پژوهش در علوم باغبانی
Journal of Reserch in Horticultural Science
جلد۲، شماره۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۲ (ص۲۴۲-۲۲۷)
Vol. 2, No.2 Autumn and Winter 2023 (227-242)
تارنمای مجله: https://rhsj.areeo.ac.ir
مقاله علمی پژوهشی
10.22092/RHSJ.2023.360893.1042

تأثیر کاشت طولانی‌مدت چای بر فراوانی اسپور قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا و ارتباط آن با برخی ویژگی‌های خاک

احسان کهنه[1*]، رضا آزادی‌گنبد[1]، علی سراجی[1]، احمد شیرین‌فکر[2]

۱- استادیار پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لاهیجان، ایران
۲- مربی پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لاهیجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/٤ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲۲

چکیده

تک‌کشتی و مصرف نامتعادل برخی کودهای شیمیایی باعث کاهش فعالیت میکروبی خاک چای‌کاری‌ها شده است. تغییر جمعیت قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار یکی از شاخص‌های مناسب برای اندازه‌گیری تأثیر عملیات کشاورزی است. لذا این تحقیق با هدف تعیین اثر کاشت طولانی‌مدت چای بر فراوانی اسپور قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا و رابطه آن با برخی ویژگی‌های خاک اجرا شد. بدین منظور ۱۵۵ نمونه مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری چای‌کاری‌ها برداشت، اسپور قارچ‌های مایکوریزا از خاک جداسازی و شمارش شد. ویژگی‌های خاک شامل pH، بافت خاک، مقادیر کربن آلی و پتاسیم‌قابل‌دسترس به روش‌های رایج و مقدار فسفر قابل‌دسترس به روش بری-۱ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اسپور قارچ مایکوریزا با میانگین ۹/۳ عدد در ده گرم خاک فقط در ۶۶ درصد از خاک‌ها وجود دارد. جنس Glomus با دو مورفوتیپ، قارچ غالب بود. تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک‌ها نشان داد که ۳۷ درصد خاک‌ها pH کمتر از ۴/۵ دارند. میانگین کربن آلی ۲/۱ درصد و میانگین مقدار فسفر قابل‌دسترس ۵۴/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. ۴۶ درصد خاک‌ها مقادیر خیلی بالای فسفر قابل‌دسترس و ۴۹ درصد خاک‌ها نیز پتاسیم قابل‌دسترس کمی داشتند. ضرایب همبستگی نشان داد که فقط pH و فسفر قابل‌دسترس خاک به ترتیب همبستگی مثبت ($r=0.43, p<0.01$) و منفی ($r=-0.54, p<0.01$) معنی‌داری با تعداد اسپور دارند. جمعیت بسیار پایین اسپور در این خاک‌ها نشانه تأثیر منفی کشت طولانی‌مدت چای بر فعالیت این قارچ‌ها در ریزوسفر است. pH و مقدار فسفر قابل‌دسترس زیاد خاک از عوامل تأثیرگذار بر کاهش فراوانی اسپور قارچ‌های آربسکولار هستند. لذا با توصیه به مصرف کودهای فسفاته فقط بر اساس آزمون خاک، اصلاح pH خاک چای‌کاری‌ها و مصرف کودهای پتاسیمی، تأثیر تلقیح نهال چای با کودهای زیستی تجاری با گونه‌های مختلف، مدیریت به‌باغی با کشت مخلوط درختان سایبانی با گونه‌های بومی تثبیت‌کننده نیتروژن مثل درخت گل ابریشم و توسکا از راه‌های مدیریت مناسب تغذیه گیاه، بهبود وضعیت مایکوریزی باغ‌های چای و کیفیت خاک است.

