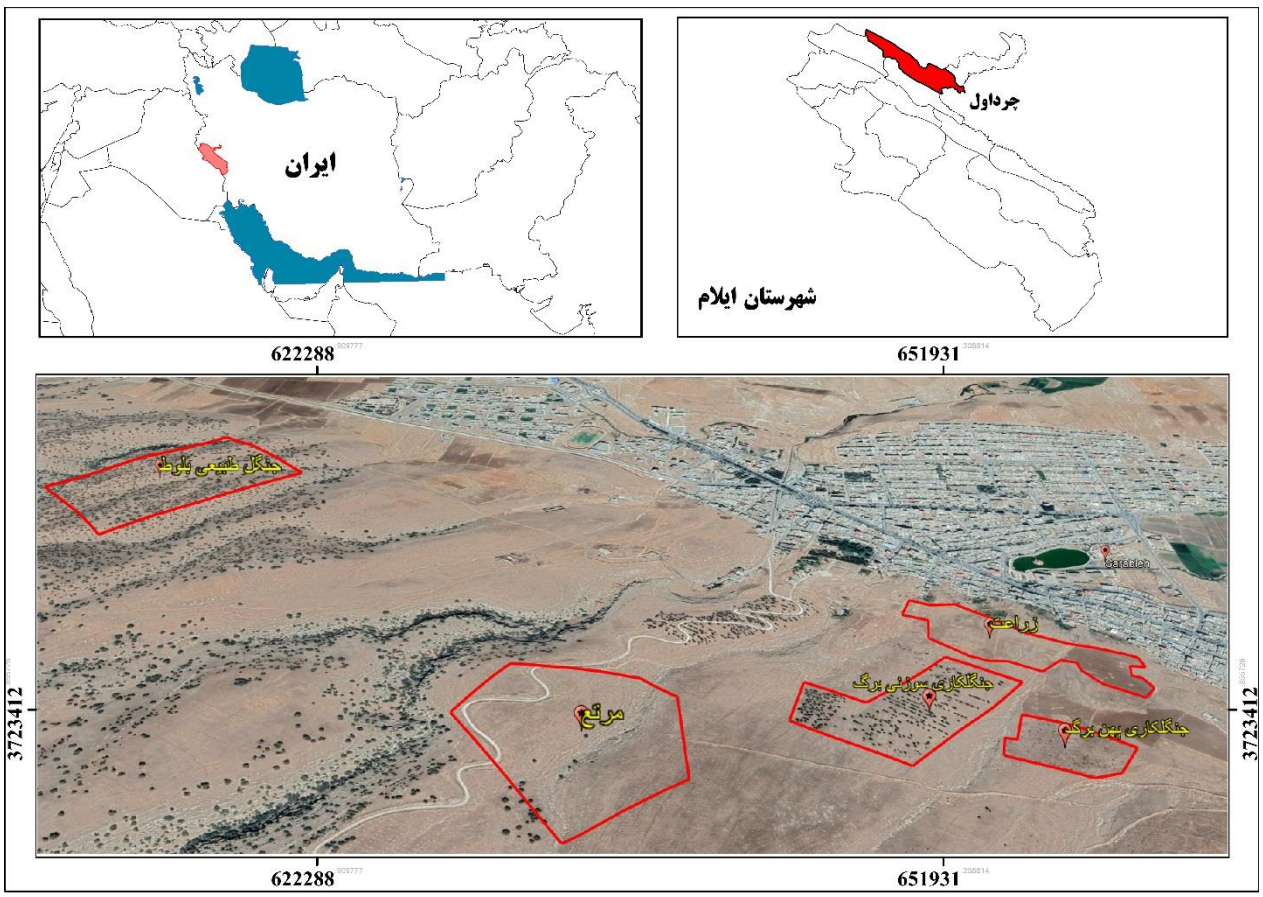
بین اکوسیستم‌های زراعی و طبیعی ازنظر تنوع گونه‌ای و فراوانی نسبی میکروارگانیسم‌ها تفاوت قابل‌توجهی وجود دارد. مطالعات بسیاری وجود این تفاوت در کاربری‌های مختلف را گزارش کرده‌اند. سینگ و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی تنوع قارچ‌های میکوریز وزیکولار- آربوسکولار در خاک‌های زراعی و جنگل طبیعی، شمال شرق هند، دریافتند که تنوع و تراکم در جنگل‌های طبیعی بیشتر از زمین زراعی است. مطالعه فراسیتو و همکاران (۲۰۱۳) در آمازون، نشان داد که خاک آمازون یک اکوسیستم حساس به تغییرات زیست محیطی در ارتباط با قارچ‌ها است و تغییر کاربری اراضی بر تنوع و تعداد گونه قارچ‌های میکوریزی اثر می‌گذارد. زوو و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی قارچ‌های میکوریز در انواع کاربری‌ها به این نتیجه رسیدند که تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در مراتع به‌طور معنی‌داری بیشتر از جنگل یا زمین‌های زراعی بوده و همچنین تفاوت‌های قابل‌توجهی در ترکیب قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در انواع مختلف کاربری زمین وجود دارد. شفیعی و همکاران (۲۰۲۰) نیز اثر تغییر کاربری جنگل به باغ چای بر خصوصیات شیمیایی خاک و جمعیت قارچ میکوریز آربوسکولار را بررسی و نتایج مطالعه آنان حاکی از بیشتر بودن میانگین درصد کلونیزاسیون و تعداد اسپورها در خاک جنگل نسبت به باغ چای بود و تغییر کاربری و تغییر در پوشش گیاهی، با تغییر خصوصیات شیمیایی خاک، موجب کاهش میزان همزیستی و تعداد اسپورهای قارچ میکوریز در خاک می‌شود.

با توجه به نقش کاربرد میکروارگانیسم‌ها در احیا و تجدید اراضی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آگاهی از وضعیت فراوانی قارچ‌های میکوریزی برای داشتن مدیریت پایدار، مطالعه و شناسایی قارچ‌های همزیست با گونه‌های گیاهی منطقه بسیار حیاتی است؛ زیرا با شناسایی و داشتن اطلاعات علمی از وضعیت همزیستی آن می‌توان در جهت احیای گونه‌های موردمطالعه در تحقیق حاضر، گام برداشت. علاوه بر این تغییرات در جوامع قارچی ناشی

از هر سیستم کاربری زمین می‌تواند اطلاعات مهمی را برای مدیریت خاک و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فراهم کند. لذا این پژوهش به‌منظور شناسایی و ارزیابی تراکم جمعیت قارچ میکوریز آربوسکولار در کاربری‌های مختلف اراضی، تفاوت خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک و تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در کاربری‌های جنگل طبیعی، جنگل دست‌کاشت سوزنی‌برگ، جنگل دست-کاشت پهن‌برگ، مرتع و زمین زراعی و اثر آنها بر تنوع جوامع قارچ انجام شد؛ به‌عبارت‌دیگر در این پژوهش، جوامع قارچ میکوریز آربوسکولار همزیست با گونه های علفی در کاربری های مختلف و رابطه آنها با عوامل خاکی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در منطقه لنه واقع در ضلع جنوبی شهر سرابله از توابع شهرستان چرداول در استان ایلام انجام گرفت (شکل ۱). محدوده مورد بررسی دارای کاربری‌های جنگل طبیعی بلوط (Quercus brantii)، جنگل دست-کاشت سوزنی‌برگ سرو نقره‌ای (Cupresus arizonica)، جنگل دست‌کاشت پهن‌برگ ارغوان (Cercis siliquastrum)، مرتع با گونه غالب برموس (Bromus tectorum)، زمین زراعی گندم (Triticum aestivum) است. ارتفاع محدوده مورد بررسی بین ۱۰۵۰ تا ۱۲۰۵ متر از سطح دریا متغیر است. بر اساس داده‌های هواشناسی ده سال اخیر ایستگاه سرابله، میانگین بارندگی سالیانه محدوده موردبررسی ۴۳۷/۹ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۸/۷ درجه سانتی گراد است. علاوه بر این، اقلیم منطقه بر اساس اقلیم نمای دومارتن، نیمه خشک بوده و فصل خشک منطقه از اوایل خرداد شروع‌شده و تا اوایل آبان ماه (۵ ماه) ادامه دارد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری

نمونه‌هایی از خاک هر کاربری، در عمق‌های ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متری به طور تصادفی برداشت شد (جعفریان و همکاران، ۲۰۱۸). برای هر کاربری ۱۰ نمونه خاک، ۵ نمونه خاک در عمق ۵-۰ سانتی‌متری و ۵ نمونه از عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری، درمجموع ۵۰ نمونه خاک برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی‌شده و اسپور قارچ‌های میکوریز آربوسکولار آن استخراج و شناسایی شد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه، رطوبت خاک به روش وزنی (صالحی و همکاران، ۲۰۱۵)، شوری خاک (EC) با استفاده از دستگاه سنجش هدایت الکتریکی، اسیدیته خاک (pH) به‌وسیله دستگاه pH متر، پتاسیم قابل‌جذب در محلول استات آمونیـوم و با دستگاه Flame Photometer، فسفر به روش اولسن، کربن‌آلی به روش Walkley-Black و میزان نیتروژن کل خاک به روش کجدال اندازه‌گیری شد (بریمنر و مولوانی، ۱۹۸۲).

استخراج اسپور، شناسایی و تنوع گونه‌ای قارچ‌های آربوسکولار

برای استخراج اسپور قارچ‌ها از روش الک مرطوب و سانتریفیوژ با شیب غلظت ساکارز استفاده شد (منیمگالی و همکاران، ۲۰۱۱). برای این منظور ۱۰ گرم خاک خشک را در یک لیتر آب حل کرده تا به حالت سوسپانسیون در آید، پس از ده ثانیه ذرات شن و خاک رسوب و از سری الک‌های ۳۵، ۸۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ مش که به ترتیب روی‌هم قرارگرفته‌اند، عبور داده شد. محلول حاصل الک‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ مش از کاغذ صافی عبور داده شد و با شمارش اسپورهای موجود بر روی کاغذ صافی تراکم اسپور در نمونه مشخص شد. سپس به‌منظور شناسایی گونه‌های قارچی، ابتدا اسلایدهای دائمی با استفاده از معرف پلی‌وینیل لاکتوگلیسرول (PVLG) و ملزر تهیه شد. جهت تهیهٔ محلول PVLG، مقدار ۱/۷ گرم پلی‌وینیل‌الکل را در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کرده و به‌مدت یک ساعت در بن‌ماری در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا محلول همگن ایجاد شود. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسیدلاکتیک و ۱۰ میلی‌لیتر گلیسیرین به آن اضافه شد. همچنین برای تهیه معرف ملزر، ۱۰۰ گرم کلرال‌هیدرات، ۱/۵ گرم ید، ۵ گرم یدید پتاسیم و ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر را با همزن مغناطیسی مخلوط می‌شوند.

شناسایی قارچ‌ها بر اساس صفات مورفولوژیکی نظیر شکل، رنگ، اندازه، تعداد لایه دیواره، ضخامت لایه-های دیواره و شکل ریسه موردبررسی و تفکیک قرار گرفتند. پس از اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک، شناسایی گونه‌های قارچی با استفاده از کلیدهای شناسایی شنگ و پرز (۱۹۹۸) و سایت‌های معتبر:http:invam.caf.wvu.edu و www.amf-phylogeny.com انجام گرفت.

تصاویر مربوط به قارچ‌ها با استفاده از میکروسکوپ (Olympius, DF PLAN 1x) مجهز به سیستم عکس‌برداری Truechrome Metrics انجام گرفت. به‌منظور محاسبه شاخص‌های تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌های قارچ میکوریز از شاخص تنوع شانون‌وینر، سیمپسون، غنای مارگالف و یکنواختی پایلو استفاده گردید. برای بررسی تنوع گونه‌ای استفاده شد (میرزایی و مرادی، ۲۰۱۷).

1-D: شاخص تنوع سیمپسون

$$1 - D = 1 - \sum_{i}^{s} p_i^2$$

H': شاخص شانون‌وینر

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} PiLn(Pi)$$

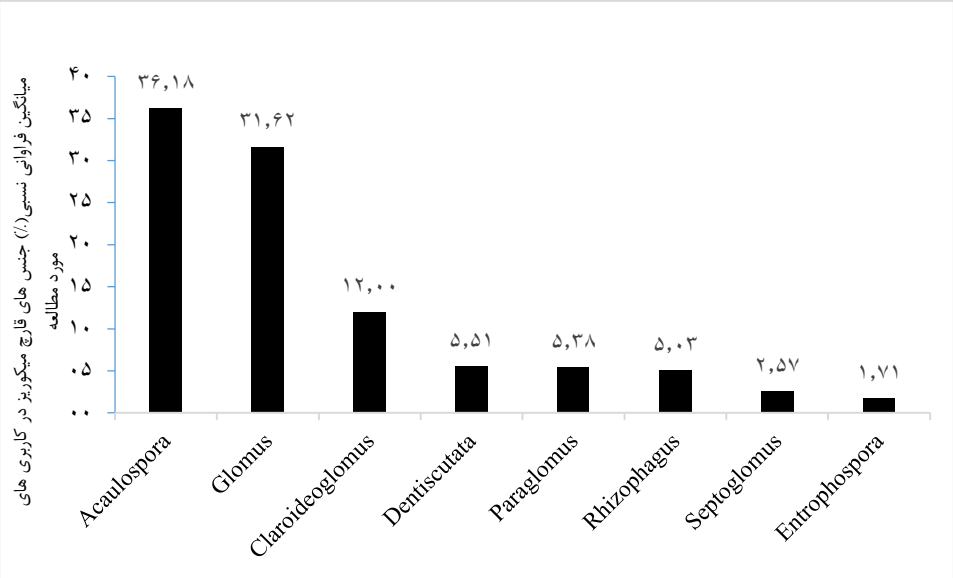
آنالیز داده‌ها

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفت، سپس از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه (GLM) و مقایسه دانکن

برای مقایسه شاخص‌های تنوع گونه‌ای و تراکم اسپور در بین کاربری‌ها و دو عمق مختلف خاک استفاده شد. از شاخص همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی همبستگی بین خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک با شاخص‌های تنوع زیستی و تراکم جمعیت اسپور در دو عمق خاک استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۱ انجام گرفت. محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی در محیط نرم‌افزار PAST انجام گرفت.

نتایج

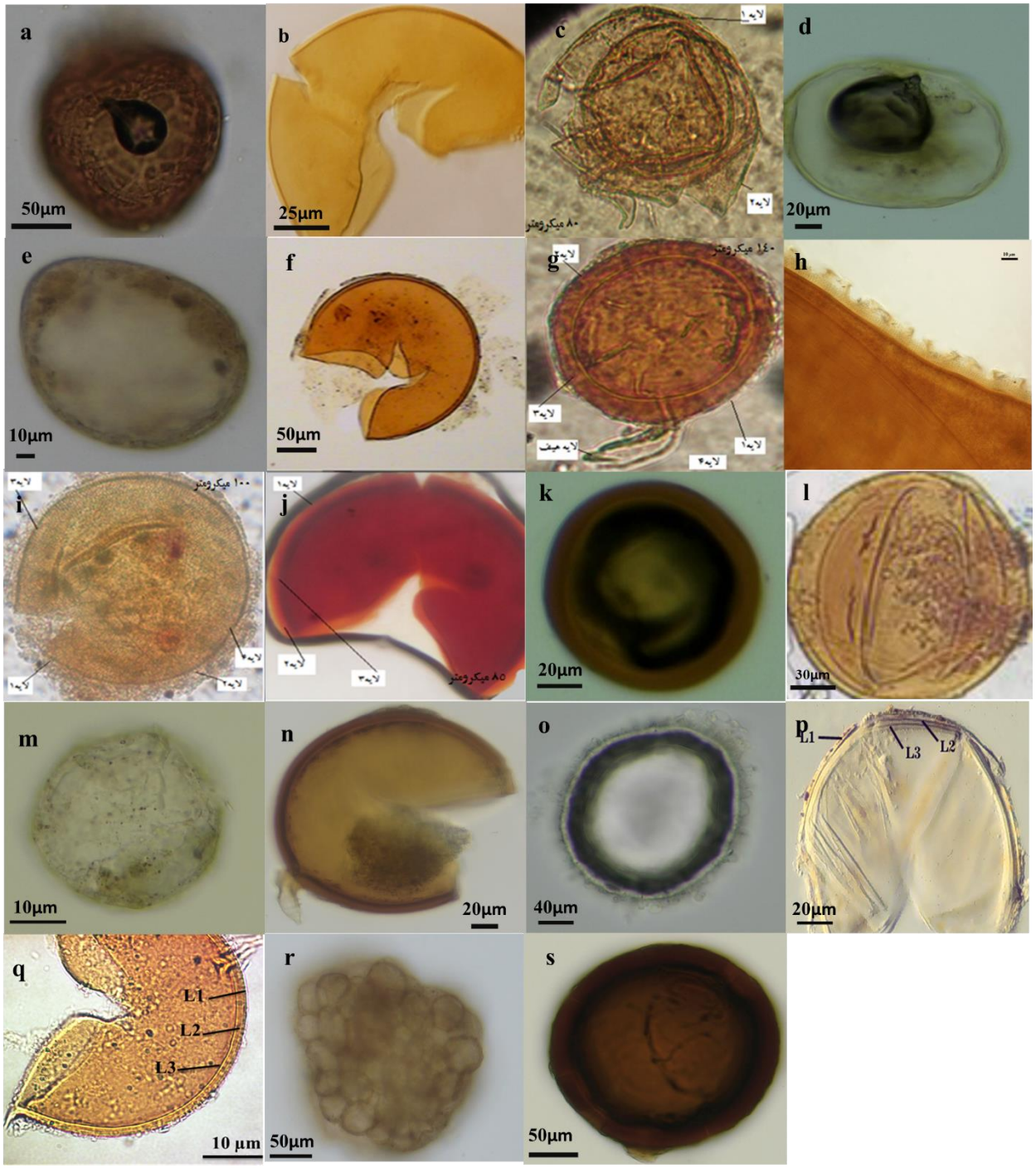
در این تحقیق تعداد ۱۹ گونه قارچ میکوریز آربوسکولار متعلق به هشت جنس مختلف شناسایی شدند (شکل ۳ و ۴). از بین گونه‌های شناسایی شده، شش گونه متعلق به جنس Glomus، پنج گونه متعلق به جنس Acaulospora، دو گونه متعلق به جنس Claroideoglomus، دو گونه متعلق به جنس Rhizophagus بود و از جنس‌های Septoglomus، Dentiscutata، Paraglomus، Entrophospora هرکدام یک‌گونه مشاهده شد (جدول۱ و شکل ۳). نتایج نشان می‌دهد که همه کاربری‌ها در ۱۶ گونه قارچی باهم اشتراک دارند. گونه Glomus verruculosum تنها در جنگل دست‌کاشت پهن‌برگ و گونه Rhizophagus fasciculatus در جنگل دست‌کاشت سوزنی‌برگ و پهن‌برگ و گونه Glomus ambisporum در همه کاربری‌ها به‌جز جنگل سوزنی‌برگ مشاهده‌شده است. گونه‌های قارچی Glomus veroculosum (۰/۰۳ درصد)، Rhizophagus fasciculatus (۰/۰۳درصد) کم‌ترین درصد فراوانی را داشتند و گونه Acaulospora gadanensis با فراوانی (۲۰/۴۴ درصد) بالاترین مقدار میانگین درصد فراوانی نسبی در بین کاربری‌های مختلف را به خود اختصاص داده است (جدول۱). جنس Acaulospora با ۳۶/۱۸ درصد بالاترین میانگین فراوانی نسبی و جنس Enterophospora با ۱/۷۱ درصد، کم‌ترین میانگین فراوانی را در بین کاربری‌ها داشتند (شکل ۲). همچنین گونه Glomus veroculosum تنها در جنگل دست‌کاشت پهن‌برگ (ارغوان) مشاهده شد.



شکل ۲- میانگین فراوانی نسبی جنس‌های قارچ میکوریز در کاربری‌های موردمطالعه

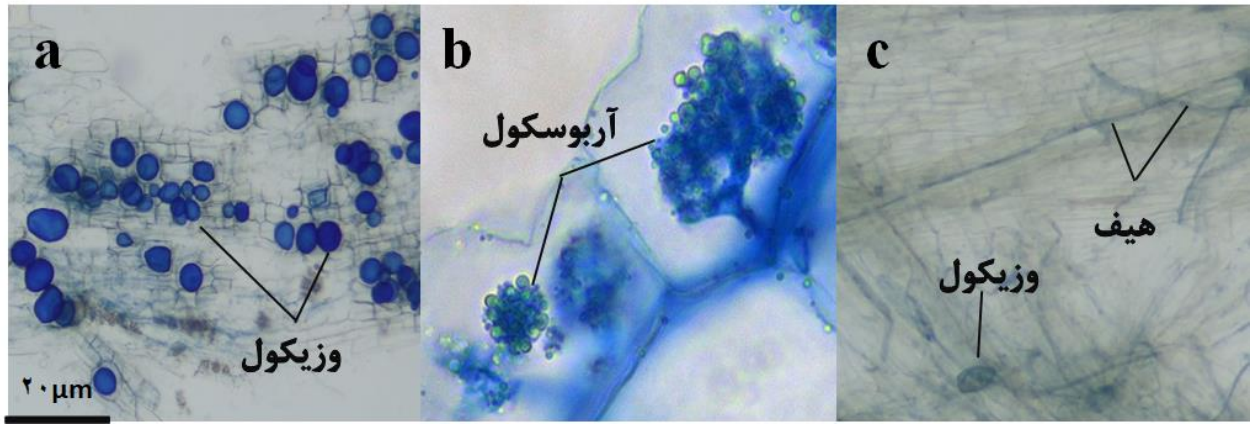
جدول ۱- مشخصات گونه‌های قارچ میکوریزی آربوسکولار شناسایی‌شده در منطقه

گونه	رنگ اسپور	اندازه اسپور (میکرومتر)	لایه‌های اسپور	شکل هیف	لایه هیف	میانگین ضخامت هیف (میکرومتر)
Acaulospora bireticulata	نارنجی کم‌رنگ تا قهوه‌ای مایل به زرد	۱۹۰ (۲۱۰) (۱۵۰)	۳	-	-	-
Acaulospora colombiana	نارنجی قهوه ای تا قهوه‌ای تیره	۱۲۱(۱۴۰) (۱۰۰)	۳	-	-	-
Acaulospora delicata	شفاف، زرد کمرنگ تا سبز کمرنگ	۸-۱۲۰	۲	ندارد	ندارد	ندارد
Acaulospora gedanensis	زردرنگ پریده تا زرد لیمویی	۶۵ (۷۵) (۵۵)	۲	ندارد	ندارد	ندارد
Acaulospora myriocarpa	زرد مایل به سفید، شیشه‌ای	۳۲-۹۰	۳	-	-	-
Claroideoglomus etunicatum	زردرنگ پریده تا زرد	۹۵ (۱۳۵) (۷۵)	۲	راست یا خمیده،استوانه اندکی نامنظم	۲	۲/۲
Claroideoglomus luteum	زرد کم‌رنگ تا زرد تیره با سایه قهوه‌ای	۱۴۲/۳ (۲۰۸) (۸۱)	۴	استوانه‌ای کم نامنظم	۳	۱۴
Dentiscutata reticulata	قرمز تیره، قهوه‌ای مایل به سیاه	۱۸۰-۳۹۰	۴	-	-	-
Entrophospora infrequens	زرد طلایی تا نارنجی متمایل به قهوه‌ای	۱۳۵ (۱۷۵) (۹۵)	۴	ندارد	ندارد	ندارد
Glomus ambisporum	قهوه‌ای تیره تا سیاه	۱۴۹(۱۹۳) (۸۵)	۳	استوانه‌ای	۲	۴/۷
Glomus arenarium	خاکستری، زرد قهوه‌ای	۹۷ (۱۲۰) (۵۵)	۳	راست یا کج، استوانه‌ای یا نامنظم،ندرتاً دارای فرو رفتگی	۱-۳	۱/۱
Glomus corymbiforme	زرد تا نارنجی	۱۴۲ (۲۲۰)(۵۰)	۳	راست یا کج، نامنظم، گاهی استوانه‌ای، دارای فرورفتگی	۲	۶/۵
Glomus nanolumen	شیشه‌ای، سفید مایل به زرد، زردرنگ پریده	۳۶ (۴۳) (۱۳)	۲	راست یا خمیده، قیفی شکل	۲	-
Glomus verruculosum	زرد تا نارنجی	۱۸۹ (۲۶۵) (۱۵۰)	۳	راست یا کج، قیفی تا تقریباً استوانه‌ای	۲	۵/۵
Glomus sp.	سفید سبز تا سبز یشمی	۵۰ (۷۵) (۳۵)	۲-۳	منقبض، استوانه‌ای	۱-۳	۲/۵
Paraglomus occultum	شیشه‌ای، کرمی	۷۱/۵(۱۰۰) (۶۰)	۳	سیلندری	۲-۳	۰/۳
Rhizophagus fasciculatus	زردرنگ پریده	۱۰۵ (۱۳۰) (۵۰)	۳	راست تا اندکی خمیده، استوانه‌ای	۲	۱-۲
Sclerocystis sinuosa	نارنجی، نارنجی قهوه‌ای، نارنجی قهوه‌ای تیره	۲۰۰-۳۶۰	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
Septoglomus constrictum	نارنجی مایل به قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره	۱۶۰ (۲۲۰) (۱۰۰)	۲	راست یا خمیده، معمولاً فرورفتگی علامت‌دار به سمت پایه اسپور	۲	۶



شکل ۳- تصاویر قارچ‌های میکوریزی شناسایی شده در منطقه موردمطالعه

a) A. bireticulata, b) A. colombiana, c) A. delicate, d) A. gedanensis, e) A.myriocarpa, f) C. etunicatum, g) C .luteum, h) D. reticulata i) E .infrequens , j) G. ambisporum, k) G. arenarium, l) G. corymbiforme, m) G. nanolumen, n) G. verruculosum , O) Glomus sp. p) P.occultum q) R.fasciculatus , r) s. sinuosum , s) s. constrictum



شکل ۴- همزیستی اندام‌های قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در ریشه، a: وزیکول، b: آربوسکول، c: هیف و وزیکول

تراکم اسپور قارچ‌های میکوریز آربوسکولار

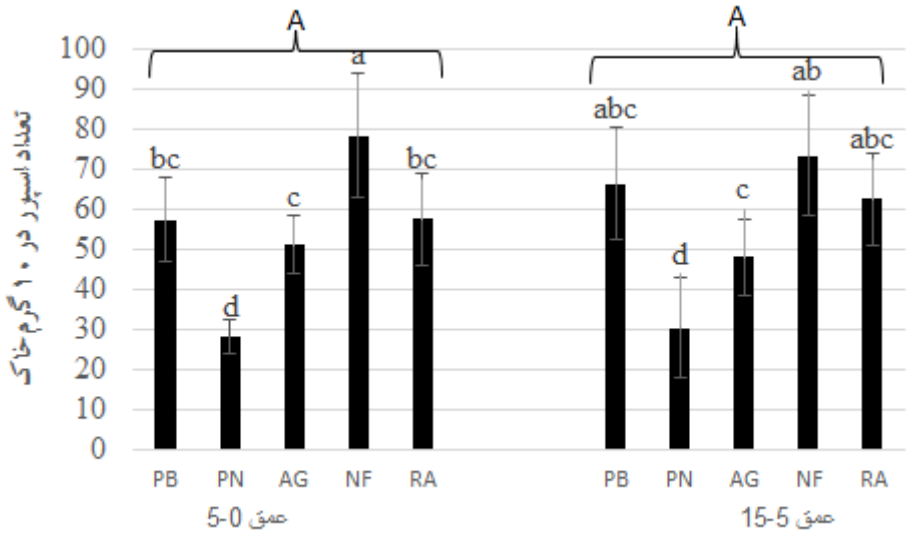
بر اساس نتایج آنالیز واریانس دوطرفه (GLM)، کاربری تأثیر معنی‌داری بر تراکم اسپور در داخل خاک داشت ($p<0.05$)، درحالی‌که تأثیر عمق و اثرات متقابل عمق و کاربری معنی‌دار نبود (جدول ۲). میانگین تعداد اسپور قارچ‌ها در کاربری‌های موردبررسی، صرف‌نظر از گونه قارچی، در عمق ۵-۰ سانتی‌متری بین ۲۸ عدد (در جنگل سوزنی‌برگ) تا ۷۸ عدد (در جنگل طبیعی) و در عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری بین ۳۰ عدد (در جنگل سوزنی‌برگ) تا ۷۳ عدد (در جنگل طبیعی) در ۱۰ گرم خاک متغیر بود. همچنین بالاترین میانگین تراکم اسپور قارچی در کاربری جنگل طبیعی، مرتع و جنگل‌کاری پهن‌برگ و کم‌ترین میانگین آن در جنگل‌کاری سوزنی‌برگ و زمین زراعی مشاهده شد (شکل ۵).

جدول ۲- آنالیز واریانس دوطرفه (GLM) اثر کاربری و عمق خاک بر تعداد اسپور قارچ در ۱۰ گرم خاک

تیمار	Mean square	F	Sig
کاربری	۱۷۹۲	۱۷/۱۲	۰/۰۰۰
عمق	۱۹/۶۳	۰/۱۸	۰/۶۷۰
کاربری × عمق	۴۸/۸۲	۰/۴۶	۰/۷۶۰

جدول ۳- آنالیز واریانس دوطرفه اثر کاربری و عمق خاک بر شاخص‌های تنوع گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار

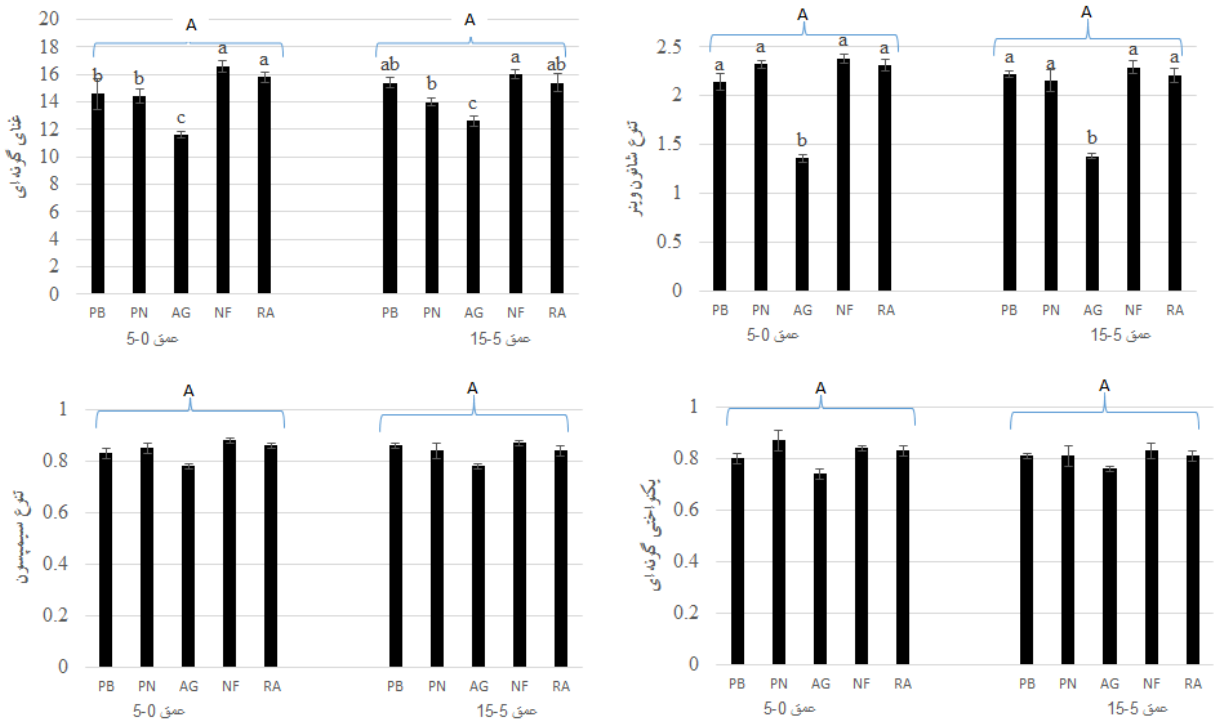
تیمار	غنای گونه‌ای			تنوع شانون‌وینر			تنوع سیمپسون			یکنواختی گونه‌ای		
	Mean square	F	Sig	Mean square	F	Sig	Mean square	F	Sig	Mean square	F	Sig
کاربری	۱۵/۹۳	۲۱/۴۲	۰/۰۰۰	۰/۹۵۰	۵۴/۳۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۲/۷۴	۰/۰۵۷	۰/۰۰۵	۰/۵۷	۰/۶۸۵
عمق	۰/۰۴۸	۰/۰۶۵	۰/۸۰۲	۰/۰۱۸	۱/۰۱	۰/۳۲۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۹۴۵	۰/۰۰۳	۰/۳۹	۰/۵۳۶
کاربری × عمق	۰/۸۵۸	۱/۱۵	۰/۳۶۱	۰/۰۱۶	۰/۸۹	۰/۴۸۷	۰/۰۰۱	۰/۱۸	۰/۹۴۲	۰/۰۰۱	۰/۱۳	۰/۹۶۸



شکل ۵. مقایسهٔ تعداد اسپور قارچ‌های میکوریز در کاربری‌های مختلف (PB- جنگل‌کاری پهن برگ،PN - جنگل‌کاری سوزنی‌برگ، AG- زمین زراعی، NF- جنگل طبیعی، RA- مرتع)

تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار

نتایج آنالیز واریانس دوطرفه (GLM) نشان داد که تغییر کاربری تأثیر معنی‌داری بر تنوع شانون وینر و غنای گونه‌ای دارد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز نشان داد که به ترتیب کاربری جنگل طبیعی و مرتع بیشترین و کاربری زمین زراعی کمترین میزان تنوع گونه‌ای شانون وینر را داشتند. علاوه بر این بر اساس نتایج آزمون تی غیر جفتی، اختلاف معنی‌داری بین دو عمق ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متر مشاهده نشد (شکل ۶). غنای گونه‌های قارچی در کاربری‌های جنگل طبیعی، مرتع و جنگل‌کاری پهن‌برگ در عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری و همچنین در کاربری‌های جنگل طبیعی و مرتع در عمق ۵-۰ سانتی‌متر بیشترین میزان و در کاربری زراعی و جنگل-کاری سوزنی‌برگ کمترین بود (شکل ۶). همچنین ازنظر شاخص غنای گونه‌ای بین دو عمق اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶). ازنظر یکنواختی و تنوع سیمپسون اختلاف معنی‌داری بین کاربری‌ها مشاهده نشد (شکل ۶).



شکل ۶- مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع گونه‌ای در کاربری های مختلف (PB- جنگلکاری پهن برگ،PN - جنگلکاری سوزنی برگ، AG- زمین زراعی، NF- جنگل طبیعی، RA- مرتع)

رابطه قارچ‌های میکوریزی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

تراکم جمعیت اسپوری در عمق ۵-۰ با پتاسیم قابل‌جذب همبستگی مثبت و با رطوبت خاک همبستگی منفی داشت. همچنین نتایج همبستگی اسپیرمن نشان داد که در عمق ۵-۰ سانتی‌متری همبستگی معنی‌داری بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریزی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک وجود ندارد (جدول۳).

