

Ecological Study on Symbiotic Status of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agricultural and Rangeland Ecosystems (Case Study: Sarab Region, East Azerbaijan Province)

Arezou Siami^{1*}, Nasser Aliasgharzad², Leili Aghebati Maleki³, Nosratollah Najafi²,
Farzin Shahbazi²

Received: 07 March 2022 Accepted: 05 June 2022

1-Ph.D. of Soil Biology and Biotechnology, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

2-Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

3-Assist. Prof., of Medical Immunology, Immunology Research Center, Tabriz University of Medical Sciences.

*Corresponding Author Email: arezusiami@yahoo.com

Abstract

Objectives: Sustainable agriculture is achievable by establishing a balance between plant and soil, and depends on the ability of soil and plant to support native and diverse microorganisms such as mycorrhizal fungi. These fungi by increasing the growth of the host plant and the development and stimulation of root secretions especially glomalin, plays an important role in considerable stability in soil ecosystem. Changing rangelands to agricultural uses can affect the symbiosis of these fungi and endanger the stability of ecosystems.

Materials and Methods: This study was conducted in an area of 310 km² in Sarab plain, The wheat, alfalfa, and potato fields were considered as agricultural uses of neighboring rangelands as control soils. From each land use, 30 samples were taken from the rhizosphere soil and roots of the plants and a total of 120 samples were taken. The percentage of mycorrhizal colonization and the amount of root glomalin and some soil properties were measured.

Results: The root colonization was the highest in alfalfa compared to other land uses. Root glomalin was not statistically different between land uses. Soil available phosphorus had positive effect on root colonization at lower content (< 50 mg kg⁻¹) while colonization percent showed a marked decrease above this level.

Conclusion: Colonization of perennial plants was more than annual plants and available phosphorus was the most important soil property that had an effect on fungal colonization of plant roots. However, no significant relationship was observed between contents of root glomalin and soil available phosphorus in different land uses.

Keywords: Glomalin, Land Use, Mycorrhizal Fungi, Rangeland Soils, Root Colonization

مطالعه اکولوژیک وضعیت همزیستی قارچ‌های آربوسکولار در زیست‌بوم‌های زراعی و مرتعی (مطالعه موردی: منطقه سراب، استان آذربایجان شرقی)

آرزو صیامی^{۱*}، ناصر علی‌اصغرزاد^۲، لیلی عاقبتی ملکی^۳، نصرت اله نجفی^۲، فرزین شهبازی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۵

۱- دانشجوی سابق دکتری بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- دانشیار ایمنی‌شناسی پزشکی، مرکز تحقیقات ایمونولوژی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز.

*مسئول مکاتبه: Email: arezusiami@yahoo.com

چکیده

اهداف: دستیابی به کشاورزی پایدار، در سایه توازن میان گیاه و خاک، امکان‌پذیر بوده و به توانایی خاک و گیاه در حمایت از ریزجانداران بومی و متنوع نظیر قارچ‌های میکوریز بستگی دارد. این قارچ‌ها با افزایش رشد گیاه میزبان و توسعه و تحریک تراوه‌های ریشه به‌ویژه گломالین، سبب بهبود کیفیت خاک و پایداری قابل‌ملاحظه زیست‌بوم خاک می‌شوند. تغییر مراتع به کاربری‌های زراعی می‌تواند بر وضعیت همزیستی این قارچ‌ها تأثیر گذاشته و پایداری زیست‌بوم‌ها را به مخاطره بیندازد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در منطقه‌ای به وسعت 310 km^2 در دشت سراب انجام شد. مزارع گندم، یونجه و سیب زمینی به‌عنوان کاربری‌های زراعی و مراتع هم‌جوار به‌عنوان خاک‌های شاهد در نظر گرفته شدند. در هر کاربری تعداد ۳۰ نمونه از خاک ریزوسفر و ریشه گیاهان موردنظر و در کل ۱۲۰ نمونه برداشت شد. درصد کلنیزاسیون میکوریزی و مقدار گломالین ریشه و برخی ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: درصد کلنیزاسیون ریشه در مزارع یونجه در مقایسه با سایر کاربری‌ها، بیشترین مقدار را داشت. مقدار گломالین ریشه در بین کاربری‌ها، تفاوت معنادار نداشت. فسفر قابل‌جذب خاک در غلظت‌های کمتر از 50 mg.kg^{-1} بر کلنیزاسیون میکوریزی اثر مثبت داشت درحالی‌که در بالاتر از این مقدار، درصد کلنیزاسیون به‌طور قابل‌ملاحظه کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: کلنیزاسیون گیاهان چندساله بیشتر از گیاهان یکساله بود و فسفر قابل‌جذب مهم‌ترین ویژگی خاک بود که در غلظت‌های زیاد، کلنیزاسیون میکوریزی ریشه را به‌طور معنادار کاهش داد ولی ارتباط معناداری میان مقدار گломالین ریشه و فسفر قابل‌جذب خاک در کاربری‌های مختلف اراضی مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های مرتعی، قارچ‌های میکوریز، کاربری اراضی، کلنیزاسیون ریشه، گломالین

مقدمه

خاکسازي و عوامل مؤثر بر آن بستگی دارد و مدیریت خاک بر آن تأثیر ندارد؛ ولی کیفیت پویای خاک بسته به نوع مدیریت خاک متغیر است (کارتر و گرگوریچ ۱۹۹۷).

ارزیابی کیفیت خاک برای نیل به موفقیت‌های اقتصادی در تولید محصول‌های کشاورزی و پایداری محیط‌زیست بسیار ضروری است. کیفیت ذاتی خاک به

همکاران ۲۰۰۷، کوراگو و همکاران ۲۰۱۱، وربروگن و همکاران ۲۰۱۶). زیرا رشد و تکثیر جوامع AMF به عواملی از قبیل کوددهی، استفاده از زمین، نوع محصول، روش‌های کشاورزی و اثرات مخرب حاصل از خاک‌ورزی بستگی دارند. کاهش مصرف کودهای فسفوری و عدم خاک‌ورزی از عوامل کلیدی برای فراوانی AMF و تولید گلومالین هستند (نیکولز و رایت ۲۰۰۸). کشت بدون خاک‌ورزی، زیست‌توده AMF بیشتری از نظر کلنیزاسیون ریشه و تراکم اسپور، در مقایسه با خاک‌ورزی معمولی ایجاد می‌کند (بوری و همکاران ۲۰۰۶، کاستیلو و همکاران ۲۰۰۶). خاک‌ورزی بیش از حد باعث از بین رفتن هیف‌های AMF و کاهش تنوع و غنای گونه‌های AMF می‌شود و در نتیجه تولید گلومالین را کاهش می‌دهد (اوهل و همکاران ۲۰۰۳). تمام روش‌های بدون شخم و همچنین سایر اقدامات مانند تناوب زراعی همراه با خاک‌ورزی کم و نظام‌های متنوع کشت باعث افزایش AMF و تولید بیشتر گلومالین در همان فصل رشد و در سال‌های بعد می‌شوند. ترکیب تناوب با میزبان‌های میکوریزی، زیست‌توده AMF را حفظ می‌کند، مقدار گلومالین را افزایش می‌دهد و رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (سلواکومار و همکاران ۲۰۱۸). در مقابل، کاشت گیاهان غیرمیکوریزی سبب کاهش قابل‌ملاحظه جمعیت این قارچ‌ها می‌شود (کمیس ۲۰۰۲). مزارع دارای گونه‌های گیاهی متنوع، مقدار گلومالین بیشتری نسبت به تک‌کشتی‌ها دارند (سینگ و همکاران ۲۰۱۸).