واژگان کلیدی: چای، خاک اسیدی، قارچ آربسکولار مایکوریزا، اسپور

Effect of long-term tea plantations on spore abundance of AM fungi and its relationship with some physicochemical properties of soil

Ehsan Kahneh,[1]*, Reza Azadi Gonbad [1], Ali Seraji [1], Ahmad Shirinfekr[2]

1- Assistant Professor Tea Research Center, Horticultural Science Research Institute, AREEO, Lahijan, Iran
2- Researcher Tea Research Center, Horticultural Science Research Institute, AREEO, Lahijan, Iran

Received :December 2022 Accepted:June 2023

Abstract

Monoculture and unbalanced use of some chemical fertilizers have upset the microbial activity of tea plantations. Change of mycorrhizal fungi status is a good indicator of measuring the sustainability of agricultural management. Thus, this study was carried out to determine the abundance of AMF spores and their relationship with some soil properties of Iranian tea plantation. For this purpose, 155 composite sample of soil was taken of 0-30 cm. Spores of AMF extracted by wet sieving and root colonization was determined by cross-sectional method. Soil properties including pH, soil texture, organic carbon and available potassium were determined.by conventional methods and available phosphorus by Bery-1 method. The results showed that only 66% of soils had AMF spores with an average 9.310-g. The identification of spores revealed that two morphotype Glomus sp was dominant in soil. Soil analysis showed that 37% of soils had pH<4.5. The mean of soils O.C and P content was 2.1%. 54.3 mgkg-1 respectively, so that 46% of soils have very high amounts of Pave and 49% of soils had Kexe <150 mgkg-1. The correlation coefficients showed that only pH and Pava had a positive ($r=0.43, p<0.001$) and negative ($r=-0.54, p<0.001$) correlation, respectively with AMF spores.The spore density were very low in studied soil, which indicates negative effect of long-term tea cultivation on the AMF in the rhizosphere. pH and Pava are among the influencing factors in reducing the AMF spore No. Therefore, by recommending the use of P fertilizers based on the soil test, the soil pH correction and application K fertilizers, inoculating tea seedlings with commercial bio-fertilizers of different species, mixed plantation of tea with N-fixing shaded trees such as Albizia and alder is one of the ways of proper management of plant nutrition, improvement of mycorrhizal status of tea seedlings and soil quality.

Keywords: Tea, Acid soil, Mycorrhiza Fungi, Spore.

*نویسنده مسئول: e.kahneh@areeo.ac.ir

۱- مقدمه

پس از کاشت موفقیت‌آمیز چای در سال ۱۲۷۹ هجری شمسی در شهرستان لاهیجان توسط محمد میرزا کاشف-السلطنه، کشت این گیاه در استان‌های گیلان و مازندران رونق گرفت. در اوایل ورود چای به ایران و سال‌های بعدازآن مساحت زیادی از جنگل‌های طبیعی به باغ چای تبدیل شد و مساحت چای‌کاری‌های ایران در دهه هفتاد شمسی به حدود ۳۴۰۰۰ هکتار رسید (FAO, 1998). در اوایل دهه هشتاد به دلایل اقتصادی و اجتماعی مساحت باغ‌ها کاهش یافت به‌طوری‌که در حال حاضر حدود ۲۷۰۰۰ هزار هکتار از اراضی این استان‌ها زیر کشت چای قرار دارند. در سالیان گذشته مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی علاوه بر اعمال هزینه برای کشاورز، باعث هم خوردن تعادل در جذب عناصر غذایی و اکوسیستم خاک نیز شده است.