جدول۳-

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با تراکم جمعیت اسپور در عمق ۵-۰ سانتی‌متری خاک (* - همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد، **- همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد و ns- عدم وجود همبستگی معنی‌دار)

متغیرها	غنا	یکنواختی	شانون وینر	سیمپسون	تراکم جمعیت اسپور
نیتروژن (٪)	۰/۰۸۱^{ns}	-۰/۱۰۵^{ns}	-۰/۰۴۲^{ns}	-۰/۰۶۴^{ns}	-۰/۰۲۹^{ns}
فسفر (mg/kg)	۰/۳۷۱^{ns}	۰/۰۵۵^{ns}	۰/۲۹۵^{ns}	۰/۱۵۳^{ns}	۰/۱۳۸^{ns}
پتاسیم (mg/kg)	۰/۱۹۹^{ns}	-۰/۲۰۵^{ns}	-۰/۰۵۴^{ns}	-۰/۱۰۶^{ns}	۰/۴۱۶*
ماده آلی (٪)	۰/۱۸۹^{ns}	-۰/۰۴۶^{ns}	۰/۰۸۴^{ns}	۰/۰۴۰^{ns}	-۰/۰۳۰^{ns}
رطوبت خاک (٪)	-۰/۲۷۹^{ns}	-۰/۱۶۸^{ns}	-۰/۲۸۳^{ns}	-۰/۸۷^{ns}	-۰/۶۴۹**
رس(٪)	-۰/۱۴۱^{ns}	-۰/۰۰۷^{ns}	-۰/۰۸۹^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	-۰/۳۶۵^{ns}
شن (٪)	-۰/۰۵۰^{ns}	-۰/۲۲۴^{ns}	-۰/۱۹۷^{ns}	-۰/۲۴۷^{ns}	۰/۱۳۶^{ns}
سیلت (٪)	۰/۱۹۷^{ns}	۰/۱۳۲^{ns}	۰/۲۱۷^{ns}	۰/۱۲۶^{ns}	۰/۳۶۴^{ns}
جرم مخصوص(g/cm)	-۰/۰۸۹^{ns}	-۰/۰۳۸^{ns}	-۰/۰۸۷^{ns}	۰/۰۲۴^{ns}	۰/۲۲۰^{ns}
pH	۰/۰۳۵^{ns}	-۰/۰۸۱^{ns}	-۰/۰۴۰^{ns}	-۰/۰۹۱^{ns}	۰/۱۶۰^{ns}
شوری (dS/m)	-۰/۰۱۷^{ns}	۰/۱۸۳^{ns}	۰/۱۲۰^{ns}	۰/۱۸۹^{ns}	۰/۲۹۴^{ns}

برخلاف عمق ۵-۰ سانتی‌متری، در عمق ۱۵-۵ همبستگی معنی‌داری بین تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک وجود داشت. بر این اساس، غنای گونه‌ای با رطوبت اشباع

(p=۰/۲۸۹ ،c=-۰/۴۸۰) و رس (p=۰/۰۱۰ ،c=-۰/۵۰۴) همبستگی منفی و باسیلت (p=۰/۰۰۲ ،c=۰/۵۸۰) و اسیدیته (p=۰/۰۲۹ ،c=۰/۴۳۶) همبستگی مثبت داشت (جدول ۴). شاخص یکنواختی با رس (c=-۰/۳۹۹، p=۰/۰۴۸) همبستگی منفی اما باسیلت (c=۰/۴۸۳، p=۰/۰۱۴) همبستگی مثبتی را نشان داد. همچنین شاخص تنوع شانون‌وینر با رطوبت اشباع (p=۰/۰۱۸ ،c=-۰/۴۶۹) و رس (p=۰/۰۱۱ ،c=-۰/۵۰۱) همبستگی منفی و با سیلت (p=۰/۰۰۲ ،c=۰/۵۸۵) و اسیدیته (p=۰/۳۳ ،c=۰/۴۲۸) همبستگی مثبت داشت. شاخص سیمپسون با رطوبت اشباع (p=۰/۱۰ ،c=-۰/۵۰۵) و رس (p=۰/۰۰۸ ،c=-۰/۵۱۵) همبستگی منفی ولی با سیلت (p=۰/۰۰۶ ،c=۰/۵۳۲) همبستگی مثبتی را نشان داد. نتایج بررسی تراکم اسپور قارچ در خاک‌نشان داد که این پارامتر تنها با رطوبت خاک همبستگی منفی و با سایر پارامترهای شیمیایی خاک همبستگی ندارد (جدول ۴).

جدول۴- همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با تراکم جمعیت اسپور در عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری خاک (* - همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد، **- همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد و ns- عدم وجود همبستگی معنی‌دار)

متغیرها	غنا	یکنواختی	شانون‌وینر	سیمپسون	تراکم جمعیت اسپور
نیتروژن (٪)	۰/۱۴۸^{ns}	۰/۰۷۰^{ns}	۰/۱۴۴^{ns}	۰/۲۱۸^{ns}	۰/۱۱۶^{ns}
فسفر (mg/kg)	۰/۳۵۶^{ns}	۰/۲۲۲^{ns}	۰/۳۴۴^{ns}	۰/۲۹۳^{ns}	۰/۳۷۶^{ns}
پتاسیم (mg/kg)	۰/۱۴۱^{ns}	۰/۰۹۷^{ns}	۰/۱۴۶^{ns}	۰/۱۷۳^{ns}	۰/۱۶۴^{ns}
ماده آلی (٪)	۰/۲۲۱^{ns}	۰/۱۱۹^{ns}	۰/۲۱۸^{ns}	۰/۱۹۵^{ns}	۰/۰۹۵^{ns}
رطوبت خاک (٪)	-۰/۴۸۰*	-۰/۳۱۰^{ns}	-۰/۴۶۹*	-۰/۵۰۵*	-۰/۴۲۱*
رس(٪)	-۰/۵۰۴*	-۰/۳۹۹*	-۰/۵۰۱*	-۰/۵۱۵**	-۰/۲۰۰^{ns}
شن (٪)	۰/۱۱۴^{ns}	۰/۰۶۶^{ns}	۰/۱۰۴^{ns}	۰/۱۹۱^{ns}	-۰/۰۱۸^{ns}
سیلت (٪)	۰/۵۸۰**	۰/۴۸۳*	۰/۵۸۵**	۰/۵۳۲**	۰/۲۷۱^{ns}
جرم مخصوص(g/cm)	۰/۲۸۱^{ns}	۰/۱۶۳^{ns}	۰/۲۹۵^{ns}	۰/۱۸۱^{ns}	۰/۱۹۸^{ns}
pH	۰/۴۳۶*	۰/۳۲۳^{ns}	۰/۴۲۸*	۰/۳۵۱^{ns}	۰/۱۱۶^{ns}
شوری (dS/m)	-۰/۰۱۸^{ns}	-۰/۰۸۳^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	-۰/۱۱۰^{ns}	-۰/۰۰۱^{ns}

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب و تنوع گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار در کاربری‌های مختلف با همدیگر متفاوت است. برخی گونه‌های قارچی در تمام کاربری‌ها و برخی دیگر در کاربری خاصی حضور داشتند. تغییر کاربری با تأثیر بر پوشش گونه‌های درختی، گونه های‌علفی و زراعی می‌تواند بر قارچ‌های میکوریزی تأثیرگذار باشد (فراسیتو و همکاران، ۲۰۱۳). در این راستا، کوپاتینی و همکاران (۲۰۱۲) نیز با مقایسه تأثیر کاربری‌های جنگل‌های بومی، مزارع اکالیپتوس و اقاقیا، سویا و هندوانه بر ساختار جامعه قارچی در خاک به نتایج مشابهی دست یافتند. بر اساس این نتایج درمجموع ۱۹ گونه قارچ میکوریز آربوسکولار شناسایی شد، به طوریکه گونه‌های G. nanolumen، G. arenarium، G. corymbiforme، Glomus sp، S. constrictum، C. etunicatum، C. luteum، A. delicata، A. gadanensis، A. colombiana، A. bireticulata، A.myriocarpa، D.reticulata، S.sinuosum، P.occultum، E. infrequens، در همه کاربری‌ها حضور داشتند. احتمالاً دلیل این امر قدرت سازگاری و همزیستی با گونه‌های مختلف گیاهی است. درحالی‌که برخی دیگر از گونه‌های قارچی در تحقیق حاضر تنها در یک کاربری خاص مشاهده‌شده‌اند. قارچ Acaulospora gadanensis با فراوانی (۲۰/۴۴ درصد) بالاترین مقدار میانگین درصد فراوانی نسبی در بین کاربری‌های مختلف را به خود اختصاص داده است. می‌توان گفت این‌گونه قدرت سازش‌پذیری بالایی با شرایط رویشگاهی مختلف دارد و با دامنه همزیستی بالایی دارد. Enterophospora با ۱/۷۱

درصد، کمترین میانگین فراوانی را در بین کاربری‌ها داشت. بر اساس نتایج مشخص شد که اکثر گونه-های شناسایی‌شده متعلق به جنس Glomus بوده است. جنس Glomus از عمومی‌ترین قارچ‌های خاکزی می‌باشد و به‌صورت منفرد یا دسته‌ای در خاک یا بافت ریشه حضور دارند و عموماً با اکثر گونه‌های گیاهی همزیستی دارند. در مطالعه حاضر، Glomus و Acaulospora جنس‌های غالب در جنگل بودند. این جنس‌ها از معروف‌ترین قارچ-های میکوریز مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند (چودری و همکاران، ۲۰۱۳) که با توجه به اقلیم منطقه موردمطالعه فروانی این جنس قابل توجیه است. از طرفی Xu و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی جوامع قارچی در کاربری‌های مختلف در فلات تبت نیز نشان داد که جنس Glomus در کاربری زراعی و Acaulospora در جنگل غالب هستند. گونه Glomus verruculosum تنها در جنگل دست‌کاشت پهن‌برگ (ارغوان) مشاهده شد که احتمالاً به خاطر دامنه اکولوژیک بسیار کم این‌گونه در برابر شرایط محیطی یا اختصاصی بودن به میزبان گیاه خاص باشد که با نتایج همسو با نتایج جعفریان و همکاران (۲۰۱۸) است. همچنین گونه R. fasciculatus تنها در کاربری جنگل دست‌کاشت (پهن‌برگ و سوزنی‌برگ) و گونه G. ambisporum در همه کاربری‌ها به‌جز جنگل-کاری سوزنی‌برگ مشاهده شدند.

براساس نتایج این مطالعه کمترین میانگین تعداد اسپور در کاربری زراعی مشاهده شد. عملیات کشاورزی مانند شخم زدن زمین با به هم زدن خاک سبب قطع ارتباطات ریشه و درنتیجه کاهش همزیستی‌های قارچی می‌گردد. پایین بودن میزان تعداد اسپور قارچ در کاربری زراعی نسبت به کاربری جنگل در مطالعات چابی و همکاران (۲۰۰۸) و شفیعی و همکاران (۲۰۲۰) نیز مشاهده‌شده است. بلای و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تنوع قارچ‌های میکوریز در سه کاربری اگروفارستی، جنگل بومی و جنگل تک کشت نیز به این نتیجه رسیدند که میزان تراکم اسپور قارچ در کاربری اگروفارستری کمتر از جنگل بومی بود. مشاهده تراکم هاگ زمین کشاورزی پایین‌تر در نسبت به جنگل طبیعی یا تک کشت در مطالعه حاضر در مطالعه شارمه و همکاران (۲۰۱۴) نیز مشاهده‌شده است.

در این مطالعه نتایج نشان داد که تعداد اسپور قارچ‌های میکوریز در رویشگاه‌های مختلف بسیار متغیر بوده، چنین تنوع گسترده‌ای در تعداد اسپورها را می‌توان به وجود متغیرهای متعدد در دامنه گسترده‌ای از شرایط محیطی نسبت داد. همچنین تراکم و تنوع قارچ‌های موجود در خاک با عوامل بسیاری در ارتباط است، که ازجمله این عوامل می‌توان به ترکیب و تنوع جامعه گیاهی، توانایی اسپورزایی جنس‌های مختلف قارچ میکوریز، تراکم ریشه گیاه میزبان، حاصلخیزی خاک و خصوصیات فیزیک و-شیمیایی خاک اشاره کرد (لوورا و کونکا، ۲۰۰۷).

نتایج همبستگی تراکم جمعیت اسپوری در عمق ۵-۰ سانتی‌متر صرفاً با پتاسیم قابل‌جذب همبستگی مثبت نشان داده است. پتاسیم یک جزء ضروری از سلول‌های زنده می‌باشد که به‌عنوان یک کاتیون اصلی در تنظیم اسمزی، تقاضا برای آن بالا است و قارچ‌های میکوریز نیز برای تشکیل اسپوروفور به آن نیاز دارند (وینیچاک و همکاران، ۲۰۱۰). این نتایج با تحقیقات بورنی و همکاران (۲۰۱۱) و میرزایی و نوربخش (۲۰۱۹) مطابقت دارد. ازنظر پارامترهای فیزیکی خاک در عمق اول (۵-۰ سانتی‌متر) تراکم اسپور با رطوبت اشباع خاک همبستگی منفی نشان داد. تحت تنش خشکی قارچ‌های میکوریزی شروع به اسپور زایی کرده و افزایش می‌یابند (اومیرو و همکاران، ۲۰۱۳). از آنجایی که قارچ میکوریزی همزیستی اجباری با گیاهان دارند، بنابراین اسپورزایی در شرایط تنش خشکی یک نوع عکس‌العمل طبیعی قارچ‌هاست که از این طریق به گیاهان در جذب آب بیشتر کمک می‌کنند.

بر اساس نتایج بیش‌ترین تنوع گونه‌ای شانون‌وینر در کاربری جنگل طبیعی و مرتع مشاهده شد که از دلایل آن را می‌توان حاصلخیز بودن جنگل طبیعی و وجود مواد آلی بیشتر در این جنگل نسبت به سایر کاربری‌ها دانست. یکی دیگر از دلایل بالا بودن تنوع قارچی در کاربری‌های

جنگل طبیعی و مرتع می‌تواند به جهت تنوع گیاهی این کاربری‌ها باشد (فنینگ، ۲۰۰۶). بیشتر بودن تنوع قارچی در جنگل طبیعی نسبت به سایر کاربری‌ها با نتایج موریرا (۲۰۰۷) همسو می‌باشد. سینگ و همکاران (۲۰۰۳) نیز در مطالعه خود به نتایج مشابهی رسیدند که نشان از بیشتر بودن میزان تنوع و تراکم قارچ‌های وزیکولار آربوسکولار در جنگل‌های طبیعی نسبت به زمین زراعی بود است. علاوه بر این زوو و همکاران (۲۰۱۷) روی کاربری‌های مختلف در فلات تبت، بیشتر بودن تنوع قارچ میکوریز آربوسکولار در کاربری مرتع نسبت به جنگل یا زمین‌های زراعی را نشان داد. همچنین مطابق نتایج مطالعه حاضر غنای گونه-های قارچ میکوریز در کاربری زراعی و جنگل‌کاری سوزنی‌برگ با گونه سرو نقره‌ای کم‌ترین میزان را داشت. میزان کم شاخص غنای گونه‌ای قارچ‌های میکوریزی در جنگلکاری‌ها نسبت به سایر کاربرهای را می‌توان به پایین بودن میزان تنوع گونه‌های گیاهی کف این جنگل‌ها نسبت داد. تنوع پایین گونه‌های گیاهی کف جنگل‌کاری در مطالعه محمدنژاد کیانسری (۲۰۰۸) هم مشاهده‌شده است.

بر اساس نتایج، میزان غنا در جنگل طبیعی و کاربری مرتع بیش از سایر کاربری‌ها می‌باشد. از آنجایی که اکوسیستم‌های طبیعی دارای تنوع گیاهی بالاتری نسبت به سایر کاربری‌ها مثل جنگل‌های دست کاشت و زراعی هستند، تنوع بالای گیاهان در این مناطق می‌تواند غنای گونه‌های میکروبی بیش‌تری را به دلیل تعاملات خاص بین گیاهان و میکروارگانیسم‌ها افزایش دهد که مطالعه فراسیتو و همکاران (۲۰۱۳) بیش‌تر بودن غنا در مناطق جنگلی به دلیل تنوع گیاهی بالاتر در جنگل طبیعی نسبت به کاربری مرتع، کشاورزی و زراعت جنگلی را تأیید کرده‌اند.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر رابطه معنی‌داری بین تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و رطوبت خاک، درصد رس، درصد سیلت و میزان pH خاک مشاهده گردید. سیبی چاکراواتی و همکاران (۲۰۱۵) در خصوص تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک‌های کشاورزی در هند اثر قوی متغیرهای فسفر و pH خاک بر تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را نشان دادند که بر اساس نتایج آنان شاخص‌های تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز با فسفر و pH همبستگی منفی داشتند. درحالی‌که نتایج مطالعه حاضر همبستگی مثبت غنای گونه‌ای و تنوع شانون وینر را با pH خاک‌نشان داد. راجشکومار و همکاران (۲۰۱۵) و آمبیلی و همکاران (۲۰۱۲) نیز همبستگی منفی غنای گونه‌ای، شاخص‌های شانون با pH خاک را گزارش کردند. pH خاک عامل اصلی تأثیرگذار بر همزیستی قارچ-های میکوریز است و بر جوانه‌زنی و توسعه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار تأثیر می‌گذارد و تولیدمثل این قارچ‌ها و کلونیزاسیون ریشه را تحریک می‌کند (امینیان نسب و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین نتایج همبستگی شاخص‌های تنوع گونه‌ای قارچ و خصوصیات خاک نشان داد که غنای گونه‌ای و تنوع شانون وینر قارچ میکوریز با رس همبستگی منفی و با سیلت همبستگی مثبت داشت. این در حالی است که مطالعه محمدی و همکاران (۲۰۱۷) همبستگی مثبت رس با تنوع شانون وینر را نشان داد. میرزایی و مرادی (۲۰۱۷) نیز همبستگی مثبت تنوع و غنای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با سیلت را نشان دادند که همسو با نتیجه مطالعه حاضر می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و فراوانی اسپور قارچ‌ها در کاربری‌های مختلف متفاوت بود، به‌طوری‌که کاربری‌های طبیعی (جنگل طبیعی و مرتع) نسبت به کاربری‌های دست کاشت (جنگلکاری و زمین زراعی) از تنوع بیش‌تری برخوردارند. همچنین تراکم و فراوانی اسپور در کاربری‌های طبیعی نسبت به کاربری زراعی بیشتر بود؛ به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت که کاربری زراعی با کشت خالص یک گونه گیاهی، سبب کاهش تنوع قارچ میکوریزی می‌گردد؛ بنابراین توصیه می‌گردد برای حفظ جوامع میکوریزی، جنگل‌های طبیعی تحت حفاظت بیش‌تری قرار گیرند.

فهرست منابع

1. Ambili, K. Thomas, G.V. Indu, P. Gopal, M. & Alka, G. 2012. Distribution of arbuscular mycorrhizae associated with coconut and arecanut based cropping systems. J Agric Res, 1(4):338–345
2. Aminian Nesab, P. Sadaqati, E. Hosseini, S. and R Sabri. 2021. Investigating the effect of climate, physicochemical characteristics of soil and host on the activity of arbuscular mycorrhizal fungi in Rafsanjan region, Biological control of pests and plant diseases, 9 (2): 197-216.
3. Asghari, H. R. Amerian, M. R. & Gorbani, H. 2008. Soil salinity affects arbuscular mycorrhizal colonization of halophytes. Pakistan Journal of Biology Science, 11 (15), 1909-1915.
4. Belay, Z. Negash, M. Kaseva, J. 2020. Native forests but not agroforestry systems preserve arbuscular mycorrhizal fungal species richness in southern Ethiopia. Mycorrhiza 30, 749–759. https://doi.org/10.1007/s00572-020-00984-6.
5. Bremner, J. M. & Mulvaney. 1982. Nitrogen total, In page, A.L. Miller, R.H. Keeney, R.R. (Eds), Methods of Soil Analysis, Part 2 Second ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, 595-624 pp.
6. Brundrett, M.C. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. Advance ecological Research, 21:171-3130.
7. Burni, T. Hussain, F. & Sharief, M. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) associated with the rhizosphere of mentha arvensis L., and longifolia huds. Pakistan Journal of Botany, 43(6): 3013-3019.
8. Chaudhry, M., Saeed, M. and F. Nasim. 2013. Soil chemical heterogeneity may affect the diversity of Arbuscular-Mycorrhizal Fungi in the rhizosphere of Tamarix Aphyla under arid climate, Biologie vegetală, 59(2): 53-63.
9. Cibichakravarthy: B., Kumutha, K., Balachandar, D. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in phosphorus-deficient Alfisols of a dry North-western agro-ecosystem of Tamil Nadu, India. Ann Microbiol. 65:143‑153
10. Fracetto, G. G., Azevedo, L. C., Fracetto, F. J., Andreote, F. D., Lambais, M. R., & Pfenning, L. H. 2013. Impact of Amazon land use on the community of soil fungi. Scientia Agricola, 70(2), 59-67.
11. Hale, C. M., Frelich, L. E., Reich, P. B., & Pastor, J. 2005. Effects of European earthworm invasion on soil characteristics in northern hardwood forests of Minnesota, USA. Ecosystems, 8(8), 911-927.
12. Jafareiyan, N., Mirzaei, J., Moradi, M. and Heydari, M. 2018. Biodiversity and Colonization of Arbuscular Mycorrhizal Fungi with Some Zagros Forest Species. Journal of Forestry and Wood Products, 71 (1), 35-47.
13. Jamiołkowska, A., Księżniak, A., Gałązka, A., Hetman, B., Kopacki, M., & Skwaryło-Bednarz, B. 2018. Impact of abiotic factors on development of the community of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil: a Review. International agrophysics, 32(1), 133-140.
14. Kebebew, S., Bedadi, B., Erkossa, T., Yimer, F., Wogi, L. 2022. Effect of Different Land-Use Types on Soil Properties in Cheha District, South-Central Ethiopia. Sustainability, 14, 1323.
15. Kiers, E.T., Duhamel, M., Beesetty, Y., Mensah, J.A., Franken, O., Verbruggen, E., Fellbaum, C.R., Kowalchuk, G.A., Hart, M.M., Bago, A., Palmer, T.M., West, S.A., Vandenkoornhuyse, P., Jansa, J. and Bücking, H. 2011. Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. Science, 333: 880-882.
16. Kooch, Y., Hosseyni, S. M., Jalilvand, H., & Fallah, A. 2010. Biodiversity of environmental units in relation to soil properties in beech forest ecosystem. J. Environ. Sci, 8(1), 135-150.
17. Lovera, M., & Cuenca, G. 2007. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and mycorrhizal potential of the soil from a natural and a disturbed savannah from la gran sabana, Venezuela. Interciencia, 32(2), 108-114.

18. Manimegalai, V., Selvaraj, T., & Ambikapathy, V. 2011. Studies on isolation and identification of VAM fungi in Solanum viarum Dunal of medicinal plants. Advances in Applied Science Research, 2(4), 621-628.
19. Menyailo, O. V., Hungate, B. A., & Zech, W. 2002. Tree species mediated soil chemical changes in a Siberian artificial afforestation experiment. Plant and Soil, 242(2), 171-182.
20. Mirzaei J., & Noorbakhsh N. 2019. The relationship between soil characteristics and arbuscular mycorrhiza fungi associated with Crataegus pontica. Plant Research Journal (Iranian Biology Journal), 32(1): 237- 245
21. Mirzaei, J. & Moradi, M. 2017. Relationships between flora biodiversity, soil physiochemical properties, and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) diversity in a semi-arid forest. Plant Ecology and Evolution 150 (2): 151–159
22. Mohammadi, M., Mirzaei, J., Naji, H. R. & Moradi, M. 2017. Biodiversity and Colonization of Mycorrhizal Fungi Associated with Tamarix Trees from different Environmental Conditions. M.Sc.Thesis. Faculty of Agriculture ILAM University. 110 p.
23. Mohammadnejad Kiasari, S., Akbarzade, M, Jafari B. 2008. Investigation on the Plant Biodiversity in the Forestation Area of Needle Leaves Species (Case study: Kohsarkande-Mazandaran). JWSS, 11 (42) :611-625
24. Moreira, M., Baretta, D., Tsai, S. M., Gomes-da-Costa, S. M., & Cardoso, E. J. B. N. 2007. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in Araucaria angustifolia forest. Scientia Agricola, 64(4), 393-399.
25. Omirou, M., Ioannides, I. M., & Ehaliotis, C. 2013. Mycorrhizal inoculation affects arbuscular mycorrhizal diversity in watermelon roots, but leads to improvd colonization and plant response under water stress only. Appl. Soil Ecol. 63, 112–119.
26. Pfenning, L.H. 2006. Soil and rhizosphere microfungi from Brazilian tropical forest ecosystems. p. 341-365. In: Hyde, K.D., ed. Biodiversity of tropical microfungi. University Press, Hong Kong, China.
27. Prescott, C. E., & Grayston, S. J. 2013. Tree species influence on microbial communities in litter and soil: current knowledge and research needs. Forest Ecology and Management, 309, 19-27.
28. Rajeshkumar, P.P., Thomas, G.V., Gupta, A. 2015. Diversity, richness and degree of colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in coconut cultivated along with intercrops in high productive zone of Kerala, India. Symbiosis 65, 125–141.
29. Requena, N., Perez-Solis, E., Azcon-Aguilar, C., Jeffries, P. and Barrea, J.M. 2001. Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of decertified ecosystems. Applied Environment Microbiology, 67:495-8.
30. Salehi, A., Zarin Kafesh, M., Zahedi Amiri, AH. & Mervi the Immigrant, R. 2015. Investigation of changes in soil physical and chemical properties in relation to tree ecological groups in Nam Nam series. Nocturnal forest. Iranian Journal of Natural Resources, 58 (3): 578-567.
31. Schüßler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycological research, 105 (12), 1413-1421.
32. Shafiee, Sh., Salehi, A., & Kohneh, E. 2020. The Influence of Forest Land Use Changing into Tea Garden on Soil Chemical Properties and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Population (Case Study: Lahijan). Journal of Renewable Natural Resources Research, 11(2): 17-26.
33. Sharmah, D., & Jha, K, 2014. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in undisturbed forest, slash-and-burn field, and monoculture forest of Indo-Burma megadiverse region. Braz J Bot 37:339–351
34. Singh, S. S., Tiwari, S. C., & Dkhar, M. S. 2003. Species diversity of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi in jhum fallow and natural forest soils of Arunachal Pradesh, north eastern India. Tropical ecology, 44(2), 205-214.
35. Stürmer, S. L., & Siqueira, J. O. 2011. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. Mycorrhiza, 21(4), 255-267.

36. Talbi, Z., ASRI, A., Toati, J., CHliyeh, M., Aguil, F., Selmaoui, K., Sghir, F., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R. & Douira, A. 2015. Morphological characterization and diversity of endomycorrhizae in the rhizosphere of Carob tree (Ceratonia siliqua) in Morocco. Biolife, 3 (1): 196-211.
37. Vinichuk, M., Taylor, A.F.S., Rosén, K., & Johanson, K.J. 2010. Accumulation of potassium, rubidium and caesium (133Cs and137Cs) in various fractions of soil and fungi in a Swedish forest. Science of the Total Environment, 408: 2543-8.
38. Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, Herold, M. 2021. Global land use changes are four times greater than previously estimated. Nat Commun, 12, 2501.
39. Wehner, J., Antunes, P.M., Powell, J.R., Mazukatow, J., Rilling, M.C. 2010. Plant pathogen protection by Arbuscular mycorrhizas: A role for fungal diversity. Pedobiologia, 53: 197-201.
40. Xu, M., Li, X., Cai, X., Li, X., Christie, P., & Zhang, J. 2017. Land use alters arbuscular mycorrhizal fungal communities and their potential role in carbon sequestration on the Tibetan Plateau. Scientific reports, 7(1), 3067.

نشریه علمی زیست‌شناسی خاک / جلد ۱۱ / شماره ۱ / ۱۴۰۲/ص۶۳-۸۳
dx.doi.org/10.22092/sbj.2022.359916.242

تأثیر کابرد باکتری‌های حل‌کننده ترکیبات نامحلول روی و پودر لاستیک بر رشد و محتوای روی و آهن در گیاه ذرت

آذر نصیرزاده*، پیمان عباس زاده، محسن حمیدپور، عبدالرضا اخگر و خلیل کریمان

دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان؛ **azarnasirzadeh21@yahoo.com**

استادیار دانشگاه ولی عصر رفسنجان؛ **p.abbaszadeh@vru.ac.ir**

دانشیار دانشگاه ولی عصر رفسنجان؛ **m.hamidpour@vru.ac.ir**

دانشیار دانشگاه ولی عصر رفسنجان؛ **akhgar@vru.ac.ir**

پژوهشگر دانشگاه استرالیای جنوبی؛ **Khalil.kariman@gmail.com**

دریافت: ۱۴۰۱/۶/۲۲ و پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۱

«مقاله پژوهشی»

چکیده

لاستیک‌های ماشین حاوی مقادیر قابل‌توجهی عنصر روی هستند، از این رو، ضایعات لاستیک می‌توانند منبع بالقوه روی برای گیاهان باشند. مطالعه حاضر جهت بررسی اثر سویه‌های سودوموناس حل‌کننده ترکیبات‌نامحلول روی و پودر ضایعات‌لاستیک بر رشد و تغذیه ذرت اجرا شد. نتایج مطالعه آزمایشگاهی نشان داد که ۱۲ جدایه قادر به انحلال روی موجود در پودرلاستیک در محیط مایع بودند. در همین راستا pH محیط حاوی باکتری A2 نسبت به شاهد کاهش ۶۶ درصدی را نشان داد. پژوهش گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در بستر کشت شن‌استریل انجام شد. فاکتورها شامل باکتری‌های سودوموناس در شش سطح (بدون تلقیح (C) و تلقیح با پنج سویه سودوموناس (B1 تا B5)) و تیمار روی از منبع پودر لاستیک در چهار سطح ۰ (C)، ۱۰۰ (T1)، ۲۰۰ (T2) و ۳۰۰ (T3) میلی‌گرم درکیلوگرم روی (به ترتیب معادل ۰، ۹، ۱۸ و ۲۷ گرم پودر لاستیک در کیلوگرم شن) بود. نتایج نشان داد که اثرات اصلی تیمارها بر پارامترهای کلروفیل فلورسانس (Fv/Fm)، شاخص سبزینگی (SPAD)، شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) و وزن خشک اندام‌هوایی معنی‌دار شد. با کاربرد سویه‌های باکتری و افزایش در میزان پودر لاستیک، میزان هر یک از این پارامترها افزایش معنی‌دار یافت. کاربرد سطح T3 لاستیک به همراه تلقیح با تمامی جدایه‌ها باعث افزایش پارامترها (به ترتیب افزایش ۱/۳۳ ، ۱/۰۲ و ۱/۲۸ برابری در مقدار SPAD، Fv/Fm و PI) در مقایسه با تیمار شاهد شد. وزن خشک ریشه و غلظت روی در اندام‌هوایی و ریشه ذرت تحت تاثیر اثر متقابل تیمارها قرارگرفت. بیشترین مقدار وزن خشک ریشه گیاه در تیمار B3+T3 (افزایش ۲/۱۴ برابری نسبت به شاهد) مشاهده شد. غلظت روی در اندام‌هوایی در تیمار B4+T3 بیشترین مقدار را داشته که افزایش معنی‌دار و ۲۰ برابری نسبت به شاهد داشت. بیشترین غلظت روی در ریشه در حضور سویه‌های B3 و B2 در سطح T3 پودر لاستیک بود که به ترتیب ۲۵ و ۲۲ برابر نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشت. بیشترین میزان غلظت آهن در اندام‌هوایی و ریشه گیاه مربوط به کاربرد سطح T3 پودر لاستیک به ترتیب با مقدار ۲۸/۳ و ۳۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک بود. همچنین، سویه‌های باکتری باعث افزایش معنی‌دار غلظت آهن اندام‌هوایی نسبت به شاهد شدند ولی تفاوت معنی‌داری بین سویه‌ها مشاهده نشد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پودر لاستیک تلقیح شده با جدایه‌های باکتری می‌تواند تاثیر زیادی در رشد و بهبود عملکرد گیاه داشته باشد.

واژه های کلیدی: باکتری‌های حل کننده روی، پودر لاستیک، پارامترهای رویشی، عناصر غذایی

* آدرس ایمیل نویسنده:azarnasirzadeh21@yahoo.com

CC BY

مقدمه

هر سال مقدار زیادی لاستیک‌ها فرسوده می‌شود. این حجم عظیم از ضایعات لاستیکی که ۱۲ درصد از زباله‌های جامد را تشکیل می‌دهند، باعث ایجاد مشکلات و نگرانی‌های زیست محیطی شده است (هولست و همکاران، ۱۹۹۸). با توجه به اینکه دفن زباله لاستیک‌های فرسوده از نظر قانونی در کشورهای مختلف ممنوع است، بنابراین روش‌های جدید بازیافت لاستیک‌های فرسوده مورد توجه زیادی قرار گرفته است (گی‌یر و همکاران، ۲۰۰۴).

لاستیک ماشین عمدتاً از ۵۰ درصد کائوچو، ۲۶ درصد کربن سیاه، ۱۰ درصد ترکیبات فلزی، ۶ درصد ترکیبات اکسید روی و اسید استئاریک و ۵ درصد سیم‌های مفتولی تشکیل شده است (کینوشیتا و همکاران، ۲۰۰۵). روی موجود در لاستیک به‌صورت ZnO و گاهی به‌صورت ترکیب با گوگرد وجود دارد (آداچی و تاینوشا، ۲۰۰۴). لاستیک به‌طور معمول ممکن است حاوی عناصری نظیر Zn، Ti، Si، K، Ca، Fe، S و Mg باشد. به طور متوسط لاستیک دارای یک تا دو درصد روی است (آداچی و همکاران، ۲۰۰۴). در حالی که غلظت عناصر سنگین در آن ناچیز می‌باشد و ممکن است به عنوان یک منبع کودی مؤثر و ایمن برای تأمین این عنصر غذایی بدون خطر آلودگی فلزات سنگین استفاده شود (چنی، ۲۰۰۷; طاهری و همکاران، ۲۰۱۱).

روی یکی از عناصر کم مصرف مهم در سلامت انسان و گیاه است که فعالیت‌های بیوشیمیایی زیادی را در سوخت و ساز بدن انسان و رشد و نمو گیاهان بر عهده دارد. با توجه به این‌که بسیاری از اکسیدانت‌ها در حضور عناصر کم‌مصرف فعال می‌شوند، به نظر می‌رسد وجود عنصری مثل روی برای ایجاد مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی مهم است. به‌طور کلی غلظت روی مورد نیاز در بافت‌های گیاهی کم و به مقدار ۸ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است، اما همین مقدار کم تأثیر قابل‌توجهی بر رشد گیاه و سلامت انسان دارد (آلووی، ۲۰۰۸). طاهری و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که پودر لاستیک خودرو و خاکستر حاصل از آن تا حد کفایت غلظت روی قابل جذب خاک را افزایش می‌دهد و این افزایش بیشتر از هنگامی است که از کودهای تجاری روی استفاده می‌شود. نتایج این پژوهشگران نشان داد در خاک‌های تیمار شده با سولفات روی، با گذشت زمان غلظت روی قابل جذب خاک به سرعت کاهش می‌یابد، در حالی که در خاک‌های تیمار شده با پودر لاستیک تایر غلظت روی قابل جذب خاک به تدریج افزایش می‌یابد.