خاک‌ها به‌عنوان یک نظام پیچیده، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی متنوعی دارند که همراه با مدیریت‌های کاربری اراضی بر میزان همزیستی میکوریزی و ساختار جامعه AMF تأثیر می‌گذارند. به‌طور کلی، مقدار گلومالین در خاک‌هایی با حاصلخیزی کم، بیشتر است (لاولاک و همکاران ۲۰۰۴). محدودیت‌های محیطی نظیر آب و کمبود عنصرهای غذایی باعث افزایش همزیستی با قارچ AM می‌شود (ساراپاتکا و همکاران ۲۰۱۹). مقدار بالای فسفر خاک باعث کاهش کلنیزاسیون AMF می‌شود (شارما و ادهولیا ۲۰۱۵). همچنین تحقیقات نشان دادند

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار^۱ (AMF) در بهبود عملکرد اکثر نظام‌های خاکی و حتی برای اراضی بایر، نقش اساسی دارند و به‌عنوان همزیست ریشه بسیاری از گیاهان زراعی و باغی در جذب آب و عنصرهای غذایی، کاهش اثر تنش‌های زیستی و غیرزیستی و پایداری نظام‌های کشاورزی نقش مهمی دارند (هائو و همکاران ۲۰۱۹). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در ۸۰ درصد گیاهان کره زمین به‌عنوان همزیست وجود دارند (اسمیت و رد ۲۰۰۸) و کمینه ۳۰ درصد زیست‌توده میکروب‌های خاک را تشکیل می‌دهند (کومار و همکاران ۲۰۱۸). این قارچ‌ها در شاخه *Glomeromycota* طبقه‌بندی می‌شوند و بدون کلنیزاسیون در ریشه گیاهان میزبان، قادر به تکمیل چرخه زندگی خود نیستند. این قارچ‌ها زیست‌فراهمی عنصرهای غذایی به‌ویژه عنصرهای کم‌مصرف و آب را برای گیاهان میزبان افزایش می‌دهند. در نتیجه، فعالیت فتوسنتزی گیاه افزایش و هم‌زمان فعالیت میکروبی و آنزیمی و کربن قابل‌استفاده در خاک افزایش می‌یابد (سامر و همکاران ۲۰۱۷، سابرامانیا و همکاران ۲۰۱۹). در مقابل گیاهان میزبان حدود ۴ تا ۲۵ درصد از مواد آلی (کربن) حاصل از فتوسنتز خود را به سمت ریشه و قارچ همزیست منتقل می‌کنند (هوبی ۲۰۰۶). در این همزیستی، اندام‌های قارچ علاوه بر گسترش در پوست ریشه، در خاک اطراف ریشه نیز توسعه یافته و ضمن دریافت منابع کربن از گیاه، بخشی از آن را به‌صورت ترکیب‌های آلی مختلف در خاک آزاد می‌کنند. این ترکیب‌های آلی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک نقش بسزایی دارند. در میان این ترکیب‌ها، گلومالین، گلیکوپروتئین تولید شده به‌وسیله هیف و اسپور این قارچ‌ها در خاک و درون ریشه است که پایدار در برابر حرارت، چسبیده و آبگریز است. این پروتئین در افزایش ذخیره کربن و نیتروژن خاک و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار مؤثر است و از این نظر اهمیت اکولوژیکی دارد (زو و میلر ۲۰۰۳، ریلیگ ۲۰۰۴a).

نظام‌های کشاورزی و شیوه‌های مدیریت زمین بر همزیستی میکوریزی و تولید گلومالین اثر دارند (رایت و

¹ Arbuscular Mycorrhiza Fungi (AMF)

کاربردهای مختلف ایران، یکی از قطب‌های کشاورزی استان آذربایجان شرقی در دشت سراب با کاربردهای مختلف زراعی و مرتعی برای این بررسی انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و تعیین کاربری‌ها

محدوده مورد مطالعه در طول جغرافیایی شرقی "۰۶' ۴۱° ۴۷" تا "۴۶' ۲۶' ۴۸° و عرض جغرافیایی شمالی "۳۹' ۵۲' ۳۷" تا "۳۰' ۰۰' ۳۸° و با ارتفاع ۱۶۶۰ تا ۱۹۱۲ متر از سطح دریا و با مساحت کل ۳۱۰ km² در قاچ 38 N در اطراف شهرستان سراب واقع شده است (شکل ۱). آب و هوای منطقه نیمه‌خشک با متوسط بارندگی سالیانه حدود ۲۸۰ mm می‌باشد (سازمان هواشناسی جمهوری اسلامی ایران ۲۰۱۲). مناطقی با کاربری‌های زراعی شامل مزارع گندم، یونجه و سیب زمینی انتخاب شد که گندم و سیب زمینی به‌عنوان گیاهان یکساله و یونجه به‌عنوان چندساله بودند. همچنین، از مراتع همجوار (به‌عنوان شاهد بدون خاک‌ورزی) گیاه فستوکا که تقریباً در سرتاسر منطقه مورد مطالعه گسترش داشت، انتخاب شد.

نمونه‌برداری خاک و ریشه از کاربری‌های مختلف

نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک اطراف ریشه گیاهان و به صورت مرکب انجام شد. از هر کاربری، تعداد ۳۰ مزرعه و از هر مزرعه یک نمونه مرکب و در کل ۱۲۰ نمونه خاک و ۱۲۰ نمونه ریشه برداشت شد. برای انتقال ۱۲۰ نمونه ریشه گیاهان مختلف به آزمایشگاه از جعبه‌های یونولیت حاوی یخ، استفاده شد. نمونه‌های خاک برای تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، ابتدا هواخشک و سپس از غربال دو میلی‌متری عبور داده شدند. همچنین ۵ گرم از هر نمونه ریشه، در فریزر و دمای ۲۰°C- برای تعیین میزان گلومالین ریشه نگهداری شد. برای تعیین درصد کلنیزاسیون میکوریزی مقداری از ریشه‌های تازه (حدود دو گرم وزن تر) پس از شستشو با آب، در اتانول ۵۰ درصد نگهداری شد. زمان

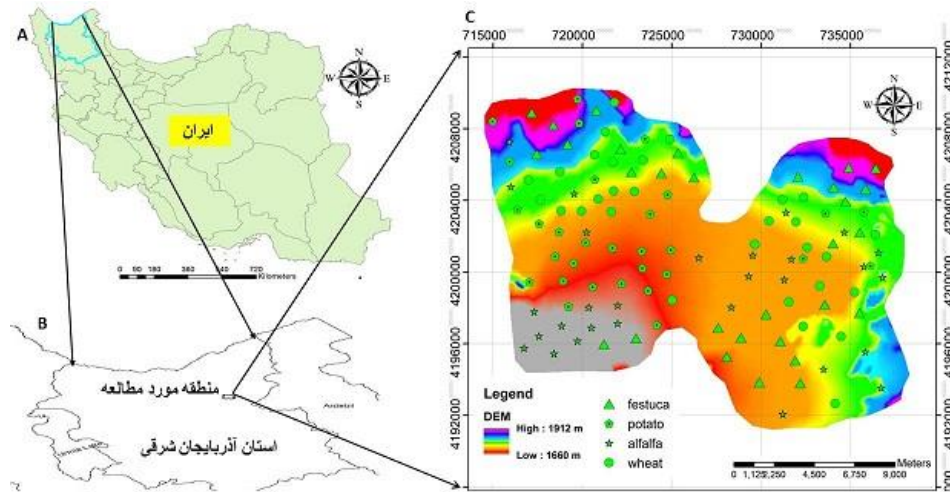
که همزیستی AMF در خاک‌هایی با مقدار فسفر زیاد، کمتر است و زیادی فسفر قابل جذب در خاک بر اثر استفاده بی‌رویه از کودهای فسفر سبب کاهش قابل ملاحظه همزیستی میکوریزی و در نتیجه کاهش گلومالین می‌شود (اولسن و همکاران ۲۰۱۰). ریزجانداران خاک، به‌ویژه باکتری‌های همیار میکوریزی شدن^۲ به‌طور مستقیم از طریق تحریک تندش اسپور، رشد هیف و استقرار قارچ‌های AM یا غیرمستقیم از طریق اثرات مثبت بر رشد گیاه میزبان می‌توانند میزان همزیستی میکوریزی را افزایش دهند (لوسی و همکاران ۲۰۰۴). جرم مخصوص ظاهری، بافت، pH و هدایت الکتریکی خاک نیز با تأثیر بر میزان همزیستی میکوریزی، بر تولید گلومالین اثر دارند (ژانگ و همکاران ۲۰۱۷).

میزان گلومالین اندازه‌گیری شده در ریشه گیاهان میکوریزی به عنوان ماده‌ای که بیانگر ارتباط تنگاتنگ میان دو موجود زنده خاک و گیاه است و از طرف دیگر به عنوان ماده‌ای که تحت تأثیر تنش‌های محیطی به تعدیل شرایط موجود کمک می‌کند، حائز اهمیت است. همچنین، نقش کلیدی این ماده در بهبود کیفیت خاک و نقشی که در پایداری قابل ملاحظه در زیست‌بوم خاک ایفا می‌کند، توجه به گلومالین را برجسته‌تر می‌کند. به همین دلیل، گلومالین در اهداف بین‌المللی برای محدود کردن تغییرات جدی آب و هوا نقش چشمگیری دارد (اشتایتون و همکاران ۲۰۲۰، جانزن ۲۰۱۵). برای دستیابی به این هدف، استفاده پایدار از منابع خاک، شیوه‌های بهتر مدیریت خاک و آب و احیای خاک‌های تخریب شده مورد نیاز است. با روش‌های مختلف مدیریتی برای انواع مختلف خاک، آب و هوا، نظام‌های کشاورزی و شیوه‌های مدیریت محلی مربوط به کشاورزی می‌توان این مسئله کلیدی را مدیریت کرد. از طرفی روشن است که زیست‌بوم‌های کشاورزی در بین همه زیست‌بوم‌ها امکان مدیریت بیشتری دارند. به همین منظور و برای بررسی اثر کاربری‌های مختلف بر میزان همزیستی میکوریزی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک و با توجه به عدم وجود داده‌های کمی قابل اعتماد از میزان گلومالین در

² Mycorrhization-Helper Bacteria

استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی^۳ روی زمین یافت شد.