امروزه در کشاورزی پایدار از ریز جانداران مفید خاک استفاده می‌شود. یکی از این ریز جانداران مفید، قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا است. ولی متأسفانه شناسایی و استفاده عملی از این قارچ‌ها در کشت چای انجام‌نشده است. تنوع و پراکندگی قارچ آربسکولار مایکوریزا می‌تواند تحت تأثیر ترکیب گونه‌های گیاهی، ویژگی‌های خاک، شیوه‌های کشاورزی، شرایط محیطی و سایر ریز جانداران خاک باشد (Clapp *et al.*,1995). قارچ آربسکولار مایکوریزا به تغییر کاربری اراضی حساس است و ازآنجایی‌که فاقد میزبان اختصاصی هستند، شرایط فعالیت آن‌ها را حضور گونه‌های گیاهی و ویژگی‌های اکولوژیکی تعیین می‌کند (Nelsen *et al.*, 1981). عوامل مختلفی ازجمله میزان مواد آلی خاک، نوع کشت (تک‌کشتی)، مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه فسفره، ویژگی‌های اقلیمی منطقه و به‌خصوص مدیریت مزرعه بر کلنیزاسیون مایکوریزی و فعالیت قارچ‌های مایکوریزا تأثیر گذاشته و موجب می‌شوند که جمعیت اسپور در خاک‌های مختلف متفاوت باشد (McGonigle and Miller,1996). شناسایی قارچ آربسکولار مایکوریزا بومی یک نیاز اساسی برای درک تنوع زیستی و ضرورتی برای نظارت بر تغییرات در اکوسیستم‌های تخریب‌شده یا مدیریت‌شده است (Carling *et al.*,1995). لذا آگاهی از تنوع قارچ آربسکولار مایکوریزا و توانایی کلنیزاسیون آن‌ها می‌تواند اطلاعات مهمی را برای ارزیابی سلامت یک اکوسیستم در اختیار قرار داده و امکان مقایسه بین اکوسیستم‌های مختلف را فراهم کند.

در بررسی شش باغ چای با سن متفاوت و مکان‌های مختلف در شمال ایران، اسپور جنس‌های Glomus و Acaulospora فراوانی بیشتری داشتند، ریشه‌های چای در مناطق مدنظر با قارچ‌های آربسکولار کلنیزه نشده بود ولی در همین خاک‌ها ریشه علف‌های هرز نمونه‌برداری شده ۲۰-۱۰ درصد کلنیزاسیون مایکوریزا نشان دادند. آنالیز بیوشیمیایی اسیدهای چرب در ریشه نیز عدم همزیستی مایکوریزا در چای را تأیید کرد (Aliasgharzad *et al.*,2011). مطالعات نشان داد کاشت چای بر تنوع قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار در سطح جنس، اثر منفی دارد، کاهش pH خاک تا حدود ۵ برای قارچ آربسکولار مایکوریزا مناسب است و pH پایین‌تر تنوع قارچ مایکوریزا را در سطح جنس تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین باعث کاهش جمعیت آن می‌شود. بعلاوه وجود تعداد زیادی مورفوتیپ گلوموس در خاک بیانگر مقاومت بالای این جنس به شرایط نامساعد است (Singh et al.,2008). در اراضی با پوشش گیاهی دست کاشت، قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا در معرض تنش‌های زیادی برای سازگاری و زنده ماندن هستند، بنابراین ممکن است به دلیل تنش زیاد، توانایی خود را برای تحریک رشد گیاه و جذب عناصر غذایی از دست بدهند. بعلاوه ریزوسفر چای شیمی خاصی دارد. به‌عنوان‌مثال، ترشحات ریشه غنی

از مواد پلی‌فنولی و اثرات منفی بر ریزوسفر، فعالیت آنتاگونیستی نسبتاً بالاتری در اطراف ریشه ایجاد کرده و pH را کاهش می‌دهد (Pandey and Pal-ni, 1996). در مناطق دست کاشت، تراکم بوته‌های چای بیشتر است و درنتیجه ترشحات ریشه بیشتری در خاک تجمع کرده و بنابراین تأثیر منفی بیشتری بر قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا دارد. گزارش‌ها نشان داده است چای در رویشگاه‌های طبیعی با گونه‌های آربسکولار مایکوریزا بومی کلنیزه می‌شود اما درصد کلنیزاسیون ریشه خیلی کم است و بیشترین فراوانی قارچ آربسکولار مایکوریزا به جنس گلوموس تعلق دارد (Wu *et al*.,2019).

مطالعات متعددی درباره ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باغ‌های چای ایران صورت گرفته است، اما توجه کمی به ویژگی‌های زیستی خاک این اکوسیستم‌ها به‌ویژه قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا شده است. با توجه به تغذیه نامناسب در باغ‌های چای ایران و توانایی قارچ‌های مایکوریزا در بهبود تغذیه و مقاوم کردن گیاه به بیماری‌ها و تنش‌های محیطی، کاربرد این قارچ‌ها می‌تواند به‌سلامت و افزایش مقاومت بوته چای در برابر بیماری‌ها نیز کمک کند. لذا در این تحقیق فراوانی اسپور قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا در باغ‌های چای بررسی و رابطه آن با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد.