کاربرد لاستیک در خاک‌های کشاورزی با کمبود روی می‌تواند با تجزیه توسط ریزجانداران خاک علاوه بر روی مقداری کلسیم، آهن و گوگرد را فراهم کند. از طرف دیگر، گوگرد آزاد شده نقش اصلاحی برای کاهش pH خاک‌های آهکی خواهد داشت (نیومن و منلی، ۲۰۰۶). در مطالعات متعدد از ضایعات لاستیک به صورت قطعات کوچک (چنی، ۲۰۰۷)، پودر (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۱۲)، خاکستر (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۱۳; طاهری و همکاران، ۲۰۱۱)، نانوذرات (طاهری و همکاران، ۲۰۱۱)، نیترات روی حاصل از اسیدشویی قطعات لاستیک (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۱۲) و پودر لاستیک تلقیح شده با تیمارهای میکروبی (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۱۲) برای تأمین روی استفاده شده است.

یکی از راهکارهای تسریع آزادسازی روی و گوگرد از لاستیک‌های فرسوده، تلقیح میکروبی آنها با باکتری‌های تجزیه کننده لاستیک و حل‌کننده عناصر می‌باشد (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۱۲). گزارش شده است که ریزجانداران مختلف توانایی تجزیه لاستیک‌های فرسوده را داشته و از این طریق سبب کاهش خطرات زیست‌محیطی این ضایعات نیز می‌شوند. لاستیک فرسوده می‌تواند به عنوان بسترهای (ماده اولیه) برای ریزجانداران استفاده شود. ریزجانداران قادر به شکستن پیوند گوگرد-گوگرد و گوگرد-کربن موجود در لاستیک هستند (جیانگ و همکاران، ۲۰۱۰). تجزیه زیستی لاستیک یک فرآیند

آهسته بوده و رشد باکتری‌هایی که از لاستیک به عنوان تنها منبع کربن استفاده می‌کنند نیز آهسته می‌باشد (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۱۳). تاکنون باکتری‌های مختلفی مانند Rhodococcus rhodochrous ، Corynebateria و Pseudomonas توسط محققین مختلف به عنوان تجزیه کننده لاستیک گزارش شده است (هارون و همکاران، ۲۰۰۴). ریزجانداران با شکستن ترکیب مرکاپتوبنزوتیازول[۱] (MBT) و برخی ترکیبات سمی دیگر درون لاستیک و همچنین تجزیه‌زیستی آن، آزادسازی عناصر و استفاده از ترکیبات مفید درون لاستیک را تسهیل می‌کنند. R. rhodochrous و Escherichia coliترکیب MBT را شکسته و باعث افزایش رهاسازی روی از لاستیک می‌شوند (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۱۲). Pseudomonas putida strain HKT554 قادر به تخریب MBT و ۲-متیل بنزوتیازول [۲] (MTBT) موجود در لاستیک می‌باشد (ال‌باسی و همکاران، ۲۰۱۰). تیوباسیلوس و رودوکوکوس قادرند که پیوندهای گوگردی ترکیبات لاستیک را از هم جدا کنند. در مطالعات خوشگفتارمنش و همکاران (۲۰۱۲) استفاده همزمان از Rhodococcus erythropolis ، Acinetobacter calcoaceticus و Escherichia coli باعث افزایش اکسیداسیون گوگرد لاستیک شد (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۱۲).

اگرچه مطالعات زیادی در مورد استفاده از لاستیک به عنوان اصلاح‌کننده خاک و کود کندرهای روی در سالیان اخیر انجام شده است. ولی نقش باکتری‌های سودوموناس حل‌کننده روی در آزادسازی روی از این ترکیبات در خاک‌های آهکی کمتر مطالعه شده است. بنابراین هدف اصلی این تحقیق بررسی اثر کاربرد باکتری‌های سودوموناس بر حلالیت و آزادسازی روی موجود در پودر لاستیک و میزان جذب روی توسط گیاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه پودر لاستیک[۳](TWP) و تجزیه‌های شیمیایی آن

پودر لاستیک با اندازه کوچکتر از ۰/۶ میلی‌متر از شرکت ایساتیس استان یزد تهیه شد (جدول ۱). برای تعیین غلظت کل عناصر در لاستیک، ۴ گرم از هر نمونه به خوبی با ۰/۹ گرم میکروپودر PM Licowax C (Clariant , Switzerland) مخلوط شده، تکان داده شد و سپس با استفاده از دستگاه (Specac PT. No. 3350) به صورت گلوله فشرده شد. سپس قرص‌ها با استفاده از طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRF[۴]) و با استفاده از نرم‌افزار SPECTRO X-LAB 2000، (SPECTRO Analytical Instruments, Germany) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند (جدول ۱).

تهیه سویه‌های باکتری

تعداد ۱۴ سویه باکتری Pseudomonas و Stenotrophomonas (با صفات محرک رشدی مشخص) که توان حل‌کنندگی روی، تولید سیدروفور و حل‌کنندگی فسفات‌های نامحلول را دارا بودند از کلکسیون باکتریایی گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر رفسنجان انتخاب شدند (جدول ۲)، از کلکسیون باکتری‌های گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان انتخاب و بعد از انتقال از دمای ۸۰- درجه سلسیوس به محیط آزمایشگاه، بر روی محیط کشت جامد King B کشت داده شد و خالص بودن و توان رشد باکتری‌ها بررسی شد. برخی از خصوصیات محرک رشدی سویه‌های مورد نظر در جدول ۲ گزارش شده است.

---

۱. mercaptobenzothiazole

۲. methyl-benzothiazole

۳. Tire waste powder

4. X-ray fluorescence

جدول ۱- نتایج آنالیز عنصری نمونه‌های لاستیک آسیاب شده با استفاده از XRF

عنصر	واحد	مقدار
Zn	%	۱۳/۳
Fe	%	۰/۹۴
Cu	%	۰/۱۴
Mn	$mg\ kg^{-1}$	۷۸
Pb	%	۰/۱۳
Cd	%	۰/۶
Na	%	۰/۸۵
K	%	۰/۳۰
Sr	$mg\ kg^{-1}$	۲۳۹
Si	%	۰/۵۸
Ca	%	۱/۴۲
S	%	۱۲/۷۹
Ti	$mg\ kg^{-1}$	۲۸۸
Zr	$mg\ kg^{-1}$	۳۴۴
Re	%	۳/۳۲
Ga	$mgkg^{-1}$	۷۵۳
Sn	$mg\ kg^{-1}$	۷۴

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های محرک رشد سویه‌های انتخاب شده

	تولید اکسین ($mg\ L^{-1}$)	حلالیت روی ($mg\ L^{-1}$)	حلالیت فسفر ($mg\ L^{-1}$)	تولید سیدروفور (نسبت هاله به کلنی)
Pseudomonas fluorescens A11	۰/۳۸	۶۵/۸	۵۹۵	۱/۲۰
Pseudomonas sp. A12	۰/۴۳	۳۵/۹	۷۰۸	۱/۰۰
Stenotrophomonas sp. A22	۳/۲	۳/۱۰	۴۸۴	۱/۲۰
Pseudomonas sp.A2	۲/۶۴	۲۸/۵	۶۶۸	۱/۱۰
Pseudomonas sp. A1	۳/۳۵	۳/۲۰	۶۹۵	۱/۵۰
Pseudomonas sp.A5	۲/۵۸	۹۲/۴	۷۴۵	۱/۲۰
Pseudomonas sp. A6	۱/۸۵	۱۰۰	۵۲۴	۱/۰۰
Pseudomonas cedrina K5		۴/۵۰	۴۲۰	۱/۶۰
Pseudomonas fluorescens.D14	۰/۷۴	۶۷/۴	۴۸۲	۱/۳۷
Pseudomonas cedrina K4		۹/۷۶	۶۲۰	۱/۰۰
Pseudomonas fluorescens.D10	۱/۲۱	۵۴/۵	۴۱۲	۲/۶۷
Pseudomonas fluorescens.D1	۱/۱۷	۵/۷۱	۶۵۰	۲/۰۱
Pseudomonas fluorescens.D23	۶/۵۹	۱۵/۹	۲۹۳	۲/۱۸
Pseudomonas fluorescens.D12	۲/۳۸	۴/۵۲	۵۶۵	۲/۴۱

بررسی توانایی باکتری‌ها در حل روی از منبع پودر لاستیک

برای این منظور از محیط مایع PKV[۱] (۰/۵ گرم $(NH_4)_2SO_4$، ۰/۵ گرم $MgSO_4.7H_2O$، ۰/۳گرم NaCl، ۰/۳ گرم KCl، ۰/۰۳ گرم $FeSO_4.7H_2O$، ۰/۰۲گرم $MnSO_4.H_2O$ و ۱۰ گرم گلوکز در لیتر) که حاوی پنج گرم در لیتر KH_2PO_4 (منبع فسفر محلول) می‌باشد، استفاده شد. در اندازه‌گیری حل‌کنندگی روی به وسیله باکتری در محیط PKV، از دو گرم در لیتر ZnO به‌عنوان منبع روی استفاده می‌شود. در این بخش ZnO حذف شده و از پودر لاستیک به‌عنوان منبع روی استفاده شد. براساس محاسبات انجام شده مقدار یک گرم لاستیک در ۳۰

۱. Pikovskaya

میلی‌لیتر محیط کشت (معادل دو گرم ZnO در یک لیتر) استفاده شد (آذرمی و همکاران، ۲۰۱۶). مقدار یک گرم پودر لاستیک به هر ارلن حاوی ۳۰ میلی‌لیتر محیط PKV به‌عنوان منبع روی اضافه شده و اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار انجام گرفت. ابتدا باکتری‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در محیط King B کشت داده سپس ۱۰۰ میکرولیتر از تعلیق تازه باکتری به ۳۰ میلی‌لیتر محیط PKV منتقل شدند. نمونه‌ها برای مدت ۱۲۰ ساعت شیک و سپس pH آنها قرائت شد. هم‌زمان با عملیات فوق، تعلیق باکتری‌ها سانتریفوژ (با دور ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه) و یک میلی‌لیتر از محلول رویی با محیط PKV به نسبت ۱:۵۰ رقیق شده و مقدار روی محلول در نمونه‌های تلقیح شده با باکتری و لاستیک و همچنین شاهد با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (سراوانان و همکاران، ۲۰۰۴). در انتها جدایه‌هایی که قادر به حل‌کنندگی بیشتر روی موجود در پودر لاستیک هستند به‌عنوان سویه‌های برتر در مطالعات بعدی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

کشت ذرت در شن

با توجه به نتایج حاصله از آزمایش پیمانه‌ای پنج باکتری که دارای بیشترین حل‌کنندگی روی موجود در لاستیک بودند جهت انجام کشت گلخانه‌ای انتخاب شده و مورد استفاده قرار گرفتند (Pseudomonas sp A5 ، Pseudomonas cedrina K5، Pseudomonas sp A2، Pseudomonas fluorescens A11 و Pseudomonas fluorescens D12.). آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل باکتری‌های سودوموناس در شش سطح بدون تلقیح و تلقیح با جدایه‌های Pseudomonas sp A5 ، K5 Pseudomonas cedrina، Pseudomonas sp A2، Pseudomonas fluorescens A11 و Pseudomonas fluorescens D12. (به ترتیب Ctrl:B0، B1:A5، B2:K5، B3:A2، B4:A11 و B5:D12 نام گذاری شدند) و تیمار روی در چهار سطح ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم از منبع لاستیک (به ترتیب معادل ۰، ۹، ۱۸ و ۲۷ گرم پودر لاستیک در کیلوگرم شن) بودند.

برای این بخش از آزمایش گلخانه‌ای، از نمونه‌های شن کوارتزی به عنوان بستر کشت استفاده شد. شن کوارتزی مورد استفاده از معدن سیلیس همدان تهیه و میانگین قطر ذرات آن در محدوده ۰/۳ تا ۱ میلی‌متر بود. نمونه‌های تهیه شده ابتدا با آب شستشو گردید، سپس در محلول ۰/۵ مولار HCl به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. مجدد با آب مقطر شسته و به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شد و سپس در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت دو ساعت درون اتوکلاو استریل گردید. آزمایش در ۷۲ گلدان پلی‌اتیلن دو کیلوگرمی شامل مخلوط شن کوارتزی به عنوان ماده پرکننده و تیمار روی از منبع پودر لاستیک، انجام شد. بدین منظور در ته هر گلدان دو برگ کاغذ صافی قرار داده شد. سپس ۵۰۰ گرم شن کوارتزی روی آن ریخته شد. پس از آن مخلوط شن و پودر لاستیک (با توجه به تیمار مربوطه، مقدار گرم پودر لاستیک محاسبه شده برای هر تیمار با یک کیلوگرم شن مخلوط شد) ریخته و در انتها ۵۰۰ گرم شن باقی مانده در سطح گلدان قرار داده شد.

آماده‌سازی بذور و مایه‌تلقیح

بذرهای ذرت رقم سینگل کراس ۲۰۴ مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا بذرها به‌مدت پنج الی ۱۰ دقیقه در محلول وایتکس ۲۰ درصد ضدعفونی شدند، سپس به مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۹۶ درصد قرار داده شدند. برای حذف هیپوکلریت سدیم از سطح بذرها، چندین بار (۸ تا۱۰ بار) شستشو با آب مقطر استریل انجام شد. سپس بذرهای استریل شده در پلیت‌های حاوی محیط کشت آب-آگار قرار داده شدند و به مدت سه روز در دمای ۲۸ درجه سلسیوس در انکوباتور قرار داده شدند تا جوانه‌دار شوند.

به‌منظور تهیه مایه تلقیح از هر یک جدایه‌ها، بعد از خالص‌سازی در محیط کشت جامدKing B ، مقداری از

باکتری‌ها به درون ارلن‌های حاوی ۲۵ میلی‌لیتر محیط کشت مایع NB[1] تلقیح گردیدند و به مدت ۴۸ ساعت با ۱۵۰ دور در دقیقه در دمای ۲۸ درجه سلسیوس شیک شدند. مجددا مقدار ۵۰ میکرولیتر از سوسپانسیون هر باکتری برداشته و به ارلن‌های حاوی ۲۵۰ میلی‌لیتر محیط کشت NB جدید منتقل گردیدند و به مدت ۴۸ ساعت شیک شدند. سوسپانسیون‌های تهیه شده پس از همسان نمودن تراکم آن با جمعیت $۱۰^۸$ ($CFU\ mL^{-1}$) به‌عنوان مایه تلقیح مورد استفاده قرار گرفتند.

کاشت در گلدان‌ها

ابتدا در هر گلدان ۸ بذر جوانه زده در عمق 3 سانتیمتری قرار داده شد. برای تلقیح، بر روی هر بذر یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون جدایه‌های مورد نظر ریخته شد. چهار هفته پس از کاشت، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به پنج عدد کاهش داده شد. آبیاری گلدان‌ها با محلول هوگلند (شامل $NH_4H_2PO_4$ ۱۱۵ گرم، KNO_3 ۱۰۷ گرم، $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ ۲۳۶ گرم، $MgSO_4.7H_2O$ ۲۴۶ گرم، Fe.EDDHA ۵ گرم، H_3BO_3 ۰/۳۸ گرم، $MnSO_4.4H_2O$ ۱/۰۲ گرم، $CuSO_4.5H_2O$ ۰/۰۸ گرم و $(NH_4)_2MoO_4.4H_2O$ ۰/۰۲ گرم در لیتر) بدون منبع روی (هوگلند و آرنون، ۱۹۵۰) بلافاصله بعد از کشت آغاز شد. آبیاری این گلدان‌ها نیز با ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و به‌صورت یک روز در میان انجام گرفت.

اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر

قبل از برداشت گیاه شاخص سبزینگی برگ (SPAD) که نشان دهنده میزان کلروفیل می‌باشد با استفاده از دستگاه SPAD-502 اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل فلورسانس، چند برگ جوان و توسعه‌یافته در هر گلدان انتخاب و به‌مدت ۲۰ دقیقه جهت سازگاری به تاریکی به‌وسیله گیره‌های مخصوص از تابش نور محافظت و نسبت کلروفیل فلورسانس متغیر به کلروفیل فلورسانس حداکثر (Fv/Fm) توسط دستگاه کلروفیل فلورسانس متر(Hansatech LTD Pocket, UK) اندازه‌گیری شد. بعد از برداشت گیاهان ویژگی‌های رویشی شامل وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی اندازه‌گیری شد. گیاهان بعد از برداشت از ناحیه طوقه به دو قسمت ریشه و اندام‌هوایی تفکیک و ریشه‌ها و اندام‌هوایی بعد از شستشو با آب مقطر و به‌منظور خشک شدن به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس درون آون قرار داده و در نهایت نمونه‌ها وزن شدند.

برای اندازه‌گیری عناصر از روش خشک‌سوزانی استفاده شد (چپمن، ۱۹۶۵) برای این منظور نمونه‌های گیاهی خشک شده در آون آسیاب گردید. نیم گرم از نمونه‌های پودر شده را در بوته‌های چینی ریخته و ابتدا به‌مدت 2 ساعت در دمای 250 درجه سلسیوس و سپس چهار ساعت در دمای 500 درجه سلسیوس درون کوره قرار داده شدند تا خاکستر سفید رنگی حاصل شود. پس از سرد شدن نمونه‌ها، پنج میلی‌لیتر اسیدکلریدریک دو نرمال به آنها اضافه و به درون بالن 50 میلی‌لیتری صاف و با آب مقطر به حجم رسانده شد. از این عصاره به‌طور مستقیم برای اندازه‌گیری عناصر روی، آهن، سرب و کادمیوم استفاده شد. غلظت عناصر فلزی در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی (GBC Avanta) قرائت گردید. نتایج بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS.9.1 تجزیه آماری شده مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت و نمودارها و جداول مربوطه با استفاده از برنامه‌های Excel و Word رسم و نتایج تفسیر گردید

نتایج و بحث

توان حل‌کنندگی روی از پودر لاستیک توسط باکتری‌ها

نتایج نشان داد که بعد از گذشت پنج روز تعداد ۱۲ جدایه از ۱۴ جدایه مورد آزمایش قادر به حل کردن مقدار زیادی از ترکیبات روی موجود در پودر لاستیک بودند. در همین راستا با اندازه‌گیری pH محیط کشت مشخص شد

[1] Nutrient broth

که باکتری‌هایی که قادر به حل‌کنندگی روی بودند به طور چشمگیری pH محیط را نسبت به نمونه شاهد کاهش دادند. با توجه به جدول ۳ میزان روی در نمونه شاهد برابر با ۵/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در اندازه‌گیری روی مربوط به محیط حاوی باکتری‌ها، باکتری A2 با مقدار ۱۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین و باکتری A22 با مقدار ۷/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمترین حلالیت روی را داشتند. مقایسه محیط حاوی باکتری A2 با نمونه شاهد نشان داد که میزان روی در محیط باکتری A2 ۲۵ برابر افزایش داشته است. همچنین مقدار pH محیط باکتری A2 برابر با ۳/۳۰ و محیط شاهد برابر با ۵/۴۷ اندازه‌گیری شد که نشان داد میزان pH در محیط باکتری A2 نسبت به نمونه شاهد ۶۶ درصد کاهش داشته است (جدول ۳). با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که با کاهش pH محیط میزان روی آزاد شده از پودر لاستیک افزایش یافت است و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کاهش pH و افزایش میزان حلالیت روی توسط باکتری، وجود داشت.

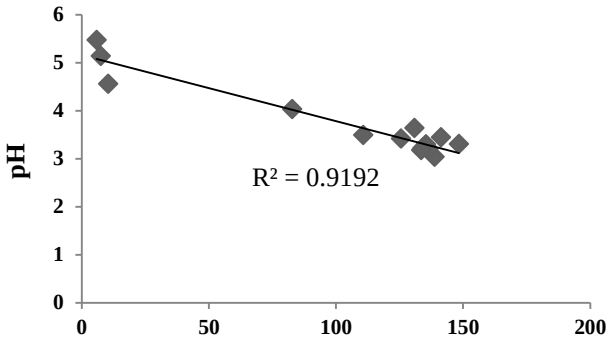
کاربرد باکتری‌های سودوموناس باعث افزایش انحلال و آزادسازی روی از لاستیک شده و در نتیجه‌ی فعالیت این باکتری‌ها pH نیز کاهش زیادی داشت. ساراوارنان و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که دو گونه باکتری Bacillus و Pseudomonas توانایی انحلال ترکیبات کم محلول روی مانند سولفید روی، اکسید روی و کربنات روی را در محیط مایع داشتند. در پژوهشی دیگر پتانسیل بالای جدایه Pseudomonas aeruginosa در انحلال ترکیب اکسید روی در محیط مایع گزارش شد (فسیم و همکاران، ۲۰۰۲). گونه باکتریایی Rhodococcus spp. و Escherichia coli در تجزیه لاستیک ولکانیزه استفاده شده است که نتایج موفقیت آمیزی به دنبال داشتند (هارون و همکاران، ۲۰۰۴). توانایی باکتری برای استفاده از لاستیک به عنوان منبع غذایی (همراه با ظرفیت انحلال روی) از اهمیت بالایی برخوردار است، که برای سویه سودوموناس آئروژینوزا AL98 که قادر به تجزیه لاستیک طبیعی بود گزارش شده است (چنگلرایان و دابس، ۲۰۱۳). ال-باسی و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند ر.اریتروپلیس و سودوموناس پوتیدا قادر به تخریب MBT (مرکاپتوبنزوتیازول) موجود در لاستیک تایر هستند و در حضور سودوموناس پوتیدا، رهاسازی روی از لاستیک تایر افزایش یافت. احتمالاً شکستن پیوندهای کربن توسط این گونه باعث تخریب ساختار لاستیک شده است.

باکتری‌ها با ترشح موادی از جمله اسیدهای آلی و پروتون می‌توانند موجب کاهش pH محیط و در نهایت افزایش انحلال ترکیبات روی گردند (شهاب و احمد، ۲۰۰۸).

جدول ۳- اثر کاربرد جدایه‌های باکتری بر آزادسازی روی لاستیک و pH در محیط کشت باکتری

جدایه سودوموناس	حلالیت روی ($mg\ kg^{-1}$)	pH
K5	۱۳۴$^{a-b}$	۳/۲۲$^{f-g}$
D14	۱۳۹^{a}	۳/۰۴^{g}
K4	۸۲/۷^{c}	۴/۰۳^{d}
D10	۱۳۶^{a}	۳/۲۱$^{f-g}$
A2	۱۴۸^{a}	۳/۳۰$^{f-g}$
D1	۱۴۱^{a}	۳/۴۴$^{e-f}$
A6	۱۱۱^{b}	۳/۴۹$^{e-f}$
A5	۱۲۵$^{a-b}$	۳/۴۲$^{e-f}$
D23	۱۳۵^{a}	۳/۳۰$^{f-g}$
A11	۱۳۶^{a}	۳/۲۰$^{f-g}$
A22	۷/۴۵^{d}	۵/۱۴^{b}
A1	۱۰/۳^{d}	۴/۵۵^{c}
A12	۱۳۳$^{a-b}$	۳/۱۸$^{f-g}$
D12	۱۳۱$^{a-b}$	۳/۶۳^{e}
Control	۵/۸۰ ^{d}	۵/۴۷^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD می‌باشند



شکل ۱- همبستگی بین pH سوسپانسیون حاوی پودر لاستیک و باکتری با غلظت روی

ارزیابی اثر باکتری‌های سودوموناس و کاربرد لاستیک بر پارامترهای رویشی

وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که فقط اثرات اصلی کاربرد پودر لاستیک و باکتری‌های سودوموناس، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام‌هوایی گیاه ذرت داشت. همچنین نتایج مشخص شده در جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که علاوه بر اثرات اصلی کاربرد پودر لاستیک و باکتری‌های سودوموناس، اثر متقابل این تیمارها نیز بر وزن خشک ریشه اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشته است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک به عنوان منبع روی، با افزایش در میزان پودر لاستیک به کاربرده شده میزان وزن خشک اندام هوایی گیاه نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی‌دار داشت.

بیشترین میزان وزن خشک اندام‌هوایی مربوطه به تیمار T3 با مقدار ۶/۲۸ گرم در گلدان می‌باشد که افزایش معنی‌دار و ۱/۸ برابری را نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهد (شکل ۲). کاربرد باکتری‌ها نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار میزان وزن خشک اندام‌هوایی گیاه گردیدند. جدایه‌های مختلف سودوموناس نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌داری در افزایش میزان وزن خشک اندام‌هوایی گیاه ندارند (شکل ۳). باکتری‌های مختلف جنس سودوموناس با سازروکارهایی از قبیل ترشح اسیدهای آلی، پروتون، ترکیبات کلات کننده و همچنین اسیدهای معدنی (سولفوریک، کربنیک و...) می‌توانند موجب افزایش انحلال ترکیبات کم محلول روی گردند (شهاب و احمد، ۲۰۰۸). با کاهش pH ریزوسفر جذب عناصر غذایی افزایش می‌یابد که در نهایت منجر به افزایش رشد وتوسع گیاه می‌شود. در مطالعات فلاح و بشارتی (۱۳۸۸)، تلقیح گیاه گندم با باکتری سودوموناس باعث افزایش وزن خشک گیاه شد.

اثرات متقابل باکتری و پودر لاستیک نشان داد در تیمار شاهد بدون تلقیح باکتری کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشته است. تلقیح جدایه‌های سودوموناس در سطوح مختلف پودر در مقایسه با عدم کاربرد پودر لاستیک باعث افزایش معنی‌دار میزان وزن خشک ریشه شدند و تأثیر کاربرد جدایه‌ها در بیشترین میزان تیمار پودر لاستیک (T3) به حداکثر مقدار خود رسید (شکل ۴). کاربرد باکتری B3 همراه با سطوح مختلف پودر لاستیک بیشترین اثر را بر وزن خشک ریشه نسبت به سایر جدایه‌ها و شاهد داشته است. مقدار وزن خشک ریشه در تیمار شاهد (B0+T0) برابر با ۱/۲۳ گرم در گلدان اندازه‌گیری شد و بیشترین میزان وزن خشک ریشه مربوط به تیمار B3+T3 با مقدار

عددی ۲/۶۳ گرم در گلدان می‌باشد که افزایش ۲/۱۴ برابری را نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۴). با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که تیمارهای میکروبی موجب افزایش کارایی پودر لاستیک می‌شوند. احتمالاً بهبود شرایط ریزوسفر گیاه به وسیله تیمارهای میکروبی مقدمه‌ای برای افزایش تجزیه ذرات لاستیک بوده است. با توجه به توان تولید سیدروفور توسط جدایه‌ها به نظر می‌رسد ترشح سیدروفور که کمپلکس پایداری با آهن می‌دهد آن را به‌صورت محلول و قابل دسترس در می‌آورند و از این طریق رشد گیاه را زیاد کرده و باعث بهبود پارامترهای رویشی گیاه می‌شوند. سودوموناسهای تولید کننده سیدروفور مانع جذب آهن توسط بیمارگرهای گیاهی شده و رشد گیاه را بهبود (او سیلوان و اوگارا، ۱۹۹۲).

باکتری‌ها با تولید هرمون‌های محرک رشد و توانایی انحلال ترکیبات روی موجود در لاستیک توانایی گیاه را در جذب عناصر غذایی و آب بالا برده و باعث افزایش رشد و در نتیجه افزایش وزن خشک گیاهی می‌شوند. افزایش بیوماس گیاهی پس از تلقیح با سویه‌های سودوموناس ممکن است به دلیل افزایش دسترسی به ریزمغذی‌های ضروری، به ویژه روی و آهن باشد (شفیق و همکاران، ۲۰۱۹). جدایه‌های سودوموناس مورد استفاده در این آزمایش می‌توانند ترکیبات P و Zn نامحلول در آب را حل کرده و سیدروفور تولید کنند. بنابراین رشد تحریک شده گیاهان تلقیح شده ممکن است به دلیل افزایش فراهمی زیستی روی، آهن و فسفر در خاک باشد. ساندرا وهمکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند، باکتری های حل کننده فسفات pH خاک را از طریق تولید انواع اسید های آلی کاهش می‌دهند و از این طریق سبب دسترسی بیشتر به عناصری از قبیل فسفر می شوند.

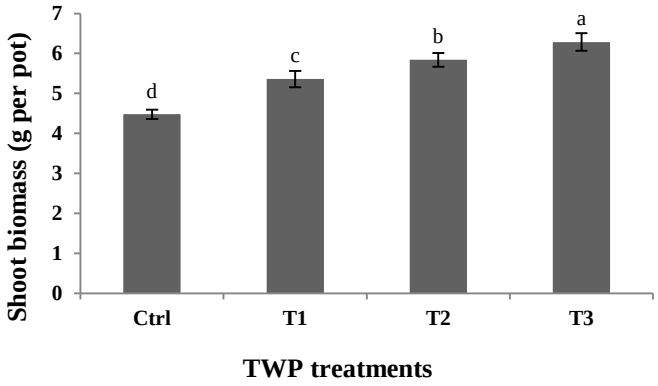
افزایش رشد گیاه در تیمارهای پودر لاستیک و سودوموناس را می‌توان به اثرات پودر لاستیک (به عنوان منبع روی و آهن) و خواص متنوع تقویت کننده رشد گیاه جدایه‌های سودوموناس مانند حل شدن مواد مغذی (از طریق آنیون‌های ترشح اسید آلی). نسبت داد (آذرمی و همکاران، ۲۰۱۶).

تأثیر استفاده از لاستیک تایر با مقادیر ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به عنوان کود روی، در افزایش رشد و عملکرد گیاهان مشاهده شده است (طاهری و همکاران، ۲۰۱۱). تلقیح لاستیک تایر با جدایه‌های باکتری در افزایش دسترسی به روی در خاک و جذب آن توسط ذرت مؤثر بوده است که این افزایش دسترسی موجب افزایش رشد و تولید ماده خشک بیشتری شده است (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۱۲).

جدول ۴- تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های رویشی در گیاه ذرت در بستر کشت شن

منابع تغییرات	درجه‌آزادی	SPAD	FV/FM	PI	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام‌هوایی
باکتری	۵	۵۶/۳۲**	۰/۰۰۱۷**	۰/۱۱ns	۱/۲۱**	۴/۰۸**
TWP	۳	۱۸۲/۷۱**	۰/۰۰۱۵**	۲/۴۴**	۱/۶۴**	۱۰/۷۶**
TWPباکتری*	۱۵	۳/۹۱ns	۰/۰۰۰۰۳ns	۰/۰۴۴ns	۰/۰۶۳**	۰/۳۵ns
خطا	۴۸	۲/۱۷	۰/۰۰۰۰۶	۰/۱۸۶	۰/۰۳۶	۰/۳۲
ضریب تغییرات		۵/۵۷	۱/۰۲۵	۱۲/۳۳	۱۰/۸	۱۰/۳۸

ns، ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD

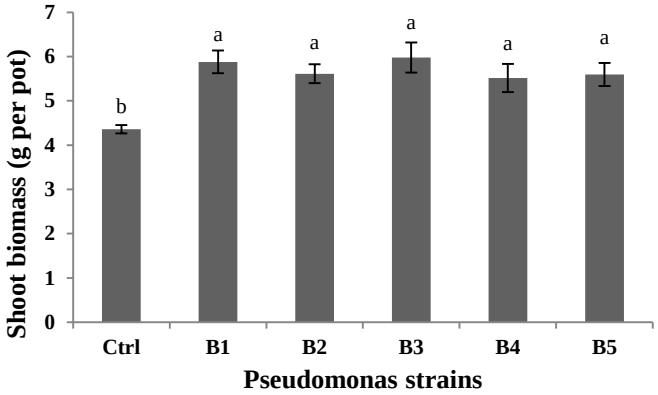


شکل ۲- اثر کاربرد سطوح مختلف لاستیک بر وزن خشک اندام‌هوایی گیاه ذرت

Ctrl: 0, T1: 100: T2: 200, T3: 300 mg Zn in kg. equal to:
Ctrl: 0, T1: 9: T2: 18, T3: 27 g TWP in kg

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

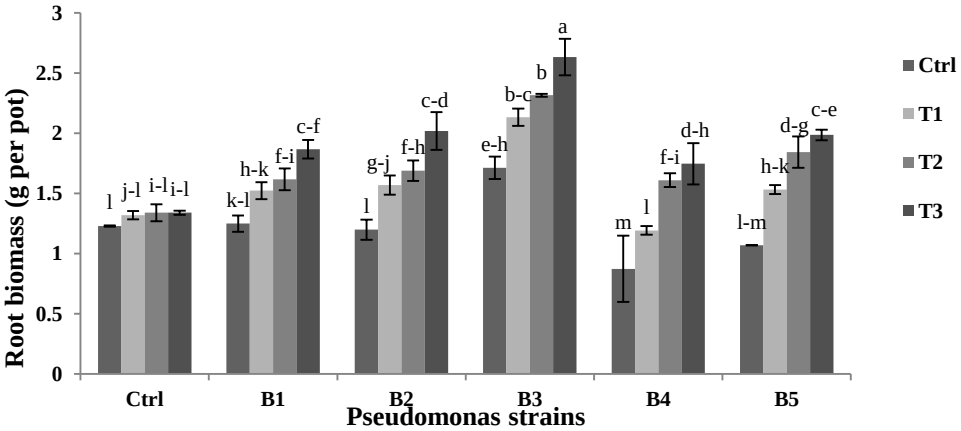
TWP: Tire waste powder، معادل تیمار پودر لاستیک مصرفی



شکل ۳- اثر کاربرد جدایه‌های سودوموناس بر وزن خشک اندام‌هوایی گیاه ذرت

Ctrl:B0 B1: A5 ،B2:K5 ،B3:A2 ،B4:A11 ،B5:D12

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند



شکل ۴- اثر کاربرد سطوح مختلف پودرلاستیک و جدایه‌های سودوموناس بر وزن خشک ریشه گیاه ذرت

Ctrl:B0 B1: A5 ،B2:K5 ،B3:A2 ،B4:A11 ،B5:D12

Ctrl: 0, T1: 100: T2: 200, T3: 300 mg Zn in kg. equal to:
Ctrl: 0, T1: 9: T2: 18, T3: 27 g TWP in kg

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

کلروفیل فلورسانس (Fv/Fm)، شاخص سبزینگی (SPAD) و شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI[1])

براساس نتایج تجزیه واریانس، مشاهده شد اثرات اصلی کاربرد پودر لاستیک و باکتری‌های سودوموناس تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل فلورسانس برگ گیاه ذرت داشته است (جدول ۴). نتایج نشان داد که کاربرد سطوح مختلف لاستیک باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل فلورسانس برگ گیاه نسبت به نمونه شاهد شد. همچنین مشاهده شد که با افزایش میزان لاستیک پارامتر کلروفیل فلورسانس برگ نیز افزایش یافت. همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود بیشترین میزان کلروفیل فلورسانس برگ در کاربرد تیمار T3 لاستیک است که میزان آن برابر با ۰/۷۷ می‌باشد. در شکل ۶ مشاهده شد که در مجموع کاربرد باکتری‌ها باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل فلورسانس برگ گیاه نسبت به نمونه شاهد شدند. نتایج نشان داد که کاربرد باکتری‌های B2 و B1 نسبت به سایر باکتری‌ها میزان کلروفیل فلورسانس برگ را بیشتر افزایش دادند که میزان آن به ترتیب برابر با ۰/۷۷ و ۰/۷۶ گزارش شد (شکل ۶).

