



نشریه علمی

زیست شناسی خاک

شاپا: ۲۵۳۶-۲۳۴۵

جلد ۱۱ شماره ۱ سال ۱۴۰۲

عنوان	فهرست	صفحه
تأثیر قارچ <i>Claroideoglo mus etunicatum</i> بر رشد و جذب عناصر غذایی ذرت تحت تنش ترکیبی بور و شوری.....	۱۵	۱۵
تأثیر مایه زنی باکتری های محرک رشد گیاه بر شاخص های رشد گندم در شرایط آبیاری با آب شور.....	۳۱	۳۱
ارزیابی ترکیبات لیگنوسلولوزی، ویژگی های کمپوست و خاک پوششی تلقیح شده با باکتری ها بر رشد و تولید قارچ خوراکی (<i>Agaricus bisporus</i>).....	۴۶	۴۶
تنوع گونه ای قارچ های میکوریز آربوسکولار در کاربری های طبیعی و زراعی و رابطه آنها با خصوصیات خاک در جنگل های زاگرس.....	۶۲	۶۲
تأثیر کاربرد باکتری های حل کننده ترکیبات نامحلول روی و پودر لاستیک بر رشد و محتوای روی و آهن در گیاه ذرت.....	۸۳	۸۳
اثر قارچ <i>Serendipita indica</i> و باکتری <i>Sinorhizobium meliloti</i> بر رشد گیاه یونجه (<i>Medicago sativa L.</i>) در خاک آهکی آلوده به روی.....	۹۹	۹۹
بررسی کاربرد زادمایه میکروبی برای تسریع تولید کمپوست از ضایعات باگاس نیشکر.....	۱۱۴	۱۱۴

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 زیست‌شناسی خاک تمدید شده است

دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب

مدیر مسؤول: دکتر کامبیز بازرگان
سر دبیر: دکتر هادی اسدی رحمانی

اعضاء هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

استاد و رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب
دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس
استاد دانشگاه تهران
استاد دانشگاه تبریز
استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب
استاد دانشگاه زنجان
استاد دانشگاه فردوسی مشهد
استاد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین اهواز
استاد دانشگاه صنعتی اصفهان

دکتر هادی اسدی رحمانی
دکتر حسین بشارتی
دکتر عبدالحسین ضیائیان
دکتر حسینعلی علیخانی
دکتر ناصرعلی اصغرزاد
دکتر علیرضا فلاح نصرت آباد
دکتر احمد گلچین
دکتر امیر لکزیان
دکتر حبیب اله نادیان قمشه
دکتر فرشید نوربخش

دکتر امیر لکزیان
مهندس کیانا خامه چی
دو شماره

ویراستار انگلیسی:
ویراستار فنی:
تعداد انتشار در سال:

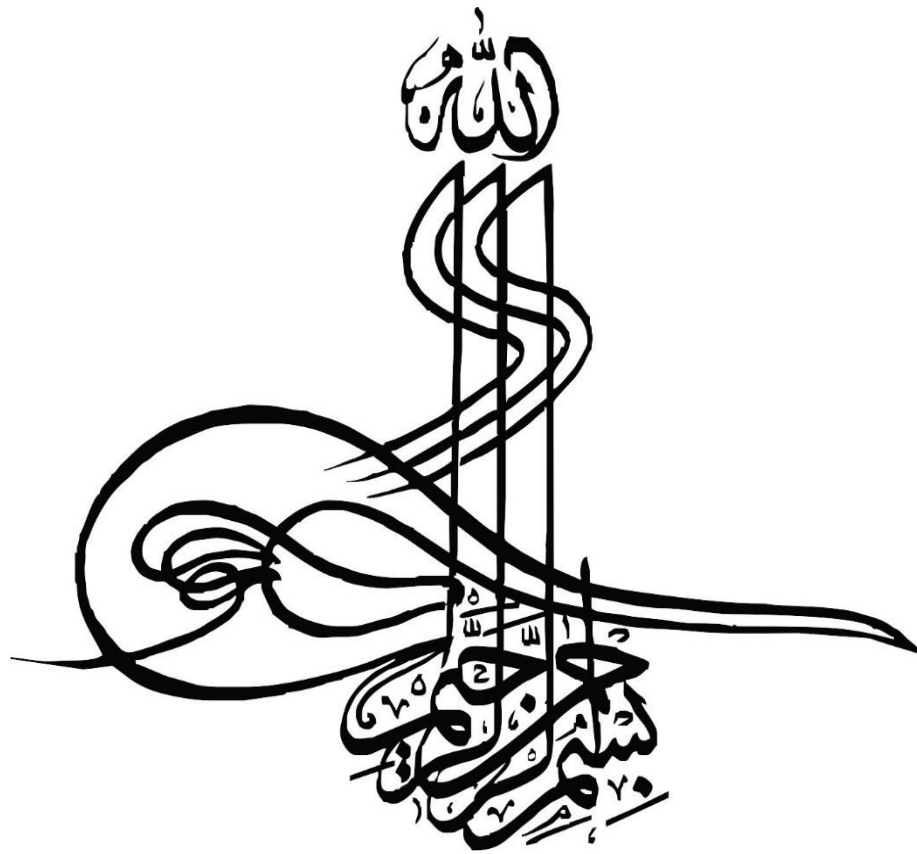
این نشریه در پایگاه‌های علمی زیر نمایه می‌شود:
www.isc.gov.ir پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC):
www.sid.ir پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی:
www.civilica پایگاه سیویلیکا:

www.sbj.areeo.ir پایگاه الکترونیکی نشریه علمی زیست‌شناسی خاک:
www.soiliran.org پایگاه الکترونیکی انجمن علوم خاک ایران:
www.swri.ir پایگاه الکترونیکی مؤسسه تحقیقات خاک و آب:
jsb.soilbiology@yahoo.com آدرس الکترونیکی دفتر مجله:

آدرس: کرج - میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی - مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵

www.journals.areo.ir: آدرس پایگاه الکترونیکی مجله:

تلفن و نمابر: ۳۶۲۰۸۷۹۶ (۰۲۶)



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 گونه‌ای 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 کاربرد 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 نشریه تخصصی رشته علوم خاک در ایران می باشد که مقالات پژوهشی مرتبط با تحقیقات صورت گرفته در کلیه جنبه های زیست شناسی خاک را چاپ می نماید. هدف از انتشار این مجله ارتقاء دانش اساتید، محققان و دانشجویان علاقمند این گرایش و شناخت هر چه عمیق تر از زیست شناسی خاک برای حفظ و بهره برداری پایدار از خاک می باشد. از اهم زمینه های فعالیت این نشریه می توان به نقش موجودات زنده خاک در چرخه عناصر غذایی و فرآیندهای زیستی مرتبط با بهبود ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و ارتقاء سطح حاصلخیزی خاک، تغذیه گیاه و افزایش عملکرد، مدل سازی مکانیسم ها و فرآیندهای زیستی مربوط به پویاسازی، معدنی شدن و آلی شدن عناصر غذایی، جایگاه موجودات زنده خاکری 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 تبدلات مولکولی بین آنها، تشخیص، بیان و تبادل ژن در خاک، اثرات متقابل انواع آلودگی ها و بخش زنده خاک منجمله زیست پالایی خاک های آلوده، فرآیندهای زیستی خاک و نقش آنها در تولید و مصرف گازهای گلخانه ای، فناوری زیستی موجودات خاکری برای تولید انواع مایه تلقیح ها و کودهای زیستی، فعال کننده های تجزیه مواد آلی و پاک کننده های زیستی خاک های آلوده، استفاده از فناوری های مولکولی جدید برای شناسایی و همچنین ردیابی موجودات زنده در خاک و نقش آنها در پدیده های مختلف خاک اشاره کرد.

نکات مهم:

- 1- متن مقاله نباید در هیچ نشریه ای چاپ و یا همزمان به نشریه دیگری ارسال شده باشد.
 - 2- مسئولیت صحت و سقم کلیه مطالب مندرج در مقاله بر عهده نویسندگان می باشد.
 - 3- مسئولیت صحت و سقم ترتیب نام نویسندگان بر عهده شخصی است که مقاله را برای نشریه ارسال می کند.
 - 4- مقالات صرفاً می بایستی 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 می بایستی 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 فایل های با نام و فایل بدون نام نویسندگان در فایل های بدون نام نویسنده، تکمیل و ارسال نسخه اصل تعهدنامه با امضاء خود نویسنده (گان) در فایل های پیشنهادی سایت الزامی است.

نحوه نگارش مقاله

- 1- مقاله حداکثر در 15 صفحه A4 با فاصله خطوط 1/5 و حاشیه های 3 سانتی متر از هر طرف و به صورت تک ستونی در نرم افزار Word 2007 تایپ شود.
- 2- نوع قلم فارسی و انگلیسی و اندازه 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 کار بردن اصطلاحات انگلیسی که معادل فارسی آنها در فرهنگستان زبان فارسی تعریف شده اند، 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	BNazanin پر 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 بر حسب نیاز
متن انگلیسی	Times New Roman	یک واحد کمتر از اندازه فارسی در هر موقعیت

ساختار مقاله

هر مقاله باید شامل برگ مشخصات، عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، 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. واژه‌های کلیدی بر اساس حروف الفبای فارسی مرتب شوند.

مقدمه

در این بخش بایستی موضوع پژوهش و فرضیه‌های موردنظر تعریف گردد. به مهم‌ترین تحقیقات صورت گرفته قبلی در داخل و خارج از ایران اشاره شود و سپس لزوم پژوهش موردنظر تشریح و با تأکید بر وجه تمایز این پژوهش با مطالعات قبلی مشخص شود.

مواد و روش‌ها

این قسمت شامل مواد مورد استفاده و شرح روش بکار رفته مانند جامعه آماری، روش‌های نمونه‌گیری، اندازه‌گیری‌ها و نحوه تجزیه و تحلیل آماری می‌باشد. برای روش‌های متداول و شناخته شده نیازی به ذکر جزئیات 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، سرستون‌ها 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 کمیت آن ستون باشد. اگر همه 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 \blacktriangle \blacksquare \bullet \triangle \square \circ به صورت توپر و توخالی استفاده شود. برای درج عنوان هر شکل، پس از کلمه شکل و شماره 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 ترتیب در متن 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 توأمأ تحت عنوان «نتایج و بحث» ارائه کرد.

نتیجه‌گیری

در این بخش نویسنده از پژوهش انجام یافته نتیجه‌گیری 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 یافته‌اند و نیز شامل منابعی می‌شوند که برای چاپ پذیرفته شده‌اند. مکاتبات شخصی و یا تحقیقات چاپ نشده فقط در متن مقاله قابل ذکر می‌باشند. در مورد منابعی که بصورت آنلاین چاپ شده‌اند و فاقد شماره جلد و یا صفحه می‌باشند، ذکر شناسه دیجیتال (DOI) ضروری است.

شیوهٔ 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 لزوماً در داخل پرانتز ارائه نمی‌شود بدین صورت عمل شود.

بایوردی 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. واژه‌های 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 می‌رسانم:

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 خانوادگی نویسنده اول: امضاء نویسنده اول مقاله

نام خانوادگی نویسنده دوم: امضاء نویسنده دوم مقاله

نام خانوادگی نویسنده سوم: امضاء نویسنده سوم مقاله

نام خانوادگی نویسنده چهارم: امضاء نویسنده چهارم مقاله

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

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؛ mehdezarei@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 ۰.۵٪). با افزایش بور خاک، مایه‌زنی قارچ میزان کلروفیل، جذب بور اندام هوایی، جذب پتاسیم و فسفر را به ترتیب ۰.۷/۰۹٪، ۱۵/۸۳٪، ۳۱/۶۲٪ و ۵۱/۵۷٪ در سطح احتمال ۰.۵٪ 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 ۰.۵٪ به‌طور معنی‌دار کاهش داد. همچنین با افزایش شوری خاک و مایه‌زنی قارچ، میزان کلروفیل، جذب مس، منگنز به ترتیب ۰.۵/۰۵٪، ۳۵/۳۸٪ و ۲۵/۹۷٪ به‌طور معنی‌دار افزایش و جذب سدیم ۴۰/۳۱٪ به‌طور معنی‌دار کاهش یافت (سطح احتمال ۰.۵٪). 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 ۰.۵٪). 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

گیاه می‌شود (بن گال و شانی، ۲۰۰۲). از نظر 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 قابل توجهی 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 کاهش یافته است. الاگرودی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که شوری آب آبیاری (۸/۴ دسی‌زیمنس 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). از جمله 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 و همکاران، 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، زمانی که

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 به‌طور 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 (گاریسا 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 به‌وفور 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 در نهایت به‌صورت بافت مرده درمی‌آیند باعث کاهش سطح برگ، فتوسنتز و به دنبال آن کاهش عملکرد

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 به تنهایی بر روی گونه‌های مختلف گیاهی موجود است. با این حال، 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 *Claroideoglosum etunicatum* بر بهبود عملکرد ذرت تحت تنش ترکیبی شوری و سمیت بور (۲) ارزیابی اثر قارچ *Claroideoglosum etunicatum* بر میزان جذب بور، عناصر پرمصرف و کم‌مصرف ذرت تحت تنش ترکیبی شوری و سمیت بور.

مواد و روش

خاک از افق سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متری) از سری چیتگر از منطقه سروستان استان فارس با نام تاکسونومی Fine-loamy, carbonatic, thermic, Typic Calcixerpts (طول جغرافیای ۲۹° ۱۶' ۲۵" 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 pH متر مدل 7110 (توماس، ۱۹۹۶)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره خمیر اشباع خاک با EC متر مدل CON500 (رودس و همکاران، ۱۹۹۶)، ماده آلی به روش اکسایش با اسید کرومیک (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 استات آمونیوم و با دستگاه فلیم فتومتر (نادسن و همکاران، ۱۹۸۲) و بافت خاک به روش هیدرومتر (بویوکوس، ۱۹۶۲) تعیین شد. آزمایش در گلخانه به صورت

فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با تیمارها شامل دو سطح شوری شاهد (بدون افزایش شوری (S₀)) و ۸ دسی زیمنس بر متر (S₈) و بور شامل دو سطح شاهد (B₀) و ۳۰ میلی‌گرم بور در کیلوگرم خاک (B₃₀) (کومار و همکاران، ۲۰۱۵؛ الاگردی و همکاران، ۲۰۱۶؛ باروا و همکاران، ۲۰۲۲) از منبع اسیدبوریک و سدیم کلرید و دو سطح میکروبی (بدون حضور (M₀) و با قارچ (M₁) *Claroideoglosum 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 ۲-۳ 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 به طوری که 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 ۲٪ HCl

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

نتایج و بحث

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بافت خاک سیلنتی 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.

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 به وسیله 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-670G) تعیین گردید. غلظت بور در عصاره گیاهی و ریشه با استفاده از آزمونین اچ (برگر و تروگ، ۱۹۳۹) اندازه‌گیری شد. میزان جذب عناصر با فرمول زیر محاسبه شد.

$$(۱) \quad \text{غلظت} = \text{جذب (میلی‌گرم در گلدان)} \\ \times \text{وزن خشک (میلی‌گرم در کیلوگرم)} \\ \text{(گرم در گلدان)}$$

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک

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

مشاهده شد (شکل ۱). در ابتدا، برگ‌ها کلروز زرد-سبز را نشان دادند و به تدریج 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 در نهایت به صورت 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

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

و میزان فتوستتوز افزایش می‌یابد. در تیمار $B_0S_8M_1$ ، میزان کلروفیل برگ $5/05$ 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 فتوستتوزی جلوگیری می‌کند (عموآقایی و نیک اندیش، ۱۳۹۶). تنش ترکیبی $B_{30}S_8$ ، بدون مایه‌زنی قارچ وزن خشک ریشه $7/16$ به $1/19$ گرم در گلدان کاهش یافت و در سطح احتمال $5/$ تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت اما وزن خشک اندام هوایی و میزان کلروفیل برگ در سطح احتمال $5/$ 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 در مجموع سمیت بور می‌تواند تقسیم دیواره سلولی و رشد ریشه را کاهش دهد (پانندی و همکاران، ۲۰۱۹). در تیمار $B_{30}S_8$ ، مایه‌زنی قارچ توانست وزن خشک ریشه $76/57$ و میزان کلروفیل برگ را $8/42$ نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی در سطح احتمال $5/$ 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 $2/5$ تا $85/9$ 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.*

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 $28/95$ و $5/88$ نسبت به تیمار $B_0S_0M_0$ در سطح احتمال $5/$ 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 $30/54$ ، $45/53$ و $12/66$ در سطح احتمال $5/$ 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 در نتیجه 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 $7/09$ نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی در سطح احتمال $5/$ به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۲). تورهان و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند در گیاه گوجه‌مایه‌زنی شده با قارچ، غلظت کلروفیل

etunicatum همزیستی برقرار کند و عملکرد گیاه ذرت را بهبود بخشد. ما و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که رشد ذرت با *C. etunicatum* به طور قابل توجهی 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
بور و شوری	۳	۳۱/۳۳**	۵۸**	۲۷/۱۱**	۶/۸۹ ^{ns}
مایه زنی قارچ	۱	۳/۹۸*	۲۴/۷۲*	۴/۴۲*	۳۸۹۸۱/۳۸**
بور و شوری × مایه زنی قارچ	۳	۲/۹۷**	۴۳/۷۲**	۶/۱۷**	۱۲/۶۳ ^{ns}
خطا	۱۶	۰/۵۳	۴/۳۸	۱/۰۱	۵۳/۶۶

** در سطح ۱٪، * در سطح ۵٪ معنی دار می باشد و ns از لحاظ آماری معنی دار نمی باشد

جدول ۳- 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	۰	۲/۹۲b	۷/۱۶a	۲۰/۶۹bc
بور	۰	۸۱/۱۴a	۷/۰۶a	۲۶/۶۸a
مایه زنی قارچ	۳۰	۲/۹۰b	۳/۹۰b	۱۴/۳۷d
بور بدون مایه زنی قارچ	۳۰	۸۵/۹۰a	۳/۵۳b	۱۷/۷۷cd
بور بدون مایه زنی قارچ	۰	۲/۵۰b	۷/۰۵a	۱۸/۹۶bcd
بور بدون مایه زنی قارچ	۰	۸۵/۷۳a	۷/۰۷a	۲۳/۵۵ab
بور بدون مایه زنی قارچ	۳۰	۴/۱۶b	۱/۱۹c	۱۷/۸۱cd
بور بدون مایه زنی قارچ	۳۰	۸۲/۱۳a	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 معنی دار نمی 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

بور اندام هوایی و ریشه با مایه زنی قارچ در تیمارهای شاهد در سطح احتمال ۵٪ معنی دار نیست. با افزودن ۳۰ میلی گرم بور، جذب بور ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۸۱/۹۷٪ و ۹۶/۳۶٪ نسبت شاهد در سطح احتمال ۵٪ افزایش معنی دار داشته است (شکل ۲). درحالی که با مایه زنی قارچ میزان

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 معنی دار، اما اثر اصلی مایه زنی قارچی غیر معنی دار بود (جدول ۲). میزان جذب

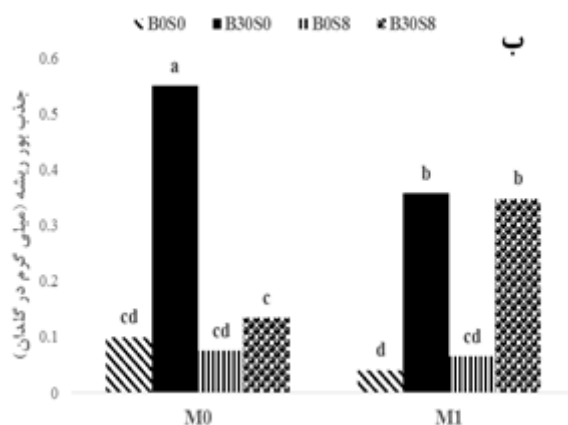
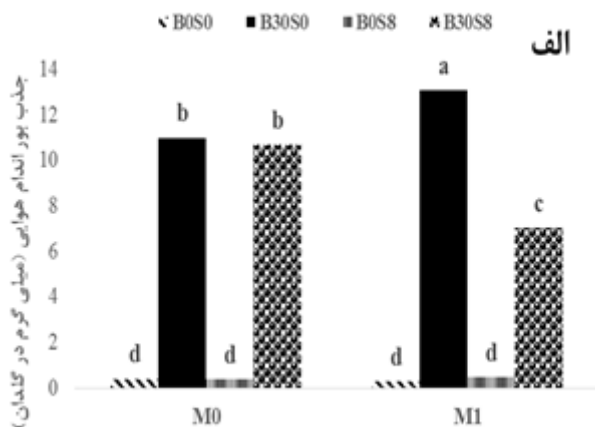
(شکل ۲). در غلظت‌های بالای بور، جذب بور عمدتاً با فرآیند غیرفعال در جهت شیب غلظت انجام و انتقال بور از ریشه به ساقه توسط جریان تعرق هدایت می‌شود (ویمر و گلدیچ، ۲۰۱۲). شوری می‌تواند پتانسیل اسمزی آب خاک را کاهش دهد و باعث بسته شدن روزنه شود این ممکن است دلیل اصلی مهار تبخیر و تعرق در جذب بور و محدودیت انتقال بور از ریشه به ساقه باشد (بن گال و شانی، ۲۰۰۲؛ یرمیاهاو و همکاران، ۲۰۰۸؛ بانولوس 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 (یرمیاهاو 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. باین‌حال، 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