۲- مواد و روش‌ها

با استفاده از اطلاعات موجود در بانک اطلاعات آزمایشگاه خاکشناسی پژوهشکده چای، ۱۵۵ باغ چای مختلف در استان‌های گیلان و مازندران با سن بالای ۵۰ سال انتخاب شد به‌طوری‌که کلیه مناطق چای‌کاری را پوشش دهد (شکل ۱). سپس، با مراجعه به هر منطقه، نمونه خاک ریزوسفری مرکب و ریشه چای از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری برداشت شد. از هر نمونه خاک سه زیر نمونه ۱۰ گرمی انتخاب و اسپورهای قارچ به روش الک مرطوب و گرادیان ساکارز از خاک استخراج شد (Brundrett,1991). اسپورهای جداشده بر روی کاغذ شطرنجی قرار داده شد و به کمک بینی‌کولار شمارش شدند. میانگین تعداد اسپورهای مربوط به سه تکرار برای هر خاک محاسبه شد و تعداد اسپور برحسب وزن خاک محاسبه شد.

برای رنگ‌آمیزی، ابتدا ریشه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در محلول ۱۰ درصد هیدروکسید پتاسیم، قرار داده شدند. برای سفید کردن ریشه‌های دارای رنگ‌دانه زیاد، ریشه‌ها بعد از غوطه‌ورسازی در محلول هیدروکسید پتاسیم به مدت ۶۰ دقیقه در محلول آب‌اکسیژنه قلیایی قرار داده شدند. سپس، با آب شسته شد تا اثر آب‌اکسیژنه از بین برود. جهت اسیدی شدن ریشه‌ها، آن‌ها را به مدت سه دقیقه در محلول اسیدکلریدریک یک درصد قرار داده، سپس بدون شستشو با آب، به مدت دو تا سه روز در محلول رنگی‌کننده تریپن‌بلو با ترکیب اسیدلاکتیک، گلیسیرین و آب با نسبت (۱:۱:۱) و ۰/۰۵ درصد تریپن‌بلو قرار داده شدند، عمل رنگزدایی ریشه‌ها با استفاده از مخلوط فوق بدون تریپن‌بلو صورت گرفت (Sylvia, 1999). درصد کلنیزاسیون ریشه‌ها با استفاده از روش تقاطع خطوط شبکه به دست آمد (Zahka,1995).

پس از جداسازی و استخراج اسپورها از خاک، باتوجه به تفاوت در مورفولوژی آن‌ها شامل رنگ در زیر نور بینی‌کولار، شکل، اندازه و سایر مشخصه‌های واضح از قبیل مشاهده یا عدم مشاهده دنباله، بر اساس روش‌های برونداررت و همکاران (Brundrett *et al*.,1996)(۱۹۹۶) واشنک و پیرز (Schenck and Perez,1990)(۱۹۹۰) شناسایی شدند. با استفاده از سایت کلکسیون بین‌المللی کشت قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا (INVAM) شناسایی‌ها تأیید شدند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

مدنظر خاک‌ها به شرح زیر: pH و هدایت الکتریکی خاک در سوسپانسیون خاک با آب مقطر به نسبت ۱:۱، مقدار کربن آلی خاک به روش والکلی و بلاک (نلسون و سامر، ۱۹۹۶)، فسفر قابل‌دسترس به روش بری-۱(کو،۱۹۹۶)، پتاسیم قابل‌دسترس با استفاده از محلول استات آمونیوم نرمال (هلمک و اسپارک،۱۹۹۶) و بافت خاک به روش هیدرومتری بایکاس (Sparks *et al.*,2020) اندازه‌گیری شد. پس از ورود داده‌های حاصله در نرم‌افزار، آماره‌های توصیفی، ضرایب همبستگی پیرسون و درخت تصمیم‌گیری با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ تعیین شد. نمودارها نیز با نرم‌افزار اکسل ترسیم شد.