نسبت F_v/F_m کارایی واقعی فتوسیستم II (انتقال الکترون) را نشان می‌دهد و ممکن است گیاه هیچ وقت به این مرحله نرسد. کلروفیل فلورسانس یکی از راه‌های مصرف انرژی برانگیختگی در فتوسنتز می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای در پژوهش‌های فتوسنتز به‌کار گرفته می‌شود. از کلروفیل فلورسانس برای تعیین وضعیت فیزیولوژی گیاه و میزان آسیب وارده به دستگاه فتوسنتزی استفاده می‌شود (حاکام و همکاران، ۲۰۰۰). میزان کلروفیل فلورسانس می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی و میزان خسارتی که تنش به گیاه وارد می‌کند را نشان دهد. نسبت F_v/F_m حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II برای تبدیل نور جذب شده به انرژی شیمیایی را نشان می‌دهد (سلطانی، ۲۰۰۴). تنش‌های محیطی که کارایی فتوسیستم II را تحت تأثیر قرار می‌دهند باعث کاهش این نسبت می‌گردند (کالاتایود و بارنو، ۲۰۰۴) در بهترین شرایط این نسبت برابر ۸۲ تا ۸۵ درصد (۰/۸۲ تا ۰/۸۵) است.

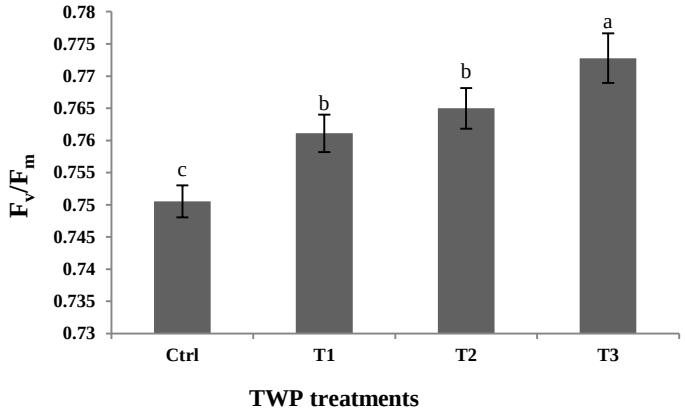
ظرفیت فتوسنتزی گیاهان به‌صورت نسبت F_v/F_m بیان می‌شود که نشان‌دهنده حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (انتقال الکترون) است. مقدار کلروفیل فلورسانس سالم بودن غشا تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I را نشان می‌دهد. کلروفیل فلورسانس معیاری از میزان کارایی فتوسنتز است و آن را به وسیله‌ی نسبت بین فلورسانس متغیر (F_v) به فلورسانس حداکثر (F_m) محاسبه می‌کنند (ژو و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فقط اثرات اصلی سطوح مختلف لاستیک و کاربرد باکتری‌های سودوموناس بر شاخص سبزینگی برگ گیاه ذرت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). براساس شکل ۷ مشاهده شد که اثر اکثر باکتری‌ها بر شاخص سبزینگی برگ گیاه ذرت معنی‌دار و افزایشی بوده است. همانگونه که شکل ۷ نشان می‌دهد باکتری B3 نسبت به سایر تیمارهای باکتری و همچنین تیمار شاهد بیشترین افزایش را در میزان شاخص سبزینگی برگ گیاه دارد. میزان این پارامتر در نمونه شاهد برابر با ۲۴/۱ و در تیمار با باکتری B3 برابر با ۲۹/۶ اندازه‌گیری شد که افزایش ۱/۲ برابری را نشان می‌دهد.

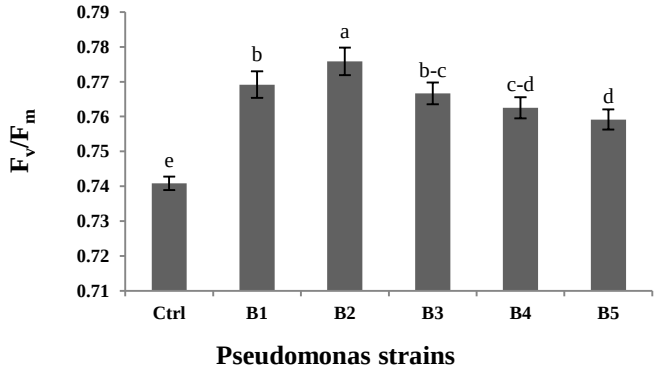
تاثیر کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک به عنوان منبع روی، بر میزان شاخص سبزینگی برگ گیاه ذرت در شکل ۸ نشان داده شده است. همانگونه که این شکل نشان می‌دهد کاربرد پودر لاستیک تأثیر زیادی بر این شاخص داشته است. بر طبق نتایج حاصله مشخص شد که سطوح مختلف پودر لاستیک باعث افزایش معنی‌دار در میزان شاخص سبزینگی گیاه شده است. بیشترین اثر بر میزان این پارامتر مربوط به سطح T3 (با مقدار ۲۹/۳) از لاستیک می‌باشد که افزایش ۱/۳۳ برابری و معنی‌دار را نسبت به نمونه شاهد (۲۱/۹) نشان می‌دهد (شکل ۸).

---

[1]. Photosynthesis index

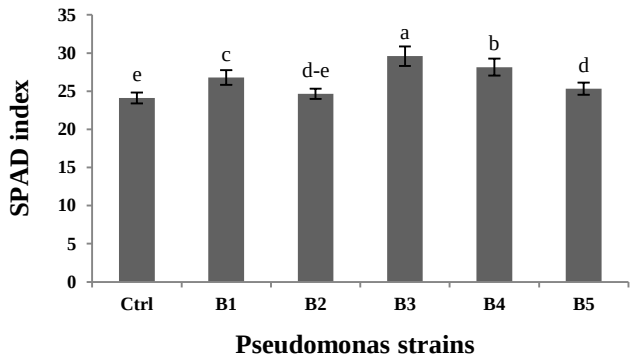


شکل ۵- اثر کاربرد سطوح مختلف لاستیک بر مقدار کلروفیل فلورسانس برگ گیاه ذرت
Ctrl: 0, T1: 100: T2: 200, T3: 300 mg Zn in kg. equal to:
Ctrl: 0, T1: 9: T2: 18, T3: 27 g TWP in kg
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

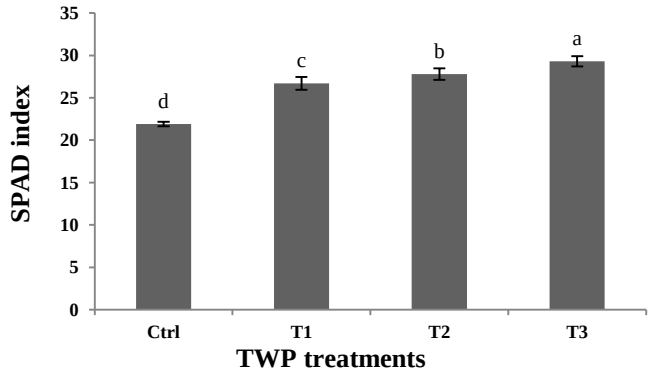


شکل ۶- اثر کاربرد باکتری‌های سودوموناس بر مقدار کلروفیل فلورسانس برگ گیاه ذرت
Ctrl:B0 B1: A5 ،B2:K5 ،B3:A2 ،B4:A11 ،B5:D12
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

SPAD محتوای کلروفیل را با تعیین شدت رنگ سبز در برگ‌ها، بر اساس کمی کردن شدت نور جذب شده توسط نمونه بافت بدون ایجاد اثرات مخرب تخمین می‌زند. شاخص سبزینگی رابطه مستقیمی با مقدار کلروفیل برگ و در نتیجه میزان فتوسنتز دارد. کلروفیل رنگدانه اصلی جذب نور و فتوسنتز در گیاه می باشد که در ساختار آن عناصر غذایی شرکت دارند. به طور کلی، انتظار می‌رود که رنگ سبز برگ با افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی خاک از جمله نیتروژن بیشتر شود (سنا جونیور، ۲۰۰۵). در آزمایش حاضر تأثیر مثبت جدایه‌های سودوموناس و کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک بر میزان شاخص سبزینگی برگ گیاه ذرت قابل مشاهده است.



شکل ۷- اثر کاربرد باکتری‌های سودوموناس بر شاخص SPAD برگ گیاه ذرت
Ctrl:B0 B1: A5 ،B2:K5 ،B3:A2 ،B4:A11 ،B5:D12
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند



شکل ۸- اثر کاربرد سطوح مختلف لاستیک بر شاخص SPAD برگ گیاه ذرت
Ctrl: 0, T1: 100: T2: 200, T3: 300 mg Zn in kg. equal to:
Ctrl: 0, T1: 9: T2: 18, T3: 27 g TWP in kg
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد، تیمارهای سطوح مختلف لاستیک به‌عنوان منبع روی و جدایه‌های سودوموناس تاثیر معنی‌داری بر روی شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) گیاه ذرت داشتند. نتایج بدست آمده از شکل ۹ نشان دهنده این است که میزان شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) با افزایش در سطوح تیماری لاستیک افزایش معنی‌دار یافته است و این به معنی بهبود عملکرد سیستم فتوسنتزی می‌باشد. کاربرد بالاترین سطح لاستیک (تیمار T3) بیشترین افزایش را در صفت موردنظر نسبت به سایر سطوح و شاهد نشان داد. میزان عددی این پارامتر در کاربرد سطح T3 لاستیک برابر با ۳/۸۵ می‌باشد.

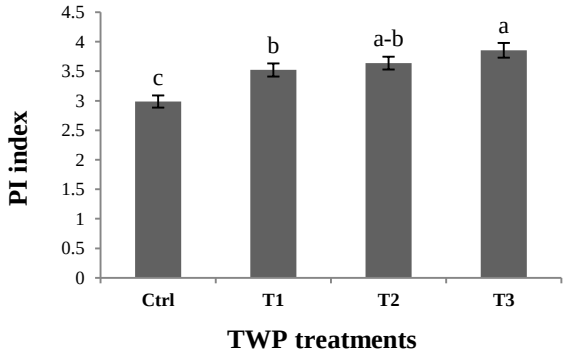
شکل ۱۰ تأثیر باکتری‌های سودوموناس بر شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) را نشان می‌دهد. شکل مورد نظر بیانگر تأثیرات مثبت جدایه‌ها بر میزان این شاخص می‌باشد و جدایه‌ها نسبت به نمونه شاهد میزان پارامتر PI را افزایش معنی‌دار داده‌اند. در بین باکتری‌های مورد استفاده جدایه‌های B3 و B1 با میزان ۳/۸۵ و ۳/۸۳ بیشترین شاخص PI را دارا بودند.

شاخص PI از مهمترین شاخص‌های فتوسنتزی گیاه است که بیان کننده میزان جذب نور و انتقال الکترون می‌باشد. این پارامتر با تکیه بر کارایی جذب نور، عملکرد کوانتومی واکنش‌های فتوشیمیایی اولیه و عملکرد کوانتومی انتقال الکترون محاسبه می‌گردد (رای و همکاران، ۲۰۰۸). تغییرات آن می‌تواند به طور کامل کارایی سیستم فتوسنتزی را نشان دهد که نتایج حاصل از این پژوهش، افزایش کارایی سیستم فتوسنتزی را در کاربرد تیمارهای مورد نظر نشان داد. به عبارت دیگر اثر

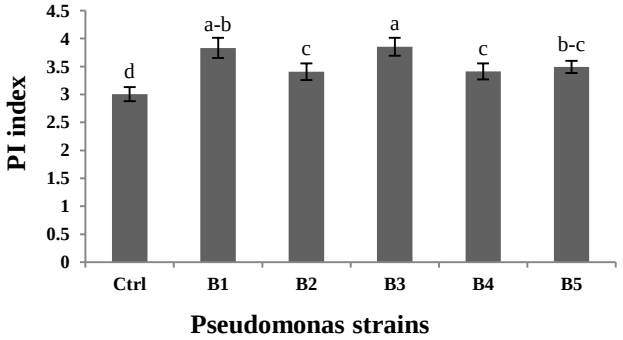
جدایه‌های سودوموناس و کاربرد پودر لاستیک به عنوان منبع روی، باعث افزایش میزان شاخص PI شده است.

باکتری‌های مختلف از جمله سودوموناس‌ها با سازوکارهایی از قبیل ترشح اسیدهای آلی، پروتون، ترکیبات کلاته کننده و همچنین اسیدهای معدنی باعث انحلال ترکیبات کم محلول روی شده و در نتیجه فراهمی و در نهایت جذب روی توسط گیاه افزایش می‌یابد که منجر به افزایش رشد گیاه می‌شود (شهاب و احمد، ۲۰۰۸). جدایه‌های سودوموناس به کاربرده شده در این پژوهش با استفاده از صفات محرک رشدی خود به ویژه توانایی انحلال ترکیبات کم محلول روی، موجب افزایش حلالیت روی موجود در لاستیک شده که در نهایت جذب و رشد گیاه بیشتر می‌شود.

افزایش غلظت روی در گیاه باعث بهبود فرآیندهای سلولی و در نتیجه افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود همچنین با اشاره به نقش فیزیولوژیکی روی در گیاه، تأثیر کودهای روی بر افزایش رشد گیاه مثبت است (دانگ و همکاران، ۲۰۱۰). تجزیه ذرات لاستیک در خاک به عنوان ترکیب کودی روی، باعث کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش فراهمی، حلالیت و جذب عناصر غذایی از جمله روی و آهن شده که به دنبال آن رشد و توسعه گیاه افزایش پیدا میکند. همچنین روی موجود در لاستیک آزاد شده و روی قابل جذب خاک نیز افزایش می‌یابد که این افزایش منجربه جذب بیشتر و رشد بیشتر گیاه شده است.



شکل ۹- اثر کاربرد سطوح مختلف لاستیک بر شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI)
Ctrl: 0, T1: 100: T2: 200, T3: 300 mg Zn in kg. equal to:
Ctrl: 0, T1: 9: T2: 18, T3: 27 g TWP in kg
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند



شکل ۱۰- اثر کاربرد جدایه‌های سودوموناس بر شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI)
Ctrl:B0 B1: A5 ،B2:K5 ،B3:A2 ،B4:A11 ،B5:D12
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

ارزیابی اثر باکتری‌های سودوموناس و کاربرد لاستیک بر غلظت عناصر در گیاه

غلظت روی در اندام‌هوایی و ریشه گیاه ذرت

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، نشان داد که تیمارهای باکتری، پودر لاستیک و اثرمتقابل آنها، تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی در اندام‌هوایی و ریشه داشتند. نتایج (شکل۱۱) نشان داد در تمامی سطوح باکتری، کاربرد پودر لاستیک به‌طور معنی‌داری غلظت روی در اندام‌هوایی گیاه را در مقایسه با شاهد مربوطه (عدم کاربرد پودر لاستیک T0) افزایش معنی‌دار داد. در تمام سطوح باکتری، بیشترین غلظت روی در اندام‌هوایی گیاه در کاربرد تیمار T3 پودر لاستیک مشاهده گردید. نتایج نشان داد که غلظت روی در اندام‌هوایی در حضور جدایه B4 و سطح T3 کاربرد پودر لاستیک، بیشترین مقدار خود را داشته است. که برابر با ۹۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه بود. این تیمار افزایش ۲۰ برابری نسبت به نمونه شاهد بدون باکتری و پودر لاستیک (B0T0) را نشان داد. همچنین کاربرد باکتری B3 نیز در سطح T3 پودر لاستیک مقدار روی موجود در اندام‌هوایی گیاه را افزایش داد که برابر با ۸۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک اندازه‌گیری شد.

برطبق نتایج حاصله مشخص شد که که کاربرد همزمان پودر لاستیک و جدایه‌های سودوموناس، غلظت روی در ریشه را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. بیشترین غلظت روی در ریشه در حضور جدایه B3 و B2 در سطح T3 کاربرد پودر لاستیک مشاهده شد که به ترتیب برابر با ۲۴۷۷ و ۲۱۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک ریشه بود. این تیمارها مقدار روی ریشه را ۲۵ و ۲۲ برابر نسبت به نمونه شاهد بدون باکتری و پودر لاستیک (B0T0) افزایش داد (شکل ۱۱).

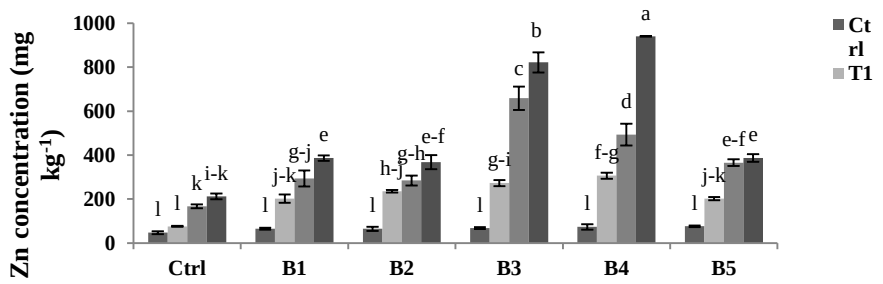
با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده شد که اضافه کردن سطوح مختلف پودر لاستیک به عنوان منبع روی در گیاهان تلقیح شده با جدایه‌های باکتری، باعث افزایش غلظت روی در اندام‌هوایی و ریشه نسبت به نمونه شاهد شده است. محتوای گوگرد در پودر لاستیک می‌تواند pH ریزوسفر را کاهش دهد که منجر به افزایش دسترسی گیاهی به سایر ریزمغذی‌ها شود. افزودن لاستیک باعث افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن (N)، پتاسیم (K)، منگنز (Mn) و غلظت روی در محیط شد (خوشگفتارمنش و همکاران، ۲۰۱۲). در مطالعات خوشگفتارمنش و همکاران (۲۰۱۲) استفاده همزمان از Rerythropolis، E coli و Acinobacter calcoaceticus باعث افزایش اکسیداسیون گوگرد ذرات لاستیک و افزایش روی قابل جذب خاک شد. هارون و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند سودوموناس توانایی شکستن MBT را دارد و تجزیه زیستی لاستیک را توسط سایر ریزجانداران تسهیل می‌کند.

چنی (۲۰۰۷) گزارش داد که لاستیک می‌تواند به عنوان کود روی مناسب در خاک آهکی دارای کمبود روی در نظر گرفته شود، اسمولدر و دگریس (۲۰۰۲) بعد از اضافه کردن ذرات کمتر ۰/۱ میلی‌متر لاستیک تایر به خاک مشاهده کردند، روند رهاسازی روی از لاستیک بسیار کند است، به طوری که بعد از یک سال تنها ۱۰ تا ۴۰ درصد از روی موجود در لاستیک به خاک اضافه شد .اما در این مطالعه تلقیح میکروبی لاستیک تایر بعد از گذشت سه هفته، توانست روی قابل جذب خاک را تا ۴۰ درصد بیشتر از شرایط کاربرد پودر لاستیک بدون تلقیح میکروبی افزایش دهد. در مطالعات خوشگفتارمنش و همکاران (۲۰۱۲) نیز کاربرد پودر لاستیک به همراه تیمار میکروبی Rerythropolis+E coli. + Acinobacter calcoaceticus بیشترین تأثیر را بر کاهش pH خاک داشت. احتمالاً اکسیداسیون گوگرد موجود در لاستیک و گوگرد بومی خاک به وسیله باکتری‌ها و تولید مقادیری دی‌اکسید کربن در اثر فعالیت‌های میکروبی از عوامل اصلی کاهش pH خاک بوده‌اند.

جدول ۵- تجزیه واریانس غلظت روی و آهن در ریشه و اندام‌هوای ذرت کشت شده در شن در کاربرد پودرلاستیک و باکتری

منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت Zn	Fe	غلظت Zn	Fe
		ریشه		اندام‌هوایی	
باکتری	۵	۱۰۹۲۸۷۲**	۲۸/۴۴**	۲۱۲۳۰۲**	۶۸۹**
TWP	۳	۸۰۴۰۶۸۳**	۲۳۹/۵۵**	۶۸۹۶۶۰**	۳۱۳۳**
باکتری*TWP	۱۵	۲۱۴۲۹۹**	۲/۸۹ns	۵۱۶۴۷**	۱۵۸/۳۲ns
خطا	۴۸	۴۲۶۲۵	۷/۴۵	۱۵۴۹	۳۷۲
ضریب تغییرات		۲۰/۴۸	۱۰/۳۳	۱۳/۴۳	۱۵/۲۱

ns، ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD



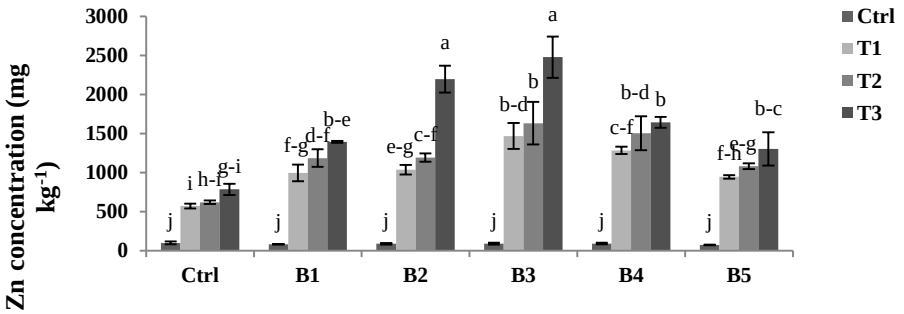
***Pseudomonas* strains**

شکل ۱۱- اثر کاربرد سطوح مختلف پودرلاستیک و جدایه‌های سودوموناس بر غلظت روی اندام‌هوایی گیاه ذرت

Ctrl:B0 B1: A5 ،B2:K5 ،B3:A2 ،B4:A11 ،B5:D12،

Ctrl: 0, T1: 100: T2: 200, T3: 300 mg Zn in kg. equal to:
Ctrl: 0, T1: 9: T2: 18, T3: 27 g TWP in kg

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند



Pseudomonas strains

شکل ۱۲- اثر کاربرد سطوح مختلف پودرلاستیک و جدایه‌های سودوموناس بر غلظت روی ریشه گیاه ذرت

Ctrl:B0 B1: A5 ،B2:K5 ،B3:A2 ،B4:A11 ،B5:D12،

Ctrl: 0, T1: 100: T2: 200, T3: 300 mg Zn in kg. equal to:
Ctrl: 0, T1: 9: T2: 18, T3: 27 g TWP in kg

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

غلظت آهن در اندام‌هوایی و ریشه گیاه ذرت

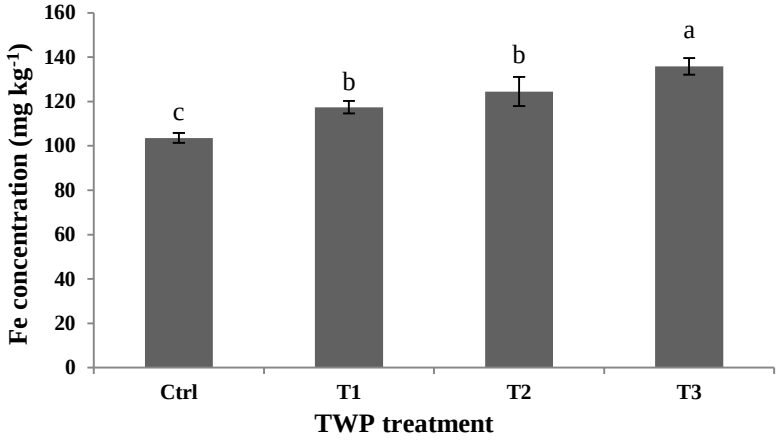
نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۵)، که فقط اثر اصلی تیمار سطوح مختلف پودر لاستیک بر غلظت آهن در اندام‌هوایی گیاه ذرت در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. براساس نتایج مشاهده شد که کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک به‌عنوان منبع روی، به‌طور معنی‌داری غلظت آهن در اندام‌هوایی را نسبت به نمونه شاهد (عدم کاربرد پودر لاستیک) افزایش داده است. مشاهدات نشان داد که کاربر سطح T1 و T2 پودر لاستیک تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشته اند اما این تفاوت در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار بود. بیشترین غلظت آهن در اندام‌هوایی مربوط به تیمار با سطح T3 پودر لاستیک می‌باشد که مقدار آن برابر با ۱۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک اندام هوایی بدست آمد. این تیمار غلظت آهن در اندام‌هوایی گیاه را ۴۰ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش داد (شکل ۱۳).

باتوجه به نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس، مشاهده شد که اثرات اصلی کاربرد جدایه‌های سودوموناس و سطوح مختلف پودر لاستیک، به صورت معنی‌داری غلظت آهن در ریشه را تحت تأثیر قرار دادند اما اثر متقابل آنها تاثیر معنی‌داری بر غلظت آهن ریشه نداشت. کاربرد تمامی جدایه‌ها به‌طور معنی‌داری غلظت آهن ریشه را در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌دار داد (شکل۱۴). کاربرد جدایه‌های B5، B3، B2 و B1 از نظر آمارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.بیشترین مقدار غلظت آهن مربوط به کاربرد جدایه B5 با مقدار ۲۸/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک ریشه بود.

کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک منجر به افزایش معنی‌دار غلظت آهن ریشه گردید (شکل ۱۵). نتایج بدست آمده از شکل ۱۵ نشان داد که کاربرد پودر لاستیک موجب افزایش غلظت آهن در ریشه گیاه ذرت شده است که این افزایش نسبت به نمونه شاهد مشخص است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش مقدار کابرد پودر لاستیک غلظت آهن نیز در ریشه افزایش معنی‌دار داشت. شکل ۱۵ نشان داد که بیشترین میزان غلظت آهن در ریشه گیاه مربوط به کاربرد سطح T3 از پودر لاستیک به مقدار ۳۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک ریشه بود.

کاربرد ذرات لاستیک باعث کاهش موضعی pH و افزایش غلظت روی، آهن و فسفر قابل جذب خاک میشود. مهمترین دلایل تأثیر باکتری‌ها بر انحلال و آزادسازی عناصر عبارتند از: کاهش pH در اثر ترشح پروتون، آمینواسید و اسیدهای آلی و ترکیب شدن عناصر فلزی با لیگاندهای آلی ترشح شده توسط باکتری‌ها (آذرمی و همکاران، ۲۰۱۶).

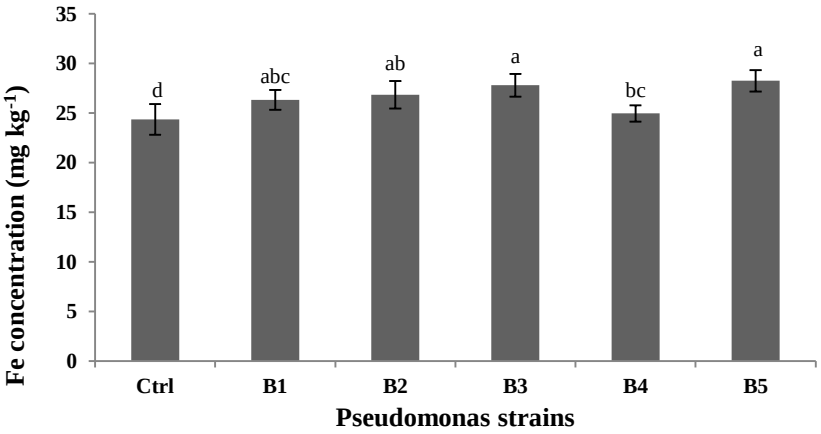
افزایش فعالیت ریزجانداران منجر به تخریب بیشتر لاستیک و آزاد شدن بیشتر گوگرد می‌شود. افزایش اکسیداسیون گوگرد دلیل اصلی کاهش pH خاک در خاک‌های اصلاح شده با لاستیک است که در نتیجه این کاهش pH، حلالیت و دسترسی عناصر افزایش می‌یابد. باکتری‌های مختلف جنس سودوموناس با مکانیسم‌هایی از قبیل ترشح اسیدهای آلی، پروتون، ترکیبات کلات‌کننده و هم‌چنین اسیدهای معدنی (سولفوریک، کربنیک و ...) می‌توانند موجب افزایش جذب عنصر روی و آهن گردند (شهاب و احمد، ۲۰۰۸).



شکل ۱۳- اثر کاربرد سطوح مختلف لاستیک بر غلظت آهن اندام‌هوایی گیاه ذرت

Ctrl: 0, T1: 100: T2: 200, T3: 300 mg Zn in kg. equal to:
Ctrl: 0, T1: 9: T2: 18, T3: 27 g TWP in kg

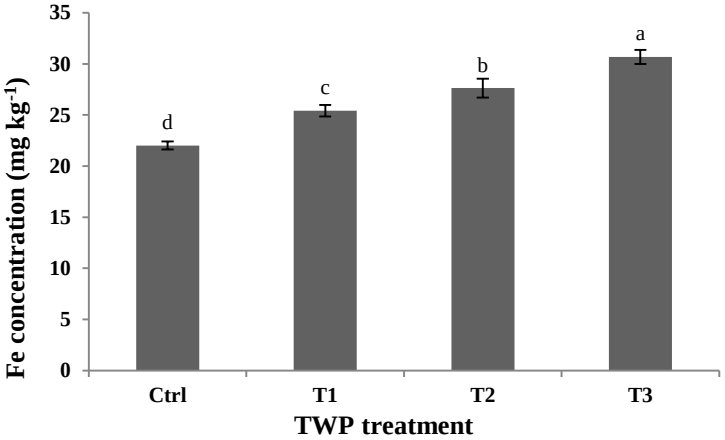
میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند



شکل ۱۴- اثر کاربرد جدایه‌های سودوموناس بر غلظت آهن ریشه گیاه ذرت

Ctrl:B0 B1: A5 ،B2:K5 ،B3:A2 ،B4:A11 ،B5:D12

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند



شکل ۱۵- اثر کاربرد سطوح مختلف لاستیک بر غلظت آهن ریشه گیاه ذرت

Ctrl: 0, T1: 100: T2: 200, T3: 300 mg Zn in kg. equal to:
Ctrl: 0, T1: 9: T2: 18, T3: 27 g TWP in kg

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مشخص شد که کاربرد جدایه‌های سودوموناس در مقابل عدم کاربرد باکتری باعث افزایش درپارامترهای رویشی گیاه ذرت شد و همچنین تأثیر پودر لاستیک نیز بر افزایش این پارامترها مثبت بود به‌طوری که سطح سوم پودر لاستیک(۳۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم معادل ۲۸ گرم لاستیک در کیلوگرم) بیشترین افزایش را نشـان داد. وزن خشـک ریشـه و اندام‌هوایی نیز با کاربرد تیمارهای باکتری و پودر لاستیک افزایش یافت. در نهایت استفاده همزمان باکتری به همراه سطوح مختلف پودر لاستیک باعث افزایش در غلظت عناصر روی و آهن در ریشه و اندام‌هوایی گیاه شد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پودر لاستیک تلقیح شده با جدایه‌های باکتری می‌تواند تأثیر زیادی در رشد و بهبود عملکرد گیاه داشته باشد.

فهرست منابع

۱. فلاح، ع .ر .بشارتی، ح.، ۱۳۸۸. مقایسه تأثیر باکتری های حل کننده فسفات ماده آلی و سوپر فسفات تریپل در عملکرد گندم .مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان.

2. Adachi, K. and Tainosho, Y. 2004. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. Environment International 30: 1009-1017.
3. Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association, Brussels, Belgium.
4. Anzai, Y. H. Kim, J. Y. Park, H. Wakabayashi and H. Oyaizu. 2000. Phylogenetic affiliation of the pseudomonads based on 16S rRNA sequence. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 50:1563-1589.
5. Asadollahzadeh, M. J. Khoshgoftarmanesh, A.H. Chaney, R. L. 2019. Ability of sulfur-oxidising bacteria to hasten degradation of ground rubber particles in soil for release of zinc as a fertiliser to correct deficiency in wheat. Crop and Pasture Science 70; 26-35.
6. Azarmi, F. Mozaffari, V. Hamidpour, M. Abbaszadeh-Dahaji, P. 2016. Interactive effect of fluorescent pseudomonads rhizobacteria and Zn on the growth, chemical composition, and water relations of pistachio (pistacia vera l.) seedlings under NaCl stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis 8: 955–972
7. Calatayud, A. and Barreno, E. 2004. Response to ozone in two lettuce varieties on chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments and lipid peroxidation. Plant Physiology and Biochemistry 42: 549-555.
8. Chaney, R. L. 2007. Effect of ground rubber vs. ZnSO4 on spinach accumulation of Cd from Cd-mineralized California soil. Proceedings of the Water Environment Federation207: 993-993.
9. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black, C. A. (Ed.), Methods of Soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy Madison Wisconsin 891-900.
10. Chengalroyen, M.D. Dabbs, E. 2013. The biodegradation of latex rubber: a mini review. J Polym Environ, 21: 874–880.
11. Dang, H. K. Li, R. Q. Sun, Y. H. Zhang X. W. Li, Y.-M. 2010. Absorption, accumulation and distribution of zinc in highly-yielding winter wheat. Agricultural Sciences in China 9: 965-973.
12. El-Bassi, L. H. Iwasaki, H. Oku, N. Shinzato and T. Matsui. 2010. Biotransformation of benzothiazole derivatives by the Pseudomonas putida strain HKT554. Chemosphere. 81: 109-113.