نمونه‌برداری نیمه دوم فصل بهار سال ۱۳۹۸ بود. مختصات جغرافیایی مکان‌های نمونه‌برداری با دقت به نقشه شبکه‌بندی منطقه (با فواصل ۱۳۹۰ متر) و با



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و مناطق نمونه‌برداری شده

گلومالین است تعیین شد (ریلیگ ۲۰۰۴b). برای این کار، جهت رقیق‌سازی نمونه‌ها برای قرار گرفتن در محدوده غلظت قابل اندازه‌گیری با روش ELISA ($0.4 \mu\text{g}/50 \mu\text{L}$)، ابتدا غلظت گلومالین کل با روش بردفورد اندازه‌گیری شد، سپس با افزودن نمک بافری شده فسفات (PBS^4) غلظت در محدوده قرائت دستگاه ELISA و معادل 0.02 میکروگرم به ازای 50 میکرولیتر تنظیم شد. 50 میکرولیتر نمونه رقیق شده با بافر فسفات ($\text{pH}=7.2$)، به داخل چاهک‌های میکروپلیت U شکل از جنس پلی‌وینیل کلراید (Maxi sorp, Nunc, Denmark) اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت یک شب در دمای 35 درجه سلسیوس داخل انکوباتور قرار گرفت و پس از طی مراحل و در نهایت با افزودن آنتی‌بادی مونوکلونال MAb32B11 به هر چاهک به مدت یک ساعت روی شیکر، نمونه‌ها، انکوبه شد. برای آشکار کردن آنتی‌بادی‌های مونوکلونال متصل به آنتی‌ژن گلومالین از آنتی‌بادی ضد موشی IgM تهیه شده در بز و کنژوگه با آنزیم پراکسیداز با رقت $1:1000$ (رقیق شده در آلومین سرم گاوی (BSA^5) 1 درصد) استفاده شد. سپس از

تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه

رنگ آمیزی ریشه‌ها با استفاده از روش تغییر یافته کورمانیک و مک‌گراو (۱۹۸۲) انجام و برای تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه از روش تقاطع خطوط شبکه استفاده شد (شنک و پرز ۱۹۸۸، نوریف و همکاران ۱۹۹۲).

اندازه‌گیری مقدار گلومالین ریشه

برای این کار، ریشه‌های نگهداری شده در فریزر، ابتدا در دمای آزمایشگاه نگهداری شدند تا یخ آن‌ها باز شود. برای استخراج گلومالین از یک گرم ریشه تر استفاده و نمونه به همراه چند عدد دانه شیشه‌ای داخل لوله فالکون حاوی 8 میلی‌لیتر بافر سدیم سترات 50 میلی‌مولار قرار داده شد. یک دقیقه ورتکس و به مدت 60 دقیقه در دمای 121 درجه سلسیوس اتوکلاو گردید. سپس در $1000 \times \text{g}$ به مدت ده دقیقه سانتریفوژ شد (رایت و اپادیا ۱۹۹۶). به این ترتیب عصاره‌گیری گلومالین ریشه انجام شد. سپس میزان گلومالین ریشه گیاهان به روش ELISA غیرمستقیم با استفاده از آنتی‌بادی مونوکلونال MAb32B11 که کاملاً اختصاصی برای

⁵ Bovine Serum Albumin

³ Global Positioning System (GPS)

⁴ Phosphate Buffered Saline

معنادار بود. نتایج مقایسه میانگین‌های درصد کلنیزاسیون ریشه نشان داد که مزارع یونجه با میانگین ۷۱/۸۶ درصد با مزارع سیب زمینی (۶۵/۲۳ درصد)، گندم (۶۰/۵۳ درصد) و مراتع فستوکا (۵۶/۳ درصد) تفاوت معنادار داشت. همچنین، درصد کلنیزاسیون ریشه مزارع سیب زمینی با مراتع فستوکا تفاوت معنادار داشت (شکل ۲). علاوه بر شرایط خاک، نوع گونه گیاهی هم بر میزان درصد کلنیزاسیون ریشه گیاهان تأثیر دارد به طوری که درصد کلنیزاسیون در ریشه فستوکا کمتر از گندم، سیب زمینی و یونجه بود. درصد کلنیزاسیون بالاتر در یونجه ممکن است به داشتن همزیستی توام میکوریزی و ریزوبیومی و اثر هم‌افزایی این دو همزیستی مربوط باشد. در بررسی آزمایشگاهی ریشه‌ها نیز گره‌های مشخص و فراوان همزیستی ریزوبیومی روی ریشه‌های یونجه مشاهده شد (داده‌ها نشان داده نشده است). وجود برهمکنش مثبت بین قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم، علاوه بر یونجه در سویا، شبدر، بادام زمینی و عدس قرمز هم گزارش شده است (بیرو و همکاران ۲۰۰۰، بارآ و همکاران ۲۰۰۲، آنتونس و همکاران ۲۰۰۵). همچنین، در کاربری یونجه با توجه به چندین ساله بودن یونجه و کوددهی کمتر فسفر، میزان کمتر فسفر خاک هم در درصد کلنیزاسیون ریشه تأثیر دارد.

مقدار گلومالین ریشه گیاهان در کاربری‌های مختلف

اثر کاربری اراضی بر گلومالین ریشه گیاهان بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس معنادار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های گلومالین ریشه در کاربری‌های مختلف نشان داد که بالاترین مقدار گلومالین در ریشه گیاهان گندم و سیب زمینی به ترتیب با میانگین‌های ۰/۴۶۱۸ و ۰/۲۶۲۲ mg g⁻¹ root مشاهده شد. همچنین، مقدار گلومالین ریشه گیاهان فستوکا و یونجه با میانگین ۰/۲۰۴۲ و ۰/۱۶۲۲ mg g⁻¹ root در رتبه بعدی قرار داشتند که تفاوت معناداری بین این دو مشاهده نشد (شکل ۲). علی‌رغم درصد بالاتر کلنیزاسیون ریشه یونجه، گلومالین ریشه یونجه کمتر از سایر گیاهان بود که این نتیجه ممکن است به وجود همزیستی سه‌جانبه یونجه-میکوریز-ریزوبیوم مربوط باشد و محصول‌های

سوبسترای ۳، ۳، ۵، ۵ - تترامتیل بنزدین (TMB, Merck) در هر چاهک برای تولید رنگ استفاده گردید. ۳۰ دقیقه بعد از افزودن سوبسترای رنگی و قرار گرفتن در فضای تاریک، با اضافه کردن سولفوریک اسید ۷ درصد (Sigma) واکنش پایان یافت. سپس شدت رنگ تولیدی (OD) در طول موج ۴۵۰ نانومتر به وسیله دستگاه ELISA (Stat Fax 303, Germany) قرائت گردید. بعد از قرائت OD در حجم ۵۰ میکرولیتر نمونه‌ها، با استفاده از نمودار استاندارد، میکروگرم غلظت گلومالین در حجم ۵۰ میکرولیتر محاسبه گردید، سپس با اعمال ضریب رقت مقدار گلومالین در واحد وزن ریشه محاسبه شد (ریلیگ ۲۰۰۴b).

اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

توزیع اندازه ذرات خاک با استفاده از روش هیدرومتر (جی و ار ۲۰۰۲) تعیین شد. مطابق با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی، pH و EC خاک در عصاره گل اشباع اندازه‌گیری گردید (رودز ۱۹۹۶). فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن (اولسن و سامرز ۱۹۸۲) و کلسیم کربنات معادل خاک با روش خنثی کردن با اسید و تیتراژ با سود اندازه‌گیری شد (آلیسون و مودی ۱۹۶۵).

طرح آزمایشی و تحلیل آماری

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی^۶ RCBD و با ۴ نوع کاربری و ۳۰ تکرار در هر کاربری انجام شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با نرم‌افزار MSTATC و تعیین همبستگی‌ها و تحلیل رگرسیون ساده با نرم‌افزار SPSS انجام شدند.