۳- نتایج

۳-۱ فراوانی اسپور قارچ‌های مایکوریزا در خاک

آماره‌های توصیفی میانگین تعداد اسپور قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه‌شده است. نتایج حاصله بیانگر تغییرات زیاد تعداد اسپور قارچ آربسکولار مایکوریزا در خاک‌های موردمطالعه است. میانگین تعداد اسپور ۹/۳ عدد در ده گرم خاک بود که با مقایسه با گزارش‌های علمی موجود، نشانگر جمعیت بسیار پایین قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا در خاک باغ‌های چای نمونه‌برداری شده است. از ۱۵۵ خاک باغ‌های چای موردبررسی،۳۳/۵۵ درصد فاقد اسپور، ۲۶/۴۵ درصد یک تا ۱۰ اسپور، ۲۱/۲۹ درصد ۲۰-۱۰ اسپور و ۱۸/۷۱ درصد بیشتر از ۲۰ اسپور در ده گرم خاک داشتند. بیشترین تعداد اسپور با ۴۱ عدد در ده گرم خاک در نمونه خاک با pH ۵/۲۸ و فسفر قابل‌دسترس ۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد.

۳-۲ شناسایی قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا

باتوجه به نتایج حاصل از مورفوتیپ اسپورها و مطابقت آن با کلیدهای معتبر در نمونه‌های موردبررسی، قارچ آربسکولار مایکوریزا جنس گلوموس غالب بود. در ۱۱ عدد از نمونه‌های خاک، اسپور جنس آکالوسپورا نیز مشاهده شد. در همه مناطق موردبررسی حداقل یکی از مورفوتیپ‌های متعلق به جنس گلوموس مشاهده شد (جدول ۲).

شکل ۱- پراکنش نقاط نمونه‌برداری شده

جدول ۱-آماره‌های توصیفی تعداد اسپور قارچ مایکوریزا و ویژگی‌های خاک

پارامتر	واحد	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
pH		3.5	3.3	6.8	4.7	0.74	0.55	0.39	-0.38
کربن آلی	٪	4.1	0.5	4.6	2.1	0.7	0.49	0.77	1.26
فسفر	mg/kg	332.9	0.07	333	54.3	69.3	4808.8	1.98	3.8
پتاسیم		1008	14	1022	201.2	158.3	25071.8	2.46	7.4
رس	٪	29.4	6	35.4	19.2	6.1	37.2	-0.08	-0.59
اسپور	در ده گرم	41	0	41	9.3	10.5	110.8	1.08	0.24

جدول ۲ - مورفوتیپ‌های شناسایی‌شده قارچ آربسکولار مایکوریزا

جنس		تعداد نمونه خاک دارای اسپور
.Glomus sp	Morphotype1	۱۰۳
	Morphotype2	۳۱
.Acaulospora sp	Morphotype1	۱۱

۳-٤ نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی

باتوجه به آماره توصیفی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۱، مشاهده می‌شود که خاک‌ها با میانگین pH ۴/۷ اسیدی هستند. ۳۷ درصد خاک‌ها با pH کمتر از ۴/۵ طبیعت خیلی اسیدی دارند. ۱۹ درصد خاک‌ها نیز pH بیشتر از ۶ دارند که همانند pH کمتر از ۴/۵ برای رشد مطلوب چای مناسب نیستند (جدول ۳). پایین‌ترین pH خاک ۳/۳ و بالاترین مقدار pH ۶/۸ ثبت شد.

میانگین کربن آلی خاک‌های آزمایش‌شده ۲/۱ درصد بود. کمترین مقدار کربن آلی خاک ۰/۵ درصد و بیشترین آن ۴/۶ درصد اندازه‌گیری شد. ۴۵ درصد خاک‌ها کربن آلی کمتر از ۲ درصد دارند که نیاز به توجه جدی دارند، فقط در ۱۱ درصد از خاک‌ها، کربن آلی در وضعیت مناسبی (3%<) قرار دارد (جدول ۳).