13. Fasim, F. Ahmed, N. Parsons, R. Gadd, G. M. 2002. Solubilization of zinc salts by a bacterium isolated from the air environment of a tannery. FEMS Microbiology Letters 213: 1–6.
14. Giere, R. LaFree, S. T. Carleton, L. E. Tishmack, J. K. 2004. Environmental impact of energy recovery from waste tyres. In: Gieré R, Stille P (eds) Energy, waste, and the environment: a geochemical perspective. vol. 236, special publications. Geol Soc London 475–498.
15. Haroune, N. B. Combourieu, P. Besse, M. Sancelme, A. Kloepfer, T. Reemtsma, H. De Wever A. M. Delort. 2004. Metabolism of 2-mercaptobenzothiazole by Rhodococcus rhodochrous. Applied and Environmental Microbiology 70: 6315-6319.
16. Hoagland, D. R. Arnon, D. I. 1950. The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil. Circular. California Agricultural Experiment Station 347.
17. Holst, O. Stenberg, B. Christiansson, M. 1998. Biotechnological possibilities for waste tyre-rubber treatment. Biodegradation 9: 301–310.
18. Izumi, Y. Ohshiro, T. Ogino, H. Hine, Y. Shimao, M. 1994. Selective desulfurization of dibenzothiophene by Rhodococcus erythropolis D-1. Applied and Environmental Microbiology 60: 223-226.
19. Jiang, G. Zhao, S. Luo, J. Wang, Y. Zhou, Q. 2010. Devulcanization effect of natural rubber crumb by thiobacillus thioparus. Synthetic Rubber Manufacturing Industry in China 33: 449-453.
20. Khoshgoftarmanesh, A. H. Behzadan, H. Z. SanaeiOstovar, A. Chaney, R. L. 2012. Bacterial inoculation speeds zinc release from ground tire rubber used as Zn fertilizer for corn and sunflower in a calcareous soil. Plant Soil 361: 71-81.
21. Khoshgoftarmanesh, A. H. SanaeiOstovar, A. Sadrarhami, A. Chaney, R. 2013. Effect of tire rubber ash and zinc sulfate on yield and grain zinc and cadmium concentrations of different zinc-deficiency tolerance wheat cultivars under field conditions. European Journal of Agronomy 49: 42-49.
22. Kinoshita, T. Yamaguchi, K. Akita, S. Nii, S. Kawaizumi, F. Takahashi, K. 2005. Hydrometallurgical recovery of zinc from ashes of automobile tire wastes. Chemosphere 59: 1105-1111.
23. Marqués, S. and J. L. Ramos. 1993. Transcriptional control of the Pseudomonas putida TOL plasmid catabolic pathways. Molecular Biology 9: 923-929.
24. Newman, S. E. and Meneley. J. C. 2006. Adaptation of waste tire rubber for green house media and zinc fertilizer. Final Report, Colorado School of Mines, Golden, Co 80401-3852.
25. O'Sullivan, D. J. and O'Gara, F. 1992. Traits of Pseudomonas fluorescens spp. Involved insuppression of plant root pathogens. Microbiological Reviews, 56: 662-676.
26. Patten, C. L. and Glick, B. R. 2002. Role of Pseudomonas putida indole acetic acid in development of the host plant root system. Applied and Environmental Microbiology. 68: 3795-3801.
27. Rai, P. K. 2008. Heavy metal pollution in aquatic ecosystems and its phytoremediation using wetland plants: an ecosustainable approach. International journal of phytoremediation, 10:133-160.
28. Saravanan, V. S. Subramoniam, S. R. Raj, S. A. 2004. Assessing in vitro solubilization potential of different zinc solubilizing bacterial (ZSB) isolates. Brazilian Journal of Microbiology 35 :121-125.
29. Sena J´unior, D. G. 2005. Utilizac¸ ˜ao de t´ecnicas de vis˜ao artificial para ajuste da adubac¸ ˜ao nitrogenada em trigo. [Nitrogen recommendation in wheat

usingmachine vision techniques]. Thesis, Universidade Federal Universidade Federal de Viçosa Brazil.

30. Shafigh, M. Hamidpour, M. Abbaszadeh-Dahaji, P. Mozafari, V. Furrer, G. 2019. Bioavailability of Zn from Layered Double Hydroxides: The effects of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Applied Clay Science 182: 105–283.
31. Shahab, S. and Ahmed, N. 2008. Effect of various parameters on the efficiency of zinc phosphate solubilization by indigenous bacterial isolates. African Journal of Biotechnology, 7: 1543-1549.
32. Smolders, E. and Degryse, F. 2002. Fate and effect of zinc from tire debrisin soil. Environmental Science and Technology 36: 3706-3710.
33. Soltani, A. 2004. Chlorophyll Fluorescence and Its Application. Internal Press University of Agricultural Science and Natural Resource, Gorgan, Iran.
34. Sundra, B. Natarajam, V. Hari, K. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. Field Crops Research, 77: 43-49.
35. Taheri, S. Khoshgoftarmanesh, A. H. Shariatmadari, H. Chaney, R. L. 2011. Kinetics of zinc release from ground tire rubber and rubber ash in a calcareous soil as alternatives to Zn fertilizers. Plant Soil 341: 89-97.
36. Vyas, P. and Gulati, A. 2009. Organic acid production in vitro and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate-solubilizing fluorescent Pseudomonas. BMC Microbiology, 22: 9-174.
37. Zheo, G. Q. Ma, B. L. Ren, S. Z. 2007. Growth, gas exchang, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. Crop Science, 41: 123-131.

نشریه علمی زیست‌شناسی خاک / جلد ۱۱ / شماره ۱ / ۱۴۰۲/ص۸۵-۹۹
dx.doi.org/10.22092/sbj.2023.358940.238

اثر قارچ *Serendipita indica* و باکتری *Sinorhizobium meliloti* بر رشد گیاه یونجه (*Medicago sativa L.*) در خاک آهکی آلوده به روی

لیلا تابنده*، مژگان سپهری و مهدی زارعی

محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران؛ **ltabande@gmail.com**

استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ **m.sepehri@yahoo.com**

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ **m.zarei@yahoo.com**

دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۵ و پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۱

«مقاله پژوهشی»

چکیده

افزایش سطح آلودگی فلزات سنگین در خاک، با ورود به زنجیره غذایی انسان، به عنوان یکی از پر مخاطره‌ترین مسائل زیست‌محیطی جوامع بشری تبدیل شده است. استفاده از یک فناوری ارزان و بی‌خطر از قبیل گیاه‌پالایی و با همزیستی مناسب بین گیاه و ریزجانداران محرک رشد گیاه، می‌تواند گامی موثر بر افزایش کارایی این فناوری باشد. در مطالعه حاضر، اثرات تلقیح انفرادی و توام قارچ Serendipita indica و باکتری Sinorhizobium meliloti بر یونجه کشت شده در یک خاک آلوده به غلظت‌های مختلف روی (۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که، بالاترین سطح آلودگی روی، به ترتیب با کاهش شدید ۵۳/۵، ۷۱، ۲۵/۲ و ۶۰/۲ درصدی وزن خشک اندام هوایی، ریشه، غلظت فسفر و آنزیم کاتالاز گیاهی و افزایش ۱۷۴/۵، ۵۶/۶، ۶۰/۲ و ۳۶/۶ درصدی مقدار پراکسیدهیدروژن، مالون-دی‌آلدهید، آنزیم پراکسیداز و سوپراکسیددسموتاز همراه بود، تحت این شرایط، تلقیح توام قارچ و باکتری در مقایسه با سایر تیمارهای میکروبی، علاوه بر افزایش جذب فسفر گیاه، با کاهش انتقال روی از ریشه به اندام هوایی و تحریک سیستم آنزیم-های اکسیداتیو گیاهی مانند کاتالاز، منجر به کاهش مقدار پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید شد که متعاقباً با بهبود خصوصیات رشدی گیاه همراه بود. بنابراین تلقیح توام قارچ و باکتری با کاهش بیشتر pH خاک ریزوسفری و افزایش قابلیت جذب روی و تثبیت آلودگی در ریشه یونجه، می‌تواند، نقش مهمی در تعیین کمیت، کیفیت و امنیت غذایی یونجه به عهده داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های اکسیداتیو، تثبیت گیاهی، فاکتور انتقال، مالون‌دی‌آلدهید

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول: ltabande@gmail.com

مقدمه

آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین، یکی از موضوعات چالش‌انگیز در جهان امروز است که با توسعه سریع کشاورزی و صنایع به یک معضل بزرگ در جهان تبدیل شده است. عنصر روی جزء یکی از فلزات سنگین می‌باشد که به عنوان عنصر کم مصرف ضروری در تغذیه گیاه شناخته شده است و در بسیاری از واکنش‌های آنزیمی، فرایندهای متابولیکی، واکنش‌های اکسایش-کاهش و همچنین سم زدایی سوپراکسیدها، نقش‌های اساسی ایفا می‌کند (کاکمک، ۲۰۰۰). ولیکن، آنچه وجود این ترکیبات در محیط زیست را به عنوان یکی از آلاینده-های مهم زیست‌محیطی تبدیل کرده است، افزایش شدید و ناگهانی سطح این ترکیبات، تحت تأثیر استفاده فراوان از کودهای شیمیایی درخاک‌های دارای مقدار آهک و pH بالا و ماده آلی کم، آفت‌کش‌ها، لجن فاضلاب شهری، آبیاری با پساب فاضلاب شهری، فعالیت‌های صنعتی مانند استخراج معادن، صنایع آبکاری، لاستیک‌سازی و رنگ‌سازی، است (تنگ و همکاران، ۲۰۰۹)

که به دلیل عدم تجزیه در طبیعت و پایداری در محیط زیست، علاوه برکاهش فعالیت میکروبی و بروز تغییرات گسترده‌ای براکوسیستم خاک (هاشم و همکاران، ۲۰۱۶)، می‌توان به ایجاد اختلال در جذب و انتقال عناصر معدنی به گیاه (ونگ و همکاران، ۲۰۰۹)، تولید اکسیژن-های فعال و ایجاد آسیب اکسیداتیو در گیاهان (پندی و همکاران، ۲۰۰۹)، پراکسیداسیون لیپیدها، تجزیه غشا، آسیب به DNA ، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها اشاره نمود (آژینا و همکاران، ۲۰۱۷) و در نهایت با جذب توسط گیاهان و ورود به زنجیره غذایی، بر سلامت اجزای اصلی این زنجیره (گیاه، دام و انسان) اثر گذاشته و به عنوان یک تهدید جدی برای جوامع بشری محسوب می‌شود (شاه و بلوزروا، ۲۰۰۹). از این رو ممانعت و یا حذف بیش از حد فلزات سنگین درخاک امری ضروری و مهم است. به منظور جلوگیری از ورود و تجمع فلزات سنگین به منابع آب و خاک، روش‌های متعدد فیزیکی، شیمیایی و زیستی در دنیا تحت بررسی قرار گرفته است. اغلب این روش ها، پر هزینه بوده و منجر به تخریب بیشتر محیط زیست می‌شوند. در بین تکنیک‌های متعدد در حذف آلودگی خاک، گیاه‌پالایی (نظیر استخراج و تثبیت گیاه) خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله فناوری‌های سبز و دوست‌دار محیط‌زیست است، که از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه و از لحاظ انرژی کم هزینه می‌باشد و کارایی آنها جهت حذف فلزات سنگین از خاک آلوده می-تواند با استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه افزایش یابد (گلیک و همکاران، ۲۰۱۰). بطوریکه، باکتری‌ها و قارچ‌های محرک رشد گیاه در محیط ریزوسفری خاک آلوده به فلزات سنگین، با بهبود رشد گیاهان،تنش مربوط به سطوح سمی فلزات سنگین را کاهش داده و باعث افزایش استخراج و تثبیت فلزات سنگین در گیاهان می‌شوند (کید و همکاران، ۲۰۱۷).

یونجه (Medicago sativa L.) لگوم چند ساله-ای با ریشه‌های عمیق که به طور گسترده در جهان رشد می‌کند و عمدتاً توانایی بالایی در رشد و جذب فلزات سنگین دارا هستند (پرالتا- ویدا و همکاران، ۲۰۰۴) یکی از عوامل کارایی مؤثر این گیاه در گیاه‌پالایی، همزیستی این گیاه با ریزوبیوم است. ریزوبیوم، از مهمترین باکتری-های ریزوسفری محرک رشد گیاه است که با تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش قدرت باروری خاک و تولید محصول، توانسته است نقش بسزایی در افزایش کارایی گیاه‌پالایی داشته باشد (فگورزی و همکاران، ۲۰۱۸; باندیوپادیای و همکاران، ۲۰۱۵). در تحقیقات پیشین، گزارش‌هایی از همزیستی مؤثر بین لگوم و ریزوبیوم، به نوان یک روش جدید و مؤثر در به کارگیری فعل و انفعالات گیاه-میکروب برای فرایند گیاه‌پالایی، به ویژه تثبیت گیاهان انجام گرفته است (هائو و همکاران، ۲۰۱۴). ولیکن باید در نظر گرفته شود که استفاده ترکیبی از ریزوبیوم با سایر باکتری‌ها و قارچ‌های محرک رشد گیاه،

می‌تواند اثرات هم‌افزایی[1] بر بهبود عملکرد گیاه و افزایش کارایی گیاه‌پالایی داشته باشد (دری و همکاران، ۲۰۱۰) و یا ممکن است بدلیل رقابت بین مایه‌تلقیح‌ها و جمعیت بومی، اثر تقویتی بر رشد گیاه را کاهش دهد. بنابراین، چالش چگونگی ترکیب مایه‌تلقیحی از ریزوبیوم با سایر ریزجانداران محرک رشد گیاه، باید به نحوی باشدکه بدون ایجاد مشکلات زیست‌محیطی دیگر، منجر به حداکثر کارایی گیاه‌پالایی گردد (هائو و همکاران، ۲۰۱۴).

شناسایی قارچ‌های میکوریزی و همزیستی آن با گیاهان، نقش بسزایی در افزایش تحمل گیاهان میزبانشان در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده محیطی نشان داده است. از قارچ‌های محرک رشد گیاه، Serendipita indica به عنوان یک قارچ اندوفیت شبه میکوریزی شناخته شده است (ویس و همکاران، ۲۰۰۴) که با افزایش جذب آب و عناصر غذایی (وارما و همکاران، ۲۰۱۲; زوکارو و همکاران، ۲۰۰۹ و یاداو و همکاران، ۲۰۱۰) و افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه (زارع و همکاران، ۲۰۱۳; باگوات و همکاران، ۲۰۰۸) منجر به بهبود رشد گیاه در برابر عوامل استرس‌زای محیطی می‌شود. این قارچ، با قابلیت کشت در محیط آزمایشگاهی (لیو و همکاران، ۲۰۲۰) و دامنه وسیعی از انواع گیاهان میزبان، از قارچ‌های میکوریزی متمایز شده است (پشکان و برگهوفر، ۲۰۰۴).

با توجه به اهمیت باکتری S. meliloti (هائو و همکاران، ۲۰۱۴) و قارچ اندوفیت S. indica (سپهری و خطابی، ۲۰۲۰) بر افزایش کارایی گیاه‌پالایی عناصر سنگین و از طرف دیگر، با توجه به اهمیت خاک ریزوسفری، به دلیل طیف وسیعی از ترشحات ریشه‌ای و میکروبی و افزایش قابلت استفاده عناصر غذایی در خاکهای آهکی، به عنوان مکانی برای نمایش دقیق ارتباط بین خاک و گیاه و ریزجانداران در نظرگرفته می‌شود (متقیان و حسین‌پور، ۲۰۱۳).

بنابراین، در این تحقیق، تلاش می‌شود تا مطالعاتی در ارتباط با تلقیح انفرادی و یا مشترک ریزجانداران مذکور بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه یونجه کشت‌شده در خاک‌های ریزوسفری آلوده به سولفات روی، صورت گیرد و اینکه آیا تلقیح گیاه یونجه با دو ریزجاندار محرک رشد گیاه، تا چه حدی می‌تواند آسیب-های ناشی از تنش اکسیداتیو حاصل از آلودگی به روی در گیاه را، کاهش دهد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک از عمق ۰ الی ۳۰ سانتی‌متری لایه سطحی خاک مزارع ایستگاه چیتگران در منطقه باجگاه شیراز جمع‌آوری گردید و پس از عبور از الک دو میلی‌متری، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها طبق روش‌های متداول اندازه‌گیری گردید (امامی، ۱۳۷۵).

جهت حذف هر گونه جمعیت میکروبی، خاک-ها در اتوکلاو به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس استریل شدند (فرزانه و همکاران، ۲۰۰۹). قبل از کشت، تلقیح میکروبی و سطوح مختلف روی از منبع سولفات (۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک) به خاک‌ها اضافه شدند. جهت تکمیل واکنش بین روی و خاک، نمونه‌ها به مدت سه ماه در دمای اتاق و با حفظ رطوبت در حد ظرفیت زراعی، نگه‌داری شدند. کشت خالص قارچ S. indica از محیط کشت کمپلکس و بر طبق روش قبولی و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد. جدایه باکتری در بین سویه‌های برتر S. meliloti که قبلاً بر اساس توانایی تولید آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات (ACC) دی آمیناز، اسید ایندول-۳- استیک اسید (IAA)، تثبیت نیتروژن و تولید سیدروفور غربال شده بودند، انتخاب گردید، بطوریکه سویه انتخاب شده دارای ژن‌های مؤثر در گره زدن و تثبیت زیستی نیتروژن بود (سپهری و خطابی، ۲۰۲۰) و برای تهیه مایه‌تلقیح باکتری از روش سلیم و همکاران (۲۰۱۷) استفاده شد.

---

[1] Synergic effects

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت مطالعه

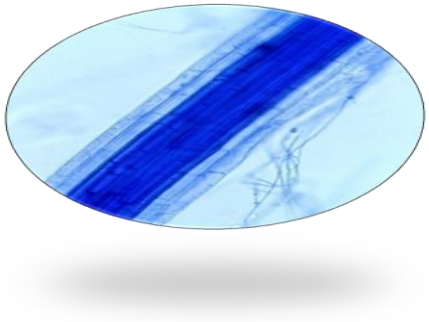
پ‌هاش[1]	قابلیت هدایت الکتریکی[2]	ظرفیت تبادل کاتیونی[3]	کربنات کلسیم معادل[4]	کربن آلی[5]	روی[6]	آهن[7]	منگنز[8]	مس[9]	پتاسیم[10]	فسفر[11]	بافت[12]
	نسبت خاک به آب										
	$dS\ m^{-1}$	$cmol^{+}kg^{-1}$	%		mg Kg^{-1}						
۸/۳	۰/۳۵	۱۵	۴۲/۵	۰/۴۱	۰/۹۸	۸/۵	۸/۵	۱/۴۴	۳۷۲	۸/۸	Clay Loam

1.pH 2.EC_e(electrical conductivity) 3.CEC (cation exchange capacity) 4.CCE(calcium carbonate equivalent) 5.OC (organic carbon) 6.Zn 7. Fe 8.Mn 9.Cu 10. K 11.p 12. texture

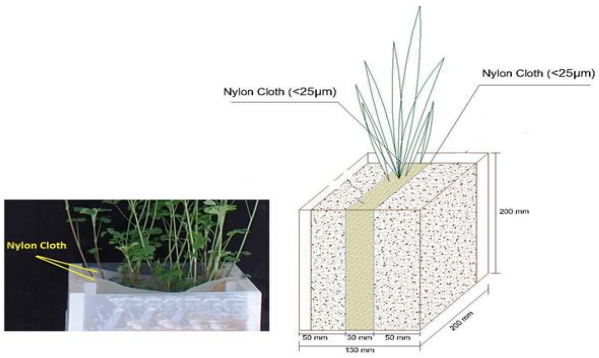
این پژوهش در گلخانه‌ی بخش علوم خاک دانشگاه شیراز، به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها، شامل سطوح مختلف سولفات روی و فاکتور تلقیح میکروبی در چهار سطح (شاهد، قارچ S. indica ، باکتری S. meliloti و تلقیح توام قارچ و باکتری) بود. آزمایش در ۳۶ ریزوباکس با ابعاد ۲۰۰ میلی-متر، ۱۳۰ میلی‌متر، ۲۰۰ میلی‌متر (طول، عرض، ارتفاع) بر اساس طرح یوسف و چینو (۱۹۸۹) با برخی تغیرات جزئی انجام شد (شکل۱). ریزوباکس‌ها با استفاده از نایلون با قطر منافذ کمتر از ۲۵ میکرومتر به سه قسمت تقسیم گردید که در قسمت وسط یا مرکزی با ۳۰ میلی‌متر پهنا، به کشت یونجه اختصاص داده شد و بصورت یکنواخت با سه کیلوگرم خاک (تیمار شده و تیمار نشده با سولفات روی) پر شدند.

پس از آماده‌سازی بذرهای جوانه زده یونجه (M. sativa L.) از رقم همدانی، جهت اعمال تیمار قارچ، بذرها در محلول سوسپانسیون اسپور قارچ (۵×۱۰^{۷} اسپور در هر میلی‌لیتر) به مدت سه ساعت و با ۷۵ دور در دقیقه، بطور آرام تکان داده شده تا بذرهای جوانه زده کاملاً تلقیح یابند و به منظور تلقیح باکتری، یک میلی‌لیتر از محیط کشت باکتریایی مربوط به ۴۸ ساعت قبل (۵×۱۰^{۷} سلول در هر میلی‌لیتر محیط کشت مایع) به خاک اطراف بذرهای جوانه زده اضافه شد. همچنین برای تلقیح توآم قارچ و باکتری، پس از گذشت سه روز و اطمینان از نفوذ اسپورهای قارچ به درون ریشه، اعمال تیمار باکتری(۵×۱۰^{۷} سلول در هر میلی‌لیتر محیط کشت مایع) انجام گرفت. لازم به ذکر است، جهت ایجاد شرایط یکنواخت، به ریزوباکس های شاهد (غیر تلقیحی)، مقدار مساوی محیط باکتریایی و قارچی استریل اضافه شد. در شرایط گلخانه، کلیه ریزوباکس‌ها به مدت نه هفته، رطوبت آنها با آب مقطر در حد ظرفیت زراعی نگه‌داری شدند. ۱۴ روز پس از کاشت، نمونه برداری از ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ جهت اطمینان از برقراری همزیستی و تعیین میزان کلنیزاسیون ریشه به روش دیکسون و اسمیت (۱۹۹۸) صورت گرفت (شکل۲). پس از گذشت ۹ هفته و نمونه‌برداری از آخرین برگ جوان کاملا رشد یافته، غلظت مالون‌دی‌آلدهید به روش هیت و پکر (۱۹۶۸) و فعالیت انزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پس از عصاره‌گیری بافت تازه برگ یونجه با بافر پتاسیم فسفات (اوزدن و همکاران، ۲۰۰۹)، اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به روش شانس و ماهلی (۱۹۹۵) و سوپراکسیددسموتاز به روش بوچمپ و فریدوویچ (۱۹۷۱) انجام شد. علاوه بر این، پس از پایان رشد رویشی گیاه، اندام هوایی از محل طوقه قطع و پس از جداسازی ریشه، با آب مقطر شسته و به مدت سه روز در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آون خشک شده و وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه یادداشت‌برداری شد و غلظت آهن، منگنز، مس و روی گیاه با اتمیک ابزوربشن (مدل شیمادزو AA670G، ژاپن) و همچنین فسفر گیاه به روش رنگ‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر طبق روش‌های مرسوم در آزمایشگاه خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی، اندازه‌گیری شد (علی احیایی،۱۳۷۲).

در پایان، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری انجام شد.



شکل ۱- ریشه تلقیح شده با قارچ S. indica



شکل ۲- شماتیک ریزوباکس

نتایج

نتایج تجزیه واریانس (جدول۲) نشان داد که، اثر مستقل تنش آلودگی به سولفات روی و تلقیح میکروبی بر اکثر متغیرهای گیاهی تحت مطالعه، در سطح یـک درصد معنی‌دار بود و تلقیح میکروبی، تنها بر غلظت منگنز، مس و آنزیم سوپراکسیددسموتاز تأثیر معنی‌داری نشان نداد، ولیکن اثر متقابل عوامل آزمایشی، توانست اثر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر آنزیم سوپراکسید دسموتاز داشته باشد.

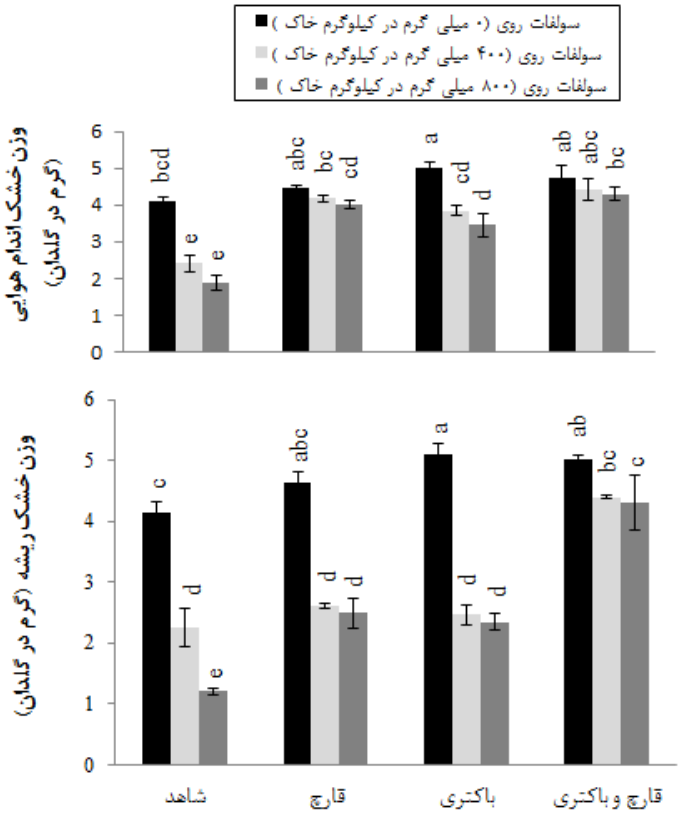
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر آلودگی روی و تلقیح میکروبی بر pH خاک ریزوسفری و برخی خصوصیات اندازه‌گیری شده در یونجه

متغیرها	منابع تغییرات				
	ضریب	خطا	آلودگی روی*تلقیح میکروبی	تلقیح میکروبی	آلودگی روی
	میانگین مربعات				
وزن خشک اندام هوایی	۹/۰۶	۰/۱۲۵	۰/۶۳**	۵/۱**	۴/۴**
وزن خشک ریشه	۱۰/۴	۰/۱۳	۰/۹۸**	۶/۴**	۱۵/۸**
غلظت روی اندام	۷/۳	۳۸/۴	۱۵۱/۹**	۲۵۰/۶**	۴۸۵۸۱**
غلظت روی ریشه	۱۴/۶	۳۹۸/۷	۲۱۹۷**	۸۵۳۱**	۱۲۳۳۶۴**
فاکتور انتقال روی	۱۴/۳	۰/۰۰۸۱	۰/۰۲۴*	۰/۱۹۵**	۰/۰۶۵**
غلظت فسفر اندام	۵/۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۳**	۰/۰۰۱۶**
غلظت منگنز اندام	۱۷/۲	۱۰۳/۷	۴۶/۹ns	۲۴/۲۸ns	۴۴۶۰**
غلظت آهن اندام هوایی	۱۰/۶	۵۱/۲	۸۹/۹ ns	۷۳۶/۶**	۵۵۵۵**
غلظت مس اندام هوایی	۱۱/۳	۱/۲	۲/۸ ns	۰/۷۲ns	۵۹/۷**
آنزیم کاتالاز	۱۲/۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۲۲**	۰/۰۳**	۰/۰۰۴۳**
آنزیم پراکسیداز	۱۹/۱	۰/۶۲	۰/۵۸ns	۵/۹**	۹/۱**
آنزیم	۱۷/۲	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۶۸*	۰/۰۰۳۲ns	۰/۰۲۳**
مالون‌دی‌آلدهید	۲۲/۴	۲/۸	۲/۷۲ns	۲۳/۸**	۱۷/۴**
پراکسید هیدروژن	۲۰/۴	۰/۲۱	۲/۷**	۶/۵**	۱/۹**
pH خاک ریزوسفری	۰/۴۴	۰/۰۰۱۲	۰/۰۵**	۰/۲۷**	۰/۴۹**

*و**: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری بودن اثر عوامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

ns: بیانگر عدم معنی‌داری است.

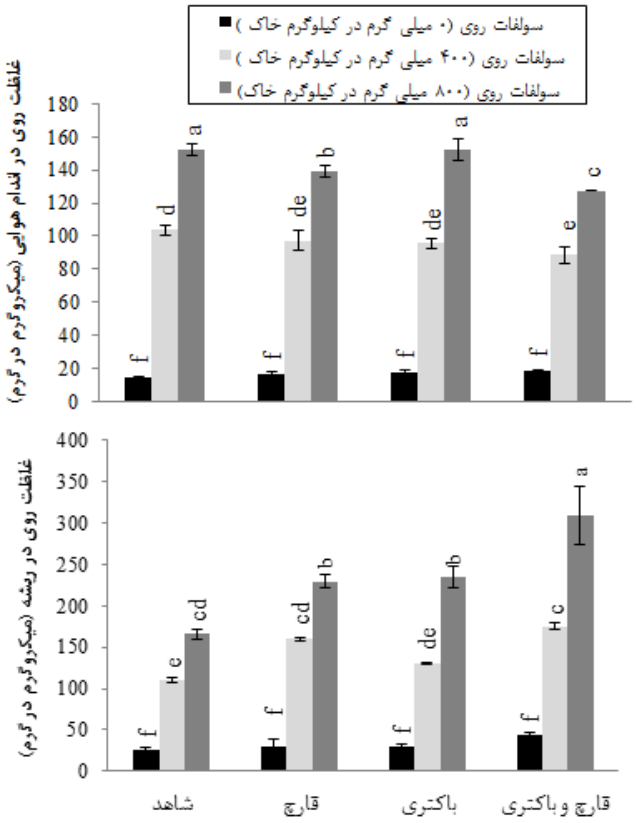
در بررسی نتایج مندرج در شکل ۳ مشخص گردید که تنش آلودگی روی، علاوه بر افت وزن خشک اندام هوایی، منجربه کاهش وزن خشک ریشه گیاهان تلقیحی و غیر تلقیحی (شاهد) شد. بطوریکه، بیشترین اثر کاهشی عملکرد، در بالاترین سطح روی (۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و به ترتیب با کاهش معنی‌دار ۵۳/۵ و ۷۱ درصدی در وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه شاهد (عدم تلقیح میکروبی) مشاهده شد و در این شرایط، تلقیح میکروبی توانست نقش مؤثری بر کاهش افت وزن خشک ریشه و اندام هوایی یونجه نشان دهد، بطوریکه در بین تیمارهای میکروبی، تلقیح توأم قارچ و باکتری تنها با کاهش ۹/۶ و ۱۴/۲ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه، حداقل افت عملکرد گیاهان تحت تنش را نسبت به شرایط بهینه (عدم آلودگی) نشان دادند (شکل ۳).



شکل۳- اثر تنش آلودگی و تلقیح میکروبی بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه (گرم در گلدان) گیاه یونجه

*ستون‌هایی که در یک حرف کوچک یکسان هستند از لحاظ آماری طبق آزمون دانکن، تفاوت معنی‌داری ندارند.

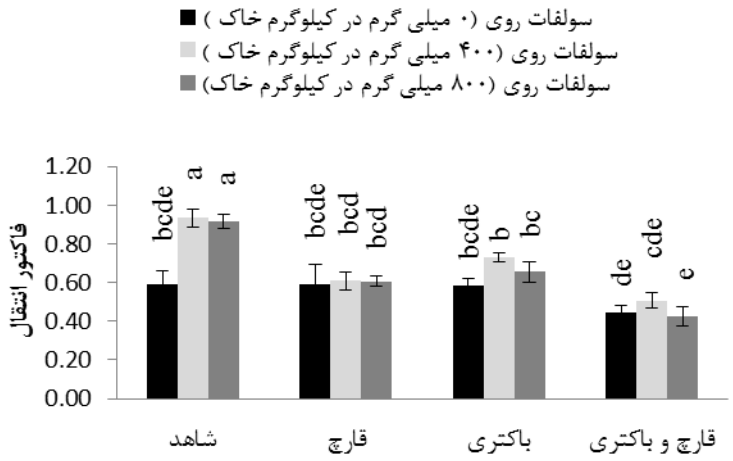
همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، سولفات روی، منجر به افزایش معنی‌دار غلظت روی در اندام هوایی و ریشه گیاهان تلقیح یافته و شاهد (عدم تلقیح میکروبی) شد. در بالاترین سطح آلودگی روی (۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، کمترین غلظت روی در اندام هوایی یونجه تلقیح شده با قارچ و باکتری و بیشترین غلظت و تجمع روی در ریشه تلقیح شده با همین تیمار میکروبی بدست آمد.



شکل۴- اثر تنش آلودگی و تلقیح میکروبی بر غلظت روی در اندام هوایی و ریشه یونجه (میلی‌گرم در کیلوگرم)

*ستون‌هایی که در یک حرف کوچک یکسان هستند از لحاظ آماری طبق آزمون دانکن، تفاوت معنی‌داری ندارند.

نتایج مندرج در شکل ۵ نشان می‌دهد که در شرایط آلوده به ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک، کلیه تیمارهای میکروبی با اثری مشابه، توانسته‌اند منجر به کاهش معنی‌دار مقدار انتقال روی از ریشه به اندام هوایی یونجه شوند و در بالاترین سطح آلودگی، تلقیح توأم قارچ و باکتری، کاهش ۵۴ درصدی مقدار فاکتور انتقال را نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح میکروبی)، به خود اختصاص داد.



شکل ۵- اثر تنش آلودگی و تلقیح میکروبی بر فاکتور انتقال روی از ریشه به اندام هوایی یونجه

*ستون‌هایی که در یک حرف کوچک یکسان هستند از لحاظ آماری طبق آزمون دانکن، تفاوت معنی‌داری ندارند.