نتایج و بحث

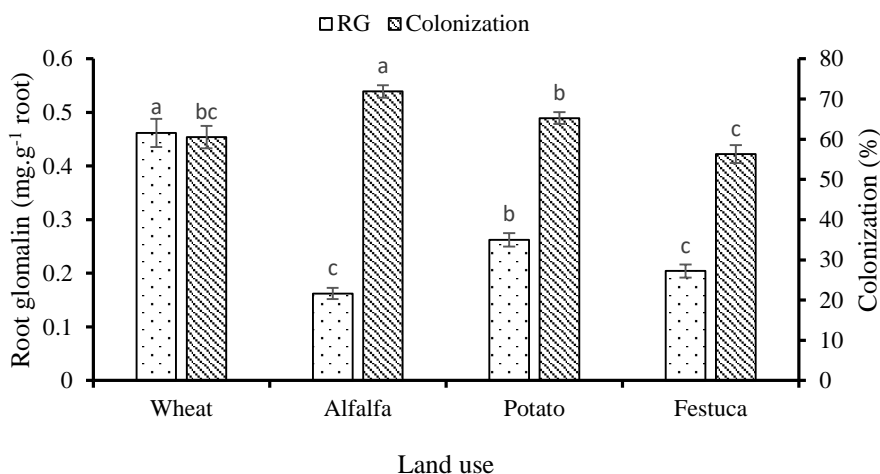
اثر کاربری‌های مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده در ریشه و خاک
درصد کلنیزاسیون ریشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر کاربری اراضی بر درصد کلنیزاسیون ریشه گیاهان

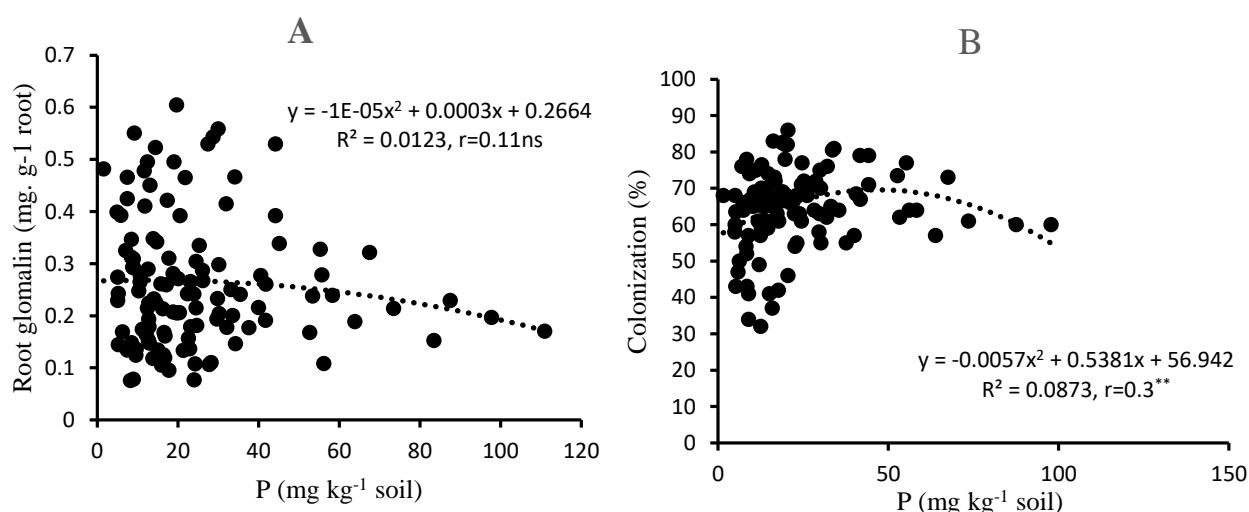
^۶ Randomized Complete Block Design

معنادار بود (شکل ۳B). در غلظت‌های پایین فسفر قابل‌جذب خاک، با افزایش فسفر، کلنیزاسیون ریشه افزایش یافت ولی در غلظت‌های بالاتر فسفر (غلظت حدود ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، افزایش فسفر قابل‌جذب خاک، باعث کاهش کلنیزاسیون ریشه گیاهان گردید. وسنجاک و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر تلقیح قارچ میکوریز در ترکیب با تیمارهای مختلف فسفر قابل‌جذب خاک همراه با شاخص‌های رشد و گل‌دهی نوعی از گل داوودی که گیاهی چندساله است را در دو فصل رشد بررسی و مشاهده کردند که در غلظت‌های بالاتر فسفر قابل‌جذب، هیف‌ها، وریکول‌ها و آربوسکول‌های کمتری در بخش‌های مختلف ریشه وجود داشت. تراکم بیشتر ساختارهای قارچی در ریشه گیاهان در سال دوم مشاهده شد. گیاهان میکوریزی در سال دوم تعداد شاخساره، گل‌آذین و گل بیشتری داشتند و زمان گل‌دهی طولانی‌تری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی نشان دادند. در تحقیقی دیگر وجود همزیستی AM و وابستگی کلنیزاسیون ریشه و تشکیل اسپور به‌وسیله AMF در ۴۸ گونه گیاه دارویی (متعلق به ۹ خانواده) در ارتباط با ویژگی‌هایی از خاک که ممکن است با همزیستی AM مرتبط باشند، مطالعه و مشاهده شد که وابستگی تشکیل اسپور به‌وسیله قارچ AM به ویژگی‌های خاک بیشتر از وابستگی درصد کلنیزاسیون ریشه به ویژگی‌های خاک بود. افزایش کلنیزاسیون ریشه و تعداد اسپور با افزایش درصد شن و کاهش درصد رس و فسفر قابل‌جذب در خاک نشان داد که گیاهان در محیط‌های سخت و خاک‌های کم‌بارور بیشتر به همزیستی میکوریزی وابسته هستند (صفری سنجان و الیاسی یگانه ۲۰۱۷).

فتوسنتزی گیاه بین دو ریزجاندار همزیست تقسیم می‌گردد و در مقایسه با همزیستی منفرد قارچ، کربن کمتری به قارچ تخصیص می‌یابد و به تبع آن تولید مواد کربنی قارچ از جمله گلومالین کاهش پیدا می‌کند. در تحقیقی حیدریان پور و همکاران (۲۰۲۰) با ارزیابی تأثیر تلقیح منفرد یا دوگانه قارچ‌های *Rhizophagus irregularis* و *Serendipia. indica* بر رشد گوجه فرنگی در شرایط شور نشان دادند که تلقیح دوگانه هر دو قارچ میکوریز *R. irregularis* و قارچ اندوفیت *S. indica* تحریک رشد گوجه فرنگی و بالاترین زیست‌توده را به همراه داشت و در شرایط شور کاهش غلظت کلروفیل گیاه و در نتیجه فتوسنتز مشاهده شد که باعث کاهش کربوهیدرات‌های تولیدی گیاه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که این دو قارچ برای به‌دست آوردن منابع کربن گیاهی با هم رقابت داشتند. با توجه به کلنیزاسیون ریشه کمتر در دو کاربری گندم و سیب زمینی، میزان گلومالین ریشه در گندم بیشتر از سیب زمینی بود که این نتیجه می‌تواند به مقدار کمتر فسفر قابل‌جذب خاک در کاربری گندم مربوط باشد. کلنیزاسیون بالا لزوماً بر تولید گلومالین زیاد دلالت نخواهد داشت. تولید گلومالین زیاد به تخصیص کربن بیشتر از گیاه به قارچ مربوط است. در برخی شرایط، به‌عنوان مثال در فراوانی فسفر قابل‌جذب، با وجود کلنیزاسیون بیشتر، تخصیص کربن از گیاه به قارچ و در نتیجه تولید گلومالین کاهش می‌یابد (اولسن و همکاران ۲۰۱۰). طبق شکل ۲A برازش معادله رگرسیونی درجه دو میان گلومالین ریشه و فسفر قابل‌جذب خاک در کاربری‌های مختلف اراضی معنادار نبود ولی رگرسیون میان کلنیزاسیون ریشه و فسفر قابل‌جذب خاک در کاربری‌های مختلف اراضی در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های درصد کلنیزاسیون ریشه و مقدار گلومالین ریشه (RG) در کاربری‌های مختلف مقایسه میانگین‌ها برای درصد کلنیزاسیون و گلومالین ریشه جداگانه انجام شده است.