میانگین فسفر قابل‌دسترس (۵۴/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) خاک‌ها، نسبتاً مطلوب است. ولی دامنه تغییرات این عنصر در خاک‌ها زیاد است به‌طوری‌که کمترین و بیشترین مقدار فسفر قابل‌دسترس خاک به ترتیب ۰/۱ و ۳۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم است. ۳۵ درصد خاک‌ها کمبود خیلی شدید و در ۴۶ درصد خاک‌ها مقادیر خیلی بالای فسفر قابل‌دسترس وجود دارد (جدول ۳).

۲۱ درصد از خاک‌ها کمبود شدید پتاسیم دارند و نیازمند توجه جدی به مصرف کود پتاسیمی است بااین‌حال ۲۱ درصد از خاک‌ها نیز پتاسیم به حد کفایت داشته و نیازی به کود پتاسیمی ندارند. خاک‌های با دامنه پتاسیم ۱۵۰-۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بیشترین فراوانی را دارند (جدول ۳).

جدول -۳ دامنه فراوانی تغییرات ویژگی‌های خاک در نمونه‌های موردبررسی (n=۱۵۵) و حد اپتیمم

ویژگی	دامنه تغییرات	درصد فراوانی	اپتیمم	ویژگی	دامنه تغییرات	درصد فراوانی	اپتیمم
pH	<۴	۱۵	۴/۵-۵/۵	فسفر قابل‌دسترس (mg/kg)	<۱۵	۳۵	۳۰-۲۵
	۴-۴/۵	۲۲			۱۵-۲۵	۱۵	
	۴/۵-۵	۲۵			۲۵-۳۰	۴	
	۵-۵/۵	۱۹			>۳۰	۴۶	
	>۶	۱۹					
کربن آلی (٪)	<۱	۳	>۲/۰	پتاسیم قابل‌دسترس (mg/kg)	<۱۰۰	۲۱	۲۵۰-۲۰۰
	۱-۱/۵	۱۲			۱۰۰-۱۵۰	۲۸	
	۱/۵-۲	۳۰			۱۵۰-۲۰۰	۱۷	
	۲-۲/۵	۲۵			۲۰۰-۲۵۰	۱۳	
	>۲/۵	۳۰			>۲۵۰	۲۱	
رس (٪)	<۱۰	۶					
	۱۰-۲۰	۴۵					
	۲۰-۲۵	۲۸					
	۲۵-۳۰	۱۷					
	>۳۰	۴					