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 افزایش یافته است. در این تحقیق کاربرد شوری و مایه‌زنی قارچی تأثیری بر میزان جذب بور گیاه نداشته است. اما در شرایط تنش ترکیبی *B₃₀S₈*، میزان جذب بور اندام هوایی و ریشه نسبت به تیمار شاهد ۹۶/۲۶٪ و ۳۴/۸۴٪ افزایش یافته 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

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

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 گرفته شده است (هیو و همکاران، ۲۰۱۳). اثر اصلی بور و شوری و

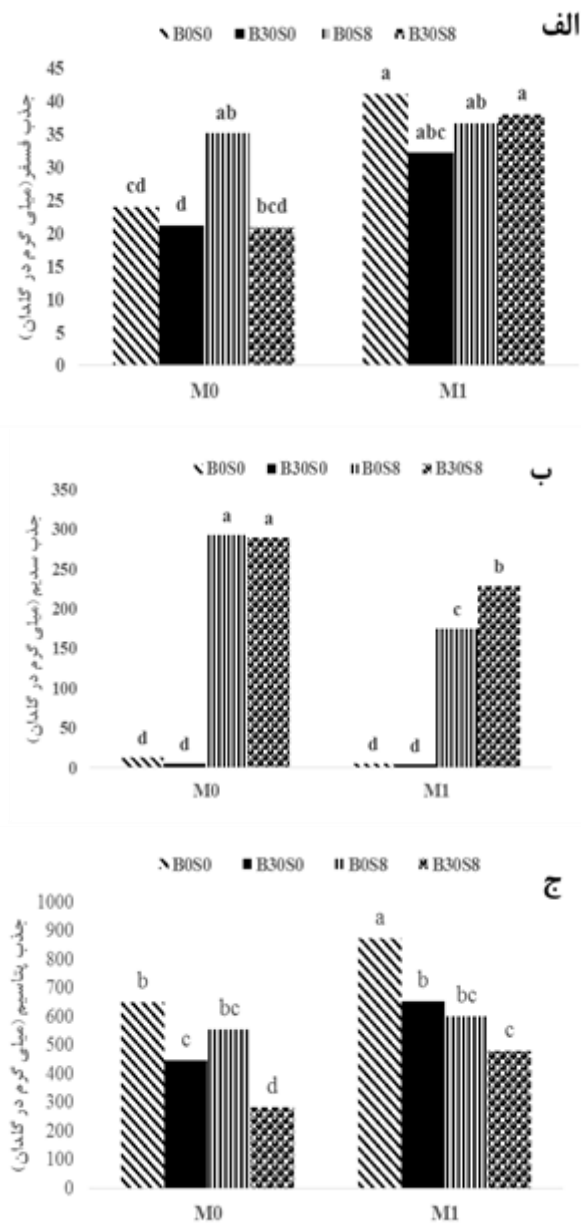
تأثیر قارچ بر میزان جذب عناصر پرمصرف اندام هوایی ذرت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی مایه-زنی 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 میلی-گرم 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

برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). با مایه‌زنی قارچ در تیمار B_0S_0 میزان جذب پتاسیم $34/40\%$ افزایش یافت. افزودن 30 میلی‌گرم بور، جذب پتاسیم را نسبت به B_0S_0 $31/19\%$ کاهش داد و با مایه‌زنی قارچ، جذب پتاسیم در سطح احتمال 5% افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی داشت (شکل ۳ ج). $B_{30}S_8M_0$ ، جذب پتاسیم اندام هوایی ذرت را از $650/035$ به $284/373$ میلی‌گرم در گلدان کاهش داد. اما با مایه‌زنی قارچ $68/55\%$ 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 در نتیجه 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.

مایه‌زنی قارچ و برهمکنش آن‌ها با احتمال 1% 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 8 دسی زیمنس بر متر، میزان جذب افزایش چشمگیری داشت. با مایه‌زنی قارچ، میزان جذب سدیم $40/31\%$ در سطح احتمال 5% کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار بدون مایه‌زنی داشت (شکل ۳ ب). در $B_{30}S_8M_0$ ، جذب سدیم نسبت به شاهد افزایش یافته 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 $20/98\%$ در سطح احتمال 5% کاهش اما نسبت به تیمار شوری با مایه‌زنی قارچ $30/91\%$ افزایش یافته است (شکل ۳ ب). لیو و همکاران (۲۰۱۸) بیان کرد که بور بر غلظت سدیم تأثیر کمی داشته است با این حال 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 گزارش شده 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 آریسکولار رشد گیاه را تسهیل می‌کند و در نتیجه 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



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

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 کاهش یافته است. تیمار B₀S₈ بر جذب منگنز و روی

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٪ معنی‌دار 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 B₀S₀ میزان جذب روی، مس و آهن به ترتیب ۳۳/۳۰، ۶۹/۷۲ و ۳۰/۵۷٪ و در تیمار B₃₀S₀ میزان جذب منگنز، مس و آهن به ترتیب

داشت (جدول ۵). مایه‌زنی قارچ در تیمار B₃₀S₈، 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.

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 گونه‌های مختلف میکوریزا توانایی متفاوتی در جذب عناصر کم‌مصرف نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که میسلیم قارچ با گسترش در خاک میزان جذب عناصر را افزایش می‌دهد که دلیل این امر متفاوت است. برخی شواهد حاکی از این است که میکوریزا 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 میسلیم‌های 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 ریشه‌های تغذیه‌کننده به آن دسترسی ندارند، ممکن می‌سازد (برین و همکاران، ۱۳۹۶). در تیمار B₃₀S₈M₀ تنها میزان جذب مس را از ۰/۰۸ به ۰/۱۱۵ میلی‌گرم در گلدان در سطح احتمال ۵٪ نسبت به B₀S₀M₀ افزایش معنی‌داری

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**	۰/۰۰۷**	۰/۰۳**	۰/۴۰۸**
مایه‌زنی قارچ	۱	۱۳۳۱۵**	۸۱۷/۹۶**	۷۴۵۸۱**	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۷**	۰/۰۳**	۰/۰۳۳ ^{ns}
بور و شوری × مایه‌زنی قارچ	۳	۴۴۰۴**	۸۱/۴۲*	۱۶۵۱۱ ^{ns}	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 می‌باشند و ^{ns} از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر قارچ بر جذب عناصر کم مصرف اندام هوایی ذرت تحت تنش شوری و بور

تیمار	بور	سطوح میکروبی	جذب منگنز	جذب روی	جذب مس	جذب آهن
			(mg pot ⁻¹)	(mg pot ⁻¹)	(mg pot ⁻¹)	(mg pot ⁻¹)
شوری	۰	بدون مایه‌زنی	۰/۹۸۴bc	۰/۳۵۰bc	۰/۰۸۰۹b	۰/۷۳۹ab
بور	۰	قارچ	۰/۸۰۲cd	۰/۲۳۴de	۰/۰۲۴۲e	۰/۵۱۳ed
شوری	۳۰	بدون مایه‌زنی	۰/۶۷۳d	۰/۳۰۰cd	۰/۰۵۸۸cd	۰/۵۹۷cd
بور	۳۰	قارچ	۰/۳۸۹e	۰/۲۴۱de	۰/۰۳۵۵e	۰/۴۲۶e
شوری	۰	بدون مایه‌زنی	۱/۰۲۶b	۰/۴۰۵ab	۰/۰۴۹۵d	۰/۵۶۰cd
بور	۰	قارچ	۱/۲۹۳a	۰/۴۵۴a	۰/۰۶۷۱c	۰/۶۴۲bcd
شوری	۳۰	بدون مایه‌زنی	۰/۸۲۹bcd	۰/۳۳۷bc	۰/۱۱۵a	۰/۶۷۸bc
بور	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 از لحاظ آماری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند. (منظور از تیمارهای صفر شوری و بور، عدم اعمال شوری و بور است)

نتیجه‌گیری

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 خشک ریشه، 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 این حال ارزیابی‌های بیشتر برای بررسی اثرات میکوریز آربوسکولار بر تنش ترکیبی شوری و سمیت بور مورد نیاز است.

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 دسی‌زیمنس بر متر، با مایه‌زنی قارچ میزان کلروفیل، جذب مس، منگنز

فهرست منابع

۱. برین، م، رسولی صدقیانی، م، اشرفی سعیدلو، س، و شکوری، ف. (۱۳۹۶). تأثیر شوری و تلفیح میکروبی بر عملکرد و شاخص‌های کارایی فسفر در گیاه ذرت. تحقیقات کاربردی خاک، ۷(۱)، ۱۴۸-۱۶۵.
۲. حسینی، قاسم، مجیدی، عزیز، فرخزاد، و سپهر. (۱۳۹۹). اثر برهمکنش بور × پایه بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سیب رقم گلدن دلشیز. نهال و بذر، ۳۷(۱)، ۲۳-۳۹.
۳. حسینی، س م، مفتون، م، کریمیان، ن، رونقی، ع، و امام، ی. (۱۳۸۳). تأثیر 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 زیست‌شناسی 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., Alfósea-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: *Method and principles of mycorrhizal research*, Scheneck, N. C. (Ed). American Phytopathol Society 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 (*Lycopersicon 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.



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 از جمله 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 مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش گلخانه‌ای به صورت 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.*، *Azospirillum lipoferum* A443 و *Azotobacter chroococcum* Azto478.P241 بود. مایه‌زنی به مقدار دو میلی‌لیتر به ازای هر بذر از زادمایه با جمعیت $10^8 \times 1/5$ 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 ۵/۱۳، ۳۵ و ۵۷ درصدی وزن تر اندام هوایی شد. همچنین سطوح یادشده به ترتیب باعث کاهش ۵/۳۷، 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



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 آبیاری، ۱۳۹۸).

پژوهش‌ها نشان داده است که باکتری‌های محرک رشد گیاه^۱ 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^۲، پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی^۳، آنزیم - ACC دامیناز^۴، تجزیه سیلیکات‌ها و آزادسازی عناصری مانند پتاسیم موجب بهبود رشد گیاهان می‌شوند که در انواع شرایط تنشی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (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 *P. Pseudomonas fluorescens* و *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 آب شور 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 *P. fluorescens*، *Pseudomonas putida* P186، *chroococcum* Azto478، *P. sp* P241، P187، *Azospirillum lipoferum* A443 و *Azotobacter* 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 از نظر 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

اولسن اندازه‌گیری شد. عناصر روی، آهن، مس و منگنز قابل‌جذب با استفاده از روش عصاره‌گیری خاک با DTPA^۹ و قرائت عناصر یادشده در عصاره گرفته‌شده با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی^{۱۰} انجام شد (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، ۲۰۱۴). هدایت الکتریکی^{۱۱} (EC) و اسیدیته (pH) در عصاره اشباع خاک، کربن آلی با روش والکی-بلاک^{۱۲}، درصد شن، سیلت و رس خاک با روش هیدرومتری تعیین شد. رطوبت ظرفیت مزرعه^{۱۳} (FC) با استفاده از روش صفحه تحت‌فشار در ۰/۳ بار محاسبه شد. رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP)^{۱۴} 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، بذر گندم با استفاده از الکال ۹۶ درصد به مدت ۳۰ ثانیه و هیپوکلریت سدیم ۱/۵ درصد به مدت ۱۰ دقیقه سترون سطحی شدند. به‌منظور حذف هیپوکلریت، بذر 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).

آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات (ACC)^۵ -دآمیناز، توان انحلال فسفات‌های آلی و معدنی و حل‌کنندگی ترکیب‌های نامحلول آهن و قابلیت آزادسازی پتاسیم از کانی‌های مسکوویت^۶ و بیوتیت^۷ 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^۸ 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 ۰-۲۰ 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

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

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

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

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

جدول ۲- تحمل سویه‌های برگزیده به مقادیر مختلف هدایت الکتریکی (dS.m⁻¹)

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

* واحد قطر کلنی‌ها بر اساس سانتیمتر است

طرح آزمایش گلخانه‌ای

آزمایش گلخانه‌ای به صورت 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 مورد استفاده 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 داده شده از الک ۵ میلی‌متری پر شد. در هر گلدان، چهار عدد بذر جوانه‌دار شده کشت شد که پس از یک هفته گیاهان تنک 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^{۱۵} برای *Azotobacter* و محیط کشت نوترینت‌براث^{۱۶} 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 $1/5 \times 10^8$ (cfu) در هنگام کاشت انجام شد (میشرا و بارولیا، ۲۰۲۰). جمعیت باکتری‌ها با روش محتمل‌ترین تعداد (MPN)^{۱۷} 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 دسی‌زیمنس بر متر (S3) اعمال شد. برای اعمال تنش شوری با رعایت نسبت جذب سدیم^{۱۸} (SAR) از سه کاتیون سدیم، کلسیم و منیزیم که کاتیون‌های غالب خاک‌های شور هستند استفاده شد. این کاتیون‌ها از نمک‌های کلرید سدیم (NaCl)، سولفات منیزیم ($MgSO_4 \cdot 6H_2O$) و کلرید کلسیم ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)

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 تقسیم 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. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistics 10 و با روش ANOVA یک‌طرفه انجام شد. میانگین‌ها با روش LSD^{۱۹} 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 داده شده است. سویه P187 تا شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر هیچ کاهش رشدی نشان نداد و در شوری ۲۰ دسی‌زیمنس 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. در حال‌آنکه 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 - Winogradsky

16 - Nutrient Broth

17 - Most Probable Number

18 - Sodium Adsorption Ratio

19 - Least Significant Difference

نتایج بررسی درصد جوانه‌زنی بذر در سطوح مختلف شوری

درصد جوانه‌زنی بذر در مقادیر مختلف شوری در جدول سه نشان داده شده است. بذر گندم مورد استفاده در این پژوهش، رقم نارین بود که در پژوهش‌های مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌عنوان رقم گندم مقاوم به شوری معرفی شده است (امینی سفیداب، 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 مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای

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

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

گزارش شده است که باکتری‌های برگزیده ریزوسفری در شرایط آزمایشگاهی و در سطوح مختلف شوری حداکثر تا ۶۰۰ میلی‌مولار (۶۴ دسی زیمنس بر متر) رشد قابل توجهی از خود نشان دادند (سرچشمه‌پور و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین گزارش شده 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 (آزادینخواه و همکاران، ۲۰۱۷). در مطالعه دیگری، تحمل به شوری باکتری‌های محرک رشد جداسازی شده از ریزوسفر گیاه جو معنی‌دار گزارش شده است (صفدریان و همکاران، ۱۳۹۷).

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

جوانه‌زنی بذر (%)	قابلیت هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)
۱۰۰	۰
۱۰۰	۲
۱۰۰	۴
۹۷/۳۳	۶
۹۴	۸
۹۱	۱۰
۸۹/۳۳	۱۴

جدول ۴- نتایج آزمون خاک مورداستفاده جهت کشت گلخانه‌ای

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

* Total Nutralizig Value

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

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

* نسبت جذب سدیم

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

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

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 مورد استفاده 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 S1، S2 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 S1، S2 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 S1، S2 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

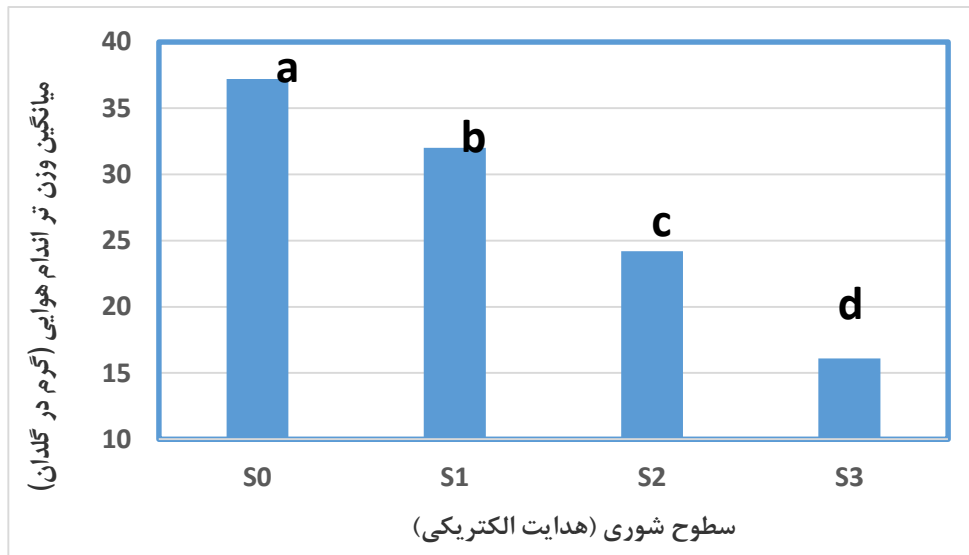
مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر ارتفاع بوته در شکل چهار نشان داده شده است. بر این اساس آبیاری با آب شور در سطوح S1، S2 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۱۱، ۱۷ و ۱۸ درصدی ارتفاع بوته شد.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر طول خوشه

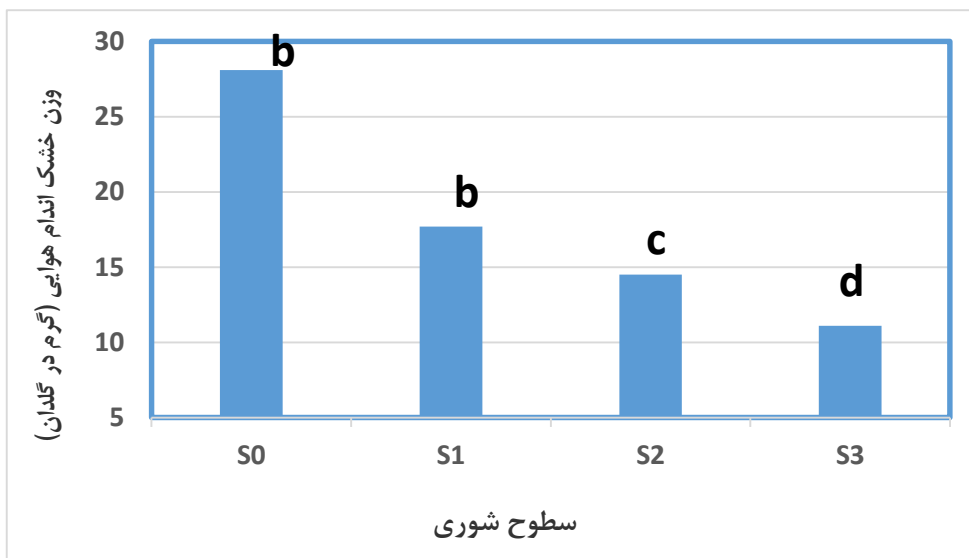
مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر طول خوشه در شکل پنج نشان داده شده است. بر این اساس آبیاری با آب شور در سطوح S1، S2 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۱۶، ۲۵ و ۳۱ درصدی طول خوشه شد.

مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی و تنش شوری بر تعداد خوشه

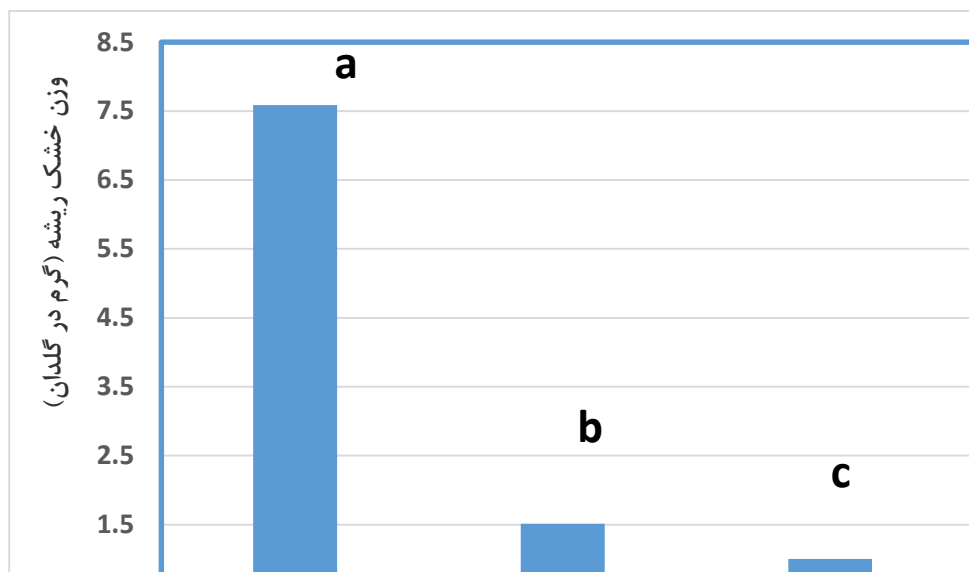
مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر تعداد خوشه در شکل شش نشان داده شده است. بر این اساس آبیاری با آب شور در سطوح S1، S2 و S3 به ترتیب سبب کاهش ۲۳، ۳۱، ۴۵ درصدی تعداد خوشه شد.