شکل ۳- برآزش معادله رگرسیونی درجه دو میان گلومالین ریشه و فسفر قابل جذب خاک (A)، و میان کلنیزاسیون ریشه و فسفر قابل جذب خاک (B)

pH خاک

تفاوت معنادار داشت (شکل ۴A و جدول ۲). باتوجه به این که pH خاک بر اثر مدیریت‌های مختلف اراضی ممکن است تغییر نماید (گیسن و همکاران ۲۰۰۹)، کاهش pH در مزارع سیب زمینی می‌تواند به فعالیت‌های مدیریتی از جمله به مصرف کودهای اسیدزای افزایش‌دهنده رشد گیاه نسبت داده شود. در مزارع سیب زمینی از کودهای اوره و سوپرفسفات استفاده می‌شود که سوپرفسفات کودی اسیدزا است. اوره هم پس از استفاده در خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربری‌های اراضی بر pH خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های pH خاک در کاربری‌های مختلف نشان داد که pH خاک در مزارع یونجه (۷/۸۵)، گندم (۷/۷۶) و مراتع فستوکا (۷/۷۴) باهم تفاوت معناداری نداشتند و کمترین pH خاک در مزارع سیب زمینی با میانگین ۷/۵۸ بود و با سایر کاربری‌ها

تأثیر pH بر درصد کلنیزاسیون میکوریزی مشاهده شد که کاهش pH در مزارع و مراتع به غیر از مزارع یونجه، کلنیزاسیون میکوریزی را افزایش داد که در این مورد مزارع یونجه به دلیل همزیستی سه‌جانبه قارچ-یونجه-ریزوبیوم، با داشتن بالاترین pH، بیشترین کلنیزاسیون میکوریزی و کمترین گلومالین ریشه را داشتند. در مزارع سیب زمینی با کمترین pH، درصد کلنیزاسیون میکوریزی در رتبه دوم و بعد از مزارع یونجه قرار گرفت.

به‌طورموقتی و کوتاه‌مدت خاصیت قلیایی دارد و در نهایت طی فرایندهای جذب آمونیوم به‌وسیله ریشه گیاه و ترشح پروتون و نیترات‌سازی باعث اسیدی شدن محلول خاک می‌شود (هاولین و همکاران ۲۰۱۷). همچنین، در مقایسه مراتع با مزارع می‌توان اشاره کرد که کشت و زرع در کاربری‌های زراعی به دلیل تأثیر بر فعالیت ریزجانداران و کربن آلی خاک موجب افزایش pH خاک می‌شود. این نتیجه در مزارع یونجه باتوجه‌به چین‌های متوالی برداشت مشاهده می‌شود. در مورد

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر کاربری اراضی بر pH، EC، رس، سیلت، شن، مواد خنثی شونده، فسفر، کلنیزاسیون ریشه و گلومالین ریشه

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییر	
گلومالین ریشه	کلنیزاسیون ریشه	فسفر	CCE	شن	سیلت	رس	EC	pH		
۰/۵۲۷**	۱۳۳/۵**	۰/۲۵۶ ^{ns}	۰/۲۶۴**	۵۱/۳۵ ^{ns}	۳۶۶/۷**	۴۶۵/۰۸**	۰/۱۲۵**	۰/۳۷۴**	۳	نوع کاربری
۰/۰۰۸ ^{ns}	۱۱۶/۸ ^{ns}	۰/۰۸۳ ^{ns}	۰/۰۴۴ ^{ns}	۱۲/۵۸ ^{ns}	۵۰/۷۹ ^{ns}	۵۰/۵۵ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{ns}	۰/۰۵۷ ^{ns}	۲۹	بلوک
۰/۰۰۸	۱۳۳/۹	۰/۱۰۶	۰/۰۶۰	۱۲۳/۳۳	۴۴/۶۸	۶۲/۸۴	۰/۰۱۶	۰/۰۹۱	۸۷	خطا
۱۸/۲۲	۱۸/۲۲	۲۵/۴	۲۸/۱۳	۲۸/۷۹	۲۰/۹۱	۲۶/۹۱	۳۶/۳۴	۳/۹		ضریب تغییرات (%)

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در کاربری‌های مورد مطالعه

P _{ava} (mg.kg ⁻¹)	CCE %	Sand %	Silt %	Clay %	EC (dS. m ⁻¹)	pH	نوع کاربری
۲۰/۲۷	۷/۳۹	۳۹/۴۳	۲۷/۸۶	۳۲/۷۰	۰/۹۰	۷/۷۶	گندم
۲۰/۰۴	۸/۳۴	۳۸/۲۵	۳۲/۰۳	۲۹/۷۱	۱/۳۷	۷/۸۵	یونجه
۲۸/۲۰	۶/۷۷	۳۶/۸۶	۳۱/۵۹	۳۱/۵۵	۱/۲۹	۷/۵۸	سیب زمینی
۳۱/۹۷	۱۲/۶	۳۹/۷۴	۳۶/۳۹	۲۳/۸۶	۲/۶۱	۷/۷۴	فستوکا

خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و عمق نمونه‌برداری هم از صفر تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک انجام شده است، می‌توان اشاره کرد که در کاربری‌های زراعی یونجه، سیب زمینی و گندم به دلیل انجام آبیاری‌های مداوم، امکان شستشوی نمک‌ها از خاک سطحی مورد مطالعه وجود دارد و در نتیجه EC کمتری در خاک کاربری‌های زراعی مشاهده گردید در صورتی‌که فستوکا از مناطق دست‌نخورده نمونه‌برداری شده است و در مراتع آبیاری صورت نمی‌گیرد و تنها منبع تامین رطوبت مورد نیاز مراتع از طریق بارندگی است که حتی اگر بر اثر

قابلیت هدایت الکتریکی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربری‌های اراضی بر قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های EC خاک در کاربری‌های مختلف نشان داد که مراتع فستوکا با میانگین $2/61 \text{ dS.m}^{-1}$ با مزارع سیب‌زمینی ($1/28 \text{ dS. m}^{-1}$) و گندم ($0/89 \text{ dS. m}^{-1}$) تفاوت معنادار و همچنین مزارع یونجه، با میانگین $1/27 \text{ dS m}^{-1}$ با مزارع گندم تفاوت معنادار داشتند (شکل ۴B). باتوجه‌به این که محدوده مورد مطالعه در منطقه

CCE خاک، کاهش میزان کلنیزاسیون میکوریزی در همه کاربری‌ها مشخص بود و باتوجه به حضور بیشترین مقدار CCE خاک، کمترین کلنیزاسیون میکوریزی در مراتع مشاهده شد.

فسفر قابل جذب خاک

اثر کاربری اراضی بر فسفر قابل جذب خاک بر اساس نتایج تجزیه واریانس معنادار گردید (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های فسفر قابل جذب خاک در کاربری‌های مختلف نشان داد که بالاترین میانگین فسفر قابل جذب خاک در مراتع فستوکا با میانگین mg kg^{-1} ۳۱/۹۷ و با تفاوت معنادار با مزارع گندم مشاهده شد. مقدار فسفر قابل جذب خاک در مزارع گندم با سایر کاربری‌ها تفاوت معنادار داشت (شکل ۴D). در مزارع باتوجه به عملیات برداشت محصولات کشاورزی مقدار فسفر قابل جذب کمتری در خاک وجود داشت زیرا فسفر به وسیله گیاهان جذب می‌شود و خروج آن به دلیل برداشت محصول باعث کاهش فسفر خاک در کاربری کشاورزی می‌شود (بورک و همکاران ۱۹۸۹). همچنین، برای یونجه و گندم معمولاً کودهای فسفر کمتری استفاده می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت کاربری کشاورزی اراضی، هدررفت و برداشت فسفر را در صورت عدم جایگزینی مجدد تسریع می‌کند (ون بین و همکاران ۲۰۰۷، منگ و همکاران ۲۰۰۸) نیز با بررسی اثر کاربری اراضی بر هدررفت میزان فسفر به این نتیجه رسیدند که کاربری کشاورزی دارای بیشترین مقدار هدررفت فسفر به وسیله فرسایش بود. در مراتع هم عملیات داشت و برداشت انجام نمی‌شود و هر ساله مواد آلی گیاهی برداشت نشده، تجزیه می‌شوند و به خاک مراتع اضافه می‌شوند و به همین دلیل مقدار فسفر قابل جذب بالاتری در مراتع مشاهده شد. همچنین، افزایش مقدار فسفر در خاک مرتع تحت چرا نسبت به زمین کشاورزی را می‌توان به چرای دام نسبت داد زیرا حرکت دام در سطح مرتع باعث مدفون شدن بیشتر فضولات و لاشبرگ‌ها می‌شود و همچنین باعث تحرک بیشتر فسفر موجود در سطح خاک بر اثر