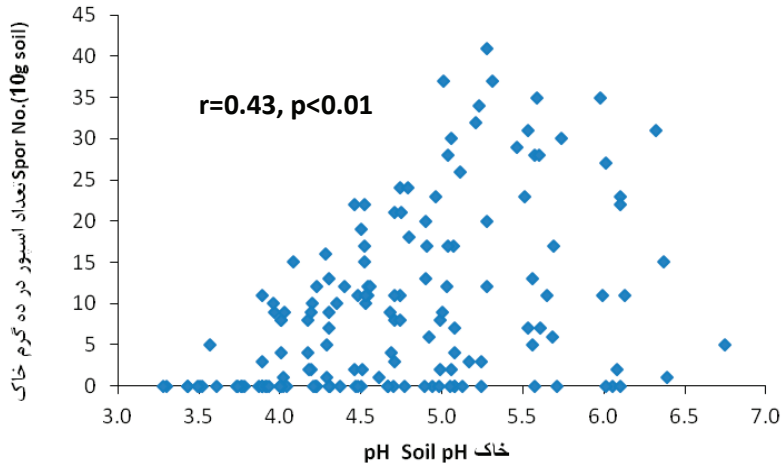
٤- بحث

٤-١ فراوانی اسپور در خاک

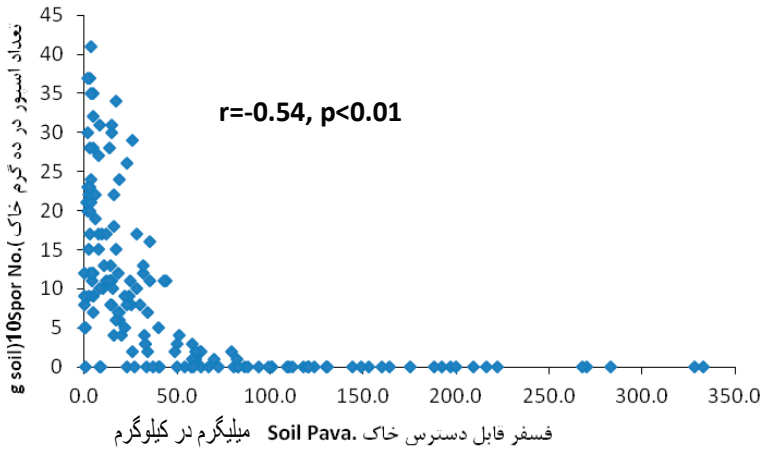
درمجموع تعداد اسپور در بیشتر خاک‌های موردمطالعه بسیار پایین بود (۹/۳ عدد در ده گرم خاک). سینگ و همکاران (Singh *et al.*,2008) گزارش کردند که تعداد اسپور در خاک ریزوسفری و غیرریزوسفری بوته چای به ترتیب با مقادیر ۳۰/۲۹±۱۶۲ و ۶۹±۱۸۵ عدد در ۲۵ گرم خاک (۱۲±۶۵ و ۲۸±۷۴ عدد در ده گرم خاک)، وضعیت نسبتاً خوبی است. در خاک‌های موردمطالعه تعداد اسپور قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا با افزایش pH خاک، رابطه مثبت معنی‌داری ($r=0.43,p<0.01$) داشت (شکل ۱)، بر اساس گزارش ایزوبه و همکاران (Isobe *et al.*,2007) نیز در هیچ‌یک از نمونه خاک‌های ریزوسفر سویا و ذرت با pH کمتر از ۶/۰ و بیشتر از ۸/۰، بیش از ۵ عدد اسپور در گرم خاک (۵۰ عدد در ده گرم خاک) مشاهده نشده است. کاواهارا و همکاران (Kawahara *et al.*,2016) هم گزارش کردند که pH خاک، تنها فاکتور معنی‌داری است که در همه مکان‌های بررسی‌شده با جمعیت قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا همبستگی معنی‌داری دارد (**r=0.76)(۲۳). بر اساس گزارش بوکینگ و کافله (Bücking and Kafle,2015)، pH خاک از ۴/۵-۷/۵ هیچ تأثیری بر فعالیت همزیستی قارچ آربسکولار مایکوریزا در ریشه‌های گیاه ندارد و تأثیر مستقیم pH خاک بر قارچ آربسکولار مایکوریزا محدود به مراحل اسپورزایی و تندش اسپورهای قارچ در ریزوسفر است همچنین اسپورهای بسیار بیشتری در خاک با pH = ۶/۵ در مقایسه با خاک با pH = ۵/۵ یافت شد. گوو و همکاران (Guo *et al*.,۱۹۹۶) نیز کاهش قابل‌توجهی در تعداد اسپور و گاهی عدم وجود آن‌ها در خاک‌های به‌شدت اسیدی (pH کمتر

از ۴/۵ مشاهده کردند. کوهوتو و همکاران (Kohout *et al.*,2015) بیان کردند که به‌احتمال‌زیاد با کاهش pH خاک به علت تغییرات گونه‌ها یا جدایه‌های قارچی و فقط حضور جدایه-های مقاوم‌به‌اسید، تنوع قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا کاهش‌یافته است.