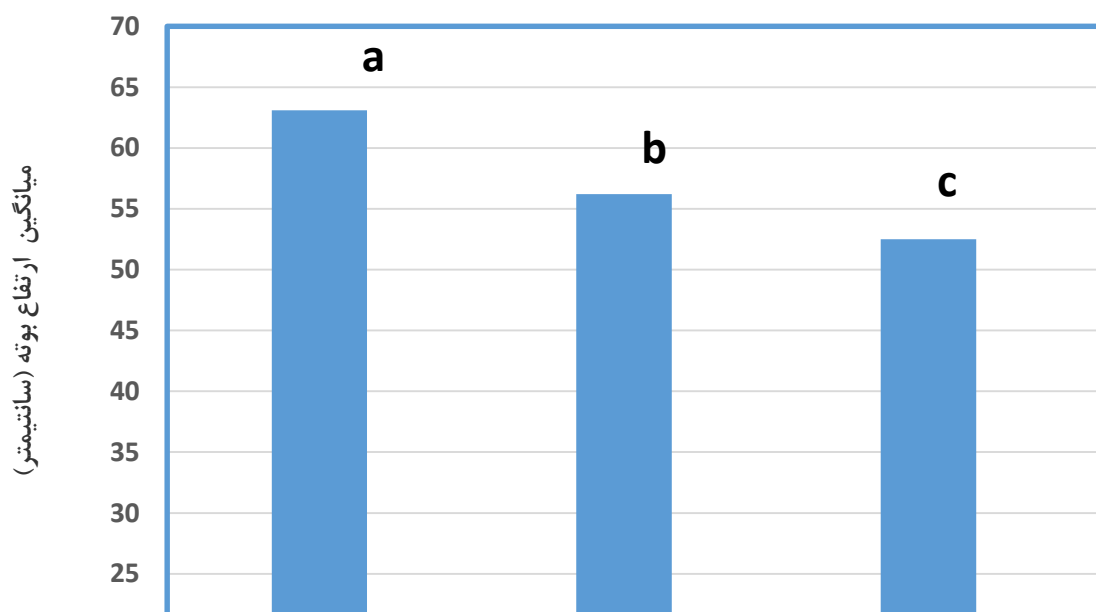
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن تر اندام هوایی (S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند)



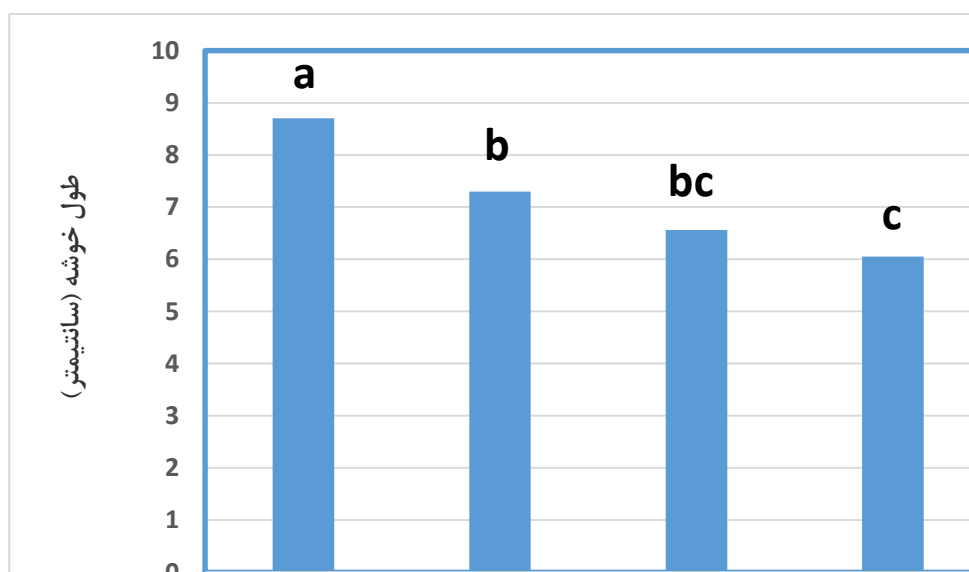
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک اندام هوایی (S0، S1، S3 و S4 به ترتیب ۰/۴۸، ۶، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند)



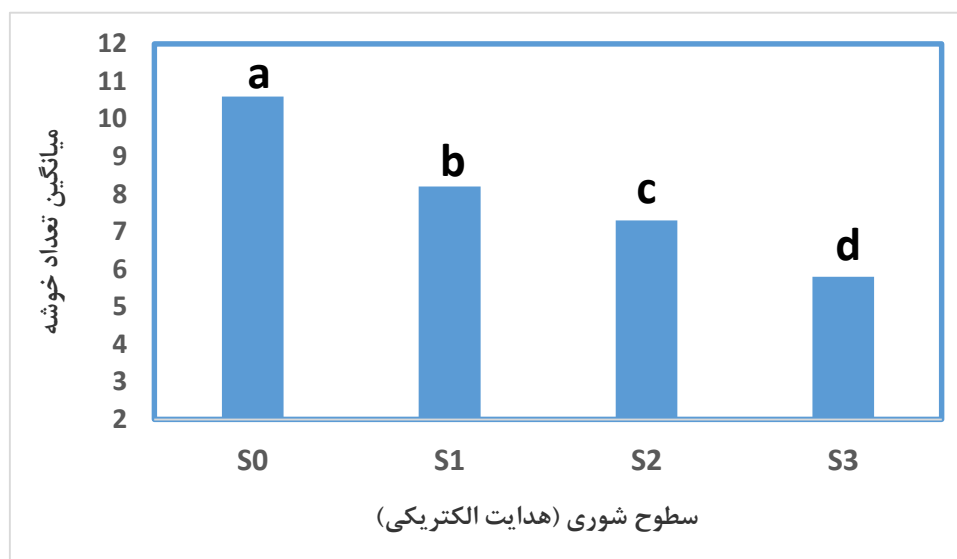
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر وزن خشک ریشه (S4 و S3، S1، S0 به ترتیب ۰/۴۸، ۰/۶، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند)



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

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

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 با این حال 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

گزارش شده است (صفدریان و همکاران، ۱۳۹۷). لازم به ذکر است که سویه‌های مورد استفاده 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 تأیید 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 مورد بررسی قرارداد (وسی، ۲۰۰۳). گزارش شده است که موفقیت مایه‌زنی با باکتری‌های محرک رشد در افزایش مقاومت گیاهان به شرایط تنش به نوع و رقم گیاه، نوع تنش و میزان آن، وضعیت ویژگی‌های محرک رشدی و سایر شرایط محیطی بستگی دارد (وسی، ۲۰۰۳).

نشان دهد ممکن است در شرایط تنشی از جمله 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* از جمله 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 (پرابهاوتی و ماللا، ۲۰۰۹). گزارش‌های متفاوت و متضادی نیز در این زمینه وجود دارد. در این مورد اثر مایه‌زنی *Rhizobium* بر رشد گندم رقم تاجن در شرایط تنش شوری ۷ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر معنی‌دار گزارش شده 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 دوره رشد رویشی گندم با تأثیر معنی‌دار

برتر غربالگری شده از باکتری‌های محرک رشد بومی خاک‌های ایران شامل *Pseudomonas* و *Azotobacter* و *Azospirillum* بر رشد گندم رقم نارین در شرایط آبیاری با آب شور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که باکتری‌های برگزیده در ۲۰ شوری دسی‌زیمنس 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 از نظر ویژگی‌های محرک رشدی در شرایط آزمایشگاهی، در شرایط تنش شوری غربالگری شوند.

موضوع دیگر این است که رقم مورد استفاده در این پژوهش (نارین) رقمی است که برای مناطق شور توصیه شده است با این حال 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 با این حال با توجه به وجود ارقام مقاوم به شوری همانند نارین، چنان پژوهشی منطقی و هدفمند نمی‌بود. در هر صورت بررسی اثر باکتری‌های حاصل از این پژوهش در شرایط شور نیاز به تحقیقات تکمیلی دارد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی غربالگری باکتری‌ها از نظر ویژگی‌های محرک رشدی در شرایط تنش شوری نیز انجام شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش گلخانه‌ای اثر مایه‌زنی ۵ سوبه

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 میدی 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، دانشکده‌گان 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: ۲۹-۳۸.
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): ۲۰۵-۲۱۹.
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): ۹۳-۱۰۳.
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 جدایه‌های برتر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR) درختان پسته. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۰(۲): ۱۷۷-۱۹۰.
۱۰. صفدریان م.، عسکری ح.، سلطانی‌نصف‌آبادی 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): ۴۵-۵۶.
۱۱. علی‌احیائی، 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 آبیاری، ن. ۱۳۹۸. استفاده از آب‌های شور برای تولید پایدار گندم. مدیریت آب در کشاورزی، ۶(۲): ۲۰-۲۰ مؤمنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. مجله پژوهش‌های خاک، ۲۴(۳): ۲۰۳-۲۱۵.
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.

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 میرزاکhani

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 CO₂ بر گرم کمپوست در ساعت) در نمونه‌های برداشت شده در شروع فاز II کمپوست‌سازی اتفاق افتاد که در این مرحله بیشترین جمعیت باکتریایی (1/۲۵ × 10⁹ 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



قارچ خوراکی در مرحله رویشی به صورت میسلیم درون کمپوست رشد می‌کند و اضافه کردن خاک پوششی روی بستر مقدمه‌ای برای عبور میسلیم از مرحله رویشی به مرحله زایشی و تشکیل کلاهک قارچ می‌باشد. از جمله 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 (استریتمن و همکاران، ۱۹۹۵).

لوسی و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که پروتئوباکتری‌ها^۱ و بعد فیرمیکیوت‌ها^۲ و پلنکتومایست‌ها^۳، 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 خیس شده و ۱۶۶ گونه از عصاره کمپوست ۲۴ ساعت خیس شده 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

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 آرکتا، 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 $10^9 \times 2-4$ تن در سال تولید می‌شوند که $1/4$ 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 ریزجانداران ترکیبات را تجزیه می‌کنند، آمونیاک آزاد می‌کنند و سپس سلولز و همی سلولز را به زیست توده میکروبی کمپوست هضم می‌کنند که منبع تغذیه میسلیم قارچ دکمه-

ای است (کرتیسز و تای، ۲۰۱۸).

¹ Proteobacteria

² Firmicutes

³ Planctomycetes

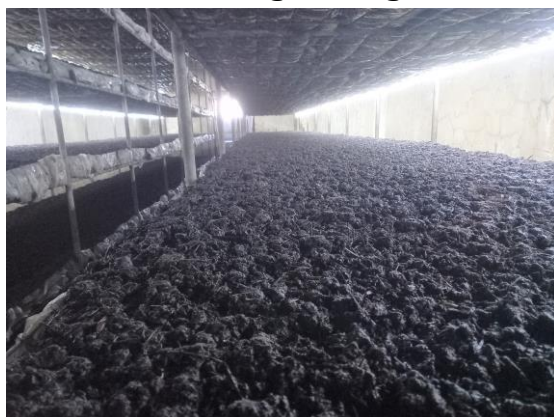
(چهارنمونه در روزهای یک، پنج، هفت و هشت روز از شروع فرآیند)، فاز II (روزهای ۱۵، ۲۲ و ۲۳) و فاز III (روزهای ۳۶، ۵۱ و ۷۵) برداشت و نمونه‌های منفرد به طور کامل مخلوط و در انتها یک نمونه مرکب (حدود سه کیلوگرم) تهیه شد. نمونه‌برداری در سه تکرار از کل توده کمپوست صورت گرفته و از این‌رو تعداد کل نمونه‌های مرکب 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؛ اسلویتز 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 میسلیموم 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

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 بهینه‌سازی فرآیند تولید و تأثیر 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

کمپوست‌سازی همراه با خاک پوششی (Casing run) در سالن پرورش انجام گردید. مایه تلقیح باکتریایی (با جمعیت حدود 10^8 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 تجزیه و تحلیل 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 تحلیل شده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن با سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.



(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



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

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 ۶/۳۳، ۶/۸۵ و ۷/۶۱ بودند. نسبت کربن به نیتروژن (C/N) که شاخص مهمی در تجزیه‌پذیری زیستی ترکیبات آلی می-

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

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، 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 CO₂ بر گرم در ساعت) و ناشی از سوبسترا (۱۷۶/۹ میکروگرم CO₂ 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 دقیقاً روز بعد از میکس کمپوست کلش به داخل بونکر منتقل می‌شود به دلیل احتمال بی‌هوایی 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 CO₂ 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 متغیر 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 (10^8 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 (10^7 CFU.g^{-1}) در مرحله اولیه کمپوست‌سازی در کلش شستشو (با آب goody water) حاصل گردید. جمعیت قارچ‌ها در بانکر ۱ (10^4 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 نهایی کمپوست خواهد داشت. کمپوست در این بونکر می‌ماند تاثیر زیادی بر پوسیدگی

جدول ۱- مقایسه میانگین نمونه‌های برداشته شده کمپوست برای ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در طی تولید قارچ خوراکی

EC (dS/m)	pH (1:10)	کربن آلی محلول در آب داغ (%)	کربن آلی محلول در آب سرد (%)	کربن آلی کل (%)	خاکستر (%)	رطوبت بر وزن خشک (%)	تنفس ناشی از سویسترا ($\mu\text{gCO}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	تنفس میکروبی پایه ($\mu\text{gCO}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	تیمارها یا نمونه برداری‌ها
۲/۷۴c	۷/۰۶ab	۲/۲۰e	۰/۹۹f	۲۷/۰a	۱۰/۴j	۳۳۰a	۲۷/۳e	۵/۸۶f	کلش شستشو
۳/۲۵bc	۷/۰۳b	۲/۳۷e	۱/۵۱de	۲۳/۰d	۱۲/۰i	۲۰۶f	۱۴۶/۶b	۱۰۳/۴c	کلش قبل مخلوط
۴/۱۰b	۶/۷۹cd	۳/۳۲d	۱/۶۴de	۲۵/۰c	۱۶/۲h	۲۸۶d	۱۷۶/۰a	۱۲۱/۷b	روز اول بونکر ۱
۳/۷۹bc	۶/۸۸c	۳/۳۰d	۱/۷۱cd	۲۶/۳b	۲۰/۴g	۲۸۹c	۱۲۰/۲c	۸۵/۸d	روز دوم بونکر ۱
۳/۶۰cb	۶/۸۹c	۲/۳۷e	۱/۸۴cd	۲۰/۵e	۲۲/۶f	۲۹۰b	۱۷۶/۹a	۱۴۵/۹a	نمونه حمل
۵/۵۰a	۶/۸۰cd	۵/۰۱c	۲/۱۳bc	۱۶/۶g	۲۶/۰e	۱۹۲g	۸۸/۰d	۸۶/۰d	نمونه کشت ۱
۵/۹۰a	۶/۷۱d	۶/۰۰b	۲/۳۰b	۱۹/۷f	۲۷/۳d	۱۶۱h	۱۱۴/۸c	۱۰۴/۹c	نمونه کشت ۲
۵/۷۳a	۶/۵۱e	۶/۷۱a	۲/۹۶a	۱۹/۳f	۳۴/۷c	۲۲۱e	۹۲/۱d	۱۰۴/۲c	کمپوست مرحله خاکدهی
۱/۳۸c	۷/۱۸a	۶/۱۱b	۱/۲۷ef	۱۲/۱i	۷۱/۴a	۹۸j	۱۰/۷f	۵۵/۱e	خاک پوششی
۲/۶۳c	۶/۵۲e	۳/۵۱d	۱/۷۱cd	۱۵/۱h	۴۵/۴b	۱۴۷i	۸۱/۲d	۸۸/۶dc	نمونه SMC ^۴

*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)($\times 10^4$)	جمعیت قارچ‌ها (CFU.g ⁻¹)($\times 10^6$)	جمعیت اکتینومیست‌ها (CFU.g ⁻¹)($\times 10^4$)
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 بونکر ۱	۷/۶۶b	۱۳/۶۷c	۲۵/۶۶bc
نمونه حمل	۱۲/۵۰a	۰/۶۶e	۳۷/۶۶abc
نمونه کشت ۱	۱/۷۳de	۲۱/۳۳b	۱۲/۶۶cd
نمونه کشت ۲	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 خاکدھی (در سالن کشت) که انتهای فاز III کمپوست‌سازی برای پرورش قارچ خوراکی است، بیشترین جمعیت آنها ($48/0 \times 10^4$ 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 ($27/7 \times 10^4$ 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 همی سلولز 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 خاکدھی نشان می‌دهد. مقدار لیگنین هم دامنه‌ای از ۱۷/۵ الی ۳۳/۷ درصد را نشان داد 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 (%)	همی سلولز (%)	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 بونکر ۱	۷	۱۳/۱	۴۱/۰	۲۸/۲	۱۷/۷
روز دوم بونکر ۱	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 خاکدھی	۳۶	۱۹/۶	۳۶/۶	۲۶/۱	۱۷/۶
خاک پوششی	۵۱	۱۵/۷	۲۴/۹	۳۱/۵	۲۷/۸
نمونه SMC قبل کوکات ^۵	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 احتمال پنج درصد نشان داد. در واقع این نتایج نشان دادند که مصرف مایه تلقیح میکروبی از جمله 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)، در واقع کود مرغی به‌عنوان منبع تأمین‌کننده نیتروژن و ترکیبات آلی سهل‌الوصول برای میکروبی‌های تجزیه‌کننده ترکیبات

لیگنوسولوزی 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 مهم‌ترین شناسه‌های رسیدگی کمپوست در فرآیند تجزیه بقایای آلی است، زیرا نشان‌دهنده قابلیت دسترسی مواد کمپوست

برای میسلیم‌های 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-سازي به حدود ۳/۵ و در فاز III کمپوست‌سازي 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، از جمله 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 تجزیه و تحلیل میکروبیوم در بازیدیوم‌ها نشان داد که به شدت تحت تأثیر 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. در واقع، 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-سازي که تنفس میکروبی هم بیشترین مقدار بود)، مرحله یونکر یک و در مرحله خاکدهی کمپوست (انتهای فاز III کمپوست‌سازي) 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

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 میکروبیوم‌های کمپوست است و بیانگر روند و چگونگی تجزیه مواد آلی، فعالیت آنزیمی و چرخه برخی از عناصر غذایی می‌باشد و به شدت تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی قرار می‌گیرد (ژان و همکاران، ۲۰۱۸). براساس نتایج، در مرحله حمل و شروع فاز II کمپوست‌سازي، تنفس میکروبی حدود ۲۵ برابر نسبت به شروع فرآیند (مرحله شستشوی کاه) افزایش یافته است و در پایان مرحله (تولید SMC) حدود ۳۹ درصد (۱/۷ برابر) نسبت به مرحله حمل کاهش یافته است (جدول ۱). سودائی و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که میزان تنفس میکروبی پایه در طی فرآیند کمپوست‌سازي 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 کمپوست‌سازي از شروع در کلش اولیه تا مرحله خاکدهی حدود ۲۸/۵ درصد کاهش را نشان داد که تلفات کربن آلی به شکل گاز CO₂ 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 میسلیم قارچ خوراکی را دارد. احتمالاً همین میزان بالای کربن آلی محلول در این مرحله به همراه مواد غذایی محلول بیشتر

باکتری در کمپوست کمتر از خاک پوششی بود. افزودن کمپوست اسپان‌دهی شده به خاک پوششی منجر به افزایش قابل توجهی در جمعیت باکتریایی، تعداد بازیدیوکارپ‌های تشکیل شده میسلیموم قارچ و تعداد قارچ برداشت شده در مقایسه با خاک پوششی اصلاح نشده بدست آمد. شروع تشکیل بازیدیوکارپ زمانی که برخی از باکتری‌های فوق به خاک پوششی اضافه شدند به‌طور قابل توجهی 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 پاستوریزه کردن خاک پوششی قبل از استفاده در سالن پرورش باشد. روش پاستوریزاسیون مورد استفاده 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 قابل دسترسی بیشتر و تخریب ساختاری در کاه می‌شود. به‌طور 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 تشکیل شده 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 گویاسیل با پیوند β -O-4' آریل اتر به‌عنوان فراوان‌ترین پیوند بین واحدی (حدود ۷۵ درصد) تشکیل شده 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 گزارش شده 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 قابل توجه 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 در نتیجه 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

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 کلواسه 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 میسلیم 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 ۱۰۰/د۴۹۰ 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.