غلظت آهن، منگنز، مس و فسفر در اندام هوایی یونجه

نتایج مقایسه میانگین مندرج درجدول ۳ نشان می‌دهد که کاربرد سولفات روی در گیاهان شاهد (غیر-تلقیحی)، منجر به کاهش معنی‌دار (سطح یک درصد) غلظت آهن، منگنز، مس و فسفر گردید. طبق یافته‌های آندرسندر و کازگروو (۲۰۱۱) حد کفایت غلظت عناصر مس، منگنز، آهن و فسفر بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه یونجه به ترتیب برابر (۳۰-۳)، (۱۰۰-۲۰)، (۲۵۰-۳۰) و (۴۵/۲۵-۰/۰) است. از این رو، نتایج نشان داد که تحت شرایط آلوده، برخلاف کاهش غلظت عناصر تحت مطالعه در اندام هوایی گیاهان تلقیحی و غیرتلقیحی (شاهد)، غلظت کلیه عناصر به استثنای فسفر، در حد کفایت قرار داشته و آلودگی یونجه به سولفات روی، نتوانسته است اثرات مخربی ناشی از کمبود آنها در گیاه نشان دهد. در بین عناصر غذایی تحت مطالعه، تیمارهای میکروبی توانسته است از کاهش معنی‌دار غلظت فسفر و آهن گیاهی ممانعت کند و نقش مؤثری بر بهبود غلظت این عناصر در گیاهان تحت تنش آلودگی نشان دهند، بطوریکه در بالاترین سطح آلودگی روی (۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، کاربرد کلیه تیمارهای میکروبی با اثری یکسان، سبب افزایش ۸۶/۶ درصدی غلظت آهن و تلقیح انفرادی قارچ و توأم با باکتری، بطور میانگین، منجر به افزایش ۱۱۲/۵ درصدی غلظت فسفر گیاه شدند.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای روی و تلقیح میکروبی (قارچ S.indica و باکتری S.meliloti) بر غلظت فسفر، منگنز، آهن و مس یونجه (میلی‌گرم در کیلوگرم)

سطوح روی	تلقیح میکروبی				میانگین
	شاهد	قارچ	باکتری	قارچ و باکتری	
غلظت فسفر در اندام هوایی یونجه (میلی‌گرم در کیلوگرم)					
۰	۰/۱۷۷±۰/۰۰۸ d	۰/۲۸۸±۰/۰۰۵ ab	۰/۲۴۴±۰/۰۰۶ c	۰/۳۰۵±۰/۰۱۱ a	۰/۲۵۳ A
۴۰۰	۰/۱۶۸±۰/۰۱ d	۰/۲۹۰±۰/۰۰۱ ab	۰/۲۲۷±۰/۰۰۵ c	۰/۲۸۹±۰/۰۱ ab	۰/۲۴۳ A
۸۰۰	۰/۱۳۲±۰/۰۰۷ e	۰/۲۷۷±۰/۰۰۸ b	۰/۲۲۷±۰/۰۱۲ c	۰/۲۸۴±۰/۰۰۱ ab	۰/۲۳۰ B
میانگین	۰/۱۶۰ A	۰/۲۸۴ A	۰/۲۳۳ B	۰/۲۹۳ A	
غلظت منگنز در اندام هوایی یونجه (میلی‌گرم در کیلوگرم)					
۰	۷۸/۵۹±۲/۱ ab	۷۷/۰۲±۲/۴ ab	۷۹/۸±۰/۴ ab	۸۳/۵±۰/۵ a	۷۹/۷۳ A
۴۰۰	۵۸/۷±۵/۳ cd	۶۱/۴±۱۰/۸ bc	۵۲/۴۵±۱/۹ cd	۵۲/۸±۱۱/۹ cd	۵۶/۳۵ B
۸۰۰	۴۶/۶۶±۳/۸ cd	۳۹/۲۹±۲/۱ d	۳۹/۸±۹/۶ d	۴۰/۱±۱/۷ d	۴۱/۴۹ C
میانگین	۶۱/۳۴ A	۵۹/۲۴ A	۵۷/۳۶ A	۵۸/۸۳ A	
غلظت آهن در اندام هوایی یونجه (میلی‌گرم در کیلوگرم)					
۰	۸۴/۷۳±۳/۷ b	۹۴/۲۱±۳/۸ ab	۹۹/۴۷±۰/۴ a	۸۶/۳۱±۵/۹ b	۹۱/۱۸ A
۴۰۰	۴۷/۱۹±۳ d	۶۷/۸۹±۶/۱ c	۶۴/۰۳±۷/۲ c	۶۵/۲۶±۱/۹ c	۶۱/۰۹ B
۸۰۰	۲۹/۹۹±۱/۸ e	۵۶/۸۴±۱/۹ cd	۵۵/۵۲±۰/۵ cd	۵۵/۶۱±۵/۶ cd	۴۹/۴۹ C
میانگین	۵۳/۹۷ B	۷۲/۹۷ A	۷۳A	۶۹/۰۶A	
غلظت مس در اندام هوایی یونجه (میلی‌گرم در کیلوگرم)					
۰	۱۰/۶۱±۰/۶۴ bc	۱۱/۸۴±۰/۶۳ ab	۱۳/۵۹±۰/۶۳ a	۱۳/۱۴±۰/۴۴ a	۱۲/۳۰ A
۴۰۰	۹/۳۸±۰/۸۸ cd	۹/۲۱±۰/۳۵ cd	۸/۶۸±۰/۳۱ cd	۸/۵۱±۰/۴۶ d	۸/۹۵ B
۸۰۰	۸/۵۱±۰/۲۰ d	۷/۶۳±۰/۵۸ d	۷/۹۸±۰/۲۱ d	۸/۱۶±۰/۱۱ d	۸/۰۷ B
میانگین	۹/۵۰A	۹/۵۶ A	۱۰/۰۸ A	۹/۹۴ A	

اعداد دارای یک حرف مشترک از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، فاقد اختلاف آماری معنی‌داری می‌باشند.

آنزیم‌های اکسیداتیو (کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددسموتاز)، پراکسیداسیون لیپیدی غشا (مالون‌دی‌آلدهید) و پراکسید هیدروژن

نتایج مندرج در جدول ۴ حاکی از آن است که، افزایش شدت تنش آلودگی، سبب تحریک سیستم فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دسموتاز و کاهش آنزیم کاتالاز شد. تحت شرایط آلوده، برخلاف اثر غیر معنی‌دار تلقیح میکروبی بر مقدار آنزیم سوپراکسیددسموتاز، تلقیح توأم قارچ و باکتری، منجر به افزایش معنی‌دار کاتالاز شد و در بالاترین سطح آلودگی (۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، کلیه تیمارهای میکروبی توانستند افزایش معنی‌داری در مقدار آنزیم پراکسیداز گیاهی نشان دهند. همانطور که در نتایج مقایسه میانگین-های پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید مشاهده می‌شود، متعاقباً با افزایش شدت تنش آلودگی و تجمع بیشتر مقدار پراکسیدهیدروژن در سلول‌های گیاهی، با تخریب بیشتر لیپیدهای غشایی و آزاد شدن مالون‌دی‌آلدهید همراه بود. بطوریکه کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی در گیاهان شاهد (بدون تلقیح میکروبی)، به ترتیب افزایش ۱۷۴ و ۶۵/۶ درصدی پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید مشاهده شد. تحت شرایط بهینه و بدون آلودگی (سطح صفر روی) تفاوت معنی‌داری در مقدار این دو متغیر بین گیاهان تلقیح شده و شاهد (عدم تلقیح میکروبی) بدست نیامد این در حالی است که با افزایش شدت تنش آلودگی، مقدار پراکسیدهیدروژن و متعاقباً مالون‌دی‌آلدهید گیاهان تلقیح شده کمتر از گیاهان شاهد (عدم تلقیح میکروبی) بود. البته، در این باره تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای میکروبی بدست نیامد و همگی در یک گروه آماری قرار داشتند و توانستند نقش مؤثری در کاهش تنش اکسیداتیو و آزادشدن پراکسید هیدروژن سلولی داشته باشند که طبیعتاً با کاهش تخریب غشای سلولی (مالون‌دی‌آلدهید) در گیاهان تحت تنش آلودگی به روی همراه بود.

pH خاک ریزوسفری

نتایج مندرج در جدول ۵ نشان می‌دهد که کاربرد روی نتوانسته است تفاوت معنی‌داری در مقدار پ‌هاش خاک ریزوسفری گیاهان شاهد و تلقیح شده با باکتری نشان دهد. این در حالی است که تلقیح انفرادی قارچ و توأم با باکتری با ارجحیت یکسان، کمترین مقدار پ‌هاش خاک ریزوسفری را به خود اختصاص دادند. بطوریکه، تلقیح انفرادی قارچ و توأم با باکتری در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نسبت به سطح صفر روی، به ترتیب با کاهش معنی‌دار ۰/۵۲ و ۰/۵۰ واحدی پ‌هاش و در سطوح بالاتر روی (۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، به ترتیب با کاهش معنی‌دار ۰/۵۵ و ۰/۶ واحدی پ‌هاش خاک ریزوسفری همراه بود.

بحث

آلودگی به عناصر سنگین یکی از عوامل تنش-زای محیطی غیر زنده است که می‌تواند با تأثیر بر برخی شاخص‌های رشدی گیاه از جمله وزن خشک اندام هوایی و ریشه، منجر به افت عملکرد گیاه شود. بطوریکه در بسیاری از تحقیقات، شاخص‌های رشدی، به عنوان معیاری جهت تحمل گیاهان در برابر عوامل تنش‌زای محیطی در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای روی و تلقیح میکروبی (قارچ S.indica و باکتری S.meliloti) بر فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو، پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید اندام هوایی یونجه

سطوح روی	تلقیح میکروبی				میانگین
	شاهد	قارچ	باکتری	قارچ و باکتری	
آنزیم کاتالاز (میکرومول برگرم وزن تر در دقیقه)					
۰	۰/۱۴۷±۰/۰۰۲ d	۰/۲۸۳±۰/۰۰۷ ab	۰/۲۴۵±۰/۰۱۸ b	۰/۱۰۵±۰/۰۰۲ e	۰/۱۹۵ A
۴۰۰	۰/۱۱۱±۰/۰۰۳ de	۰/۱۹۷±۰/۰۰۶c	۰/۱۱۵±۰/۰۰۹ de	۰/۲۶۳±۰/۰۲۷ b	۰/۱۷۲ B
۸۰۰	۰/۰۵۸±۰/۰۰۳ f	۰/۱۸۴±۰/۰۲۱ c	۰/۰۸۲±۰/۰۱۳ ef	۰/۳۰۵±۰/۰۰۷ a	۰/۱۵۸ B
میانگین	۰/۱۰۶ C	۰/۲۲۱ A	۰/۱۴۷ B	۰/۲۲۴ A	
آنزیم پراکسیداز (میکرومول برگرم وزن تر در دقیقه)					
۰	۲/۱۱±۰/۲۱e	۴/۳۶±۰/۶۱ ac	۲/۴۳±۰/۱۱de	۳/۶۶±۰/۱۳ bd	۳/۱۴ B
۴۰۰	۳/۵۹±۰/۶۶ bd	۴/۷۸±۰/۲۸ ac	۴/۶۴±۰/۴۱ ac	۴/۹۳±۰/۳۱ ab	۴/۴۹ A
۸۰۰	۳/۳۹±۰/۲۶ ce	۵/۲۵±۰/۵۱ a	۴/۹۷±۰/۷۱ ab	۵/۴۷±۰/۲۳ a	۴/۷۷ A
میانگین	۳/۰۳ B	۴/۸ A	۴/۰۱ A	۴/۶۸ A	
آنزیم سوپراکسیددسموتاز (میکرومول برگرم وزن تر در دقیقه)					
	آنزیم سوپراکسیددسموتاز				
۰	۰/۲۶±۰/۲۱ bd	ac۰/۳۱۶±۰/۰۰۹	۰/۲۳۲±۰/۰۲۲ cd	۰/۱۸۳±۰/۰۲۹ d	۰/۲۴۸ B
۴۰۰	۰/۲۹۵±۰/۰۳۷ ac	۰/۲۷۳±۰/۰۲۲ad	ac ۰/۲۹۵±۰/۰۶۸	۰/۳۶±۰/۰۰۵ a	۰/۳۰۶ A
۸۰۰	۰/۳۵۵±۰/۰۰۹ ab	۰/۳۶۶±۰/۰۰۶ a	۰/۳۱۳±۰/۰۲۶ ac	۰/۲۹۸±۰/۰۳۰ ac	۰/۳۳۳ A
میانگین	۰/۳۰۳A	۰/۳۱۸ A	۰/۲۸ A	۰/۲۸ A	
پراکسیدهیدروژن (میکرو مول برگرم وزن تر گیاه)					
۰	۱/۹۷±۰/۲۱ cd	۱/۷۱±۰/۱۴ cd	۱/۸۱±۰/۲۰ cd	۱/۷۱±۰/۱۴ cd	۱/۸ B
۴۰۰	۳/۱۳±۰/۲۲ b	۲/۰۲±۰/۲۵ cd	۲/۱۳±۰/۳۲ c	۲/۱۱±۰/۳۰ c	۲/۳۵ A
۸۰۰	۵/۴±۰/۴۱ a	۱/۷۷±۰/۳۴ cd	۱/۹۸±۰/۳۲ cd	۱/۷۰±۰/۰۴۷ d	۲/۵۸ A
میانگین	۳/۵A	۱/۸۳ B	۱/۹۷ B	۱/۶۶ B	
مالون‌دی‌آلدهید (نانو مول برگرم وزن تر گیاه)					
۰	۷/۱۵±۱/۰۹ bc	۶/۱۸±۰/۲۴ c	۶/۳۴±۰/۱۸ c	۵/۳±۰/۳۴ c	۶/۲۴ B
۴۰۰	۱۰/۱۵±۱/۳۵ ab	۵/۴۱±۱/۰۷ c	۷/۸±۱/۷۱ bc	۶/۲۷ ±۰/۴۸ c	۷/۴۱ AB
۸۰۰	۱۱/۸۴±۰/۶۸ a	۷/۵۶±۱/۱۴ bc	۸/۲۸±۱/۱۸ bc	۶/۹۱±۰/۶۵ c	۸/۶۵ A
میانگین	۹/۷۱ A	۶/۳۸ B	۷/۴۷ B	۶/۱۶ B	

اعداد دارای یک حرف مشترک از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، فاقد اختلاف آماری معنی‌داری می‌باشند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای روی و تلقیح میکروبی (قارچ S.indica و باکتری S.meliloti) بر پ‌هاش خاک ریزوسفری

سطوح روی - سولفات روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	تلقیح میکروبی				میانگین
	شاهد	قارچ	باکتری	قارچ و باکتری	
	پ‌هاش				
۰	۸/۲۲ a	۸/۱۶ a	۸/۱۹ a	۸/۱۶ a	۸/۱۸ A
۴۰۰	۸/۰۹ b	۷/۶۴ d	۸/۰۳ bc	۷/۶۶ d	۷/۸۵ B
۸۰۰	۸/۰۷ bc	۷/۶۱ de	۸/۰۱ c	۷/۵۶ e	۷/۸۱ C
میانگین	۸/۱۲ A	۷/۸۰ C	۸/۰۷ B	۷/۷۹ C	

اعداد دارای یک حرف مشترک از لحاظ آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، فاقد اختلاف آماری معنی‌داری هستند.

گیاه یونجه بدلیل توسعه سیستم ریشه‌ای قوی، زیست توده بالا و همزیستی ریزوبیومی به عنوان یک گیاه مناسب در گیاه‌پالایی استفاده می‌شود (سپهری و خطابی، ۲۰۲۰) که در این تحقیق، علاوه بر اثر باکتری S.melilot ، تأثیر قارچ S.indica و تلقیح توأم قارچ و باکتری در سطوح بالای سولفات روی در ریزوسفر یونجه مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج این تحقیق، با افزایش شدت تنش آلودگی از سطح ۴۰۰ به ۸۰۰ میلی‌گرم درکیلوگرم، افت شدید و معنی‌دار وزن خشک ریشه گیاهان نسبت به اندام هوایی مشاهده شد که می‌توان آن را معلول سطح بالای آلودگی و تماس مستقیم ریشه با آلاینده دانست. روی به عنوان عنصر ضروری در تغذیه گیاه نقش مهمی دارد اما در غلظت‌های بالا می‌تواند اثرات بازدارنده‌ای بر رشد گیاه داشته باشد (گراتائو و همکاران، ۲۰۰۵). البته pH خاک، در قابلیت دسترسی روی به بافت‌های گیاهی تأثیر زیادی دارد. خاک ریزوسفری در مقایسه با خاک توده، خصوصیات بیولوژیکی و شیمیایی متفاوتی در قابلیت دسترسی و جذب فلزات سنگین به عهده دارد (متقیان و حسین‌پور، ۲۰۱۳) که این تغییرات عمدتاً ناشی از تغییرات pH خاک از طریق ترشحات ریشه‌ای و میکروبی و یا ترکیب آنها است (کلمنت و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج نشان داد که با کاهش pH خاک ریزوسفری در گیاهان تلقیح یافته علی الخصوص تلقیح انفرادی قارچ و توأم با باکتری، مقدار جذب روی در ریشه گیاه افزایش یافته است. تحقیقات نشان داده است که یکی از دلایل کاهش pH خاک ریزوسفری گیاهان تلقیحی با قارچ، ناشی از افزایش زیست‌توده ریشه و طبیعتاً افزایش ترشحات اسیدهای آلی بدلیل افزایش تولید ایندول ۳ استیک اسید (استرهمل و همکاران، ۲۰۱۶) و یا تولید بیشتر اتیلن (خطابی و همکاران، ۲۰۱۲) و یا جذب بیشتر یون آمونیم نسبت به یون نیترات و تثبیت بیولوژیکی بیشتر نیتروژن (هینسینگر و همکاران، ۲۰۰۳) در این گیاهان است که با اسیدی شدن خاک ریزوسفری همراه است. کاربرد کلیه تیمارهای میکروبی به‌ویژه در سطوح بالای روی، توانست بطور معنی‌داری از افت بیشتر وزن خشک اندام هوایی و ریشه بکاهد که مشابه با یافته‌های (آریاگادا و همکاران، ۲۰۰۵; کانوال و همکاران، ۲۰۱۶) است. همانطور که اشاره شد، تلقیح میکروبی با کاهش pH خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر، منجر به جذب تجمع بیشتر روی در ریشه و غیر متحرک کردن آن در گره‌های باکتری (هائو و همکاران، ۲۰۱۴) و میسیلیوم قارچی (کانوال و همکاران، ۲۰۱۶) می‌شود و بدین ترتیب با کاهش انتقال روی از ریشه به اندام هوایی، تا حدی از اثرات سمیت روی در اندام هوایی گیاه کاهش می‌دهد.

در مقایسه بین تیمارهای میکروبی، تلقیح توأم قارچ و باکتری و در مرحله بعد تلقیح قارچ، بهتر از تلقیح باکتری، در افزایش تحمل گیاه در برابر عوامل تنش‌زای محیطی موفق بود. برخلاف افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه تلقیح یافته با باکتری در شرایط بهینه (عدم آلودگی)، کاربرد سطوح بالای سولفات روی، منجر به کارایی کمتر این باکتری نسبت به سایر تیمارهای میکروبی گردید. بطوریکه، در گیاهان تلقیح شده با باکتری همانند گیاهان بدون تلقیح، بیشترین تجمع روی در اندام هوایی گیاه مشاهده شد.

افزایش سطوح بالای روی، منجر به کاهش معنی‌دار غلظت آهن، منگنز، مس و فسفر گیاهان شاهد و تلقیح یافته گردید، به استثنای فسفر، غلظت سایر عناصر غذایی تحت مطالعه در محدوده نرمال و کفایت گیاه قرار داشت. بنابراین، افزایش سطوح روی، نتوانست اثرات قابل توجهی از کمبود آهن، منگنز و مس در گیاه نشان دهد و کمبود فسفر، تنها در گیاهان شاهد (تلقیح نیافته) و آلوده به سطوح بالای سولفات روی بدست آمد، که می‌توان آن را ناشی از اثرات آنتاگونیستی سطوح بالای روی در ایجاد اختلال در جذب فسفر گیاه دانست. در بررسی اثر تیمارهای میکروبی، تلقیح توأم قارچ و باکتری، با بهبود جذب فسفر، منجر به حمایت بیشتر گیاه در برابر تنش کمبود فسفر شد. تحقیقات نشان داد که افزایش مقدار

فسفر در گیاهان تلقیح یافته ناشی از افزایش جذب ازطریق ساختار میکوریزی بوده که شامل آربسکول‌ها و وزیکول‌ها است (اسمیت و رید، ۱۹۹۷).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی در افزایش مکانیسم دفاعی در برابر تولید گونه‌های اکسیژن فعال به عهده دارند (فویر و همکاران، ۲۰۰۵). طبق نتایج این تحقیق، تلقیح میکروبی در شرایط آلوده به سولفات روی، با افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، کاهش مقدار مالون‌دی‌آلدهید و همچنین تجمع بیشتر روی در ریشه گیاه و کاهش انتقال روی از ریشه به اندام هوایی یونجه و جذب بهتر عناصر غذایی به‌ویژه آهن و فسفر، توانسته است گیاه را در برابر صدمات ناشی از سمیت روی محافظت کند که این یافته مشابه با نتایج باندیوپادیای و همکاران (۲۰۱۵) است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که، عامل اصلی کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه ناشی از اثرات سمیت روی و انتقال آن به بافت‌های هوایی گیاه است که با تنش‌های اکسیداتیو و نهایتاً پراکسیداسیون لیپیدی غشا همراه بود. در بین تیمارهای میکروبی، تلقیح توأم قارچ و باکتری با بهبود جذب بیشتر عناصر غذایی (فسفر و آهن)، افزایش بیشتر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، به‌ویژه آنزیم کاتالاز، توانسته است با خنثی کردن اکسیژن‌های فعال سلولی، سبب تعدیل اثرات سمیت روی در گیاه شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از بخش علوم خاک و باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز جهت در اختیار قراردادن تجهیزات آزمایشگاهی و فضای گلخانه، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع

۱. امامی، آ. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه شیمیایی گیاه (جلد اول) نشریه شماره ۹۸۲، وزارت جهاد کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۲. علی احیایی، م. و بهبهانی‌زاده، ع. آ. ۱۳۷۲. روش‌های تجزیه شیمیایی خاک وآب (جلد اول) نشریه شماره۸۹۳، وزارت جهاد کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

3. Ajina, T. Sallem, A. Haouas, Z. and Mehdi, M. 2017. Total antioxidant status and lipid peroxidation with and without in vitro zinc supplementation in infertile men. Andrologia 49(7): e12703.
4. Arriagada, C.A. Herrera, M.A. and Ocampo, J.A. 2005. Contribution of arbuscular mycorrhizal and saprobe fungi to the tolerance of Eucalyptus globulus to Pb. Water Air Soil Pollution 166:31-47.
5. Bandyopadhyay, S. Plascencia-Villa, G. Mukherjee, A. Rico, C.M. José-Yacamán, M. Peralta-Videa, J.R. and Gardea-Torresdey, J.L. 2015. Comparative phytotoxicity of ZnO NPs, bulk ZnO, and ionic zinc onto the alfalfa plants symbiotically associated with Sinorhizobium meliloti in soil. Science of the Total Environment 515: 60-69.
6. Beauchamp, C. and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical biochemistry 44(1): 276-287.
7. Bhagwat, D.A. Killedar, S.G. and Adnaik, R.S. 2008. Anti-diabetic activity of leaf extract of Tridax procumbens. International Journal of Green Pharmacy 2(2).
8. Chakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen. New Phytologist 146: 185-205.

9. Chance, B. and Maehly, A. C. 1955. [136] Assay of catalases and peroxidases. Methods in enzymology 2: 764-775.
10. Dary, M. Chamber-Pérez, M.A. Palomares, A. J. and Pajuelo, E. 2010. "In situ" phytostabilisation of heavy metal polluted soils using Lupinus luteus inoculated with metal resistant plant-growth promoting rhizobacteria. Journal of Hazardous Materials 177(1-3): 323-330.
11. Dickson, S. and Smith S.E .1998. Evaluation of vesicular-arbuscular mycorrhizal colonisation by staining. P. 77-83. In: Varma A (ed) Mycorrhiza manual, Springer-Verlag, Berlin.
12. Fagorzi, C., Checcucci, A., DiCenzo, G. C., Debiec-Andrzejewska, K., Dziewit, L., Pini, F., & Mengoni, A. (2018). Harnessing rhizobia to improve heavy-metal phytoremediation by legumes. Genes, 9(11), 542.
13. Farzaneh, M. Wichmann, S. Vierheilig, H. and Kaul, H.P. 2009. The effects of arbuscular mycorrhiza and nitrogen nutrition on growth of chickpea and barley. Pflanzenbauwissenschaften 13: 15–22.
14. Foyer, C.H. and Noctor, G. 2005. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. Plant Cell Environment 28:1056-1071.
15. Glick, B.R. 2010. Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. Biotechnology Advances 28:367-374.
16. Gratao, P. Polle, A. Lea, P. Azevedo, R. 2005. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. Funct Plant Biol 32:481-494.
17. Hao, X. Taghavi, S. Xie, P. Orbach, M. J. Alwathnani, H. A. Rensing, C. and Wei, G. 2014. Phytoremediation of heavy and transition metals aided by legume-rhizobia symbiosis. International Journal of Phytoremediation 16(2):179-202.
18. Hao, X. Xie, P. Johnstone, L. Miller, S. J. Rensing, C. and Wei, G. 2012. Genome sequence and mutational analysis of plant-growth-promoting bacterium Agrobacterium tumefaciens CCNWGS0286 isolated from a zinc-lead mine tailing. Applied and Environmental Microbiology 78(15):5384-5394.
19. Hashem, A. Abd_Allah, E.F. Alqarawi, A.A. Al Huqail, A.A. Egamberdieva, D. and Wirth, S. 2016. Alleviation of cadmium stress in Solanum lycopersicum L. by arbuscular mycorrhizal fungi via induction of acquired systemic tolerance. Saudi journal of Biological Sciences 23(2):272-281.
20. Heath, R.L. and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of biochemistry and biophysics 125(1):189-198.
21. Hinsinger, P. Plassard, C. Tang, C. and Jaillard, B. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. Plant and Soil 248(1):43-59.
22. Kanwal, S. Bano, A. and Malik, R. N. 2016. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metals and effects on growth and biochemical activities of wheat (Triticum aestivum L.) plants in Zn contaminated soils. African Journal of Biotechnology 15(20):872-883.
23. Khatabi, B. Molitor, A. Lindermayr, C. Pfiffi, S. Durner, J. Von Wettstein, D. ... and Schäfer, P. 2012. Ethylene supports colonization of plant roots by the mutualistic fungus Piriformospora indica. PLoS One 7(4):e35502.
24. Kidd, P.S. Alvarez-Lopez, V. Becerra-Castro, C. Cabello-Conejo, M. and Prieto-Fernandez, A. 2017. Potential role of plant-associated bacteria in plant metal uptake and implications in phytotechnologies. p. 87-126. In: Advances in botanical research, Academic Press.
25. Liu, Y.A.N.G. Jin-Li, C.A.O. Zou, Y.N. Qiang-Sheng, W.U. and Kamil, K.U.Č.A. 2020. Piriformospora indica: a root endophytic fungus and its roles in plants. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 48(1): 1-13.

26. Motaghian, H.R. and Hosseinpur, A.R. 2013. Zinc desorption kinetics in wheat (Triticum Aestivum L.) rhizosphere in some sewage sludge amended soils. Journal of soil science and plant nutrition 13(3):664-678.
27. Ozden, M. Demirel, U. and Kahraman, A. 2009. Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (Vitis vinifera L.) exposed to oxidative stress by H2O2. Scientia Horticulturae 119(2):163-168.
28. Pandey, N. Pathak, G. C. Pandey, D. K. and Pandey, R. 2009. Heavy metals, Co, Ni, Cu, Zn and Cd, produce oxidative damage and evoke differential antioxidant responses in spinach. Brazilian Journal of Plant Physiology 21(2):103-111.
29. Peralta-Videa, J.R. De la Rosa, G. Gonzalez, J H. and Gardea-Torresdey, J.L. 2004. Effects of the growth stage on the heavy metal tolerance of alfalfa plants. Advances in Environmental Research 8(3-4):679-685.
30. Peškan-Berghöfer, T. Shahollari, B. Giong, P.H. Hehl, S. Markert, C. Blanke, V. ... and Oelmüller, R. 2004. Association of Piriformospora indica with Arabidopsis thaliana roots represents a novel system to study beneficial plant–microbe interactions and involves early plant protein modifications in the endoplasmic reticulum and at the plasma membrane. Physiologia Plantarum 122(4):465-477.
31. Saleem, M. Meckes, N. Pervaiz, Z. H. and Traw, M.B. 2017. Microbial interactions in the phyllosphere increase plant performance under herbivore biotic stress. Frontiers in microbiology 8: 41.
32. Sepehri, M. and Khatabi, B. 2020. Combination of Siderophore-Producing Bacteria and Piriformospora indica Provides an Efficient Approach to Improve Cadmium Tolerance in Alfalfa. Microbial Ecology 1-14.
33. Shah, V. and Belozerova, I. 2009. Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds. Water, Air, and Soil Pollution 197(1-4):143-148.
34. Smith, S.E. and Read, D.J. 1997. Mycorrhizal Simbiosis. Academic Press, London
35. Strehmel, N. Mönchgesang, S. Herklotz, S. Krüger, S. Ziegler, J. and Scheel, D. 2016. Piriformospora indica stimulates root metabolism of Arabidopsis thaliana. International Journal of Molecular Sciences 17(7):1091.
36. Tang, Y.T. Qiu, R.L. Zeng, X.W. Ying, R.R. Yu, F.M. and Zhou, X.Y. 2009. Lead, zinc, cadmium hyperaccumulation and growth stimulation in Arabis paniculata Franch. Environmental and Experimental Botany 66(1):126-134.
37. Undersander, D. and Cosgrove, D. 2011. Alfalfa management guide. American Society of Agronomy Crop Science Society of America Soil Science Society of America.
38. Varma, A. Bakshi, M. Lou, B. Hartmann, A. and Oelmueller, R. 2012. Piriformospora indica: a novel plant growth-promoting mycorrhizal fungus. Agricultural Research 1(2):117-131.
39. Wang, C. Zhang, S.H. Wang, P.F. Hou, J. Zhang, W.J. Li, W. and Lin, Z.P. 2009. The effect of excess Zn on mineral nutrition and antioxidative response in rapeseed seedlings. Chemosphere 75(11):1468-1476.
40. Weiss, M. Selosse, M.A. Rexer, K.H. Urban, A. and Oberwinkler, F. 2004. Sebacinales: a hitherto overlooked cosm of heterobasidiomycetes with a broad mycorrhizal potential. Mycological Research 108(9):1003-1010.
41. Yadav, V. Kumar, M. Deep, D.K. Kumar, H. Sharma, R. Tripathi, T. and Johri, A.K. 2010. A phosphate transporter from the root endophytic fungus Piriformospora indica plays a role in phosphate transport to the host plant. Journal of Biological Chemistry 285(34):26532-26544.
42. Youssef, R.A. and Chino, M. 1989. Root-induced changes in the rhizosphere of plants. II. Distribution of heavy metals across the rhizosphere in soils. Soil Science and Plant Nutrition 35(4):609-621.

43. Zarea, M. J. Chordia, P. and Varma, A. 2013. Piriformospora indica versus salt stress. p. 263-281. In Piriformospora indica. Springer, Berlin, Heidelberg.
44. Zuccaro, A. Basiewicz, M. Zurawska, M. Biedenkopf, D. and Kogel, K.H. 2009. Karyotype analysis, genome organization, and stable genetic transformation of the root colonizing fungus Piriformospora indica. Fungal Genetics and Biology 46(8):543-550.

نشریه علمی زیست‌شناسی خاک / جلد ۱۱ / شماره ۱ / ۱۴۰۲/ص۱۰۱-۱۱۴
dx.doi.org/10.22092/sbj.2022.356662.230

بررسی کاربرد زادمایه میکروبی برای تسریع تولید کمپوست از ضایعات باگاس نیشکر

سید حسین محمودی نژاد دزفولی* و حسین صفاری

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران؛ **Shmn178@yahoo.com**

استادیار بخش تحقیقات شیمی و حاصلخیزی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب،سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ **hosaffary@yahoo.com**

دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۲ و پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۱

«مقاله پژوهشی»

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد زادمایه قارچی و باکتریایی جهت تسریع تولید کمپوست از ضایعات نیشکر، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار به مدت یک سال در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید. در این پروژه تیمارها شامل شاهد (باگاس بدون استفاده از زادمایه) و تیمار دوم تا چهارم به ترتیب شامل کاربرد ۰/۵، یک و ۱/۵درصد وزنی زادمایه در توده‌های ۱۰۰ کیلوگرمی باگاس بود. نتایج تحقیق نشان داد بین تیمارهای مختلف از نظر قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن (در نمونه‌برداری از کمپوست پس از ۴۵ روز)، آهن و منگنز (در نمونه‌برداری پس از ۶۰ روز) در سطح ۵٪ و از نظر کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن و غلظت مس (در نمونه‌برداری پس از ۶۰ روز) در سطح یک درصد بین تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بررسی‌ها همچنین نشان داد بیشترین دمای توده (۵۲ درجه سانتی‌گراد) مربوط به تیمار ۱/۵ درصد وزنی زادمایه و بیشترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی (۳/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر)، در نمونه‌برداری پس از ۴۵ روز و در تیمار یک درصد زادمایه اندازه‌گیری گردید. همچنین کمترین مقدار درصد کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن در نمونه‌برداری پس از ۶۰ روز (به ترتیب ۴۳/۹٪ و۳۴/۴) در تیمار ۱/۵ درصد زادمایه اندازه‌گیری گردید. در ارتباط با غلظت عناصر در کمپوست نهایی (در نمونه‌برداری پس از ۶۰ روز)، بیشترین غلظت آهن (۴۵۸۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار یک درصد وزنی زادمایه، مس (۱۵/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و منگنز (۷۲/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۱/۵ درصد وزنی زادمایه اندازه‌گیری گردید و از نظر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد وجود نداشت. با توجه به نتایج تحقیق استفاده از ۱/۵درصد وزنی زادمایه می‌تواند منجر به افزایش سرعت و کیفیت کمپوست تولیدی از پسماندهای نیشکر گردد.

واژه های کلیدی: باگاس، تنفس میکروبی، عناصر پرمصرف و کم‌مصرف، زادمایه

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول:Shmn178@yahoo.com

CC BY

مقدمه

یکی از محصولات مهم زراعی که در صنعت شکر دنیا نقش مهمی ایفا می‌کند، نیشکر است. این محصول با سطح زیر کشت حدود ۸۷ هزار هکتار، ۱/۳۹٪ از کل سطح زیر کشت آبی کشور و با تولید ۷/۷۵ میلیون تن نیشکر حدود ۹/۲۴٪ از کل تولید کشور در سال ۹۹-۱۳۹۸ را به خود اختصاص داده است (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). باگاس ماده‌ای فیبری است که پس از استخراج شکر از نیشکر به صورت قطعات ریز تراشهٔ چوب و به رنگ زردکاهی و عموماً دارای رطوبت حدود ۵۵-۵۰ درصد می‌باشد. باگاس متشکل از سلولز (۳۵٪)، همی سلولز (۳۵٪)، لیگنین (۲۲٪) و حدود ۲۰ درصد خاکستر حاوی سایر مواد معدنی است (ریزندی، ۲۰۱۱). میزان تولید باگاس در ایران حدود دو میلیون تن در سال می‌باشد (حمایتی و همکاران، ۲۰۱۱).

یکی از مهمترین راهکارهای استفاده از باگاس و پسماندهای نیشکر در کشور، تولید بیوکمپوست است که می‌تواند به عنوان کود آلی و جایگزین کودهای شیمیایی در گلخانه‌ها، باغ‌ها و مزارع استفاده شود. مهمترین مشکلات تولید بیوکمپوست از پسماندهای کشاورزی از قبیل باگاس، طولانی بودن زمان فرایند (بین شش ماه تا یک سال) و کیفیت پایین آن بدلیل عدم بلوغ کامل فرایند و در نتیجه عدم اقتصادی بودن تولید آن می‌باشد. دلیل طولانی بودن فرایند، عدم تعادل مواد و عناصر موجود در ترکیب باگاس و همچنین کم بودن جمعیت و فعالیت میکروبی مؤثر در فرایند است (اسمایانا و همکاران، ۲۰۱۳). کمپوست‌سازی، یک فرایند زیستی است که در این فرایند قارچ‌ها و باکتری‌های گرمادوست کلیدی‌ترین نقش را به‌عهده دارند. هرچه قدرت تجزیه‌کنندگی این ریزجانداران بیشتر باشد، مدت زمان فرایند کوتاه‌تر و کمپوست تولیدی نیز بالغ‌تر خواهد بود (سرکمریان و همکاران، ۲۰۱۵). لیگنین بوسیله آنزیم‌های اکسیداتیو پراکسیدازها، فنل اکسیدازها و لاکازها تجزیه می‌شود. سازوکار هیدرولیز سلولز و همی‌سلولز بوسیله قارچ تریکودرما از سال ۱۹۵۰ مورد مطالعه قرار گرفت. برای تولید صنعتی آنزیم‌های تجزیه‌کننده سلولز و زایلن از Trichoderma. reesei استفاده شده است. اگر چه بعضی باکتری‌ها بوسیله فرایند سایندگی و حفاری و ایجاد تونل قادر به تجزیه دیواره سلولی حاوی مونولیگنین‌ها می‌باشند. بعضی جنس‌ها از قبیل استرپتومایسیس، نوکاردیا و رودوکوکوس به وسیله ترشح هیدروژن پراکسیداز قادر به تجزیه لیگنین می‌باشند. تجزیه لیگنین اغلب کند بوده به حدی که در چند هفته فقط ده درصد ملکول‌های لیگنین تجزیه و به کوچکتر از ۱۰۰۰ دالتون می‌رسد. تحقیقات نشان داد که لاکاز و پراکسیدازها در تجزیه لیگنین دخیل هستند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۳). پراکسیدازها بوسیله مکانیزم کاتیون رادیکال به پیوندهای دیمر لیگنین حمله می‌کنند و درنهایت بوسیله بازکردن حلقه‌های آروماتیک، آنها را به ملکول‌هایی با وزن مولکولی کمتر تجزیه می‌کنند و محصولاتی مانند لاکتون و کینون را تولید می‌کنند (واتانابه و همکاران، ۲۰۰۰؛ زیود، ۲۰۰۸). تجزیه لیگنین نیاز به انرژی زیادی دارد بنحوی که در شرایط مناسب هر گرم میسیلیوم قارچ قادر است یک گرم لیگنین را در ۴۸ ساعت تجزیه کند که در این واکنش‌ها یک گرم گلوکز مصرف می‌شود و وقتی گلوکز تخلیه شود تجزیه لیگنین نیز متوقف می‌شود (استنبرو- السون، ۱۹۹۸).