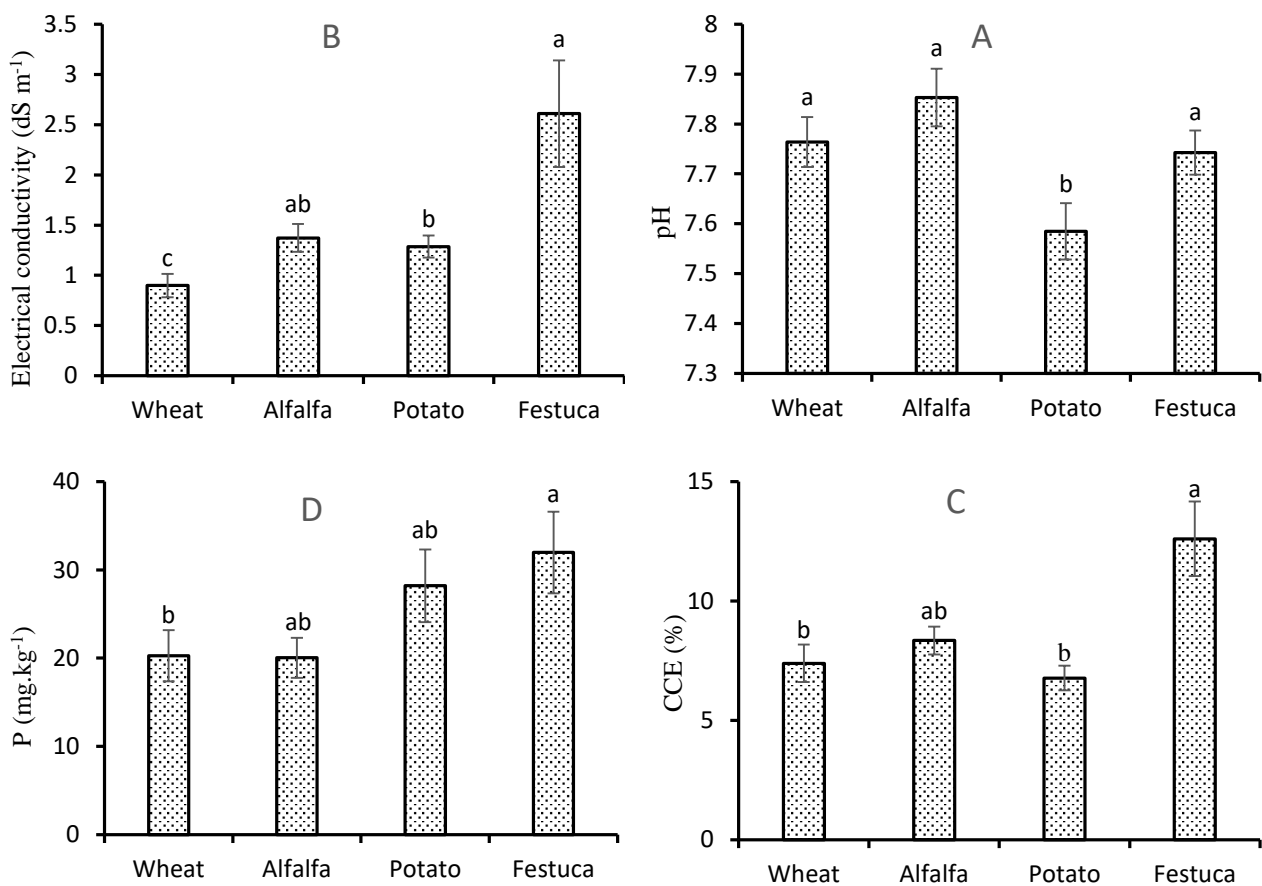
بارندگی‌های شدید و مکرر امکان شستشوی املاح به لایه‌های پایین‌تر وجود داشته باشد با در نظر گرفتن فصل نمونه برداری و بر اثر گرما و حرکت مویبگی امکان افزایش EC در این فصل از سال در مراتع منطقه نسبت به مزارع وجود خواهد داشت. در کاربری‌های زراعی با تغییر EC خاک درصد کلنیزاسیون میکوریزی افزایش می‌یابد. کاربری مرتعی با داشتن بالاترین EC در میان کاربری‌ها، کمترین میزان کلنیزاسیون میکوریزی را داشت.

درصد کلسیم کربنات معادل خاک (CCE)

اثر کاربری اراضی بر درصد کلسیم کربنات معادل خاک (CCE^{v}) معنادار گردید (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های درصد CCE خاک در کاربری‌های مختلف نشان داد که بالاترین میانگین درصد CCE در گیاه فستوکا با میانگین ۱۲/۶ درصد و با مزارع گندم و سیب زمینی تفاوت معنادار داشت ولی بین مزارع یونجه، گندم و سیب زمینی تفاوت معناداری مشاهده نشد (شکل ۴C). تغییر آهک خاک بر اثر تغییر کاربری نشان می‌دهد که آب آبیاری و عملیات کشاورزی نقش مهمی در درصد آهک خاک‌های کشاورزی دارند. باتوجه به عملیات خاک‌ورزی اعمال شده در کاربری‌های کشاورزی، کمتر بودن درصد مواد خنثی‌شونده در این کاربری‌ها قابل توجه است. همچنین، آبیاری باعث حل شدن و خارج شدن آهک از لایه‌های سطحی می‌شود. بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی مرتعی بر ویژگی‌های خاک در حوزه آبخیز امامه به وسیله پیچند (۲۰۱۷) نشان داد که با تبدیل کاربری مرتع به سایر کاربری‌ها، درصد آهک و پتاسیم و فسفر قابل جذب کاهش یافت و این کاهش در کاربری آیش و کشاورزی نسبت به سایر کاربری‌ها بیشتر بود. همچنین، گیزیلکایا و دنیز (۲۰۱۰) و ملک‌پور و همکاران (۲۰۱۱) نیز در تحقیقات جداگانه‌ای به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری باعث کاهش مقدار آهک خاک سطحی در زمین‌های زراعی شد که علت آن افزایش آبشویی بر اثر تغییر کاربری است. با افزایش میزان

از جمله فسفر به کمک تراوه‌های ریشه‌های گیاهان مرتعی از شکل غیرقابل جذب به شکل قابل جذب تبدیل می‌شود ولی به دلیل برگشت مجدد بقایای گیاهی به خاک، افزایش میزان فسفر در خاک مشاهده می‌شود. با افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک کاهش میزان کلنیزاسیون میکوریزی در همه کاربری‌ها مشخص بود و باتوجه به حضور بیشترین مقدار فسفر قابل جذب خاک در کاربری مرتعی، کمترین کلنیزاسیون میکوریزی در مرتع مشاهده شد. گرچه درصد کلنیزاسیون میکوریزی به گونه گیاهی و سایر شرایط خاک نیز وابسته است.

تردد دام و به هم خوردن خاک سطحی می‌شود. در اراضی مرتعی تحت چرا، پوشش گیاهی و بازگشت آن به خاک سبب افزایش مواد آلی و حفظ فسفر خاک می‌شود. بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی مرتعی بر ویژگی‌های خاک در حوزه آبخیز امامه به وسیله پیچند (۲۰۱۷) نشان داد که با تبدیل کاربری مرتعی به سایر کاربری‌ها، میزان فسفر کاهش یافت و این کاهش در کاربری آیش و کشاورزی نسبت به سایر کاربری‌ها بیشتر بود. آبیید و ل (۲۰۰۸) در بررسی اراضی با کاربری مرتعی نشان دادند که اگرچه عنصرهای غذایی



شکل ۴- مقایسه میانگین‌های pH، هدایت الکتریکی (EC)، کلسیم کربنات معادل (CCE) و فسفر قابل جذب خاک در کاربری‌های مختلف

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنادار ندارند.