درک اجزای میکروبی بسترهای قارچ می‌تواند منجر به استفاده از آن‌ها به‌عنوان نشانگر برای بسترهای مناسب و زیست‌تلقیح 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 (همی سلولز، 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 غیرآزمی و تقریبی بوده است. افزودن باکتری‌ها در خاک پوششی، تأثیر مثبت بر عملکرد و راندمان بیولوژیکی داشت که با تیمار

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 علی‌حسین‌زاده، ف. ۱۳۹۷. شناسایی قارچهای بیماری‌زای متداول در مراکز پرورش قارچ دکمه‌ای سفید استان اردبیل با روش‌های ریخت‌شناسی و مولکولی. پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی، ۷ (۱): ۱۰۹-۱۲۲.

۳. سودائی مشایی، ص. و بنی طالبی، 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 آییز. 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 (qCO₂ 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 Reports*, 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. *Applied 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 Analysis. 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., Fazaelpoor, 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>.

تنوع گونه‌های 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 nahidjafareiyani2013@gmail.com

دریافت: ۱۶/۱۱/۱۴۰۱ و پذیرش: ۱/۵/۱۴۰۲

«مقاله پژوهشی»

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تنوع گونه‌های 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 ۰-۵ و ۵-۱۵ 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 ریشه انجام گرفت. در مجموع ۱۹ گونه قارچ میکوریزی متعلق به هشت جنس *Glomus*، *Acaulospora*، *Claroideoglomus*، *Rhizophagus*، *Septoglomus*، *Entrophospora*، *Paraglomus*، *Dentiscutata* 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)، جنگل کاری پهن برگ (۶۶/۲۸) و مرتع (۵۷/۴۸) و کمترین آن مربوط به زمین زراعی (۵۰/۹۶) و جنگل کاری 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 جنگل کاری سوزنی برگ (۱۴/۴) کمترین بود. شاخص‌های تنوع شانون وینر و سیمپسون در کاربری‌های جنگل طبیعی، مرتع و جنگل کاری‌ها به طور معنی‌داری از کاربری زمین زراعی بیشتر بود. بر اساس نتایج تحقیق، اختلاف معنی‌داری بین دو عمق ۰-۵ و ۵-۱۵ 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.

واژه‌های کلیدی: سوزنی‌برگ، قارچ‌های میکوریزی، جنگل‌کاری، جنگل‌های طبیعی، ایلام

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

بین اکوسیستم‌های زراعی و طبیعی از نظر تنوع گونه‌ای و فراوانی نسبی میکروارگانسیم‌ها تفاوت قابل توجهی 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 به طور معنی‌داری بیشتر از جنگل یا زمین‌های زراعی بوده و همچنین تفاوت‌های قابل توجهی در ترکیب قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در انواع مختلف کاربری زمین وجود دارد. شفیی 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 میکروارگانسیم‌ها 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 مورد مطالعه در تحقیق حاضر، گام برداشت. علاوه بر این تغییرات در جوامع قارچی ناشی

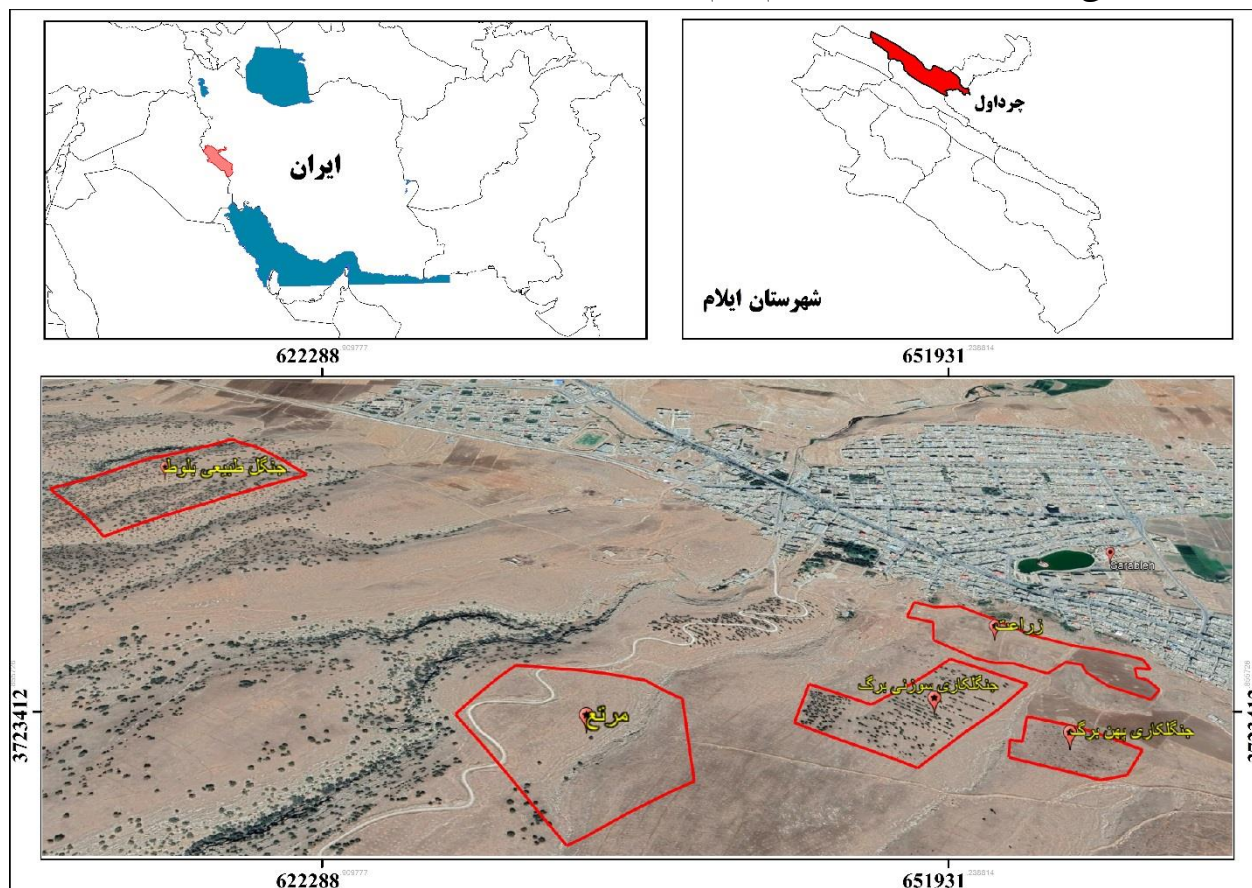
امروزه تغییر کاربری جنگل یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در تمام کشورهاست (وینکلر و همکاران، ۲۰۲۱). تغییر کاربری جنگل با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، ظرفیت تولید اکوسیستم را کاهش می‌دهد (کبزو و همکاران، ۲۰۲۲). خاک به‌عنوان بخش مهم اکوسیستم، نقش مهمی در توسعه پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش 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 میکوریزی 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 می‌کند (بروندت، 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 همکاران، ۲۰۰۱) (Requena et al. 2001).

گرفت (شکل ۱). محدوده مورد بررسی دارای کاربری‌های جنگل طبیعی بلوط (*Quercus brantii*)، جنگل دست-کاشت سوزنی‌برگ سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*)، جنگل دست‌کاشت پهن‌برگ ارغوان (*Cercis siliquastrum*)، مرتع با گونه غالب بر موس (*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 مورد بررسی ۴۳۷/۹ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۸/۷ درجه سانتی‌گراد است. علاوه بر این، اقلیم منطقه بر اساس اقلیم نمای دومارتن، نیمه خشک بوده و فصل خشک منطقه از اوایل خرداد شروع شده و تا اوایل آبان ماه (۵ ماه) ادامه دارد.

از هر سیستم کاربری زمین می‌تواند اطلاعات مهمی را برای مدیریت خاک و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فراهم کند. لذا این پژوهش به منظور شناسایی و ارزیابی تراکم جمعیت قارچ میکوریز آربوسکولار در کاربری‌های مختلف اراضی، تفاوت خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک و تنوع گونه‌های 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؛ به عبارت دیگر در این پژوهش، جوامع قارچ میکوریز آربوسکولار همزیست با گونه‌های علفی در کاربری‌های 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



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

نمونه برداری

معرف پلی‌وینیل لاکتوگلیسرول (PVLG) و ملزر تهیه شد. جهت تهیه محلول PVLG، مقدار ۱/۷ گرم پلی‌وینیل‌الکل را در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کرده و به مدت یک ساعت در بن‌ماری در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا محلول همگن ایجاد شود. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسیدلاکتیک و ۱۰ میلی‌لیتر گلیسرین 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 لایه‌های دیواره و شکل ریشه مورد بررسی 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. به منظور 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).

D-1: شاخص تنوع سیمپسون

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

H': شاخص شانون‌وینر

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln(P_i)$$

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

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، در مجموع ۵۰ نمونه خاک برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی شده 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) به وسیله دستگاه pH متر، پتاسیم قابل جذب در محلول استات آمونیوم و با دستگاه Flame Photometer، فسفر به روش اولسن، کربن آلی 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

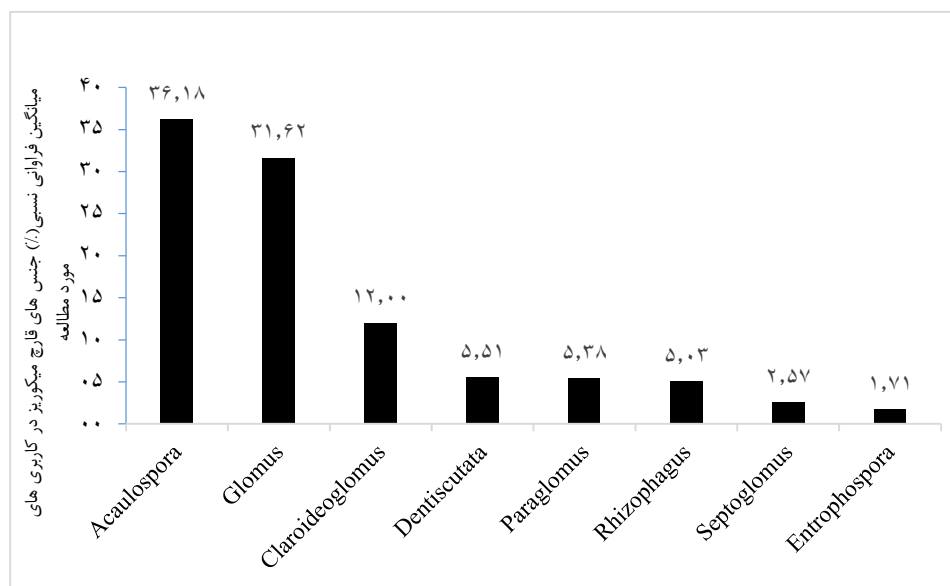
برای استخراج اسپور قارچ‌ها از روش الک مرطوب و سانتریفیوژ با شیب غلظت ساکارز استفاده شد (منیمگالی و همکاران، ۲۰۱۱). برای این منظور ۱۰ گرم خاک خشک را در یک لیتر آب حل کرده تا به حالت سوسپانسیون در آید، پس از ده ثانیه ذرات شن و خاک رسوب و از سری الک‌های ۳۵، ۸۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ مش که به ترتیب روی هم قرار گرفته‌اند، 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 به منظور شناسایی گونه‌های قارچی، ابتدا اسلایدهای دائمی با استفاده از

یک‌گونه مشاهده شد (جدول ۱ 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 مشاهده شده است. گونه‌های قارچی *Glomus veroculosum* (۰/۰۳ درصد)، *Rhizophagus fasciculatus* (۰/۰۳ درصد) کم‌ترین 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 (جدول ۱). 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.

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. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۱ انجام گرفت. محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی در محیط نرم‌افزار PAST انجام گرفت.

نتایج

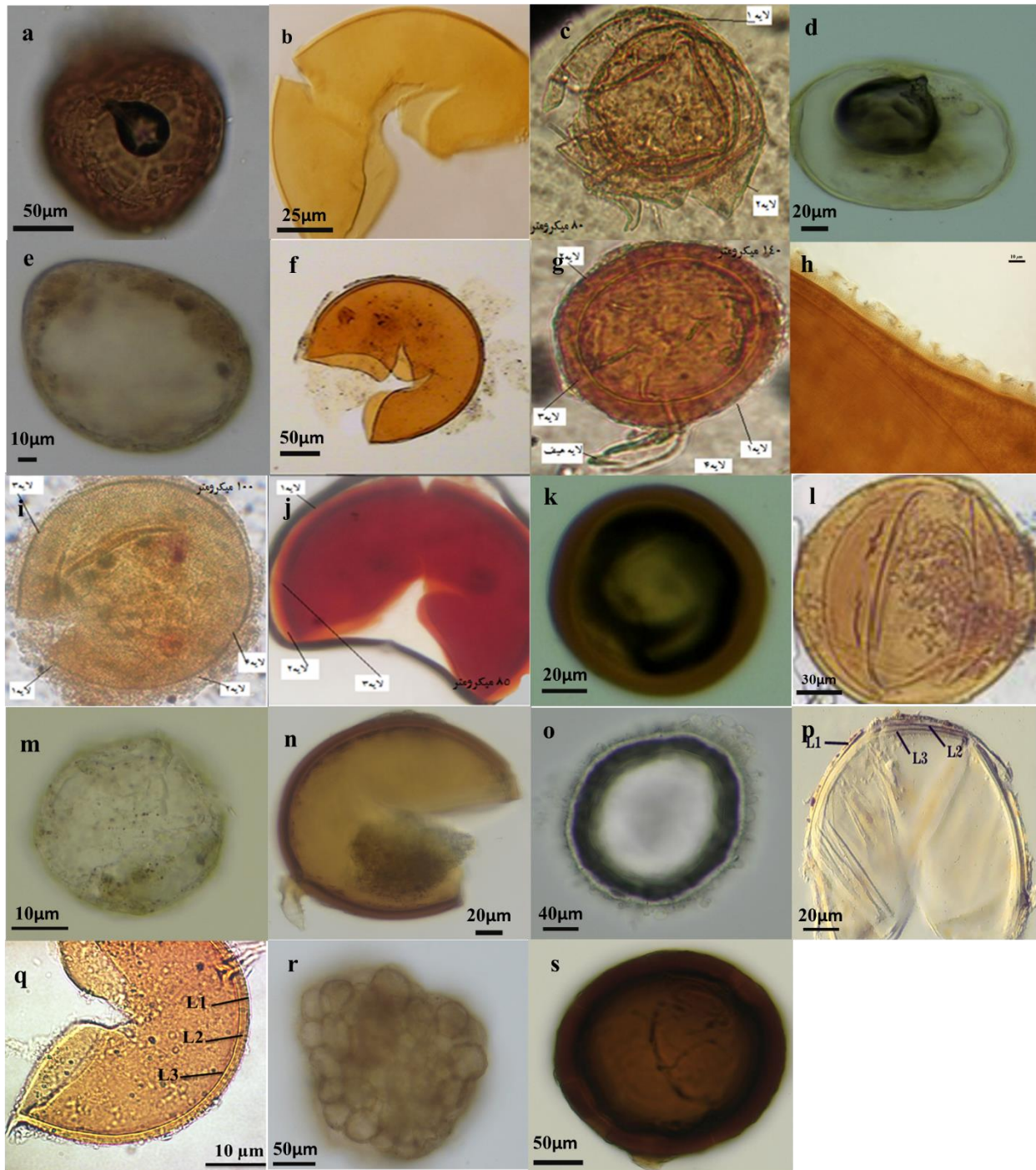
در این تحقیق تعداد ۱۹ گونه قارچ میکوریز آربوسکولار متعلق به هشت جنس مختلف شناسایی شدند (شکل ۳ و ۴). از بین گونه‌های شناسایی شده، شش گونه متعلق به جنس *Glomus*، پنج گونه متعلق به جنس *Acaulospora*، دو گونه متعلق به جنس *Claroideoglossum*، دو گونه متعلق به جنس *Rhizophagus* بود و از جنس‌های *Septoglossum*، *Entrophospora*، *Paraglossum*، *Dentiscutata* هر کدام



شکل ۲- میانگین فراوانی نسبی جنس‌های قارچ میکوریز در کاربری‌های مورد مطالعه

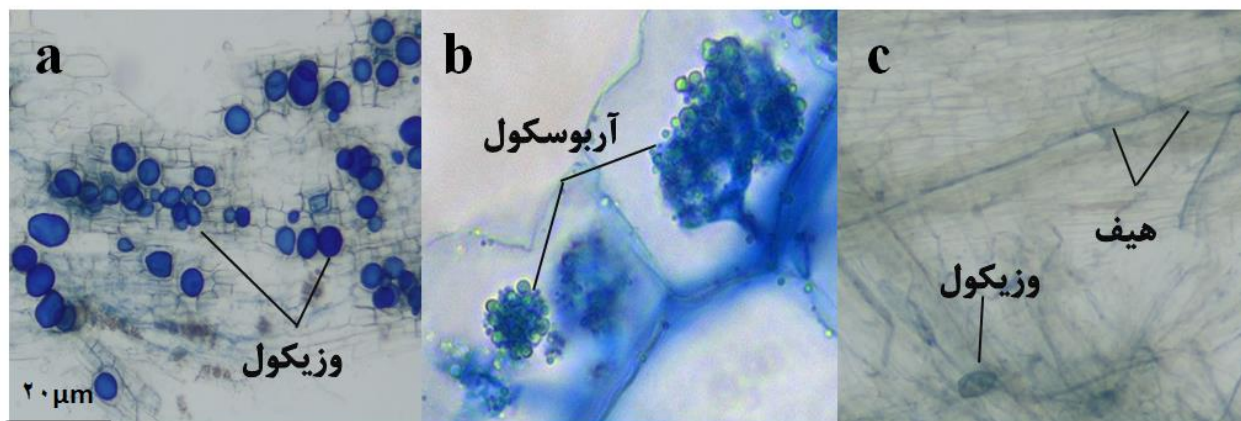
جدول ۱- مشخصات گونه‌های قارچ میکوریزی آربوسکولار شناسایی شده در منطقه

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



شکل ۳- تصاویر قارچ‌های میکوریزی شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه

- 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

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 جنگل کاری پهن‌برگ و کم‌ترین میانگین آن در جنگل کاری سوزنی‌برگ و زمین زراعی مشاهده شد (شکل ۵).