محمدیان فرد (۱۳۹۲) در تحقیقی برای تولید کمپوست از فیلترکیک و مخلوطی از فیلترکیک و باگاس به نسبت ۲:۱ استفاده کرد. این محقق پس از تجزیه کمپوست بعد از ۹۰ روز نشان داد که در مخلوط فیلترکیک حدود ۱۲٪ نیتروژن از بین رفته بود درحالی‌که در مخلوط فیلتر کیک و باگاس غلظت نیتروژن کمتری از بین رفته بود که ناشی از پایین بودن نسبت کربن به نیتروژن در فیلترکیک و خروج نیتروژن به‌صورت آمونیاک از ترکیب است. یوسفی روستایی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیق خود به منظور تولید کمپوست بالغ و تسریع در زمان تولید آن، تیمار باگاس به همراه پنج درصد خاک فسفات را به‌عنوان بهترین تیمار از نظر پارامترهای دما،

هدایت الکتریکی و نسبت کربن به نیتروژن گزارش نمودند. در بررسی میکروبیولوژی تجزیه ضایعات آشپزخانه توسط وانگ و همکاران (۲۰۰۳)، فرایند تبدیل بیولوژیکی یک مخلوط زباله شهری و ضایعات غذایی در راکتور سیلندری در دمای ۶۰ درجه سلسیوس اجرا شد. در این بررسی از باکتری باسیلوس ترمو آمیلوورانس به عنوان استارتر در راکتور استفاده شد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۳). مقدار دی‌اکسید کربن در تجزیه زیستی ماده آلی در مدت زمان ۱۰ روز از ۳/۸ به ۱/۳ میلی‌گرم در هرگرم ماده آلی در روز کاهش یافت. این موضوع نشان داد که بخش عمده‌ای از مخلوط زباله شهری و مواد غذایی به‌راحتی در ۱۰ روز تجزیه شده اما باقیمانده ماده آلی به‌دلیل تجزیه کند سلولز در دیواره سلولی پایدارتر است.

در تحقیقی که توسط مهتا و همکاران در سال ۲۰۱۴ انجام گردید زباله‌های مختلف شهری با استفاده از ریزجانداران در مدت ۱۴ روز به کمپوست بهداشتی تبدیل شد. در این تحقیق ریزجانداران در زباله‌های مختلف در طی فرایند کمپوست‌سازی شناسایی شدند. اسمایانا و همکاران در سال ۲۰۱۲ در تحقیق خود با عنوان " تعیین تأثیر هوادهی و تعیین بهترین نسبت C/N جهت کمپوست‌سازی با استفاده از باگاس و لجن صنعت نیشکر" نشان دادند که تیمار هوادهی تأثیر قابل‌توجهی بر مقدار C/N نداشت و کمپوست با مقدار C/N اولیه ۳۰ سریعترین فرآیند تجزیه را در مراحل کمپوست‌سازی داشت. در تحقیقی که توسط دیالو و همکاران در سال ۲۰۱۷ با عنوان تاثیر سویه‌های باسیلوس در کمپوستینگ باگاس انجام شد از دو سویه باسیلوس (Bacillus sp. and B. subtilis) به عنوان مایه تلقیح استفاده شد. این سویه‌ها توانستند تخریب زیستی بیشتری را نسبت به تیمار شاهد در توده‌های باگاس موجب شوند همچنین زمان کمپوست‌سازی باگاس نیشکر را کاهش و ارزش تغذیه‌ای آن را افزایش دادند. استفاده از ریزجانداران در تجزیه کمپوست باگاس، هنوز بحث‌برانگیز است و نتایج متناقضی توسط بسیاری از دانشمندان ارائه شده است (دی فیگوریدو و همکاران، ۲۰۱۳). در واقع، شرایط محیطی و تغذیه‌ای تنها پارامترهایی که می‌توانند رشد میکروبی را در توده باگاس تحت تاثیر قرار دهند نیستند و وجود سایر ریزجانداران می‌تواند بر این فرایند تاثیر گذار باشد (فرانک ویتل و همکاران، ۲۰۱۴).

بطور کلی جهت تولید کمپوست از باگاس نیشکر با استفاده از باکتری‌ها و قارچ‌ها، می‌توان از باگاس که در عرصه تولید به عنوان یک مشکل از آن یاد می‌شود را با حداقل هزینه به کود آلی تبدیل کرد. با توجه به موارد فوق، هدف از اجرای تحقیق حاضر تولید بیوکمپوست غنی شده از باگاس نیشکر با استفاده از زادمایه‌های موثر و کاهش زمان کمپوست‌سازی بوده است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر کاربرد زادمایه میکروبی جهت تسریع تولید کمپوست از باگاس، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار به مدت یک سال در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید. در این پروژه تیمارها شامل شاهد (باگاس بدون استفاده از زادمایه) و تیمار دوم تا چهارم به ترتیب شامل کاربرد ۰/۵، ۱ و ۱/۵درصد زادمایه میکروبی در توده‌های باگاس بود. زادمایه میکروبی استفاده شده در تحقیق توسط موسسه خاک و آب تهیه شد. در این تحقیق زادمایه کاربردی حاوی مخلوط سه سویه باکتری سلولولیتیک Bacillus paralicheniformis، Bacillus atrophaeus و Bacillus amyloliquefaciens با جمعیت باکتری 10^8 و همچنین قارچ Trichoderma harzianum با جمعیت 10^7 بود که بر روی توده‌های ۱۰۰ کیلوگرمی باگاس اسپری گردید. جهت تهیه زادمایه میکروبی ابتدا نسبت به نمونه‌برداری از انواع منابع از قبیل نمونه‌های خالص قارچ و باکتری آرشیو موسسه تحقیقات خاک و آب، انواع مواد آلی شامل کمپوست، ورمی کمپوست، انواع کود حیوانی، خاک، نمونه‌های جانوری مانند موریانه، نمونه‌های تجاری حاوی زادمایه میکروبی و بقایای گیاهی اقدام شد. میزان ۱۰ گرم

از هریک از نمونه‌های مایع یا جامد را در داخل ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۹۰ میلی‌لیتر محلول سرم نمکی (۰/۸۵گرم در لیتر کلرید سدیم) استریل ریخته و به مدت ۲۰ دقیقه توسط شیکر دورانی با دور ۱۳۰ دور در دقیقه قرار داده شد. برای کنترل و حذف قارچ نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه بر روی حمام بخار (بن ماری) با دمای نزدیک جوش قرار داده شد. سپس برای تهیه سری‌های رقت یک میلی لیتر از محلول هموژنیزه به لوله‌های حاوی نه میلی لیترآب مقطر استریل اضافه شد. در نهایت۰/۱ میلی لیتر از رقت‌های تهیه شده بر روی سطح پلیت‌های حاوی محیط کشت نوترینت آگار تهیه شده از شرکت مرک کشت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد گرما گذاری شد (لو و همکاران، ۲۰۰۹).

برای جداسازی، مشاهده و شمارش کلونی باکتری‌ها روی محیط نوترینت آگار و برای قارچ‌ها روی محیط واتر آگار و سیب زمینی دکستروز آگار منتقل و پس از حداقل ۲۴ تا ۴۸ ساعت (بسته به رشد باکتری‌ها و یا قارچ‌های مختلف) نسبت به تفکیک هر کلنی و انتقال روی محیط کشت‌های عمومی و شمارش کلنی‌ها در هر سری رقت اقدام گردید. پس از خالص سازی کلنی‌ها و تکثیر خطی آنها جهت بررسی کارایی میزان توان تولید آنزیم سلولاز اقدام به تهیه محیط کشت اختصاصی برای تست کارایی ریزواره گردید. محیط کشت اختصاصی برای رشد باکتری‌های سلولولیتیک محیط Bushnell Hass Medium بود که حاوی ترکیب کربندار کربوکسی متیل سلولز (**CMC**) می‌باشد (بوشنل و هاس، ۱۹۴۱).

جهت اندازه گیری خصوصیات مورد نظر در این تحقیق ابتدا دمای اولیه، درصد کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن و قابلیت هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. جهت تعدیل نسبت کربن به نیتروژن توده‌های باگاس و افزایش فعالیت ریزجانداران، ۱/۵ کیلوگرم کود اوره در ابتدا و پس از ۳۰ روز (جمعاً سه کیلوگرم) به توده های باگاس افزوده و دمای توده با دماسنج مناسب در داخل توده و در زمان‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ ، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۵۵ و ۶۰ روز و در ساعت مشخص قرائت شد. قابلیت هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن هر ۱۵ روز یکبار قرائت گردید.

در دوره زمانی کمپوست‌سازی میانگین رطوبت در محدوده ۵۰-۶۰ درصد و دما در محدوده ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس (جهت حفظ شرایط بهینه رشد باکتری‌ها) بود. شاخص‌های ذکر شده همراه با غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، مس، روی و منگنز در تیمارها در نمونه کمپوست نهایی اندازه‌گیری شد. تمامی تجزیه‌های آزمایشگاهی مطابق با روش‌های موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد (احیایی، ۱۳۷۶). پس از یادداشت‌برداری داده‌های مورد نیاز، با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C تجزیه واریانس صفات مورد بررسی انجام و با استفاده از روش آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن، میانگین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ با هم مقایسه گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکو شیمیایی باگاس مورد استفاده در تحقیق

منطقه	pH	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	نسبت کربن به نیتروژن	ماده خشک	نیتروژن	کربن آلی	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	مس
				درصد					میلی‌گرم بر کیلوگرم			
دزفول	۶/۵۳	۲/۷	۸۶/۱	۵۲/۶	۰/۵۷	۴۹/۱	۰/۰۴	۰/۱۵	۲۳۲۰	۴۹	۳۵	۵

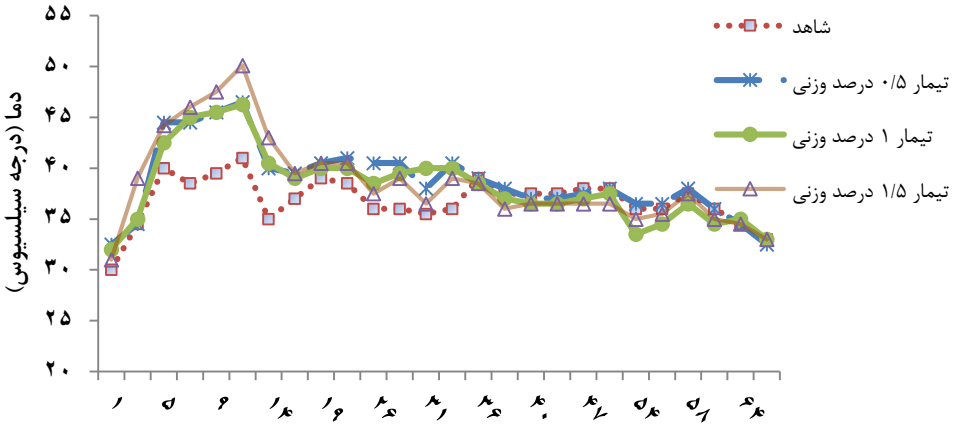
نتایج و بحث

نتایج خصوصیات فیزیک و شیمیایی باگاس مورد استفاده در تحقیق در جدول (یک) آورده شده است.

بررسی روند تغییرات دمایی در حین فرایند کمپوست‌سازی در تیمارهای مختلف نشان داد تیمارهای مختلف تغییرات دمایی متفاوتی را نشان دادند (شکل ۱).

در تیمارهای شاهد، ۰/۵، یک و ۱/۵درصد وزنی زادمایه، فاز تاخیری یا مزوفیل تقریباً مشابه و در روزهای سوم تا پنجم و با دمای ۴۰-۳۳ درجه سلسیوس رخ داد. به تدریج و در روزهای ۱۲-۵ دمای تیمارهای ۰/۵، یک و ۱/۵درصد وزنی زادمایه افزایش و در تیمارهای ۰/۵ و یک درصد وزنی به ۴۵ درجه سلسیوس و در تیمار ۱/۵ درصد وزنی به ۵۰/۱ درجه سلسیوس افزایش یافت. این موضوع نشان داد که بیشترین میزان افزایش دما در تیمار ۱/۵ درصد وزنی رخ داده است. در طی فرایند کمپوست‌سازی، در حضور رطوبت و ریزجانداران و در محیط هوازی دما می‌تواند تا حدود 75 درجه سلسیوس افزایش یابد. نتایج دمایی تیمار شاهد نیز نشان داد که این تیمار فقط وارد مرحله مزوفیل گردیده و امکان عبور از مرحله ترموفیل را نداشته و هنوز زمان زیادی برای طی کردن مراحل لازم جهت تبدیل شدن به کمپوست بالغ نیاز دارد (شکل ۱).

سرکمریان و همکاران (۲۰۱۵)، در تحقیق خود نشان دادند که در تیمارهای (باگاس، اوره، فیلترکیک، ویناس و بوستر میکروبی) و (باگاس، اوره، فیلترکیک و ویناس) حداکثر دمای ۴۹-۴۰ درجه سلسیوس ثبت گردید درحالی‌که در تیمار (باگاس، کود مرغی، فیلترکیک، ویناس و بوستر میکروبی) حداکثر دمای ۵۸ درجه سلسیوس در توده کمپوست ثبت شد. لذا با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری دما می‌توان اعلام کرد که فرایند کمپوست‌سازی در تیمار ۱/۵درصد وزنی نسبت به تیمارهای دیگر اندکی زودتر وارد مرحله مزوفیل و ترموفیل گردیده و از دمای بالاتری نیز برخوردار بوده که این امر می‌تواند منجر به تجزیه سریعتر موادآلی گردد (دهقانی و همکاران، ۲۰۱۱؛ وادکار و همکاران، ۲۰۱۳).



تعداد روز پس از شروع آزمایش

شکل ۱- روند تغییرات دمایی در فرایند کمپوست‌سازی تیمارهای مختلف

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	نسبت کربن به نیتروژن روز ۱۵ ام	نسبت کربن به نیتروژن روز ۳۰ ام	نسبت کربن به نیتروژن روز ۴۵ ام	نسبت کربن به نیتروژن روز ۶۰ ام
زادمایه	۳	۳/۷۴ ns	۳۵/۲ ns	۳۷/۰۷ *	۳۵۶/۲**
خطا	۱۲	۷/۱۴	۲۵/۲	۷/۳	۱۸/۹
ضریب تغییرات(CV)	-	۳/۰۵	۷/۰۹	۴/۸	۹/۶

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	قابلیت هدایت الکتریکی روز ۱۵ ام	قابلیت هدایت الکتریکی روز ۳۰ ام	قابلیت هدایت الکتریکی روز ۴۵ ام	قابلیت هدایت الکتریکی روز ۶۰ ام
زادمایه	۳	۰/۰۵۵ ns	۰/۰۱۱ ns	۰/۵۱۵*	۰/۱۰۸ ns
خطا	۱۲	۰/۰۵	۰/۰۰۷	۰/۱۰۴	۰/۰۴۴
ضریب تغییرات(CV)	-	۱۶/۵	۹/۶۹	۱۲/۴	۱۵/۲

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در آزمایش

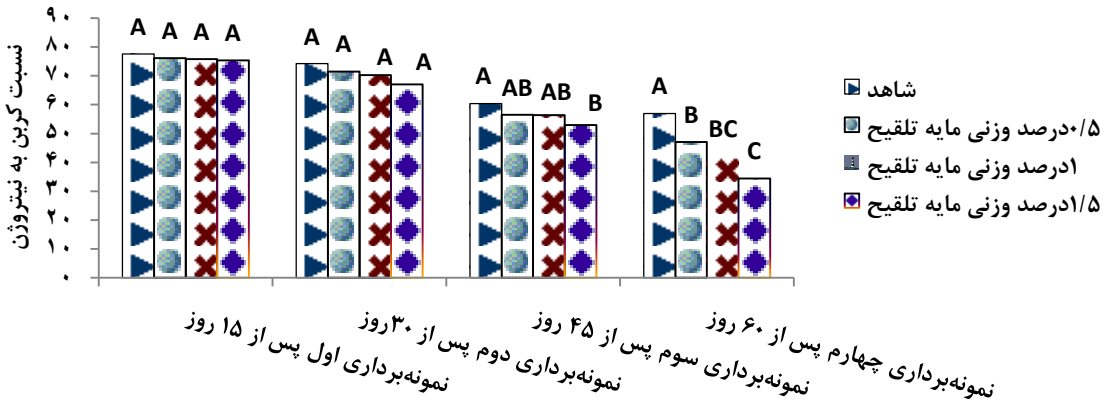
منابع تغییر	درجه آزادی	کربن آلی روز ۱۵ ام	کربن آلی روز ۳۰ ام	کربن آلی روز ۴۵ ام	کربن آلی روز ۶۰ ام
زادمایه	۳	۱۶/۳ ns	۴۰/۹ ns	۴۹/۹*	۱۲۹/۲**
خطا	۱۲	۶/۵	۱۷/۲	۹/۷	۴/۰۱
ضریب تغییرات(CV)	-	۴/۲	۷/۹	۶/۶	۴/۱۳

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن روز ۶۰ ام	فسفر روز ۶۰ ام	پتاسیم روز ۶۰ ام	آهن روز ۶۰ ام	مس روز ۶۰ ام	روی روز ۶۰ ام	منگنز روز ۶۰ ام
زادمایه	۳	۰/۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ns	۲۳۶۷۷۵۸*	۵۲/۰۶**	۲۰/۵۶ ns	۵۹۵/۷*
خطا	۱۲	۰/۰۴۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۴۲۶۰۸۲	۴/۳۵	۴۲/۵۶	۱۲۷/۹
ضریب تغییرات(CV)	-	۲۰/۰۹	۱۴/۷	۷/۸	۱۶/۹	۲۰/۴	۱۲/۵	۱۷/۶

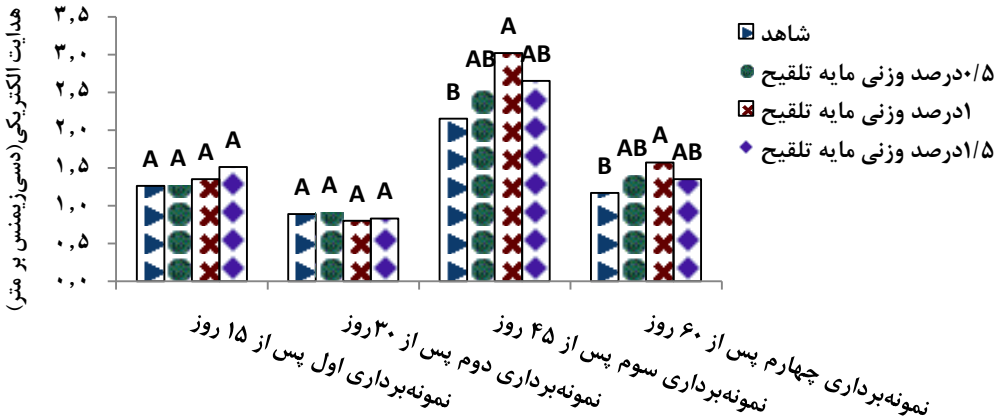
ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری، اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد و در سطح یک درصد می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی تغییرات نسبت کربن به نیتروژن در حین فرایند کمپوست‌سازی در تیمارهای مختلف نشان داد بین تیمارهای مختلف در روز ۱۵ ام و ۳۰ ام اختلاف معنی‌دار وجود نداشت درحالی‌که در روزهای ۴۵ ام و ۶۰ ام نمونه‌برداری، بین تیمارها به ترتیب در سطح ۵٪ و ۱٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). با توجه به شکل ۲ می‌توان دریافت تغییرات این شاخص در تمامی تیمارهای مورد آزمایش نسبت به تیمار شاهد روندی کاهشی داشته است. بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین مقدار نسبت کربن به نیتروژن مربوط به تیمارهای شاهد و میزان آن در طول ۶۰ روز از ۷۷/۶ به ۵۷ کاهش یافت درحالی‌که کمترین مقدار آن در تیمار ۱/۵٪ زادمایه مشاهده گردید که میزان آن از ۷۵/۴ به ۳۴/۴ تغییر یافت. بهترین نسبت کربن به نیتروژن برای تولید کمپوست ۴۰-۲۵ است و اگر نسبت کربن به نیتروژن از مقدار مذکور بالاتر رود فعالیت ریزجانداران به‌دلیل پایین بودن میزان نیتروژن متوقف می‌شود و در صورت پایین‌تر بودن از مقدار مذکور، مقدار زیادی از نیتروژن به صورت گاز NH_3 از بین می‌رود (سامپونگ و همکاران، ۲۰۰۴). مدت زمان فرایند کمپوست و همچنین میزان تولید دی‌اکسید کربن رابطه مستقیم با نسبت کربن به نیتروژن پسماند اولیه دارد که این بدان معنی است که هر چه نسبت کربن به نیتروژن آغازین بیشتر باشد احتمالاً برای تثبیت مواد کمپوست و همچنین تغییر فاز باکتریایی به قارچی به مدت زمان طولانی‌تری نیاز است (غفاری و همکاران، ۲۰۱۱)



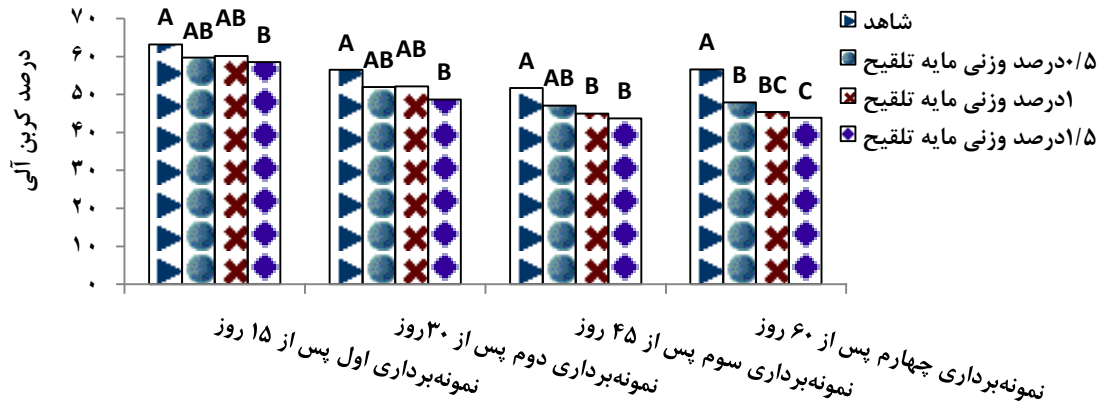
شکل ۲- روند تغییرات نسبت کربن به نیتروژن در تیمارها و زمان‌های مختلف

روند تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در حین فرایند کمپوست‌سازی در تیمارهای مختلف نشان داد بین تیمارهای مختلف از نظر قابلیت هدایت الکتریکی در روز ۱۵ ام، ۳۰ ام و ۶۰ ام اختلاف معنی‌داری وجود نداشت درحالیکه در روز ۴۵ ام نمونه‌برداری، بین تیمارها در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). در روز ۴۵ ام حداقل هدایت الکتریکی در تیمار شاهد و حداکثر آن در تیمار یک درصد زادمایه (۳/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر) اندازه‌گیری گردید. نتایج حاصل از بررسی تیمارهای مختلف نشان داد در روزهای ۱۵ ام، ۳۰ ام و ۶۰ ام، قابلیت هدایت الکتریکی در تمام تیمارها نسبت به روز ۴۵ ام از مقدار کمتری برخوردار بود همچنین در روزهای ۴۵ ام و ۶۰ ام روند تغییرات مشابه و در تیمارهای شاهد تا یک درصد زادمایه افزایشی و سپس کاهشی بوده است (شکل ۳). قابلیت هدایت الکتریکی در اصل قابلیت رسانایی یک محلول را نشان می‌دهد که به غلظت و نوع یون‌ها وابسته است همچنین این فاکتور ارتباط مستقیمی با میزان رهاسازی مواد سهل‌الوصول به داخل محلول دارد. بر این اساس علت افزایش ناگهانی قابلیت هدایت الکتریکی در نمونه‌برداری روز ۴۵ ام یکی به دلیل افزایش کود اوره در این فاصله زمانی (کود اوره در دو مرحله: ابتدا و پس از ۳۱ روز به توده‌های باگاس اضافه شد) و دیگری به دلیل اتمام مرحله ترموفیلیک و فعالیت قارچ‌ها بوده که باعث تجزیه ترکیبات سخت‌تر و آزادسازی عناصر غذایی به داخل توده باگاس گردیده است (بیو، ۱۹۹۸). علت کاهش قابلیت هدایت الکتریکی در نمونه‌برداری روز ۶۰ ام نسبت به نمونه‌برداری روز ۴۵ ام احتمالاً به دلیل تصاعد نیتروژن اضافه شده و رسیدن سیستم به حالت تعادل می‌باشد. تحقیقات در این زمینه نشان می‌دهد که قابلیت هدایت الکتریکی در کمپوست باید بین دو تا سه دسی‌زیمنس بر متر باشد تا بتوان آن را به عنوان کود در صنعت کشاورزی استفاده کرد (مور و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۳- روند تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی در تیمارها و زمان‌های مختلف

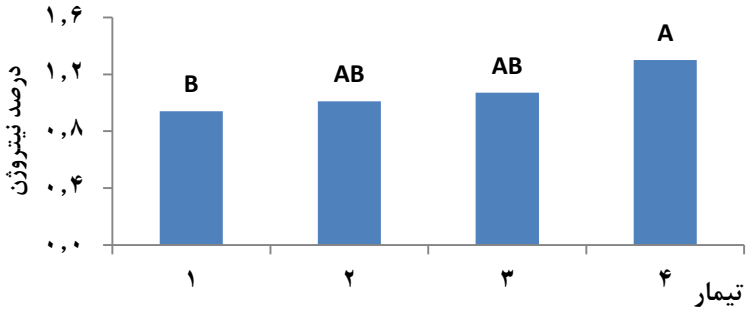
نتایج تجزیه واریانس آزمایش با توجه به جدول دو نشان داد بین تیمارهای مختلف از نظر درصد کربن آلی در روز ۱۵ ام و ۳۰ ام اختلاف معنی‌داری وجود نداشت درحالی‌که در روز چهل و پنجم و ۶۰ ام نمونه‌برداری، بین تیمارها به ترتیب در سطح ۵٪ و ۱٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بر اساس شکل چهار تغییرات درصد کربن آلی در اغلب تیمارها نسبت به تیمار شاهد روند کاهشی داشته است. بر این اساس می‌توان دریافت در روز ۴۵ ام و ۶۰ ام حداکثر درصد کربن آلی در تیمار شاهد و حداقل آن در تیمار ۱/۵ درصد زادمایه مشاهده گردید. نتایج همچنین نشان داد در روزهای ۴۵ ام و ۶۰ ام، روند تغییرات منظم‌تر است (شکل ۴). معمولاً حدود ۶۵ درصد کربن در طی فرایند کمپوست‌سازی مصرف شده و به صورت گاز CO_2 دفع می‌شود و مابقی در تشکیل ساختمان سلولی به همراه نیتروژن شرکت می‌کند. البته این عملیات هنگامی رخ می‌دهد که نسبت کربن به نیتروژن ماده اولیه مثل باگاس خیلی بالا باشد (چانگ و سو، ۲۰۰۸).



شکل ۴- روند تغییرات کربن آلی در تیمارها و زمان‌های مختلف

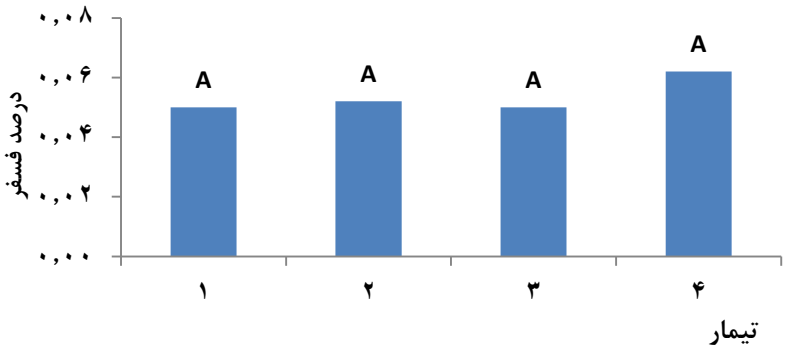
در انتهای پروژه و بر اساس آنالیز عنصری کمپوست تولیدی می‌توان دریافت، بین تیمارهای مختلف از نظر درصد نیتروژن روز ۶۰ ام اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همانگونه که در شکل پنج نشان داده شده، روند تغییرات نیتروژن در تیمارهای مختلف افزایشی و منظم بوده و حداقل درصد نیتروژن در تیمار شاهد (۰/۹۴ ٪) و حداکثر آن در تیمار ۱/۵ درصد زادمایه (۱/۳٪) اندازه‌گیری گردید. به طورکلی مقدار نیتروژن کمپوست

بستگی به شرایط کمپوست‌سازی، بلوغ، شرایط انبارداری و نوع ماده اولیه دارد. مواد با نسبت کربن به نیتروژن (C/N) پایین از قبیل کود مرغی، باعث افزایش نیتروژن برای رشد میکروبی و آزادسازی آمونیوم می‌شوند که می‌تواند به صورت گاز آمونیاک در اتمسفر متصاعد شود (فینستین و موریس، ۱۹۷۵). از طرف دیگر مواد با نسبت بالای C/N، نیتروژن کافی برای حمایت از رشد میکروبی را نداشته لذا سرعت تجزیه کاهش می‌یابد.

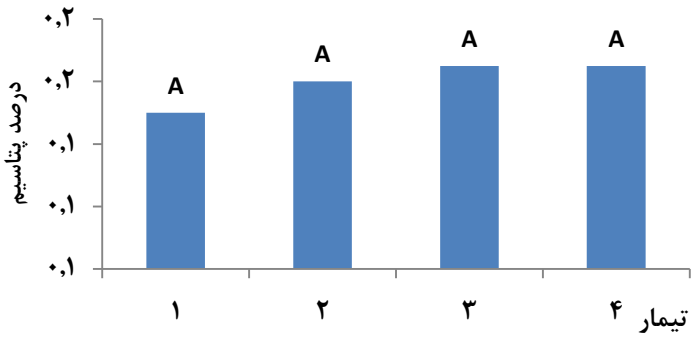


شکل ۵- درصد نیتروژن در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف
تیمار یک تا چهار به‌ترتیب شامل شاهد، کاربرد ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه در توده‌های باگاس می‌باشد

با توجه به جدول دو می‌توان دریافت بین تیمارهای مختلف از نظر درصد فسفر و پتاسیم در روز ۶۰ ام اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بر اساس شکل شش، حداقل درصد فسفر در تیمار شاهد (۰/۰۵٪) و حداکثر آن در تیمار ۱/۵ درصد زادمایه (۰/۰۶۲٪) و بر اساس شکل هفت، حداقل درصد پتاسیم در تیمار شاهد (۰/۱۵۵٪) و حداکثر آن در تیمار یک و ۱/۵ درصد زادمایه (۰/۱۶۵٪) اندازه‌گیری گردید. افزایش درصد فسفر و پتاسیم در طی فرایند کمپوست‌سازی می‌تواند بدلیل خارج شدن این عناصر از حالت کلاته و تبدیل شدن به فرم محلول و قابل استفاده برای گیاه باشد (عباسی و همکاران، ۲۰۱۵). دلیل محلول شدن این عناصر، فعالیت سویه‌های میکروبی اضافه شده به فرایند کمپوست‌سازی می‌باشد، زیرا بسیاری از باکتری‌ها و قارچ‌های خاکزی توانایی حل‌کنندگی فسفر و پتاسیم را دارند (عباسی و همکاران، ۲۰۱۵).

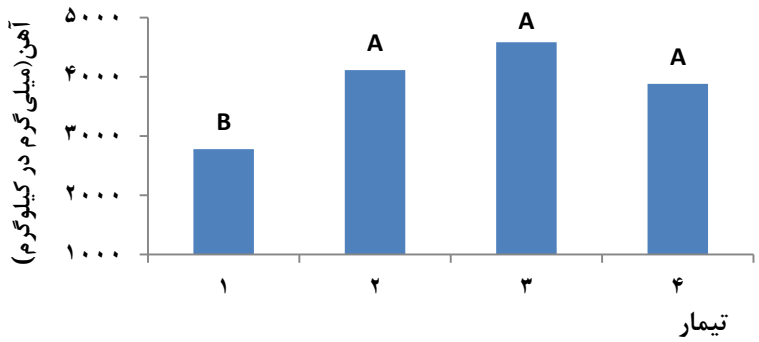


شکل ۶- درصد فسفر در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف



شکل ۷- درصد پتاسیم در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف
در اشکال ۶ و ۷ تیمار یک تا چهار به‌ترتیب شامل شاهد، کاربرد ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه در توده‌های باگاس می‌باشد

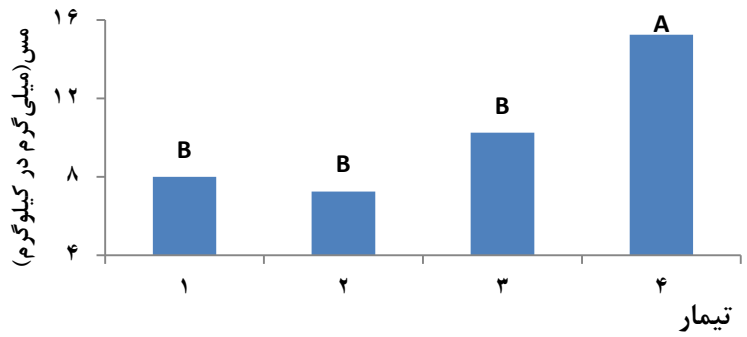
در ارتباط با میزان آهن در کمپوست نهایی، نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد از نظر غلظت آهن در روز ۶۰ ام بین تیمارهای مختلف در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همانگونه که در شکل هشت نشان داده شد روند تغییرات بین تیمارهای شاهد تا یک درصد زادمایه، افزایشی و سپس کاهشی بوده است. اگر چه بین تیمارهای یک تا ۱/۵ درصد زادمایه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت اما حداقل میزان آهن در تیمار شاهد ($mg\ kg^{-1}$) ۲۷۷۶) و حداکثر آن در تیمار یک درصد زادمایه ($mg\ kg^{-1}$) ۴۵۸۱/۵) اندازه‌گیری شد. علت کاهش غیرمعنی‌دار تیمار ۱/۵ درصد زادمایه در مقایسه با تیمارهای ۰/۵ و یک درصد نشان از تأثیر کمتر تیمار ۱/۵ درصد زادمایه در مقایسه با تیمارهای ۰/۵ و یک درصد، جهت آزادسازی آهن در توده کمپوست می‌باشد. تحقیقات انجام شده توسط لارنی و همکاران (۲۰۰۸) در خصوص افزایش مقدار عنصر آهن در فرآیند ۶۰ روزه، نتایج حاصل از این تحقیق در مدت مشابه را تایید می‌کند.