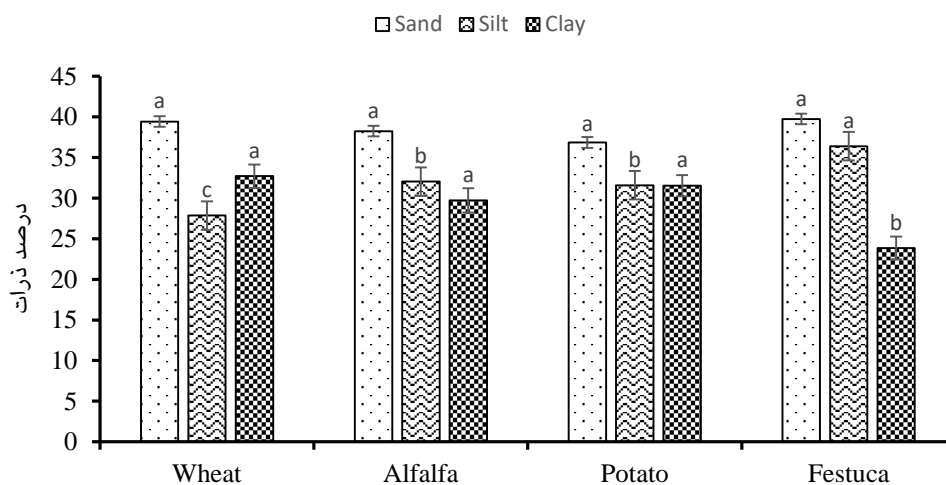
کاربری‌های مختلف نشان داد که بالاترین میانگین درصد رس خاک در سیب زمینی (۳۱/۵۵ درصد)، یونجه (۲۹/۷۱ درصد) و مزارع گندم (۲۳/۷ درصد) مشاهده شد که تفاوت معنادار با مراتع فستوکا با میانگین ۲۳/۹ درصد

درصد ذرات شن، سیلت و رس خاک

اثر نوع کاربری اراضی بر درصد رس و سیلت خاک معنادار بود ولی بر درصد شن خاک غیرمعنادار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌های درصد رس خاک در

مقدار شن را در بین اجزای بافت خاک داشتند. بازگیر و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر کاربری اراضی بر ویژگی‌های خاک در سه حالت جنگل کمتر دست‌خورده (شاهد)، رهاسازی بلندمدت از زراعت (نمونه برداری ۱۵ سال بعد از رهاسازی از زراعت هر ساله برای گندم و جو با قدمتی حدود دو دهه) و زراعت دایر بلندمدت (زراعت بلندمدت با گندم و جو بیش از دو دهه) در شرایط مشابه فیزیوگرافی را بررسی کردند. براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن بیشترین و کمترین میزان رس در منطقه شاهد و مناطق زراعت و رهاسازی مشاهده گردید. میزان سیلت نیز در منطقه شاهد و رهاسازی (بدون تفاوت معنادار) بیشترین بود و به صورت معناداری در کاربری زراعت کاهش نشان داد. بیشترین مقدار کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب در شاهد، رهاسازی شده و زراعت مشاهده شد. بیشترین مقدار شوری مربوط به منطقه زراعت و کمترین مقدار آن در دو منطقه رهاسازی و شاهد بود و بین این دو منطقه تفاوت معناداری از این نظر دیده نشد. بیشترین و کمترین میزان آهک به ترتیب در زراعت رهاسازی و شاهد مشاهده شد. بالاترین مقدار pH مربوط به مناطق شاهد و رهاسازی بود.

داشت (شکل ۵). مقایسه میانگین‌های درصد سیلت خاک در کاربری‌های مختلف نشان داد که بالاترین میانگین درصد سیلت خاک در مراتع فستوکا با میانگین ۳۶/۴ درصد و با تفاوت معنادار با کاربری‌های زراعی مشاهده شد (شکل ۵). مارتینز مینا و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعات خود مشاهده کردند که طی تغییر کاربری جنگل به اراضی زراعی و باغی میزان رس و سیلت کاهش یافت و بر میزان شن افزوده شد. در توجیه این نتیجه می‌توان بیان کرد که با کاهش ماده آلی خاک و به موجب آن کاهش پایداری خاکدانه‌ها بر اثر تغییر کاربری، میزان فرسایش افزایش پیدا می‌کند و بر اثر فرایند انتخابی فرسایش در جداسازی ذرات خاک، ذرات رس و سیلت جدا می‌شوند و به مناطق پایین دست انتقال می‌یابند (بیوکت و استروسنیدر ۲۰۰۳، چلیک ۲۰۰۵). همچنین، لعل (۱۹۹۵) بیان کرد که فرسایش آبی فرایندی انتخابی است که طی آن ذرات ریزدانه خاک با چگالی پایین جدا و منتقل می‌شوند. یافته‌های تحقیق اختری و احمدی (۲۰۱۹) که روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر اثر تغییر کاربری اراضی مرتعی به کشاورزی کار کردند، نشان داد که میزان رس، سیلت و شن خاک در بین دو کاربری تفاوت معناداری نداشتند. کاربری مرتعی بیشترین میزان سیلت و کاربری اراضی زراعی بیشترین



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های درصد شن، سیلت و رس خاک در کاربری‌های مختلف

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنادار ندارند. همچنین، مقایسه میانگین‌ها برای هر یک از ذره‌های شن، سیلت و رس جداگانه انجام شده است.

نتیجه‌گیری

زراعی افزایش یافت و میزان فسفر قابل‌جذب خاک، درصد کلسیم کربنات معادل، درصد سیلت و رس و هدایت الکتریکی خاک در کاربری مرتعی با کاربری زراعی تفاوت معناداری داشت. به نظر می‌رسد که با افزایش عملیات خاک‌ورزی و ورود نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه مصرف زیاد کود فسفر، سبب کاهش کلینزاسیون میکوریزی در کاربری‌های کشاورزی شده و در نتیجه تولید گломالین نیز کاهش یافته است.

سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از رساله دکتری بوده که آزمایش‌های مربوطه در آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز و آزمایشگاه ایمنی‌شناسی دانشگاه علوم پزشکی تبریز انجام شده است و به این وسیله نویسندگان مقاله از حمایت‌های آنان قدردانی می‌نمایند.

نتایج این بررسی نشان داد که کلینزاسیون ریشه گیاهان چندساله بیشتر از گیاهان یکساله بود و فسفر قابل‌جذب مهمترین ویژگی خاک بود که بر کلینزاسیون قارچی ریشه گیاهان تأثیر داشت؛ ولی میان گломالین ریشه و فسفر قابل‌جذب خاک در کاربری‌های مختلف اراضی ارتباط معناداری مشاهده نشد. با کاهش درصد رس و افزایش درصد سیلت خاک، افزایش کلینزاسیون میکوریزی در بین کاربری‌های زراعی مشاهده شد. در مقایسه کاربری‌های زراعی و مرتعی، با افزایش میزان فسفر قابل‌جذب خاک و کلسیم کربنات معادل خاک، کاهش میزان کلینزاسیون میکوریزی در همه کاربری‌ها مشخص بود و با توجه به حضور بیشترین مقدار کلسیم کربنات معادل خاک، سیلت و فسفر قابل‌جذب خاک و همچنین کمترین درصد رس در کاربری مرتعی، کمترین کلینزاسیون میکوریزی در مراتع مشاهده شد. همچنین، با افزایش درصد رس، مقدار گломالین ریشه در کاربری

منابع مورد استفاده

- Abid M and Lal R. 2008. Tillage and drainage impact on soil quality: I. Aggregate stability, carbon and nitrogen pools. *Journal of Soil and Tillage Research*, 100: 89–98.
- Akhzari D and Ahmadi S. 2019. The effect of conversion of rangelands to agricultural lands on some chemical and physical properties of soil (Case study: Gonbad village, Hamadan city). *Environmental Science and Technology*, 21(8): 136–146. (in Persian).
- Allison LE and Moodie CD. 1965. Carbonate. Pp. 1379–1400. In: Black CA (ed). *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Agron. Monogr. No. 9. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Antunes PM, Deaville D and Goss MJ. 2005. Effect of two AMF life strategies on the tripartite symbiosis with *Bradyrhizobium japonicum* and soybean. *Mycorrhiza*. Issue: Online first, Published online: 16 December 2005.
- Barea J M, Azcon R and Azcon-Aguilar C. 2002. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 81: 343–351.
- Bazgir M, Heidari M, Zeinali N and Kohzadian M. 2020. The effect of land use change from forest to agriculture and abounded from agriculture on soil physical and chemical properties in the Zagros forest ecosystem. *Environmental Science and Technology*, 22(1): 201–214. (in Persian).
- Bewket W and Stroosnijder I. 2003. Effects of agroecological land use succession on soil properties in Chemoga watershed, Blue Nil basins, Ethiopia. *Geoderma*, 111: 85–95.
- Biro B, Koves-pechy K, Voros I, Takacs T, Eggenberger P and Strasser RJ. 2000. Interrelations between *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers and arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of alfalfa in sterile, AMF-free or normal soil conditions. *Applied Soil Ecology*, 15(12): 159–168.