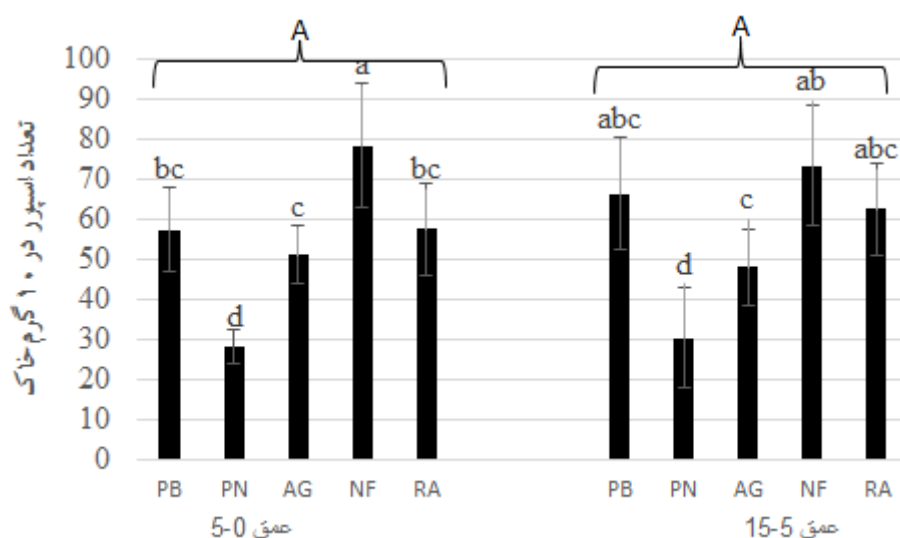
تراکم اسپور قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر اساس نتایج آنالیز واریانس دوطرفه (GLM)، کاربری تأثیر معنی‌داری بر تراکم اسپور در داخل خاک داشت ($p < 0.05$)، درحالی‌که تأثیر عمق و اثرات متقابل عمق و کاربری معنی‌دار نبود (جدول ۲). میانگین تعداد اسپور قارچ‌ها در کاربری‌های موردبررسی، صرف‌نظر از گونه قارچی، در عمق ۵-۰ سانتی‌متری بین ۲۸ عدد (در

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

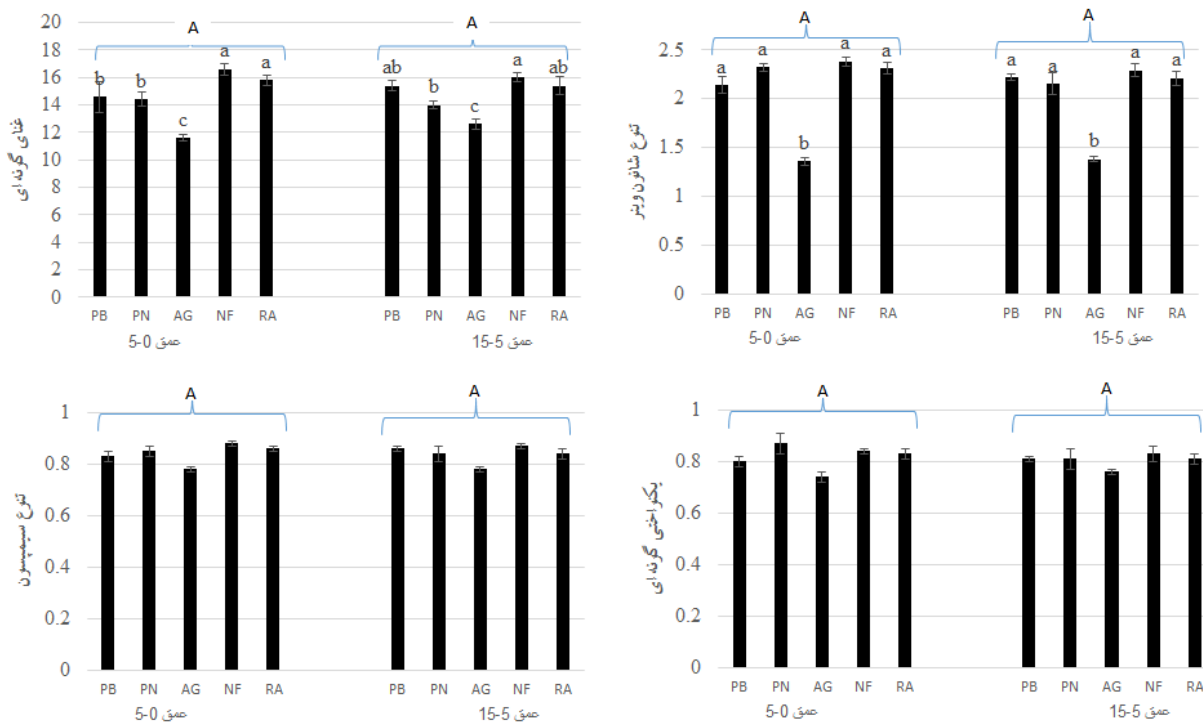


شکل ۵. مقایسه تعداد اسپور قارچ‌های میکوریز در کاربری‌های مختلف (PB- جنگل کاری پهن برگ، PN- جنگل کاری سوزنی‌برگ، AG- زمین زراعی، NF- جنگل طبیعی، RA- مرتع)

دو عمق ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متر مشاهده نشد (شکل ۶). غنای گونه‌های قارچی در کاربری‌های جنگل طبیعی، مرتع و جنگل کاری 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 از نظر شاخص غنای گونه‌ای بین دو عمق اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶). از نظر یکنواختی و تنوع سیمپسون اختلاف معنی‌داری بین کاربری‌ها مشاهده نشد (شکل ۶).

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



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

داشت. همچنین نتایج همبستگی اسپیرمن نشان داد که در عمق ۵-۰ سانتی متری همبستگی معنی‌داری بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریزی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک وجود ندارد (جدول ۳).

رابطه قارچ‌های میکوریزی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

تراکم جمعیت اسپوری در عمق ۵-۰ با پتاسیم قابل جذب همبستگی مثبت و با رطوبت خاک همبستگی منفی

جدول ۳-

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با تراکم جمعیت اسپور در عمق ۵-۰ سانتی متری 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	سپیسون	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}	۰/۳۲۴ ^{NS}	۰/۱۹۷ ^{NS}	۰/۲۴۷ ^{NS}	۰/۱۳۶ ^{NS}
سیلت (%)	۰/۱۹۷ ^{NS}	۰/۱۳۳ ^{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}

و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک وجود داشت. بر این اساس، غنای گونه‌ای با رطوبت اشباع

برخلاف عمق ۵-۰ سانتی متری، در عمق ۱۵-۵ همبستگی معنی‌داری بین تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز

($p=0/33$, $c=0/428$) و اسیدیته ($p=0/002$, $c=0/585$) همبستگی مثبت داشت. شاخص سیمپسون با رطوبت اشباع ($p=0/008$, $c=-0/515$) و رس ($p=0/10$, $c=-0/505$) همبستگی منفی ولی با سیلت ($p=0/006$, $c=0/532$) 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).

($p=0/010$, $c=-0/504$) و رس ($p=0/289$, $c=-0/480$) همبستگی منفی و باسیلت ($p=0/002$, $c=0/580$) و اسیدیته ($p=0/029$, $c=0/436$) همبستگی مثبت داشت (جدول ۴). شاخص یکنواختی با رس ($c=-0/399$), ($p=0/048$) همبستگی منفی اما باسیلت ($c=0/483$), ($p=0/014$) همبستگی مثبتی را نشان داد. همچنین شاخص تنوع شانون‌وینر با رطوبت اشباع ($p=0/018$, $c=-0/469$) و رس ($p=0/011$, $c=-0/501$) همبستگی منفی و با سیلت

جدول ۴- 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
نیترژن (%)	0/148 ^{ns}	0/070 ^{ns}	0/144 ^{ns}	0/218 ^{ns}	0/116 ^{ns}
فسفر (mg/kg)	0/356 ^{ns}	0/222 ^{ns}	0/344 ^{ns}	0/293 ^{ns}	0/376 ^{ns}
پتاسیم (mg/kg)	0/141 ^{ns}	0/097 ^{ns}	0/146 ^{ns}	0/173 ^{ns}	0/164 ^{ns}
ماده آلی (%)	0/221 ^{ns}	0/119 ^{ns}	0/218 ^{ns}	0/195 ^{ns}	0/095 ^{ns}
رطوبت خاک (%)	-0/480*	-0/310 ^{ns}	-0/469*	-0/505*	-0/421*
رس (%)	-0/504*	-0/399*	-0/501*	-0/515**	-0/200 ^{ns}
شن (%)	0/114 ^{ns}	0/066 ^{ns}	0/104 ^{ns}	0/191 ^{ns}	-0/018 ^{ns}
سیلت (%)	0/580**	0/483*	0/585**	0/532**	0/271 ^{ns}
جرم مخصوص (g/cm)	0/281 ^{ns}	0/163 ^{ns}	0/295 ^{ns}	0/181 ^{ns}	0/198 ^{ns}
pH	0/436*	0/322 ^{ns}	0/428*	0/351 ^{ns}	0/116 ^{ns}
شوری (dS/m)	-0/018 ^{ns}	-0/083 ^{ns}	0/008 ^{ns}	-0/110 ^{ns}	-0/001 ^{ns}

C. *C. etunicatum*, *S. constrictum*, *Glomus sp*
 A. *A. gadanensis*, *A. delicata*, *luteum*
A. myriocarpa, *A. bireticulata*, *colombiana*
 E. *P. occultum*, *S. sinuosum*, *D. reticulata*
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 مشاهده شده‌اند. 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

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، گونه‌های علفی 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 افاقیا، سویا و هندوانه بر ساختار جامعه قارچی در خاک به نتایج مشابهی دست یافتند. بر اساس این نتایج در مجموع ۱۹ گونه قارچ میکوریز آربوسکولار شناسایی شد، به طوریکه گونه‌های *G. corymbiforme*, *G. arenarium*, *nanolumen*

بومی بود. مشاهده تراکم هاگ زمین کشاورزی پایین‌تر در نسبت به جنگل طبیعی یا تک کشت در مطالعه حاضر در مطالعه شماره و همکاران (۲۰۱۴) نیز مشاهده شده 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 از جمله این عوامل می‌توان به ترکیب و تنوع جامعه گیاهی، توانایی اسپورزایی جنس‌های مختلف قارچ میکوریز، تراکم ریشه گیاه میزبان، حاصلخیزی خاک و خصوصیات فیزیکی 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 (وینچاک و همکاران، ۲۰۱۰). این نتایج با تحقیقات بورنی و همکاران (۲۰۱۱) و میرزایی و نوربخش (۲۰۱۹) مطابقت دارد. از نظر 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

درصد، کمترین میانگین فراوانی را در بین کاربری‌ها داشت. بر اساس نتایج مشخص شد که اکثر گونه‌های شناسایی‌شده متعلق به جنس *Glomus* بوده است. جنس *Glomus* از عمومی‌ترین قارچ‌های خاکری 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 قارچ‌های میکوریز مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند (چودری و همکاران، ۲۰۱۳) که با توجه به اقلیم منطقه مورد مطالعه فراوانی 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 این گونه 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.

بر اساس 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 در نتیجه کاهش همزیستی‌های قارچی می‌گردد. پایین بودن میزان تعداد اسپور قارچ در کاربری زراعی نسبت به کاربری جنگل در مطالعات چابی و همکاران (۲۰۰۸) و شفیع و همکاران (۲۰۲۰) نیز مشاهده شده است. بلای و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تنوع قارچ‌های میکوریز در سه کاربری آگروفارستی، جنگل بومی و جنگل تک کشت نیز به این نتیجه رسیدند که میزان تراکم اسپور قارچ در کاربری آگروفارستی کمتر از جنگل

جنگل طبیعی و مرتع می‌تواند به جهت تنوع گیاهی این کاربری‌ها باشد (فیننگ، 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 گونه‌های 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 کاربری‌ها 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 مشاهده شده 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 خاک نشان داد. راجشکومار و همکاران (۲۰۱۵) و آمیلی و همکاران (۲۰۱۲) نیز همبستگی منفی غنای گونه‌ای، شاخص‌های شانون با pH خاک را گزارش کردند. pH خاک عامل اصلی تأثیرگذار بر همزیستی قارچ‌های 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.

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. Jafareiyani, 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., Książniak, 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., Vandenkoornhuysse, P., Jansa, J. and Bücking, H. 2011. Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. *Science*, 333: 880-882.
16. Kooch, Y., Hosseini, 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 improved 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., CHliyah, 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 (^{133}Cs and ^{137}Cs) 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.



تأثیر کاربرد 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 قابل توجهی عنصر روی هستند، از این رو، ضایعات لاستیک می‌توانند منبع بالقوه روی برای گیاهان باشند. مطالعه حاضر جهت بررسی اثر سویه‌های سودوموناس حل‌کننده ترکیبات نامحلول روی و پودر ضایعات لاستیک بر رشد و تغذیه ذرت اجرا شد. نتایج مطالعه آزمایشگاهی نشان داد که ۱۲ جدایه قادر به انحلال روی موجود در پودر لاستیک در محیط مایع بودند. در همین راستا pH محیط حاوی باکتری A2 نسبت به شاهد کاهش ۶۶ درصدی را نشان داد. پژوهش‌های 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)، ۱۰۰ (T1)، ۲۰۰ (T2) و ۳۰۰ (T3) میلی‌گرم در کیلوگرم 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 سبزیگی (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 قرار گرفت. 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.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های حل‌کننده روی، پودر لاستیک، پارامترهای رویشی، عناصر غذایی



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 به صورت ZnO و گاهی به صورت 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 کم مصرف 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 قابل توجهی بر رشد گیاه و سلامت انسان دارد (آلوی،

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 تأثیر 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 تجزیه‌کننده 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

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 طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRF^۴) و با استفاده از نرم‌افزار SPECTRO X-LAB 2000, SPECTRO Analytical 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.

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*، *Corynebacteria* و *Pseudomonas* توسط محققین مختلف به عنوان تجزیه‌کننده لاستیک گزارش شده است (هارون و همکاران، ۲۰۰۴). ریزجانداران با شکستن ترکیب مرکاپتوبنزیوتیازول^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 coli* ترکیب 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 بنزیوتیازول^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*، *Escherichia coli* و *Acinetobacter calcoaceticus*، 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 آهنکی 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.

^۳ Tire waste powder

^۴ X-ray fluorescence

^۱ mercaptobenzothiazole

^۲ methyl-benzothiazole

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

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

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های محرک رشد سویه‌های انتخاب شده

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

MnSO₄.H₂O و ۱۰ گرم گلوکز در لیتر) که حاوی پنج گرم در لیتر KH₂PO₄ (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

بررسی توانایی باکتری‌ها در حل روی از منبع پودر لاستیک

برای این منظور از محیط مایع^۱ PKV (۰/۵ گرم (NH₄)₂SO₄، ۰/۵ گرم MgSO₄.7H₂O، ۰/۳ گرم NaCl، ۰/۳ گرم KCl، ۰/۳ گرم FeSO₄.7H₂O، ۰/۰۲ گرم

^۱ Pikovskaya

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 آن 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 مایه تلقیح

بذرهای ذرت رقم سینگل کراس ۲۰۴ مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا بذرها به مدت 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 تا ۱۰ بار) شستشو با آب مقطر استریل انجام شد. سپس بذرها 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 جامد King B، مقداری از

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 به مدت 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 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، Pseudomonas 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 نام‌گذاری شدند) و تیمار روی در چهار سطح ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم روی

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 بوتله‌های چینی ریخته و ابتدا به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس و سپس چهار ساعت در دمای ۵۰۰ 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 ۵۰ 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

باکتری‌ها به درون ارلن‌های حاوی ۲۵ میلی‌لیتر محیط کشت مایع NB^۱ تلقیح گردیدند و به مدت ۴۸ ساعت با ۱۵۰ دور در دقیقه در دمای ۲۸ درجه سلسیوس شیک شدند. مجدداً 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 10^8 (CFU mL⁻¹) به‌عنوان مایه تلقیح مورد استفاده قرار گرفتند.

کاشت در گلدان‌ها

ابتدا در هر گلدان ۸ بذر جوانه زده در عمق ۳ 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 ۱۱۵ NH₄H₂PO₄ گرم، ۱۰۷ KNO₃ گرم، ۲۳۶ Ca(NO₃)₂.4H₂O گرم، ۲۴۶ MgSO₄.7H₂O گرم، ۵ Fe.EDDHA گرم، ۰/۳۸ H₃BO₃ گرم، ۱/۰۲ MnSO₄.4H₂O گرم، ۰/۰۸ CuSO₄.5H₂O گرم و ۰/۰۲ (NH₄)₂MoO₄.4H₂O گرم در لیتر) بدون منبع روی (هوگلند و آرنون، ۱۹۵۰) بلافاصله بعد از کاشت 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 به مدت ۲۰ دقیقه جهت سازگاری به تاریکی به‌وسیله گیره‌های مخصوص از تابش نور محافظت و نسبت کلروفیل فلورسانس متغیر به کلروفیل

^۱ Nutrient broth

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 راریتروپلیس و سودوموناس پوتیدا قادر به تخریب MBT (مرکاپتوبینزوتیازول) 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).

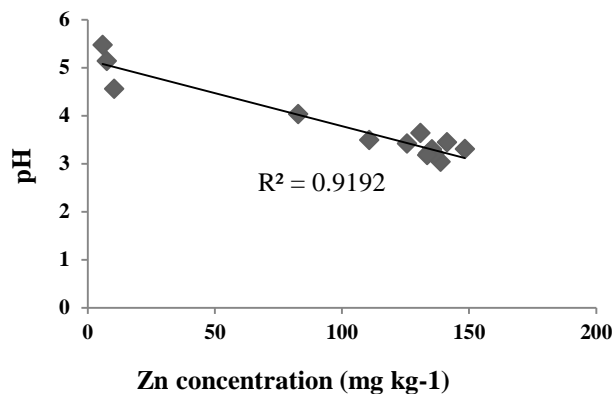
که باکتری‌هایی که قادر به حل‌کنندگی روی بودند به طور چشمگیری pH محیط را نسبت به نمونه شاهد کاهش دادند. با توجه به جدول ۳ میزان روی در نمونه شاهد برابر با ۵/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در اندازه‌گیری روی مربوط به محیط حاوی باکتری‌ها، باکتری A2 با مقدار ۱۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین و باکتری A22 با مقدار 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 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 نتیجه فعالیت این باکتری‌ها pH نیز کاهش زیادی داشت. ساراوارنان و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که دو گونه باکتری *Bacillus* و *Pseudomonas* توانایی انحلال

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

pH	حلالیت روی (mg kg ⁻¹)	جدایه سودوموناس
۳/۲۲ ^{f-g}	۱۳۴ ^{a-b}	K5
۳/۰۴ ^g	۱۳۹ ^a	D14
۴/۰۳ ^d	۸۲/۷ ^c	K4
۳/۲۱ ^{f-g}	۱۳۶ ^a	D10
۳/۳۰ ^{f-g}	۱۴۸ ^a	A2
۳/۴۴ ^{e-f}	۱۴۱ ^a	D1
۳/۴۹ ^{e-f}	۱۱۱ ^b	A6
۳/۴۳ ^{e-f}	۱۲۵ ^{a-b}	A5
۳/۳۰ ^{f-g}	۱۳۵ ^a	D23
۳/۲۰ ^{f-g}	۱۳۶ ^a	A11
۵/۱۴ ^b	۷/۴۵ ^d	A22
۴/۵۵ ^c	۱۰/۳ ^d	A1
۳/۱۸ ^{f-g}	۱۳۳ ^{a-b}	A12
۳/۶۳ ^e	۱۳۱ ^{a-b}	D12
۵/۴۷ ^a	۵/۸۰ ^d	Control

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



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

یکدیگر تفاوت معنی‌داری در افزایش میزان وزن خشک اندام‌هوایی گیاه ندارند (شکل ۳). باکتری‌های مختلف جنس سودوموناس با سازوکارهایی از قبیل ترشح اسیدهای آلی، پروتون، ترکیبات کلات‌کننده 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 و توسعه 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

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 اندام‌هوایی 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

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. ساندر و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند، باکتری‌های حل‌کننده 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 می‌شوند.

افزایش رشد گیاه در تیمارهای پودر لاستیک و سودوموناس را می‌توان به اثرات پودر لاستیک (به عنوان منبع روی و آهن) و خواص متنوع تقویت‌کننده 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).

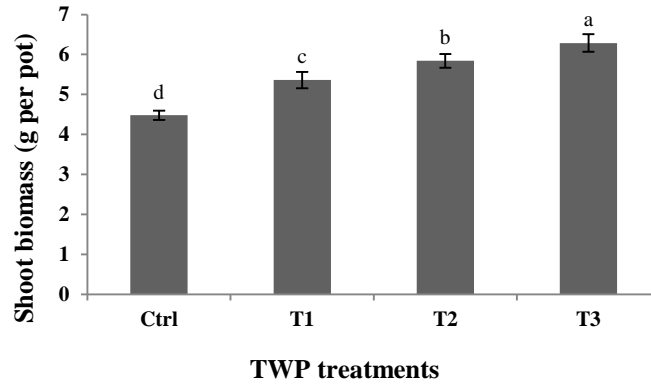
عددی ۲/۶۳ گرم در گلدان می‌باشد که افزایش ۲/۱۴ برابری را نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۴). با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که تیمارهای میکروبی موجب افزایش کارایی پودر لاستیک می‌شوند. احتمالاً بهبود شرایط ریزوسفر گیاه به وسیله تیمارهای میکروبی مقدمه‌ای برای افزایش تجزیه ذرات لاستیک بوده است. با توجه به توان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

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	SPAD	FV/FM	PI	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام‌هوایی
باکتری	۵	۵۶/۳۳**	۰/۰۰۱۷**	۰/۱۱ ^{ns}	۱/۲۱**	۴/۰۸**
TWP	۳	۱۸۲/۷۱**	۰/۰۰۱۵**	۲/۴۴**	۱/۶۴**	۱۰/۷۶**
TWP باکتری*	۱۵	۳/۹۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۴۴ ^{ns}	۰/۰۶۳**	۰/۳۵ ^{ns}
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



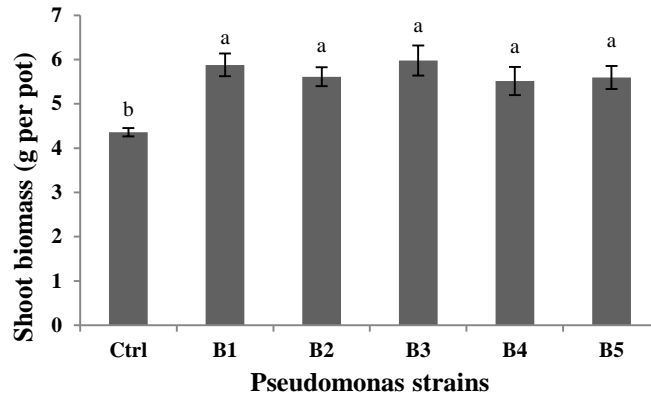
شکل ۲- اثر کاربرد سطوح مختلف لاستیک بر وزن خشک اندام‌هوایی گیاه ذرت

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

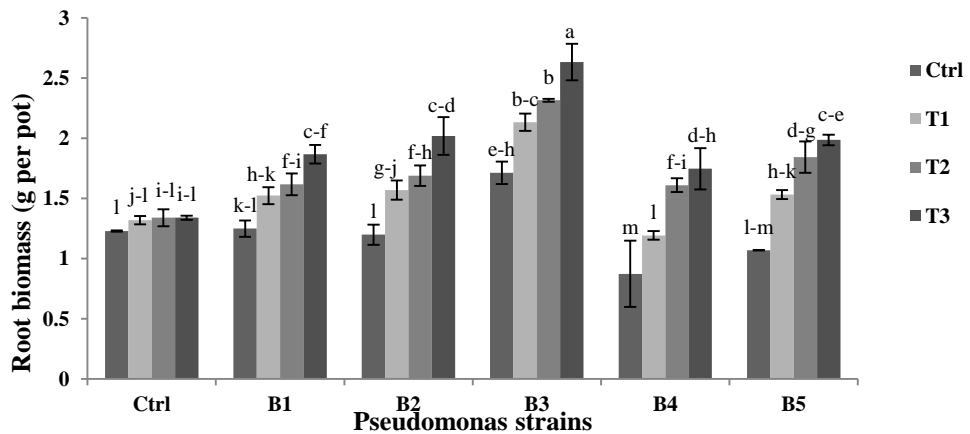
TWP: Tire waste powder، معادل تیمار پودر لاستیک مصرفی



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 پودر لاستیک 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

می‌گردند (کالاتایود و بارنو، ۲۰۰۴) در بهترین شرایط این نسبت برابر ۸۲ تا ۸۵ درصد (۰/۸۲ تا ۰/۸۵) است.