شکل ۸- غلظت آهن در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف
تیمار یک تا چهار به‌ترتیب شامل شاهد، کاربرد ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه در توده‌های باگاس می‌باشد

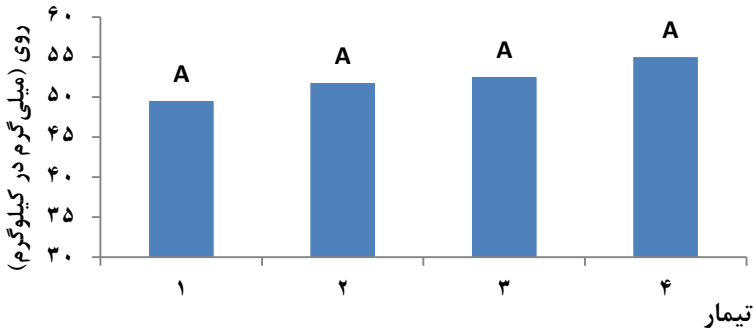
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد بین تیمارهای مختلف از نظر میزان مس در روز ۶۰ ام در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. همانگونه که در شکل ۹ نشان داده شد، حداقل مقدار مس در تیمار شاهد ($mg\ kg^{-1}$) ۸) و حداکثر آن در تیمار ۱/۵ درصد زادمایه ($mg\ kg^{-1}$) ۱۵/۲۵) اندازه‌گیری شد. اینبار و همکاران (۱۹۹۳) افزایش ۱۴٪ مس را در کمپوست کود گاوی و لیتا و همکاران (۱۹۹۱) افزایش معنی‌دار عناصر مس و روی را در کمپوست زباله شهری گزارش کردند. در تحقیق حاضر با استفاده از زادمایه، افزایش تقریباً دو برابری این عنصر در تیمار ۱/۵ درصد زادمایه اندازه‌گیری گردید که این موضوع نتیجه تاثیر مثبت زادمایه بر میزان

تجزیه‌پذیری و افزایش غلظت عناصر غذایی قابل دسترس در کمپوست است. نتایج فوق‌الذکر با تحقیقات سینگ و ساکسنا (۲۰۱۱) کاملاً منطبق است.



شکل ۹- غلظت مس در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف
تیمار یک تا چهار به‌ترتیب شامل شاهد، کاربرد ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه در توده‌های باگاس می‌باشد

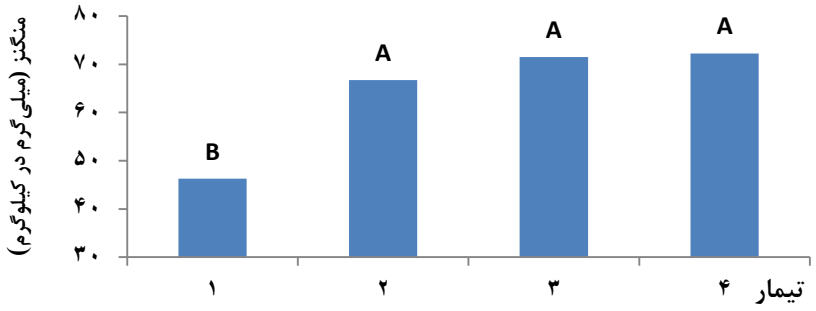
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد از نظر غلظت روی در روز ۶۰ ام بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. همانگونه که در شکل (۱۰) نشان داده شد، روند تغییرات عنصر فوق‌الذکر بین تیمارها افزایشی و حداقل غلظت روی در تیمار شاهد (۴۹/۵ mg kg^{-1}) و حداکثر آن در تیمار ۱/۵ درصد زادمایه (۵۵ mg kg^{-1}) اندازه‌گیری گردید. با توجه به شکل، اگر چه بین تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ولی تیمار ۱/۵ درصد زادمایه افزایش ۱۱٪ در میزان روی نسبت به شاهد را نشان می‌دهد. این درحالی است که فوسی و همکاران (۲۰۱۳) افزایش ۶۴٪ مقدار روی در کمپوست نهایی نسبت به تیمار شاهد را گزارش کردند.



شکل ۱۰- غلظت روی در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف
تیمار یک تا چهار به‌ترتیب شامل شاهد، کاربرد ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه در توده‌های باگاس می‌باشد

با توجه به جدول دو می‌توان دریافت که از نظر میزان منگنز در روز ۶۰ ام بین تیمارهای مختلف در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت. براساس شکل ۱۱، روند تغییرات عنصر فوق‌الذکر بین تیمارها افزایشی و حداقل منگنز در تیمار شاهد (۴۶/۲۵ mg kg^{-1}) و حداکثر آن در تیمار ۱/۵ درصد زادمایه (۷۲/۲۵ mg kg^{-1}) اندازه‌گیری گردید. با توجه به شکل ۱۱، می‌توان دریافت بین تیمارهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت همچنین تیمار ۱/۵ درصد زادمایه افزایش ۵۶ درصدی در میزان منگنز نسبت

به شاهد را نشان داد. اینبار و همکاران (۱۹۹۳) در تحقیق بر روی کمپوست کود گاوی افزایش ۸۹٪ مقدار منگنز و ایهنات و فرناندز (۱۹۹۶) افزایش ۴۷ تا ۵۹ درصد در منگنز کل را در کمپوست مخلوط کاه و کلش با کود مرغی گزارش کردند. در این تحقیق روند افزایش بیانگر نقش موثر مایه تلقیح در افزایش قابلیت دسترسی عنصر منگنز است.



شکل ۱۱- غلظت منگنز در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف
تیمار یک تا چهار به‌ترتیب شامل شاهد، کاربرد ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه در توده‌های باگاس می‌باشد

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج تحقیق استفاده از ۱/۵درصد وزنی زادمایه می‌تواند منجر به افزایش دما و محتوی عناصر غذایی مس و منگنز همچنین کاهش کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن گردد که این امر موجب افزایش سرعت و کیفیت کمپوست تولیدی از پسماندهای نیشکر (باگاس) می‌گردد. استفاده از نتیجه تحقیق در زمینه تبدیل باگاس به کمپوست علاوه بر تولید اشتغال و درآمد در منطقه، بدون شک می‌تواند در افزایش مواد آلی خاک‌های خوزستان که دارای فقر شدید مواد آلی هستند مؤثر باشد. با توجه به حجم عظیم تولید باگاس در خوزستان، ضرورت دارد در خصوص تولید کمپوست از باگاس نیشکر تحقیقات بیشتری صورت پذیرد

سپاسگزاری

تحقیق حاضر در قالب پروژه تحقیقاتی موسسه تحقیقاتی خاک و آب با شماره مصوب ۹۸۰۶۲۴-۹۷۰۳۶-۰۲۱-۱۰-۷۱-۱۲۴ انجام گردید. بدینوسیله نویسندگان از همکاری بخش خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد همچنین موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تشکر و قدردانی می‌نمایند.

فهرست منابع

۱. احمدی، ک.، عبادزاده، ح.، حاتمی، ح.، محمدنیا افروزی، ش.، اسفندیاری پور، ا. و عباس طاقانی، ر. ۱۴۰۰. آمارنامه کشاورزی. جلد اول (محصولات زراعی)، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران، صفحه ۷۰.
۲. احیایی، م. ۱۳۷۶. شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک. نشریه فنی. موسسه تحقیقات خاک و آب، شماره ۱۰۲۴، ۱۱۲ صفحه.
۳. محمدیان‌فرد، ز. و عسکری بزایه، ح. ۱۳۹۲. تولید کمپوست و ورمی کمپوست از ضایعات نیشکر. دومین همایش ملی علوم و فنون غذایی.

۴. یوسفی‌روستایی، م.، جعفرملکوتی، م. و خاوازی، ک. ۱۳۹۴. اثر افزودنی‌های ملاس و خاک فسفات توام با فعال‌کننده زیستی بر فرایند کمپوست باگاس نیشکر. اولین همایش بین المللی و چهارمین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار.

5. Abbasi, M.K., Musa, N. and Manzoor, M. 2015. Mineralization of soluble P fertilizers and insoluble rock phosphate in response to phosphate-solubilizing bacteria and poultry manure and their effect on the growth and P utilization efficiency of chilli (Capsicum annuum L.). Biogeosciences 12: 4607-4619.
6. BioAbfV, L., 1998. Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerischgenutztenBöden (Bioabfallverordnung-BioAbfV).
7. Bushnell, D.L. and Haas, H.F. 1941. The utilization of certain hydrocarbons by microorganisms. Kansas Agricultural Experiment Station 199: 653–673.
8. Chang, J.I. and Hsu, T.E. 2008. Effects of compositions on food waste composting. Bioresource Technology Journal 99: 8068– 8074.
9. De Figueirêdo, V.R., Martos, E.T., De Siqueira, F.G., Maciel, W.P., Silva, R.D., Rinker, D.L. and Souza Dias, E. 2013. Microbial inoculation during composting improves productivity of sun mushroom (Agaricussubrufescens Peck). African Journal of Microbiology Research 7(35):4430-4434.
10. Diallo, N.D., Bengue, M., Guer, M., Kâ, M., Tine, E. and Baye, C.T. 2017. Composting of sugar cane bagasse by Bacillus strains. African Journal of Biotechnology 16(3): 113-123.
11. Finstein, M.S. and Morris M.L. 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. Advances in Applied Microbiology 19: 113-151.
12. Fauci, M.F., David, F., Bezdicek, D.C. and Finch, R. 2013. End Product Quality and Agronomic Performance of Compost. Compost Science and Utilization 7:17-29.
13. Franke-Whittle, I.H., Confalonieri, A., Insam, H., Schlegelmilch, M. and Korner, I. 2014. Changes in microbial communities during cocomposting of digestates. Waste Management 34:632-641.
14. Ghaffari, S., Akhavan, A.S., Razavi, M.R., Malekzadeh, F. and Haydarian, H. 2011. Effectiveness of inoculation with isolated Anoxybacillus sp. MGA110 on municipal solid waste composting process. African Journal of Microbiology Research 5: 5373-5378.
15. Hemayati, S., Hamdi, H., Taleghani, D. and Amili, H. 2011. National strategic plan of sugarcane research. Sugar beet Seed Institute (SBSI) and Sugarcane and byproducts Research, Education and Development Institute (Persian).
16. Ismayana, A., Indrasti, A.S. and Sane, T. 2012. Co-Composting process of bagasse and sludge from sugarcane industry with influence of difference initial C/N value and aeration. 2nd International Conference on Adaptive and Intelligent Agroindustry 54-62.
17. Ihnat, M. and Fernandes, L. 1996. Trace element characterization of composted poultry manure. Bioresource Technology Journal 57:143–156.
18. Inbar, Y., Hadar, Y. and Chen, Y. 1993. Recycling of cattle manure: The composting process and characterization of maturity. Journal of Environmental Quality 96: 214-223.
19. Larney, F.J., Olson, A.F., DeMaere, P.R., Handerek, B.P. and Tovell, B.C. 2008. Nutrient and trace element changes during manure composting at four southern Alberta feedlots. Canadian Journal of Soil Science 88: 45-59.

20. Leita, L., Enne, G., Nobili, D.M., Baldini, M. and Sequi, P. 1991. Heavy metal bioaccumulation in lamb and sheep bred in smelting and mining areas of S.W. Sardinia (Italy). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. Lewis Publishers, Boca Raton 46: 887– 893.
21. Lo, Y.C., Saratale, G.D., Chen, W.M., Bai, M.D. and Chang, J.S. 2009. Isolation of cellulose-hydrolytic bacteria and applications of the cellulolytic enzymes for cellulosic biohydrogen production, Enzyme. Enzyme and Microbial Technology 44: 417–425.
22. Mehta, C., Palni, U., Franke-Whittle, I. and Sharma, A. 2014. Compost: Its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. Waste Management 34:607-622.
23. Moore, J.E., Watabe, M., Stewart, A., Cherie Millar, B. and Rao, J.R. 2009. A novel challenge test incorporating irradiation ((60)co) of compost subsamples to validate thermal lethality towards pathogenic bacteria. Ecotoxicology and Environmental Safety 72: 144-153.
24. Rezende, C.A., de Lima, M.A., Maziero, P., deAzevedo, E.R., Garcia, W. and Polikarpov, I. 2011. Chemical and morphological characterization of sugarcane bagasse submitted to a delignification process for enhanced enzymatic digestibility. Biotechnology for Biofuels and Bioproducts 4: 54.
25. Sompong, M., Supamard, P. and Richard, W.W. 2004. Co-composting of filter cake and bagasse :by-products from a sugar mill. Department of soil science.
26. Sarkamarian, F., Salehi Jouzani, G. and Moradi, F. 2015. Fast production of enriched biocompost from sugarcane baggase using biotechnological process. Journal of Crop Biotechnology 5 (9): 49-64.
27. Singh, S. and Saxena, R. 2011. Translocation of metals and its effects in the tomato plants grown on various amendments of tannery waste: evidence for involvement of antioxidants. Chemosphere 57:91–99.
28. Stenbro-Olsen, P.W. 1998. Studies on the microbial ecology of open windrow composting. Ph.D. Dissertation. 212 pp. Dundee: University of Abertay.
29. Wadkar, D.V., Modak, P.R. and Chavan, V.S. 2013. Aerobic thermophilic composting of municipal solid waste. International Journal of Engineering, Science and Technology 5:716-718.
30. Wang, J.Y., Stabnikova, D., Tay, S.T.L., Ivanov, V. and Tay, J.H. 2003. Intensive composting of sewage sludge and food waste by Bacillus thermoamylovorans. World Journal of Microbiology and Biotechnology 19:427-432.
31. Watanabe, T., Terranishi, H., Honda, Y. and Kuwahara, M. 2000. A selective lignin – degrading fungus, Cerporiopsis subvermispora, produces alkalitaconates that inhibit the production of a cellulolytic active oxygen species, hydroxyl radical in the presence of iron and H2O2. European Journal of Biochemistry 13: 4222- 4231.
32. Zaved, H.K. 2008. Isolation and characterization of effective bacteria for solid waste degradation for organic matter. KMITL Science and Technology Journal Vol. 8, No. 2, jul- Dec.

Application of bioactivator to accelerate the production of compost from sugercane bagasse

S.H. Mahmoodi Nezhad Dezfully* and H. Saffary

Assistant Prof., of Soil and Water Research Department, Safiabad Agricultural Research and Education and Natural Resources Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran; E-mail: **Shmn178@yahoo.com**

Associate Prof., of Soil Fertility and Chemistry Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: **hosaffary@yahoo.com**

Received: November, 2021 and Accepted: November, 2022

Abstract

In order to study the effect of bioactivator application to accelerate the production of compost from sugarcane wastes, an experiment was conducted as a complete randomized design with four replications in Safiabad Agricultural Research and Education and Natural Resources Center in 2020 (for one year). The treatments included: control (bagasse without the use of bioactivator) and the second to fourth treatment were the application of 0.5, 1 and 1.5% by weight of bioactivators in 100 kg bagasse, respectively. The results showed that, there was a significant difference between treatments at significance level of 5% in the terms of electrical conductivity (EC), organic carbon (OC), C/N (in sampling after 45 days) and Fe and Mn concentrations (in sampling after 60 days). Furthermore there was a significant difference between treatments at the level of 1% in terms of OC, C/N and Cu concentration (in sampling after 60 days). Studies also showed that the highest temperature (52 °C) was measured in 1.5 % treatment and the highest EC was measured in sampling after 45 days in 1% treatment (3.02 dS/m). The highest OC and C/N, were measured in sampling after 60 days (43.9% and 34.4) in 1.5 % treatment, respectively. Regarding the amount of elements in the final compost (in sampling after 60 days), the highest amount of Fe concentration (4581.5 mg. kg^{-1}) was measured in 1 % treatment, Cu (15.25 mg. kg^{-1}) and Mn (72.25 mg. kg^{-1}) were measured in 1.5 % treatment and no significant difference was observed among the treatments in terms of nitrogen, phosphorus, potassium and zinc (Zn) concentrations at significance level of 5%. According to results of this study, the 1.5% treatment increase the speed and quality of compost produced from sugarcane waste (bagasse).

Keywords: Bagasse, Bioactivator, Macro and micro elements, Microbial respiration

*. Corresponding author's email: Shmn178@yahoo.com

Effect of Serendipita indica and Sinorhizobium meliloti on alfalfa plant growth (Medicago sativa L.) in a calcareous soil contaminated with zinc

L. Tabande*, M. Sepehri and M. Zarei

Ph.D., Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shiraz, Iran; E-mail: **ltabande@gmail.com**
Assistant. Professor. Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: **m.sepehri@yahoo.com**
Associate Professor. Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: **m.zarei@yahoo.com**

Received June, 2022 and Accepted November, 2022

Abstract

Heavy metal accumulation in soils has been become one of the most dangerous environmental issues in human societies. The use of a cheap and safe technology such as phytoremediation with a proper symbiosis between plants and plant growth-promoting microorganisms, can be an effective step in phytoremediation technology. In the present study, the effects of individual and combined inoculation of Serendipita indica and Sinorhizobium meliloti on alfalfa grown in a contaminated soil with different concentrations of zinc (0, 400 and 800 mg kg−1 soil) were investigated. The results showed that the highest level of zinc contamination led to a significant decrease of 53.3%, 71%, 25.2% and 60.2 of shoot and root dry weight, Phosphorus concentration, and plant catalase enzyme respectively, it was also associated with an increase of 174.5, 56.6, 60.2 and 36.6% in the amount of hydrogen peroxide, malondialdehyde, peroxidase and superoxide desmutase enzymes. The combined inoculation of fungi and bacteria increased phosphorus absorption in the plant. In addition, this treatment reduced the transfer of zinc from the roots to the shoots and stimulated the system of plant oxidative enzymes such as catalase and reduced the amount of hydrogen peroxide and malondialdehyde, which increased the growth characteristics of the plant. Therefore, the combined inoculation of fungi and bacteria has an important role in alfalfa plant nutrition by reducing the pH of the rhizosphere soil and increasing the Zn absorption and increasing the Zn stabilization in alfalfa roots.

Keywords: Oxidative enzymes, Plant stabilization, Transfer factor, Malondialdehyde

* - Corresponding author's email: ltabande@gmail.com

Effect of zinc-solubilizing bacteria and waste tire rubber powder on the growth and Zn and Fe concentrations of corn plant

A. Nasirzadeh*, P. Abbaszadeh Dahaji, M. Hamidpour, A. Akhgar, and Kh. Kariman

PhD Student of Soil Science, Department of Soil Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran; E-mail: **azarnasirzadeh21@yahoo.com**
Assistant Prof, Department of Soil Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran; E-mail: **p.abbaszadeh@vru.ac.ir**
Associate Prof, Department of Soil Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran; E-mail: **m.hamidpour@vru.ac.ir**
Associate Prof, Department of Soil Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran; E-mail: **akhgar@vru.ac.ir**
UWA School of Agriculture and Environment, The University of Western Australia, Perth, WA 6009, Australia; E-mail: **Khalil.kariman@gmail.com**

Received: September, 2022 and Accepted: November 2022

Abstract

Waste tire rubber (WTR) contain significant amounts of zinc (Zn) and they are potential sources of Zn for plants. This study was carried out to investigate the effect of Zn-dissolving Pseudomonas isolates and WTR on growth characteristics and Zn and Fe concentrations of the corn plant. An experiment was conducted in a completely randomized design with factorial arrangement with three replications in a sterile sand-culture in green house condition. The experimental factors include Pseudomonas bacteria at six levels (without inoculation (C) and inoculation with five isolates (B1 to B5)) and Zn treatment from the WTR source at four levels of 0 (C), 100 (T1), 200 (T2) and 300 (T3) mg Zn per kg (equivalent to 0, 9, 18 and 27 g WTR per kg of sand respectively). The results showed that the main effects of the treatments on Photosynthetic performance index, chlorophyll content of leaves, Chlorophyll fluorescence and shoot dry weight were significant. The amount of each of these parameters increased in all bacterial and WTR treatments. The use of WTR (18 g/kg) along with inoculation of isolates increased all measured parameters compared to the control. Root dry weight and zinc concentration in shoots and roots, were affected by the interaction of treatments. The highest amount of plant dry weight was observed in B3+T3 treatment (2.14 fold increase compared to the control) . The concentration of zinc in the plant shoots was the highest in the B4+T3 treatment, which was 20 times higher than the control. The highest concentration of zinc in the root was observed in the presence of isolates B3 and B2 in WTR (18 g/kg) treatment which was 25 and 22 times higher than the control, respectively. The highest concentration of iron in the shoots and roots of the plant was related to the WTR (18 g/kg) treatment with the amount of 28.3 and 30.7 mg kg-1, respectively. The bacterial isolates increased the iron concentration of shoot compared to the control, but no significant difference was observed between the isolates.

Keywords: Zn-dissolving bacteria, Tire waste powder, Growth parameters, Nutrients

* - Corresponding author: azarnasirzadeh21@yahoo.com

Biodiversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Natural and Agricultural Land and their relationship with soil properties in Zagros Forest

J. Mirzaei *, M. Jafari , J. Hoseinzadeh and N. Jafarian

Associate Prof., Department of forest science, Ilam University, Ilam, **j.mirzaei@mail.ilam.ac.ir**
MSc. Student Department of forest science, Ilam University, Ilam, **monirejafari71@gmail.com**
Associate Prof., Department of forest science, Ilam University, Ilam **j.hoseinzadeh@gmail.com**
PhD of forest Biology, Department of forest science, Ilam University, Ilam **nahidjafareiyan2013@gmail.com**

Received: February, 2023 and Accepted: July, 2023

Abstract

This study was carried out in order to investigate the biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in natural oak forest, broad-leaved plantation, needle-leaved plantation, agricultural and rangeland land uses in Lene habitat, Chardavol city, Ilam province. For this purpose, five mixed soil samples were randomly collected from each land use at soil depths of 0-5 and 5-15 cm and the characteristics of soil and AMF were investigated. Wet sieving and sucrose method were used to extract AMF and their identification was done based on spore morphological characteristics such as shape, color, size, number of wall layers, thickness of wall layers and hypha shape. Totally 19 AMF species belonging to eight genera including Glomus, Acaulospora, Claroideoglomus, Rhizophagus, Septoglomus, Dentiscutata, Paraglomus, Entrophospora were identified. The results showed that spores abundance and biodiversity of AMF were different in different land uses. The highest spore density was related to natural forest (78.12), broadleaf forestry (66.28) and pasture (57.48), and the lowest was related to agriculture (50.96) and needle-leaved plantation (28.16). It was also found that the abundance of symbiotic AMF was the highest in the natural forest (16.6) and rangeland (15.8) and the lowest in the agricultural (11.6) and needle-leaved plantation (14.4) land uses. Shannon-Weiner and Simpson's diversity indices in natural forest, rangeland and plantation were significantly higher than agricultural land use. According to the results, there was no significant difference between the two depths of soil samples in spore density and biodiversity indices. The results also showed that the change in land use had negative effect on the diversity and abundance of symbiotic AMF. Therefore, to preserve biodiversity of AMF, it is recommended that natural forests be under more protection.

Keywords: Needle-leafed, Arbuscular Mycorrhizal fungi, Plantation, Natural forest, Ilam

* - Corresponding author's email: j.mirzaei@mail.ilam.ac.ir

Evaluation of lignocellulosic compounds, compost traits and casing soil inoculated with bacteria on the growth and production of edible mushrooms (*Agaricus bisporus*)

S.Soodaee Mashaee* and E.Mirzakhani

Assistant Professor, Shahrekord University.**soodaie@sku.ac.ir**
Former MSc. Student of Soil Science and engineering Department, Faculty of Agricultural, Shahrekord University. **Elnaz.mirzakhani2014@yahoo.com**

Received: November2022 and Accepted July 2023

Abstract

In order to evaluate the compost traits and casing soil inoculated with bacteria on the mushroom growth and yield, a study was conducted as randomized complete block experiment with three replications during 1400 year in Mushroom Company of Nagin Fasle Shahrekord. The treatments included bacteria inoculated into the casing soil (Azotobacter chroococcum, Pseudomonas putida, Azospirillum lipoferum, Bacillus subtilis, Enterobacter cloacae and cyanobacteria) and controls. Chemical and biological properties of compost during different stages of composting including microbial respiration, microbial population, organic carbon, dissolved organic carbon in cold and hot water, ash, amount of lignocellulose compounds, acidity and electrical conductivity and mushroom growth indicators were measured including mushroom weight, yield, biological efficiency and production rate. Results of this study indicated that the chemical and biological properties of compost changed during the composting process. The highest microbial activity was observed at beginning of phase II, and also the highest bacterial population (1.25 × 109 CFU.g-1) was found. Bacterial population in casing soil was lower than compost. The amount of hemicellulose ranged from 22.6 to 45.1 percent, and the amount of cellulose ranged from 16.7 to 42.2 percent, and the amount of lignin ranged from 17.7 to 33.7 percent. Bacteria inoculation to the casing soil showed a positive effect on the yield (15.9%) and the average weight of mushroom (18.0%) compared to the control ($p \leq 0.05$). Among the bacteria used, Azotobacter crococcum and Pseudomonas putida showed a better effect on the functional characteristics of the mushroom than the other bacteria. Therefore, more research is needed to determine strategies to increase the yield and quality of agricultural traits in the commercial cultivation of edible mushrooms.

Keywords: edible mushroom yield, lignin, microbial population, organic carbon and Pseudomonas putida

* - Corresponding author's email: soodaie@sku.ac.ir

The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Inoculation on Wheat Growth Indices in Saline Irrigation Conditions

H. Khosravi*

Soil Biology Department, Soil and Water Research Institute, P.O.BOX: 31785-11. Karaj, Iran, email: **hkhosravi@areeo.ac.ir**

Received: February, 2023 and Accepted: July, 2023

Abstract

There are many sources of saline water that can be used in agriculture by adopting specific methods. Considering that salinity stress reduces the growth of plants, including wheat, Therefore, any technology that increases wheat's tolerance to salinity stress is very important. The use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) is one of the strategies based on sustainable development to reduce the effects of stress in agricultural production. In this research, five strains of selected PGPR were used which were screened based on different plant growth stimulating characteristics. The ability of the strains to salinity tolerance at electrical conductivity (EC) values of 5, 10, 15 and 20 dS.m-1 was evaluated. A factorial greenhouse experiment was conducted based on the completely randomized design in three replicates under salinity stress conditions during a period of 100 days using wheat cultivar Narin in the year 2020 at the central station of the Soil and Water Research Institute. Salinity stress was applied through irrigation with saline water at four levels with electrical conductivity of 0.40 (normal water), 6, 10 and 14 dS.m-1. The inoculation factor included levels without inoculation and inoculation with Pseudomonas putida P186, P. fluorescens P187, P. sp P241, Azotobacter chroococcum Azto478 and A443 and Azospirillum lipoferum strains. Two milliliters of inoculum per seed was inoculated with a population of 1.5 x 108 during cultivation. The laboratory results showed that all strains did not show any growth reduction up to a salinity of 20 dS.m-1. The results of the greenhouse experiment showed that irrigation with saline water had significant reducing effects on all growth indices. Stress at the levels of 6, 10 and 14 14 dS.m-1 caused a decrease of 13.5, 35 and 57% of shoot wet weight, respectively. Also, the mentioned levels caused a decrease of 37.5, 50 and 55% of shoot dry weight, respectively. The root dry weight decreased by 80, 87 and 91%. Plant height decreased by 11, 17, and 18%, head length by 16, 25, and 31%, and head number by 23, 31, and 45%, respectively, at different salinity levels. Inoculation with selected bacteria did not show a significant effect on any of the wheat growth indices under salinity stress conditions. In this research, it was concluded that the reasons for the lack of significant effect of inoculation could be the resistance of the Narin variety to salinity and the inability of the bacteria to make the plant more tolerant to salinity conditions or the growth-promoting properties of the bacteria being unaffected in these conditions.

Keywords: Biofertilizer, Inoculum, Narin variety

*- Corresponding author's email: **hkhosravi@areeo.ac.ir**

Effect of Claroideoglomus etunicatum Fungus on the Growth and Nutrient Absorption of Maize plant under the combined stress of boron and salinity

N.Abdar* and M.Zarei

Ph.D. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran; E-mail: **n.abdar7395@yahoo.com**

Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran and Department of Agriculture and Natural Resources, Higher Education Center of Eghlid, Iran; E-mail: **mehdizarei@shirazu.ac.ir**

Accepted: January 16, 2023 and Received: September 11, 2023

Abstract

Salt stress and boron toxicity in the soils of arid and semi-arid regions of the world limit plant growth. A factorial experiment in a completely randomized design with three replications was used to investigate the effect of arbuscular mycorrhizal fungus on the growth and nutrient uptake of maize under salinity stress and boron toxicity. Two levels of boron (control and 30 mg B kg^{-1}), two salinity levels (control and 8 dS m^{-1}) from the source of boric acid and sodium chloride and two fungal levels (without inoculation, inoculation with Claroideoglomus etunicatum fungus) were considered. The results showed that salinity stress and boron toxicity had no effect on root colonization percentage ($P>0.05$). At the level of 30 mg B kg^{-1} boron, the fungus significantly increased the chlorophyll index, shoot boron, potassium, and phosphorus uptake (7.09%, 15.83%, 31.62%, and 51.57% respectively) and significantly decreased root boron, iron, copper and manganese uptake, (35.15%, 28.72%, 39.62% and 42.12% respectively). At the level of 8 dSm^{-1}, the fungus significantly increased the amount of chlorophyll, copper, and manganese uptake, (5.05%, 35.38%, 25.97% respectively) and significantly decreased sodium uptake (40.31%). Under combined stress conditions and in the presence of fungus, chlorophyll index, root boron, potassium, phosphorus, and iron uptake, (8.42%, 61.56%, 82.01%, and 23.63% respectively) were significantly increased but shoot sodium, zinc, copper, and boron absorption, (20.98%, 40.07% 72.54% and 34.38% respectively) were significantly decreased. The results of this research indicated that inoculation of fungus could help to improve the growth and absorption of nutrients in conditions of boron toxicity and soil salinity stress.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungus, Boron toxicity, Maize, Soil salinity

*- Corresponding author's email: n.abdar7395@yahoo.com

Contents

Subject **Page**

Effect of Claroideoglomus etunicatum Fungus on the Growth and Nutrient Absorption of Maize plant under the combined stress of boron and salinity…….1
N.Abdar and M.Zarei

The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Inoculation on Wheat Growth Indices in Saline Irrigation Conditions…….2
H. Khosravi

Evaluation of lignocellulosic compounds, compost traits and casing soil inoculated with bacteria on the growth and production of edible mushrooms (Agaricus bisporus)……...3
S.Soodaee Mashaee and E.Mirzakhani

Biodiversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Natural and Agricultural Land and their relationship with soil properties in Zagros Forest…….....…4
J. Mirzaei, M. Jafari , J. Hoseinzadeh and N. Jafarian

Effect of zinc-solubilizing bacteria and waste tire rubber powder on the growth and Zn and Fe concentrations of corn plant……...…..5
A. Nasirzadeh , P. Abbaszadeh Dahaji, M. Hamidpour, A. Akhgar, and Kh. Kariman

Effect of Serendipita indica and Sinorhizobium meliloti on alfalfa plant growth (Medicago sativa L.) in a calcareous soil contaminated with zinc…..…….…….6
L. Tabande, M. Sepehri and M. Zarei

Application of bioactivator to accelerate the production of compost from sugercane bagasse…..7
S.H. Mahmoodi Nezhad Dezfully and H. Saffary

Soil Science Society of Iran Soil and Water Research Institute

Journal of Soil Biology

Vol. 11, No 1
2023

Manager-in–Charge; K. Bazargan, PhD
Associate Professor, Soil and Water Research Institute
Editor-in–Chief: Alireza Fallah Nosratabad, PhD
Professor (Research), Soil and Water Research Institute

Editorial Board

Hadi Asadi Rahmani, PhD	Professor (Research), Soil and Water Research Institute
Hossein Ali Alikhani, phD	Professor, University of Tehran
Naser Aliasgharzad, PhD	Professor, University of Tabriz
Hossein Besharati, PhD	Professor, Soil and Water Research Institute
Alireza Fallah Nosratabad, PhD	Associate Professor, Soil and Water Research Institute
Ahmad Golchin, PhD	Professor, University of Zanjan
Amir Lakzian, PhD	Professor, Ferdowsi University of Mashhad
Habibollah Nadian Ghomshe, PhD	Professor, Ramin Agricultural and Natural Resources University of Khuzestan
Farshid Norbakhsh, PhD	Professor, Isfahan University of Technology
Abdol Hossein. Ziaeian, PhD	Associate Professor of Agricultural and Natural Resources Research Center of Fars

English Editor:	Amir Lakzian, PhD
Type and design:	Kiana khamehchi

Address: P. O. Box: 31785-311, Karaj – IRAN
Tel / Fax: 026-36208796
SSSI Website: www.soiliran.org
Soil and Water Research Institute Website: www.swri.ir
Journal Website: www.sbj.areeo.ir
E-mail: jsb.soilbiology@yahoo.com

Semiannual

Journal of Soil Biology

ISSN: 2345-2536

Vol. 11, No. 1, 2023

Contents

Subject **Page**

Effect of Claroideoglomus etunicatum Fungus on the Growth and Nutrient Absorption of Maize plant under the combined stress of boron and salinity……1
N.Abdar and M.Zarei

The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Inoculation on Wheat Growth Indices in Saline Irrigation Conditions……2
H. Khosravi

Evaluation of lignocellulosic compounds, compost traits and casing soil inoculated with bacteria on the growth and production of edible mushrooms (Agaricus bisporus)……...3
S.Soodaee Mashaee and E.Mirzakhani

Biodiversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Natural and Agricultural Land and their relationship with soil properties in Zagros Forest…….....…4
J. Mirzaei, M. Jafari , J. Hoseinzadeh and N. Jafarian

Effect of zinc-solubilizing bacteria and waste tire rubber powder on the growth and Zn and Fe concentrations of corn plant……...…..5
A. Nasirzadeh , P. Abbaszadeh Dahaji, M. Hamidpour, A. Akhgar, and Kh. Kariman

Effect of Serendipita indica and Sinorhizobium meliloti on alfalfa plant growth (Medicago sativa L.) in a calcareous soil contaminated with zinc…..……..…..6
L. Tabande, M. Sepehri and M. Zarei

Application of bioactivator to accelerate the production of compost from sugercane bagasse…..7
S.H. Mahmoodi Nezhad Dezfully and H. Saffary

www.sbj.areeo.ir