- Borie F, Rubio R, Rouanet JL, Morales A, Borie G and Rojas C. 2006. Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. *Soil and Tillage Research*, 88: 253–261.
- Burke IC, Yonker CM, Parton WJ, Cole CV, Flach K and Schimel DS. 1989. Texture, climate, and cultivation effects on soil matter content in U.S. grassland soils. *Soil Science Society of American Journal*, 53: 800–805.
- Castillo CG, Rubio R, Rouanet JL and Borie F. 2006. Early effects of tillage and crop rotation on arbuscular mycorrhizal fungal propagules in an Ultisol. *Biology and Fertility of Soils*, 43: 83–92.
- Carter MR and Gregorich EG. 1997. Concepts of soil quality and their significance. Pp. 1-19. In: Gregorich EG and Carter MR (eds). *Developments in Soil Science, Volume 25, Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Elsevier.
- Celik I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*, 83: 270–277.
- Comis D. 2002. Glomalin: Hiding place for a third of the world's stored soil carbon. *Agriculture Research Magazine*, 50: 4–7.
- Curaqueo G, Barea JM, Acevedo E, Rubio R, Cornejo P and Borie F. 2011. Effects of different tillage system on arbuscular mycorrhizal fungal propagules and physical properties in a Mediterranean agroecosystem in central Chile. *Soil and Tillage Research*, 113: 11–18.
- Gee GW and Or D. 2002. Particle-size analysis. Pp. 255–293. In: Dane JH and Topp GC (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. Agron. Monogr. vol. 9. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Geissen V, Sánchez-Hernández R, Kampichler C, Ramos-Reyes R, Sepulveda-Lozada A, Ochoa-Goana S, de Jong BH, Huerta-Lwanga E and Hernández-Daumas S. 2009. Effects of land use change on some properties of tropical soils-an example from southeast Mexico. *Geoderma*, 151:87–97.
- Hao Z, Xie W and Chen B. 2019. Arbuscular mycorrhizal symbiosis affects plant immunity to viral infection and accumulation. *Viruses*, 11(6): 534–542.
- Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL and Nelson WL. 2017. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Eighth Edition, Pearson India Education Services, Tamil Nadu, India, 520 p.
- Heidarianpour MB, Aliasgharzad N and Olsson PA. 2020. Positive effects of co-inoculation with *Rhizophagus irregularis* and *Serendipita indica* on tomato growth under saline conditions, and their individual colonization estimated by signature lipids. *Mycorrhiza*, 30(4):455–466.
- Hobbie EA. 2006. Carbon allocation to ectomycorrhizal fungi correlates with below-ground allocation in culture studies. *Ecology*, 87:563–569.
- IRIMO. 2012. Islamic Republic of Iran Meteorological Organization.
- Janzen HH. 2015. Beyond carbon sequestration: soil as conduit of solar energy. *European Journal of Soil Society*, 66: 19–
- Kizilkaya R and Dengiz O. 2010. Variation of land use and land cover effects on some soil physico-chemical characteristics and soil enzyme activity. *Zemdirbyste Agriculture*, 97: 15–24.
- Kormanik PP and McGraw A C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in lant roots. Pp. 37–45. In: schenck NC (ed). *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. American Phytopathological Society, Saint Paul, Minnesota.
- Kumar S, Singh AK and Ghosh P. 2018. Distribution of soil organic carbon and glomalin related soil protein in reclaimed coal mine-land chronosequence under tropical condition. *Science of the Total Environment*, 625: 1341–1350.
- Lal, R. 1995. Global soil erosion by water and carbon dynamics. Pp. 131–142. In: Lal R, Kimble JM, Levine E and Stewart BA (eds). *Soils and Global Change*. CRC/Lewis Publishers, Boca Raton.

- Lovelock CE, Wright SF, Clark DA and Ruess RW. 2004. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *Journal of Ecology*, 92: 278–287.
- Lucy M, Reed E and Glick BR. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 86:1–25.
- Malekpour B, Ahmadi T and Kazemi Mazandarani SS. 2011. Effect of land use change on physico-chemical soil characteristics. *Journal of Natural Resource*, 6(3): 115–126. (in Persian)
- Martinez-Mena M, Lopez J, Almagro M, Boix-Fayos V and Albaladejo J. 2008. Effect of tock in a semiarid area of south- east Spain. *Soil and Tillage Research*, 99: 119–129.
- Nichols KA and Wright SF. 2004. Contributions of fungi to soil organic matter in agroecosystems. Pp. 179–198. In: Magdoff F and Weil RR (eds). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC press, Florida.
- Norriř IR, Read DJ and Varma AK. 1992. *Methods in Microbiology Techniques for Study of Mycorrhiza*. Academic press, London.
- Meng Q, Fu B, Tang X and Ren H. 2008. Effect of land use on phosphorus loss in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 139: 195–204.
- Oehl F, Sieverding E, Ineichen K, Mäder P, Boller T and Wiemken A. 2003. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of central Europe. *Applied and Environmental Microbiology*, 69: 2816–2824.
- Olsson PA, Rahm J and Aliasgharzarad N. 2010. Carbon dynamics in mycorrhizal symbioses is linked to carbon costs and phosphorus benefits. *FEMS Microbiol Ecology*, 72: 123–131.
- Olsen SR and Sommers LE. 1982. Phosphorus. Pp. 403–429. In: Page AL, Keeney DR, Baker DE, Miller RH, Roscoe Ellis Jr and Rhoades JD (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monograph No. 9.
- Piçhand M. 2017. Study of the effect of conversion of rangeland to other agricultural uses on some physical and chemical properties of soil (Case study: Imameh watershed). *Natural Ecosystems of Iran*, 8 (1): 99–122. (in Persian)
- Rillig MC. 2004a. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. *Ecology Letters*, 7:740–754.
- Rillig MC. 2004b. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*. 84: 355–363.
- Rhoades JD. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417–435. In: Sparks DL (ed). *Methods of Soil Analysis. Chemical Methods. Part 3*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Safari Sinemani A and Elyasi Yeganeh M. 2017. The occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soil and root of medicinal plants in Bu-Ali Sina garden in Hamadan, Iran. *Biological Journal of Microorganism*, 5(20): 43–9.
- Šarapatka B, Alvarado-Solano DP and Čiřmár D. 2019. Can glomalin content be used as an indicator for erosion damage to soil and related changes in organic matter characteristics and nutrients? *Catena* 181, 104078. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104078>
- Schenck NC and Perez Y. 1988. *Manual for the Identificayion of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal fungi*. INVAM, 1435 Fifield Hall, University of Florida, Gainesville, Flo, USA. P. 241.
- Selvakumar G, Yi PH, Lee SE, Shagol CC, Han SG, Sa T and Chung BN. 2018. Effects of long-term subcultured arbuscular mycorrhizal fungi on red pepper plant growth and soil glomalin content. *Mycobiology* 46: 122–128.
- Sharma MP and Adholeya A. 2015. Parameters for selecting efficient arbuscular mycorrhizal fungi for plants under microcosm conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section B: Biological Sciences*. 85: 77–83.

- Singh G, Bhattacharyya R, Das TK, Sharma AR, Ghosh A, Das S and Jha P. 2018. Crop rotation and residue management effects on soil enzyme activities, glomalin and aggregate stability under zero tillage in the Indo-Gangetic plains. *Soil and Tillage Research*, 184: 291–300.
- Smith SE and Read DJ. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. San Diego, Academic Press.
- Sommer J, Dippold MA, Zieger SL, Handke A, Scheu S and Kuzyakov Y. 2017. The tree species matters: Belowground carbon input and utilization in the myco-rhizosphere. *European Journal of Soil Biology* 81: 100–107.
- Staunton S, Nicolas PA, Saby N, Arrouays D and Quiquampoix H. 2020. Can soil properties and land use explain glomalin-related soil protein (GRSP) accumulation? A nationwide survey in France. *Catena*, 193: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104620>
- Subramanian KS, Vivek PN, Balakrishnan N, Nandakumar NB and Rajkishore SK. 2019. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizoglyphus intraradices* on active and passive pools of carbon in long-term soil fertility gradients of maize based cropping system. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65: 549–565.
- Verbruggen E, Jansa J, Hammer EC and Rillig MC. 2016. Do arbuscular mycorrhizal fungi stabilize litter-derived carbon in soil. *Journal of Ecology*, 104: 261–269.
- Vosnjak M, Likar M and Osterc G. 2021. The effect of mycorrhizal Inoculum and Phosphorus Treatment on Growth and Flowering of *Ajania* (*Ajania pacifica* (Nakai) Bremer et Humphries) Plant. *Horticulturae*, 7: 178. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7070178>.
- Wen-bin WU, Peng Y, Hua-jun T, Luca O and Ryosuke Sh. 2007. Regional variability of the effects of land use systems on soil properties. *Agricultural Sciences in China*, 6 (11): 1369–1375
- Wright SF, Green VS and Cavigelli MA. 2007. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. *Soil and Tillage Research*, 94: 546–549.
- Wright SF and Upadhyaya A. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein from arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science*, 161: 575–586.
- Zhu, YG and Miller MR. 2003. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil–plant systems. *Trends in Plant Science*, 8: 407–409.
- Zhong Z, Wang W, Wang Q, Wu Y, Wang H and Pei Z. 2017. Glomalin amount and compositional variation, and their associations with soil properties in farmland, northeastern China. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180: 563–575.