ظرفیت فتوسنتزی گیاهان به صورت 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 سبزیگی برگ گیاه ذرت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). براساس شکل ۷ مشاهده شد که اثر اکثر باکتری‌ها بر شاخص سبزیگی 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 سبزیگی 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.

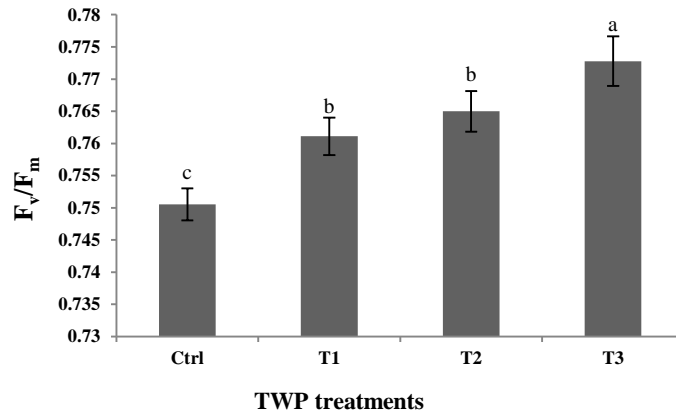
تأثیر کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک به عنوان منبع روی، بر میزان شاخص سبزیگی برگ گیاه ذرت در شکل ۸ نشان داده شده است. همانگونه که این شکل نشان می‌دهد کاربرد پودر لاستیک تأثیر زیادی بر این شاخص داشته است. بر طبق نتایج حاصله مشخص شد که سطوح مختلف پودر لاستیک باعث افزایش معنی‌دار در میزان شاخص سبزیگی گیاه 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).

کلروفیل فلورسانس (F_v/F_m)، شاخص سبزیگی (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

¹ Photosynthesis index

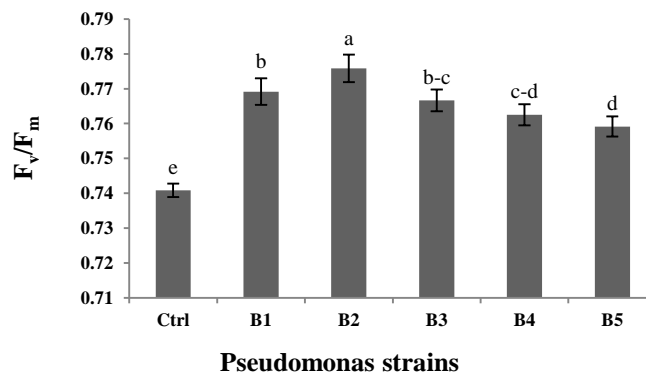


شکل ۵- اثر کاربرد سطوح مختلف لاستیک بر مقدار کلروفیل فلورسانس برگ گیاه ذرت

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



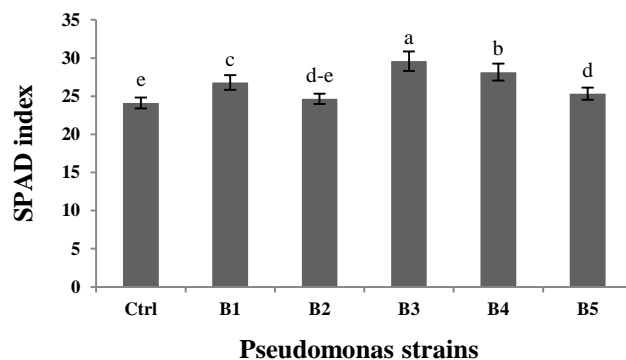
شکل ۶- اثر کاربرد باکتری‌های سودوموناس بر مقدار کلروفیل فلورسانس برگ گیاه ذرت

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

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 سبزیگی برگ گیاه ذرت قابل مشاهده است.

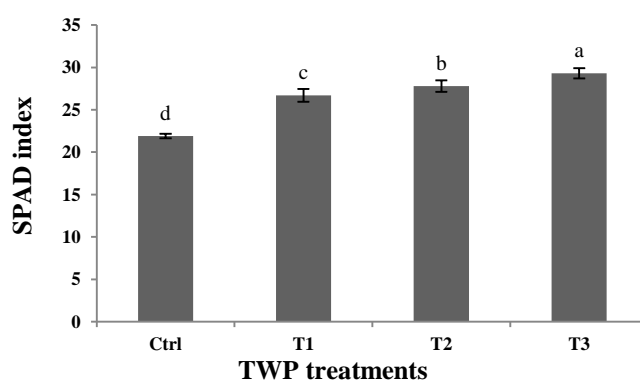
SPAD محتوای کلروفیل را با تعیین شدت رنگ سبز در برگ‌ها، بر اساس کمی کردن شدت نور جذب شده توسط نمونه بافت بدون ایجاد اثرات مخرب تخمین می‌زند. شاخص سبزیگی رابطه مستقیمی با مقدار کلروفیل برگ و در نتیجه میزان فتوسنتز دارد. کلروفیل رنگدانه اصلی جذب نور و فتوسنتز در گیاه می‌باشد که در ساختار آن عناصر غذایی شرکت دارند. به طور کلی،



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

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 B1 و B3 با میزان ۳/۸۵ و ۳/۸۳ بیشترین شاخص PI را دارا بودند.

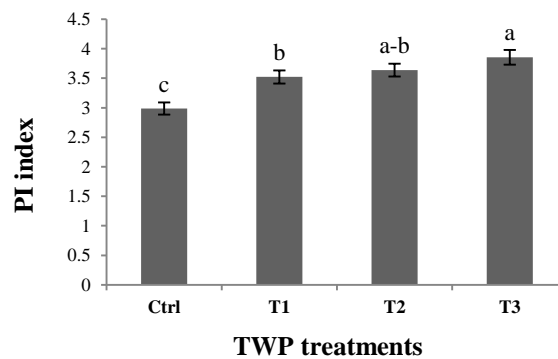
شاخص PI از مهمترین شاخص‌های فتوسنتزی گیاه است که بیان‌کننده میزان جذب نور و انتقال الکترون می‌باشد. این پارامتر با تکیه بر کارایی جذب نور، عملکرد کوانتومی واکنش‌های فتوشیمیایی اولیه و عملکرد کوانتومی انتقال الکترون محاسبه می‌گردد (رای و همکاران، ۲۰۰۸). تغییرات آن می‌تواند به طور کامل کارایی سیستم فتوسنتزی 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

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد، تیمارهای سطوح مختلف لاستیک به‌عنوان منبع روی و جدایه‌های سودوموناس تأثیر 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 مورد نظر 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

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 منجر به جذب بیشتر و رشد بیشتر گیاه شده است.

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 کلاته‌کننده 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 کار برده 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.

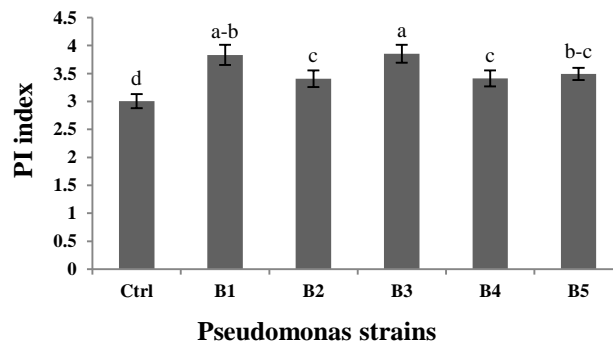


شکل ۹- اثر کاربرد سطوح مختلف لاستیک بر شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI)

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 (شکل ۱۱) 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 (BOT0) 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 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 (BOT0) افزایش داد (شکل ۱۱).

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده شد که اضافه کردن سطوح مختلف پودر لاستیک به عنوان منبع روی در

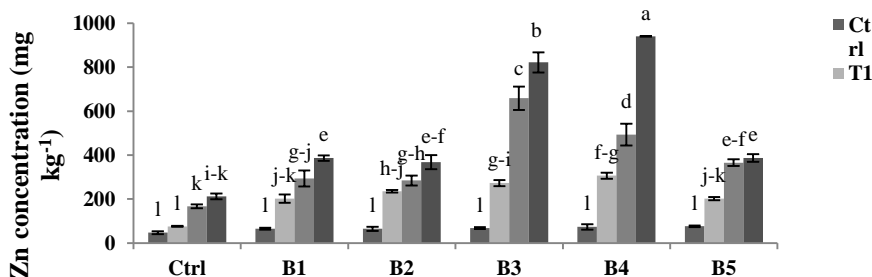
گیاهان تلقیح شده با جدایه‌های باکتری، باعث افزایش غلظت روی در اندام‌هوایی و ریشه نسبت به نمونه شاهد شده است. محتوای گوگرد در پودر لاستیک می‌تواند pH ریزوسفر را کاهش دهد که منجر به افزایش دسترسی گیاهی به سایر ریزمغذی‌ها شود. افزودن لاستیک باعث افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن (N)، پتاسیم (K)، منگنز (Mn) و 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 تأیر 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 تأیر 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 اندام‌های ذرت کشت شده در شن در کاربرد پودر لاستیک و باکتری

منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت Zn	Fe	غلظت Zn	Fe
		ریشه	اندام‌هوایی		
باکتری	۵	۱۰۹۲۸۷۳**	۲۸/۴۴**	۲۱۲۳۰۲**	۶۸۹**
TWP	۳	۸۰۴۰۶۸۳**	۲۳۹/۵۵**	۶۸۹۶۶۰**	۳۱۳۳**
باکتری* TWP	۱۵	۲۱۴۲۹۹**	۲/۸۹ ^{ns}	۵۱۶۴۷**	۱۵۸/۳۲ ^{ns}
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

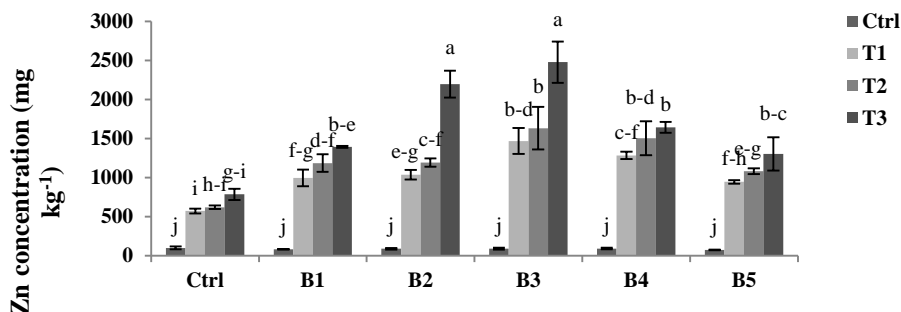
شکل ۱۱- اثر کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک و جدایه‌های سودوموناس بر غلظت روی اندام‌هوایی گیاه ذرت

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 پودر لاستیک 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

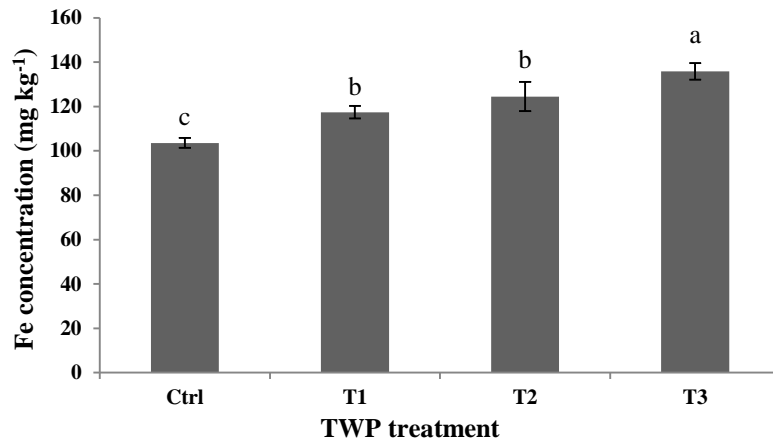
نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۵)، که فقط اثر اصلی تیمار سطوح مختلف پودر لاستیک بر غلظت آهن در اندام‌هوایی گیاه ذرت در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. براساس نتایج مشاهده شد که کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک به‌عنوان منبع روی، به‌طور معنی‌داری غلظت آهن در اندام‌هوایی را نسبت به نمونه شاهد (عدم کاربرد پودر لاستیک) افزایش داده است. مشاهدات نشان داد که کاربرد 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 اندام‌هوایی 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 تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن ریشه نداشت. کاربرد تمامی جدایه‌ها به‌طور معنی‌داری غلظت آهن ریشه را در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌دار داد (شکل ۱۴). 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.

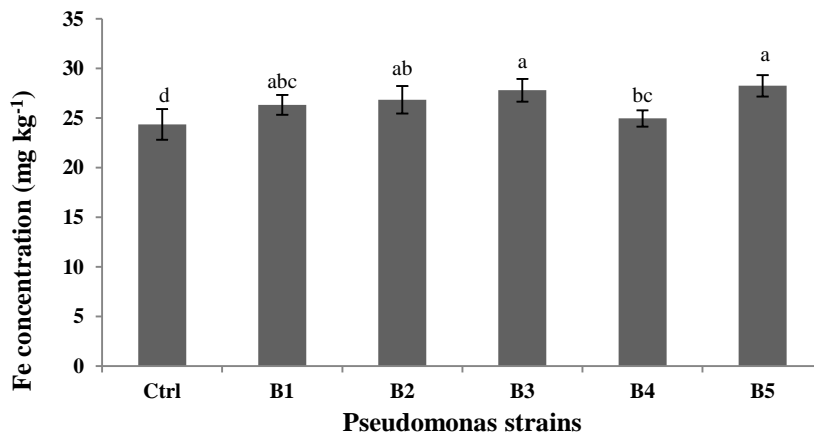
کاربرد سطوح مختلف پودر لاستیک منجر به افزایش معنی‌دار غلظت آهن ریشه گردید (شکل ۱۵). نتایج بدست آمده از شکل ۱۵ نشان داد که کاربرد پودر لاستیک موجب افزایش غلظت آهن در ریشه گیاه ذرت شده است که این افزایش نسبت به نمونه شاهد مشخص است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش مقدار کاربرد پودر لاستیک غلظت آهن نیز 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).

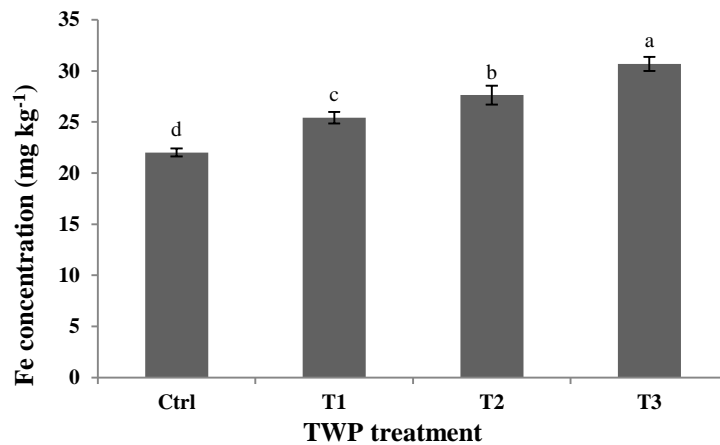
افزایش فعالیت ریزجانداران منجر به تخریب بیشتر لاستیک و آزاد شدن بیشتر گوگرد می‌شود. افزایش اکسیداسیون گوگرد دلیل اصلی کاهش pH خاک در خاک‌های اصلاح شده با لاستیک است که در نتیجه این کاهش pH، حلالیت و دسترسی عناصر افزایش می‌یابد. باکتری‌های مختلف جنس سودوموناس با مکانیسم‌هایی از قبیل ترشح اسیدهای آلی، 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

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.

با توجه به نتایج مشخص شد که کاربرد جدایه‌های سودوموناس در مقابل عدم کاربرد باکتری باعث افزایش در پارامترهای رویشی گیاه ذرت شد و همچنین تأثیر پودر لاستیک نیز بر افزایش این پارامترها مثبت بود به طوری که سطح سوم پودر لاستیک (۳۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم معادل ۲۸ گرم لاستیک در کیلوگرم) بیشترین افزایش را نشان داد. وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی نیز با کاربرد

فهرست منابع

۱. فلاح، ع. ر. بشارتی، ح.، ۱۳۸۸. مقایسه تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات ماده آلی و سوپر فسفات تریپل در عملکرد گندم. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان.
۲. Adachi, K. and Tainosho, Y. 2004. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environment International* 30: 1009-1017.
۳. Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association, Brussels, Belgium.
۴. 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.
۵. 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.
۶. 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
۷. 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.
۸. 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 Federation* 207: 993-993.
۹. 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.
۱۰. Chengalroyen, M.D. Dabbs, E. 2013. The biodegradation of latex rubber: a mini review. *J Polym Environ*, 21: 874-880.
۱۱. 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.
۱۲. 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

- using machine vision techniques]. Thesis, Universidade Federal de Viçosa Brazil.
30. Shafiq, 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 debris in 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 exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Crop Science*, 41: 123-131.

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؛ Itabande@gmail.com

استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ m.sepohri@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 توأم 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 ۵/۵۳، ۷۱، ۲/۲۵ و ۲/۶۰ درصدی وزن خشک اندام هوایی، ریشه، غلظت فسفر و آنزیم کاتالاز گیاهی و افزایش ۵/۱۷۴، ۶/۵۶، ۲/۶۰ و ۶/۳۶ درصدی مقدار پراکسید هیدروژن، مالون-دی‌آلدهید، آنزیم پراکسیداز و سوپراکسیددسموتاز همراه بود، تحت این شرایط، تلقیح توأم 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 پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید شد که متعاقباً با بهبود خصوصیات رشدی گیاه همراه بود. بنابراین تلقیح توأم 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

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 آلاینده‌های مهم زیست‌محیطی تبدیل کرده است، افزایش شدید و ناگهانی سطح این ترکیبات، تحت تأثیر استفاده فراوان از کودهای شیمیایی در خاک‌های 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 بر کاهش فعالیت میکروبی و بروز تغییرات گسترده‌ای بر اکوسیستم 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 در خاک 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 روش‌ها، پرهزینه 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 می‌تواند 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 باکتری‌های 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،

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 آسیب‌های 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، خاک‌ها 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 خطاب، ۲۰۲۰) و برای تهیه مایه‌تلقیح باکتری از روش سلیم و همکاران (۲۰۱۷) استفاده شد.

می‌تواند اثرات هم‌افزایی^۱ 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 باشد که 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 میزبانان 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 خطاب، 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 قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک‌های آهکی، به عنوان مکانی برای نمایش دقیق ارتباط بین خاک و گیاه و ریزجانداران در نظر گرفته می‌شود (متقیان و حسین‌پور، ۲۰۱۳).

¹ Synergic effects

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت مطالعه

نسبت خاک به آب	قابلیت هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی	مقدار کربنات کلسیم	معدن آلی	mg Kg ⁻¹					
					روبی	آهن	منگنز	مس	پتاسیم	فسفر
۸/۳	۰/۳۵	۱۵	۴۲/۵	۰/۴۱	۰/۹۸	۸/۵	۸/۵	۱/۴۴	۳۷۲	۸/۸

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

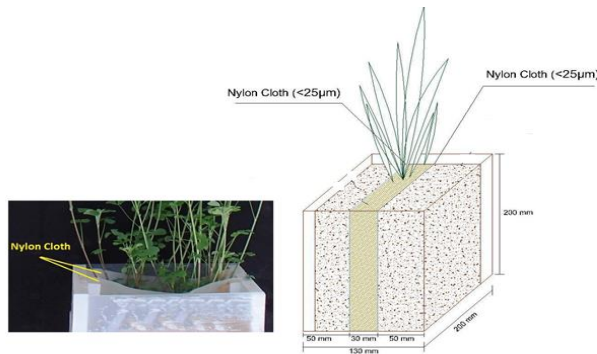
انجام گرفت. لازم به ذکر است، جهت ایجاد شرایط یکنواخت، به ریزوباکس های شاهد (غیر تلقیحی)، مقدار مساوی محیط باکتریایی و قارچی استریل اضافه شد. در شرایط گلخانه، کلیه ریزوباکس ها به مدت نه هفته، رطوبت آنها با آب مقطر در حد ظرفیت زراعی نگهداری شدند. ۱۴ روز پس از کاشت، نمونه برداری از ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ جهت اطمینان از برقراری همزیستی و تعیین میزان کلنیزاسیون ریشه به روش دیکسون و اسمیت (۱۹۹۸) صورت گرفت (شکل ۲). پس از گذشت ۹ هفته و نمونه برداری از آخرین برگ جوان کاملاً رشد یافته، غلظت مالون‌دی‌آلدهید به روش هیت و پکر (۱۹۶۸) و فعالیت آنزیم‌های 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 (علی‌احیایی، ۱۳۷۲).

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 توأم 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 تغییرات جزئی انجام شد (شکل ۱). 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.

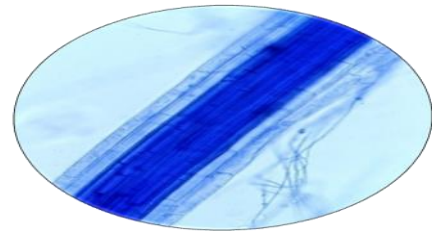
پس از آماده‌سازی بذرهای جوانه زده یونجه (*M. sativa L.*) از رقم همدانی، جهت اعمال تیمار قارچ، بذرها در محلول سوسپانسیون اسپور قارچ (۵×۱۰^۷ اسپور در هر میلی‌لیتر) به مدت سه ساعت و با ۷۵ دور در دقیقه، بطور آرام تکان داده شده تا بذرهای جوانه زده کاملاً تلقیح یابند و به منظور تلقیح باکتری، یک میلی‌لیتر از 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 توأم 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)

سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری انجام شد.

در پایان، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون LSD در



شکل ۲- شماتیک ریزوباکس



شکل ۱- ریشه تلقیح شده با قارچ *S. indica*

نتایج

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.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که، اثر مستقل تنش آلودگی به سولفات روی و تلقیح میکروبی بر اکثر متغیرهای گیاهی تحت مطالعه، در سطح یک درصد معنی‌دار بود و تلقیح میکروبی، تنها بر غلظت

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

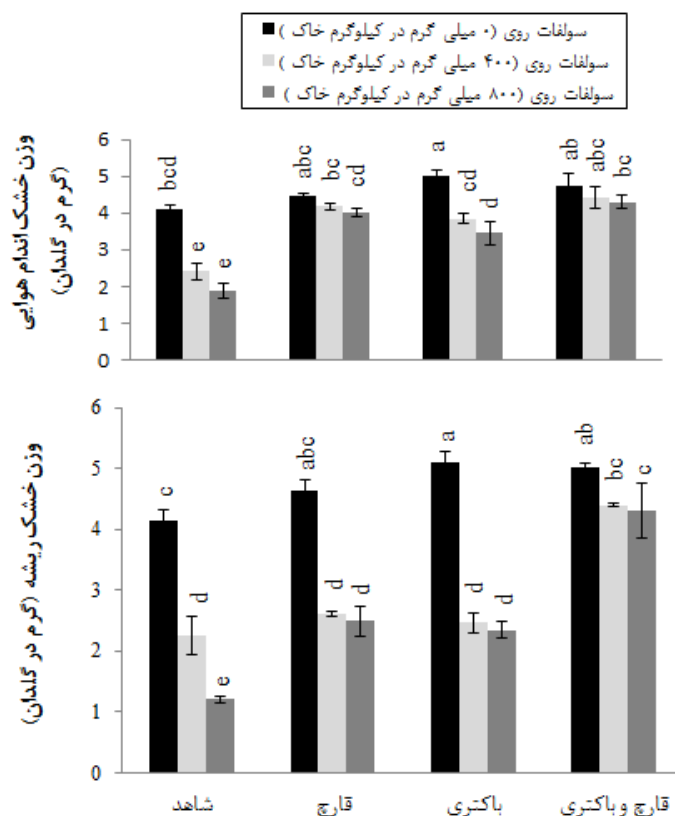
منابع تغییرات			خطا	ضریب	متغیرها
آلودگی روی	تلقیح میکروبی	آلودگی روی * تلقیح میکروبی			
میانگین مربعات					
۴/۴**	۵/۱**	۰/۶۳**	۰/۱۲۵	۹/۰۶	وزن خشک اندام هوایی
۱۵/۸**	۶/۴**	۰/۹۸**	۰/۱۳	۱۰/۴	وزن خشک ریشه
۴۸۵۸۱**	۲۵۰/۶**	۱۵۱/۹**	۳۸/۴	۷/۳	غلظت روی اندام
۱۲۳۳۶۴**	۸۵۳۱**	۲۱۹۷**	۳۹۸/۷	۱۴/۶	غلظت روی ریشه
۰/۰۶۵**	۰/۱۹۵**	۰/۰۲۴*	۰/۰۰۸۱	۱۴/۳	فاکتور انتقال روی
۰/۰۰۱۶**	۰/۰۳**	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۲	۵/۷	غلظت فسفر اندام
۴۴۶۰**	۲۴/۲۸ ^{ns}	۴۶/۹ ^{ns}	۱۰۳/۷	۱۷/۲	غلظت منگنز اندام
۵۵۵۵**	۷۳۶/۶**	۸۹/۹ ^{ns}	۵۱/۲	۱۰/۶	غلظت آهن اندام هوایی
۵۹/۷**	۰/۷۳ ^{ns}	۲/۸ ^{ns}	۱/۲	۱۱/۳	غلظت مس اندام هوایی
۰/۰۰۴۳**	۰/۰۳**	۰/۰۲۲**	۰/۰۰۰۵	۱۲/۴	آنزیم کاتالاز
۹/۱**	۵/۹**	۰/۵۸ ^{ns}	۰/۶۲	۱۹/۱	آنزیم پراکسیداز
۰/۰۲۳**	۰/۰۰۳۳ ^{ns}	۰/۰۰۶۸*	۰/۰۰۲۶	۱۷/۲	آنزیم
۱۷/۴**	۲۳/۸**	۲/۷۳ ^{ns}	۲/۸	۲۲/۴	مالون‌دی‌آلدئید
۱/۹**	۶/۵**	۲/۷**	۰/۲۱	۲۰/۴	پراکسید هیدروژن
۰/۴۹**	۰/۲۷**	۰/۰۵**	۰/۰۰۱۲	۰/۴۴	pH خاک ریزوسفری

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

^{ns}: بیانگر عدم معنی‌داری است.

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).

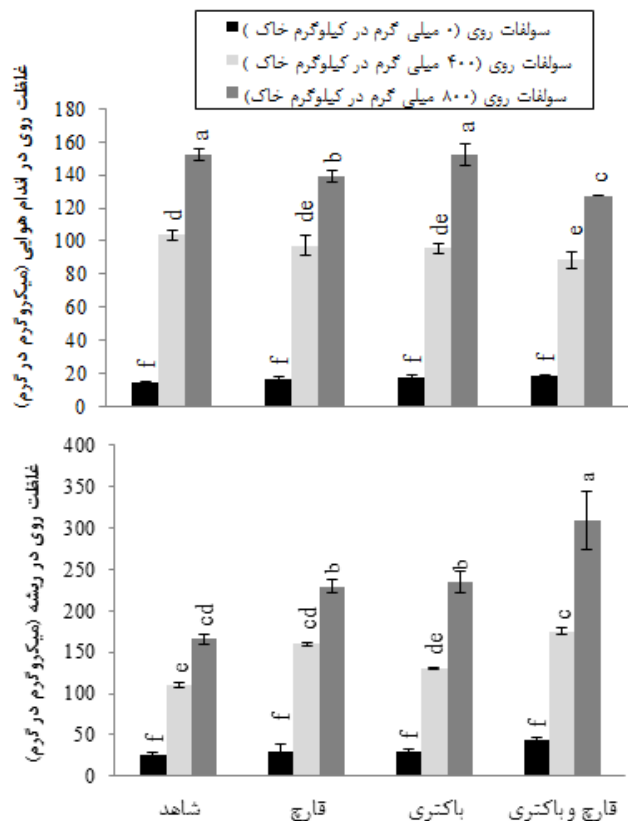
در بررسی نتایج مندرج در شکل ۳ مشخص گردید که تنش آلودگی روی، علاوه بر افت وزن خشک اندام هوایی، منجر به کاهش وزن خشک ریشه گیاهان تلقیحی و غیر تلقیحی (شاهد) شد. بطوریکه، بیشترین اثر کاهش عملکرد، در بالاترین سطح روی (۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و به ترتیب با کاهش معنی‌دار ۵۳/۵ و ۷۱ درصدی در وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه شاهد (عدم تلقیح میکروبی) مشاهده شد و در این شرایط، تلقیح



شکل ۳- 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.

(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.

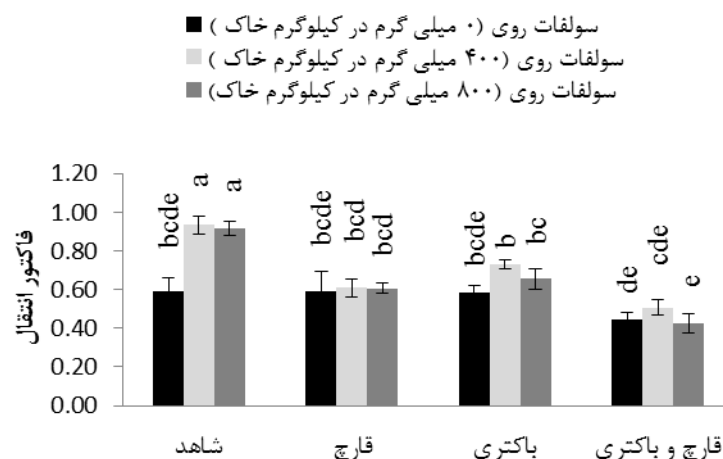
همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، سولفات روی، منجر به افزایش معنی‌دار غلظت روی در اندام هوایی و ریشه گیاهان تلقیح یافته و شاهد (عدم تلقیح میکروبی) شد. در بالاترین سطح آلودگی روی



شکل ۴- اثر تنش آلودگی و تلقیح میکروبی بر غلظت روی در اندام هوایی و ریشه یونجه (میلی گرم در کیلوگرم) *ستون‌هایی که در یک حرف کوچک یکسان هستند از لحاظ آماری طبق آزمون دانکن، تفاوت معنی‌داری ندارند.

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.

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



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 در جدول 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 (۳۰-۳۰۰)، (۱۰۰-۲۰)، (۲۵۰-۳۰) و (۲۵/۲۵-۰/۰) 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)

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

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

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.

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 پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید مشاهده می‌شود، متعاقباً با افزایش شدت تنش آلودگی و تجمع بیشتر پراکسید هیدروژن 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 پراکسید هیدروژن 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 پراکسید هیدروژن 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

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

میانگین	تلقیح میکروبی				سطوح روی
	قارچ و باکتری	باکتری	قارچ	شاهد	
آنزیم کاتالاز (میکرومول بر گرم وزن تر در دقیقه)					
۰/۱۹۵ A	۰/۱۰۵±۰/۰۰۲ e	۰/۲۴۵±۰/۰۱۸ b	۰/۲۸۳±۰/۰۰۷ ab	۰/۱۴۷±۰/۰۰۲ d	۰
۰/۱۷۲ B	۰/۲۶۳±۰/۰۰۲۷ b	۰/۱۱۵±۰/۰۰۹ de	۰/۱۹۷±۰/۰۰۶ c	۰/۱۱۱±۰/۰۰۳ de	۴۰۰
۰/۱۵۸ B	۰/۳۰۵±۰/۰۰۷ a	۰/۰۸۲±۰/۰۱۳ ef	۰/۱۸۴±۰/۰۲۱ c	۰/۰۵۸±۰/۰۰۳ f	۸۰۰
	۰/۲۲۴ A	۰/۱۴۷ B	۰/۲۲۱ A	۰/۱۰۶ C	میانگین
آنزیم پراکسیداز (میکرومول بر گرم وزن تر در دقیقه)					
۳/۱۴ B	۳/۶۶±۰/۱۳ bd	۲/۴۳±۰/۱۱ de	۴/۳۶±۰/۶۱ ac	۲/۱۱±۰/۲۱ e	۰
۴/۴۹ A	۴/۹۳±۰/۳۱ ab	۴/۶۴±۰/۴۱ ac	۴/۷۸±۰/۲۸ ac	۳/۵۹±۰/۶۶ bd	۴۰۰
۴/۷۷ A	۵/۴۷±۰/۲۳ a	۴/۹۷±۰/۷۱ ab	۵/۲۵±۰/۵۱ a	۳/۳۹±۰/۲۶ ce	۸۰۰
	۴/۶۸ A	۴/۰۱ A	۴/۸ A	۳/۰۳ B	میانگین
آنزیم سوپراکسیددسموتاز (میکرومول بر گرم وزن تر در دقیقه)					
آنزیم سوپراکسیددسموتاز					
۰/۲۴۸ B	۰/۱۸۳±۰/۰۲۹ d	۰/۲۳۲±۰/۰۲۲ cd	ac ۰/۳۱۶±۰/۰۰۹	۰/۲۶±۰/۲۱ bd	۰
۰/۳۰۶ A	۰/۳۶±۰/۰۰۵ a	ac ۰/۲۹۵±۰/۰۶۸	۰/۲۷۳±۰/۰۲۲ ad	۰/۲۹۵±۰/۰۳۷ ac	۴۰۰
۰/۳۳۳ A	۰/۲۹۸±۰/۰۳۰ ac	۰/۳۱۳±۰/۰۲۶ ac	۰/۳۶۶±۰/۰۰۶ a	۰/۳۵۵±۰/۰۰۹ ab	۸۰۰
	۰/۲۸ A	۰/۲۸ A	۰/۳۱۸ A	۰/۳۰۳ A	میانگین
پراکسید هیدروژن (میکرومول بر گرم وزن تر گیاه)					
۱/۸ B	۱/۷۱±۰/۱۴ cd	۱/۸۱±۰/۲۰ cd	۱/۷۱±۰/۱۴ cd	۱/۹۷±۰/۲۱ cd	۰
۲/۳۵ A	۲/۱۱±۰/۳۰ c	۲/۱۳±۰/۳۲ c	۲/۰۲±۰/۲۵ cd	۳/۱۳±۰/۲۲ b	۴۰۰
۲/۵۸ A	۱/۷۰±۰/۰۴۷ d	۱/۹۸±۰/۳۲ cd	۱/۷۷±۰/۳۴ cd	۵/۴±۰/۴۱ a	۸۰۰
	۱/۶۶ B	۱/۹۷ B	۱/۸۳ B	۳/۵ A	میانگین
مالون‌دی‌آلدئید (نانو مول بر گرم وزن تر گیاه)					
۶/۲۴ B	۵/۳±۰/۳۴ c	۶/۳۴±۰/۱۸ c	۶/۱۸±۰/۲۴ c	۷/۱۵±۱/۰۹ bc	۰
۷/۴۱ AB	۶/۲۷±۰/۴۸ c	۷/۸±۱/۷۱ bc	۵/۴۱±۱/۰۷ c	۱۰/۱۵±۱/۳۵ ab	۴۰۰
۸/۶۵ A	۶/۹۱±۰/۶۵ c	۸/۲۸±۱/۱۸ bc	۷/۵۶±۱/۱۴ bc	۱۱/۸۴±۰/۶۸ a	۸۰۰
	۶/۱۶ B	۷/۴۷ B	۶/۳۸ B	۹/۷۱ A	میانگین

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 پ‌هش خاک ریزوسفری

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

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

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

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 در کیلوگرم، 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 ریزوسفیری 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 ریزوسفیری در گیاهان تلقیح یافته علی‌الخصوص 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 ریزوسفیری 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 ریزوسفیری همراه است. کاربرد کلیه تیمارهای میکروبی به‌ویژه در

نتیجه گیری

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.

فسفر در گیاهان تلقیح یافته ناشی از افزایش جذب از طریق ساختار میکوریزی بوده که شامل آریسکول‌ها 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.

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. علی‌احیایی، م. و بهبهانی‌زاده، ع. آ. ۱۳۷۲. روش‌های تجزیه شیمیایی خاک و آب (جلد اول) نشریه شماره ۸۹۳، 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., Checucci, 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 Hosseinpour, 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 Belozeroval, 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 Symbiosis*. 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. Sebaciales: 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.



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 صفا 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 صفا آباد 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 ۱/۵ درصد 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٪ و ۳۴/۴) 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 ۱/۵ درصد وزنی زادمایه می‌تواند منجر به افزایش سرعت و کیفیت کمپوست تولیدی از پسماندهای نیشکر گردد.

واژه‌های کلیدی: باگاس، تنفس میکروبی، عناصر پرمصرف و کم‌مصرف، زادمایه

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



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 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 تراشه چوب و به رنگ زردکاهی و عموماً دارای رطوبت حدود ۵۰-۵۵ 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 همی سلولز 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 ساینده‌گی و حفاری و ایجاد تونل قادر به تجزیه دیواره سلولی حاوی مونولیگنین‌ها می‌باشند. بعضی جنس‌ها از قبیل *استریپتومایسیس*، 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 کوچکتز 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 در نهایت 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 میسلیوم 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 (استبرو-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 فیلترکیک 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،

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 تاثیر 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 ۱/۵ درصد 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 amyloliquefaciens* با جمعیت باکتری 10^8 و همچنین *Bacillus atrophaeus*، *paralicheniformis* و *Bacillus* 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 موریه، نمونه‌های تجاری حاوی زادمایه میکروبی و بقایای گیاهی اقدام شد. میزان ۱۰ گرم

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 استراتر 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 هر گرم 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 تاثیر هوادهی و تعیین بهترین نسبت C/N جهت کمپوست‌سازی با استفاده از باگاس و لجن صنعت نیشکر" نشان دادند که تیمار هوادهی تاثیر قابل‌توجهی بر مقدار C/N نداشت و کمپوست با مقدار C/N اولیه ۳۰ سریعترین فرایند 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

جهت اندازه گیری خصوصیات مورد نظر در این تحقیق ابتدا دمای اولیه، درصد کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن و قابلیت هدایت الکتریکی اندازه گیری شد. جهت تعدیل نسبت کربن به نیتروژن توده های 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 زمان های 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 کمپوست سازی میانگین رطوبت در محدوده ۵۰-۶۰ درصد و دما در محدوده ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس (جهت حفظ شرایط بهینه رشد باکتری ها) بود. شاخص های ذکر شده همراه با غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، مس، روی و منگنز در تیمارها در نمونه کمپوست نهایی اندازه گیری شد. تمامی تجزیه های آزمایشگاهی مطابق با روش های موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد (احیایی، ۱۳۷۶). پس از یادداشت برداری داده های مورد نیاز، با استفاده از نرم افزار آماری MSTAT-C تجزیه واریانس صفات مورد بررسی انجام و با استفاده از روش آزمون مقایسه میانگین چند دامنه ای دانکن، میانگین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ با هم مقایسه گردید.

از هریک از نمونه های مایع یا جامد را در داخل ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتری حاوی ۹۰ میلی لیتر محلول سرم نمکی (۰/۸۵ گرم 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 نمونه ها به مدت ۱۰ دقیقه بر روی حمام بخار (بن ماری) با دمای نزدیک جوش قرار داده شد. سپس برای تهیه سری های رقت یک میلی لیتر از محلول هموژنیزه به لوله های حاوی نه میلی لیتر آب مقطر استریل اضافه شد. در نهایت ۰/۱ میلی لیتر از رقت های تهیه شده بر روی سطح پلیت های حاوی محیط کشت نوترینت آگار تهیه شده از شرکت مرک کشت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد گرم گذاری شد (لو و همکاران، ۲۰۰۹).

برای جداسازی، مشاهده و شمارش کلونی باکتری ها روی محیط نوترینت آگار و برای قارچ ها روی محیط واتر آگار و سیب زمینی دکستروز آگار منتقل و پس از حداقل ۲۴ تا ۴۸ ساعت (بسته به رشد باکتری ها و یا قارچ های مختلف) نسبت به تفکیک هر کلنی و انتقال روی محیط کشت های عمومی و شمارش کلنی ها در هر سری رقت اقدام گردید. پس از خالص سازی کلنی ها 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 باکتری های سلولولیتیک محیط Bushnell Hass Medium بود که حاوی ترکیب کربندار کربوکسی متیل سلولز (CMC) می باشد (بوشنل و هاس، ۱۹۴۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی شیمیایی باگاس مورد استفاده در تحقیق

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

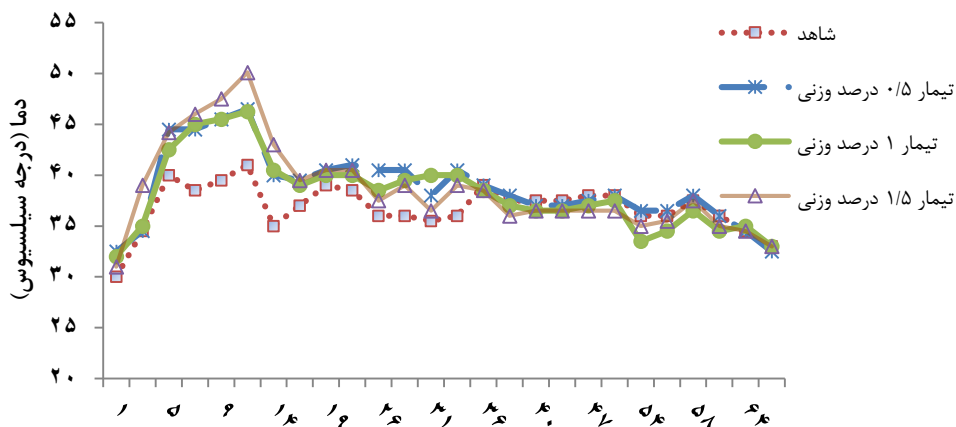
بررسی روند تغییرات دمایی در حین فرایند کمپوست سازی در تیمارهای مختلف نشان داد تیمارهای مختلف تغییرات دمایی متفاوتی را نشان دادند (شکل ۱).

نتایج و بحث

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

سرکرمیان 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 ۱/۵ درصد 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 مواد آلی گردد (دهقانی و همکاران، ۲۰۱۱؛ وادکار و همکاران، ۲۰۱۳).

در تیمارهای شاهد، ۰/۵، یک و ۱/۵ درصد وزنی زادمایه، فاز تاخیری یا مزوفیل تقریباً مشابه و در روزهای سوم تا پنجم و با دمای ۳۳-۴۰ درجه سلسیوس رخ داد. به تدریج و در روزهای ۱۲-۵ دمای تیمارهای ۰/۵، یک و ۱/۵ درصد 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 ۷۵ 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).



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 ۲۰ 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
ضرب 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
ضرب تغییرات (CV)	-	۴/۲	۷/۹	۶/۶	۴/۱۳

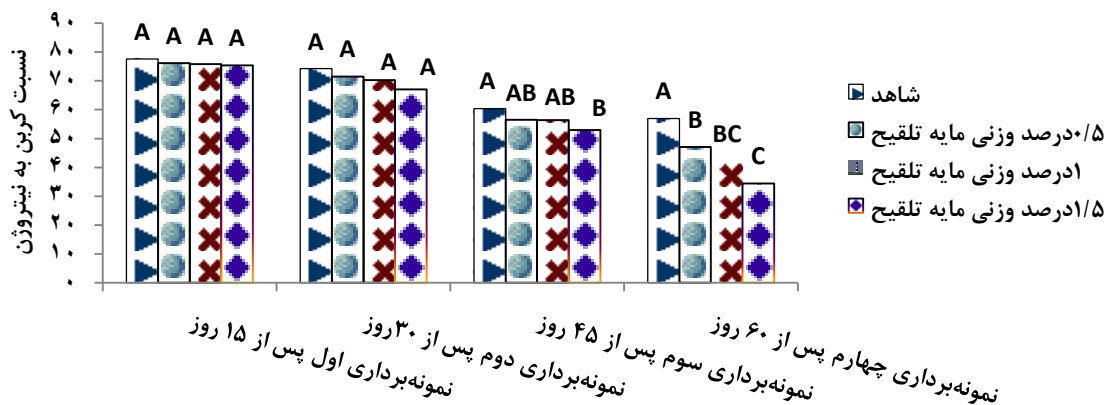
ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	نیترژن 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}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۲۳۶۷۷۵۸*	۵۲/۰۶**	۲۰/۵۶ ^{ns}	۵۹۵/۷*
خطا	۱۲	۰/۰۴۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۴۲۶۰۸۲	۴/۳۵	۴۲/۵۶	۱۲۷/۹
ضرب تغییرات (CV)	-	۲۰/۰۹	۱۴/۷	۷/۸	۱۶/۹	۲۰/۴	۱۲/۵	۱۷/۶

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی داری، اثر معنی دار در سطح ۵ درصد و در سطح یک درصد می باشد.

تغییر یافت. بهترین نسبت کربن به نیترژن برای تولید کمپوست ۴۰-۲۵ است و اگر نسبت کربن به نیترژن از مقدار مذکور بالاتر رود فعالیت ریزجانداران به دلیل پایین بودن میزان نیترژن متوقف می شود و در صورت پایین تر بودن از مقدار مذکور، مقدار زیادی از نیترژن به صورت گاز NH₃ از بین می رود (سامپونگ و همکاران، ۲۰۰۴). مدت زمان فرایند کمپوست و همچنین میزان تولید دی اکسید کربن رابطه مستقیم با نسبت کربن به نیترژن پسماند اولیه دارد که این بدان معنی است که هر چه نسبت کربن به نیترژن آغازین بیشتر باشد احتمالاً برای تثبیت مواد کمپوست و همچنین تغییر فاز باکتریایی به قارچی به مدت زمان طولانی تری نیاز است (غفاری و همکاران، ۲۰۱۱)

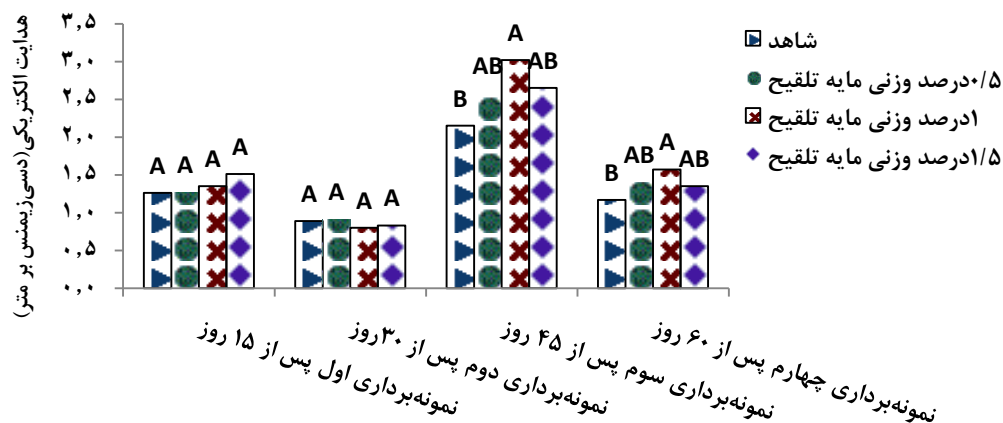
نتایج حاصل از بررسی تغییرات نسبت کربن به نیترژن در حین فرایند کمپوست سازی در تیمارهای مختلف نشان داد بین تیمارهای مختلف در روز ۱۵ ام و ۳۰ ام اختلاف معنی دار وجود نداشت در حالی که در روزهای ۴۵ ام و ۶۰ ام نمونه برداری، بین تیمارها به ترتیب در سطح ۵٪ و ۱٪ اختلاف معنی دار وجود داشت (جدول ۲). با توجه به شکل ۲ می توان 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 نیترژن مربوط به تیمارهای شاهد و میزان آن در طول ۶۰ روز از ۷۷/۶ به ۵۷ کاهش یافت در حالی که کمترین مقدار آن در تیمار ۱/۵٪ زادمایه مشاهده گردید که میزان آن از ۷۵/۴ به ۳۴/۴



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

داخل محلول دارد. بر این اساس علت افزایش ناگهانی قابلیت هدایت الکتریکی در نمونه برداری 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 نمونه برداری روز ۶۰ ام نسبت به نمونه برداری 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).

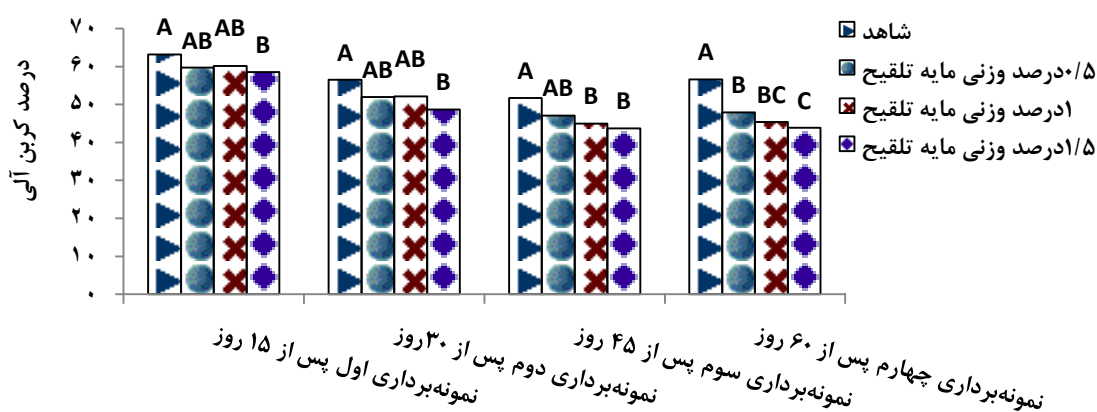
روند تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در حین فرایند کمپوست‌سازی در تیمارهای مختلف نشان داد بین تیمارهای مختلف از نظر قابلیت هدایت الکتریکی در روز ۱۵ ام، ۳۰ ام و ۶۰ ام اختلاف معنی‌داری وجود نداشت درحالی‌که در روز ۴۵ ام نمونه برداری، بین تیمارها در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). در روز ۴۵ 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



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

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 CO₂ 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).

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



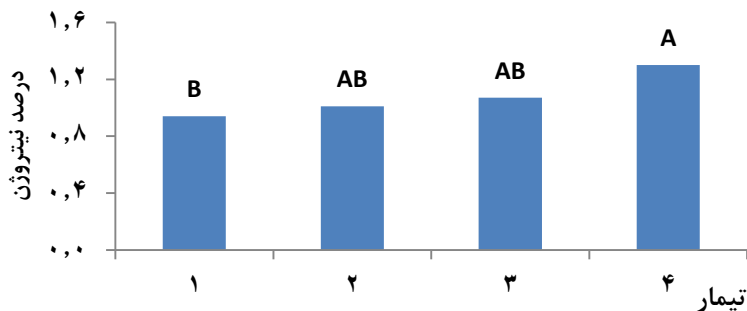
شکل ۴- روند تغییرات کربن آلی در تیمارها و زمان‌های مختلف

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

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،

(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.

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 آمونیم می‌شوند که می‌تواند به صورت گاز آمونیاک در اتمسفر متصاعد شود

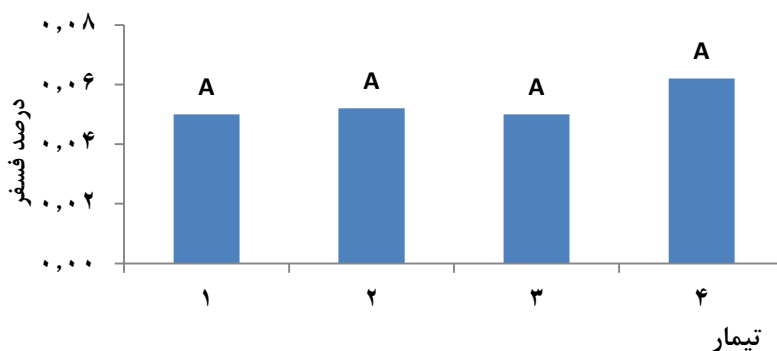


شکل ۵- درصد نیتروژن در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف

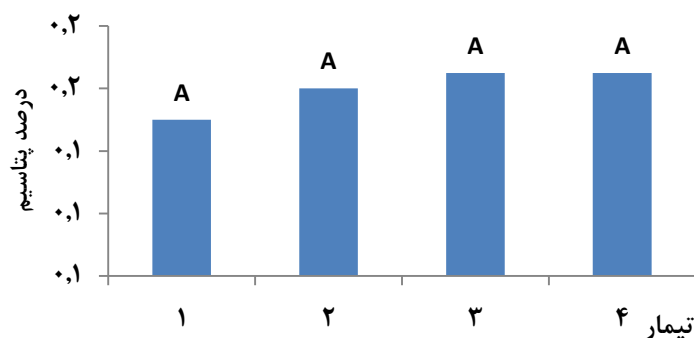
تیمار یک تا چهار به ترتیب شامل شاهد، کاربرد ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه در توده‌های باگاس می‌باشد

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).

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



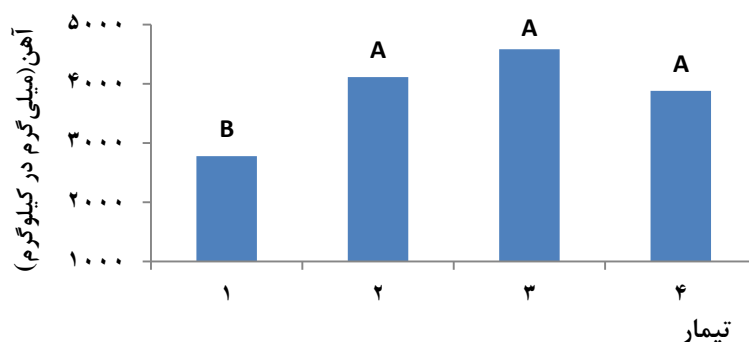
شکل ۶- درصد فسفر در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف



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

۲۷۷۶) و حداکثر آن در تیمار یک درصد زادمایه (mg kg^{-1})^۱ (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.

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 ۰/۵٪ 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})



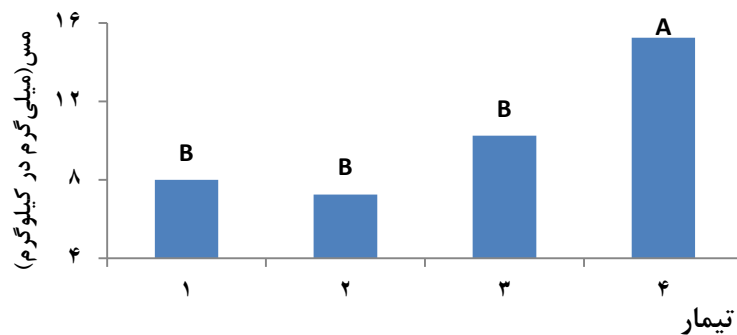
شکل ۸- غلظت آهن در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف تیمار یک تا چهار به ترتیب شامل شاهد، کاربرد ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه در توده‌های باگاس می‌باشد

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 تأثیر مثبت زادمایه بر میزان

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد بین تیمارهای مختلف از نظر میزان مس در روز ۶۰ ام در سطح ۰/۱٪ 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

ساکسنا (۲۰۱۱) کاملاً منطبق است.

تجزیه پذیری و افزایش غلظت عناصر غذایی قابل دسترس در کمپوست است. نتایج فوق‌الذکر با تحقیقات سینگ و

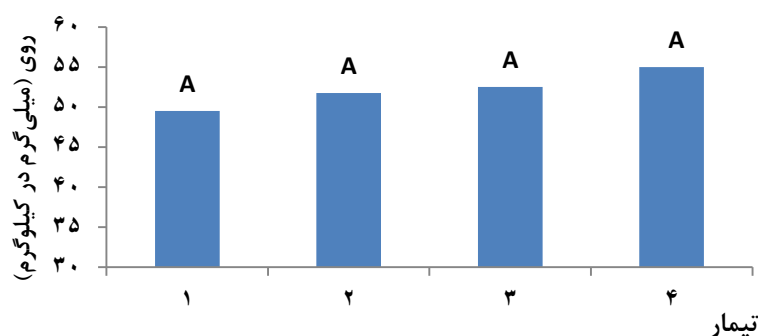


شکل ۹- غلظت مس در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف

تیمار یک تا چهار به ترتیب شامل شاهد، کاربرد ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه در توده‌های باگاس می‌باشد

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.

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 ($49/5 \text{ mg kg}^{-1}$) و حداکثر آن در تیمار ۱/۵ درصد زادمایه (55 mg kg^{-1}) اندازه‌گیری گردید. با توجه به شکل، اگر



شکل ۱۰- غلظت روی در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف

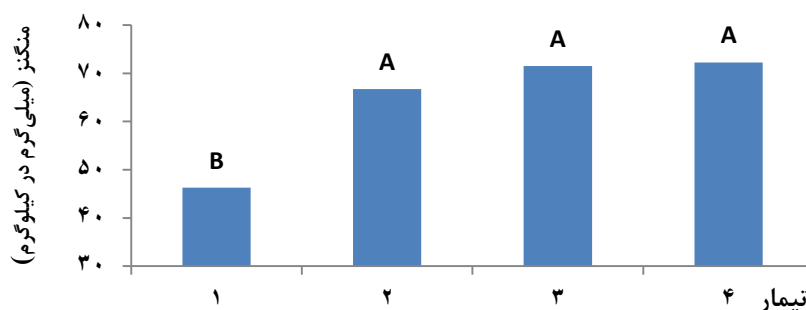
تیمار یک تا چهار به ترتیب شامل شاهد، کاربرد ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه در توده‌های باگاس می‌باشد

آن در تیمار ۱/۵ درصد زادمایه ($72/25 \text{ mg kg}^{-1}$) 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

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 ($46/25 \text{ mg kg}^{-1}$) و حداکثر

مرغی گزارش کردند. در این تحقیق روند افزایش بیانگر نقش موثر مایه تلقیح در افزایش قابلیت دسترسی عنصر منگنز است.

به شاهد را نشان داد. اینبار و همکاران (۱۹۹۳) در تحقیق بر روی کمپوست کود گاوی افزایش ۸۹٪ مقدار منگنز و اینهات و فرناندز (۱۹۹۶) افزایش ۴۷ تا ۵۹ درصد در منگنز کل را در کمپوست مخلوط کاه و کلش با کود



شکل ۱۱- غلظت منگنز در کمپوست نهایی تیمارهای مختلف

تیمار یک تا چهار به ترتیب شامل شاهد، کاربرد ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد زادمایه در توده‌های باگاس می‌باشد

ضرورت دارد در خصوص تولید کمپوست از باگاس نیشکر تحقیقات بیشتری صورت پذیرد

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج تحقیق استفاده از ۱/۵ درصد 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،

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 خواوازی، ک. ۱۳۹۴. اثر افزودنی‌های ملاس و خاک فسفات توام با فعال‌کننده زیستی بر فرایند کمپوست باگاس نیشکر. اولین همایش بین‌المللی 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 annum* L.). *Biogeosciences* 12: 4607-4619.
 6. BioAbfV, L., 1998. Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerischgenutzten Böden (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 (*Agaricus subrufescens* 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. Ilnat, 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 bagasse 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 sugarcane 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 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 nahidjafareiyani2013@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-leaved, 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 Mashae* 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: November 2022 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 (1.25×10^9 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 chroococcum* 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 1.5×10^8 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 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 dS m⁻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: Hadi Asadi Rahmani, 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. Ziaeiian, PhD

Associate Professor of Agricultural and Natural Resources Research Center of Fars

English Editor:

Amir Lakzian, PhD

Technical Editor:

Eng. Kiana Khomehchi

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



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	1
The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Inoculation on Wheat Growth Indices in Saline Irrigation Conditions.....2 H. Khosravi	2
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 Mashae and E.Mirzakhani	3
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	4
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	5
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	6
Application of bioactivator to accelerate the production of compost from sugercane bagasse.....7 S.H. Mahmoodi Nezhad Dezfully and H. Saffary	7