در این تحقیق جمعیت اسپور قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا با افزایش مقدار فسفر قابل‌دسترس خاک رابطه منفی معنی‌داری (r=-0.54, p<0.01) داشت (شکل۲)، محمد و همکاران (Mohammad *et al.*,2004) نیز گزارش کردند که استفاده از کودهای فسفاته و فسفر قابل‌دسترس بالای خاک باعث کاهش تعداد اسپور می‌شود و نتیجه گرفتند که مقدار فسفر قابل‌دسترس خاک، تولید، زنده‌مانی و جوانه‌زنی اسپور قارچ آربسکولار مایکوریزا را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کودهای فسفاتِه اثرات متفاوتی بر فعالیت قارچ‌ها و همزیستی وزیکولار-آربسکولار مایکوریزا حاصله دارند (Abbott and Robson,1991)، بر اساس نتایج زاخا و همکاران (Zahka et al.,1995) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان فسفر قابل‌دسترس خاک با جمعیت اسپور در خاک باغ چای وجود داشته است (r=0.50*) اما ناگاشی و همکاران (Nagahashi *et al.*,1996) رابطه منفی بین مقدار فسفر خاک و کلنیزاسیون قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا گزارش کرده‌اند به‌طوری‌که با افزایش مقدار فسفر، طول کل هیف‌ها و تعداد ریشه جانبی به‌طور معنی‌داری کاهش‌یافته است



شکل ۱_ رابطه فراوانی اسپور قارچ آربسکولار مایکوریزا با تغییرات pH



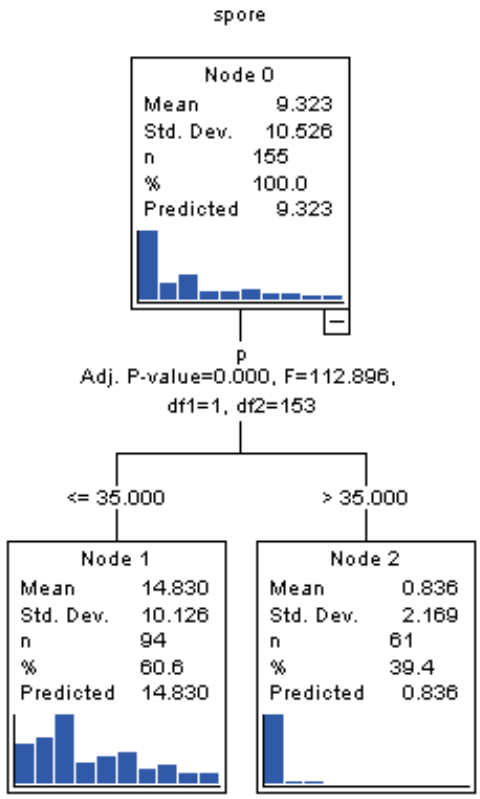
شکل ۲_ رابطه فراوانی اسپور قارچ آربسکولار مایکوریزا با تغییرات فسفر قابل‌دسترس خاک

عدم اجرای عملیات خاک‌ورزی در طی حداقل ۲۰ سال گذشته، مصرف ناچیز یا عدم مصرف کودهای حیوانی و آلی، سوزاندن و خروج بقایای هرس از باغ و تردد مداوم کارگران برگ‌چین در بین بوته‌های چای باعث تراکم و فشردگی خاک شده است. این تراکم و فشردگی مانع نفوذ کافی آب‌وهوا به داخل خاک شده است که درنهایت بر کاهش جمعیت قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا مؤثر است.

با ترسیم درخت تصمیم‌گیری (شکل ۳) (اسپور قارچ مایکوریزا به‌عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های خاکی به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند) مشخص شد که فقط فسفر قابل‌دسترس خاک با ۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، حد تشخیص انتخاب است. اگر فسفر قابل‌دسترس خاک کمتر یا مساوی با این حد باشد، در ۶۰/۶ درصد خاک‌ها، اسپور قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا با میانگین ۱۴/۸۳ عدد در ده گرم خاک وجود خواهد داشت اما اگر مقدار فسفر بیشتر از این حد شود در ۳۹/۴ درصد خاک‌ها، اسپور با میانگین فقط ۰/۸۴ عدد در ده گرم خاک می‌تواند وجود داشته باشد.

٤-۲ فراوانی جنس‌های قارچ

دو مورفوتیپ جنس *Glomus* به ترتیب با ۶۶/۵ و ۲۰ درصد بیشترین فراوانی را داشتند درحالی‌که جنس *Acaulospora* فقط در ۷/۱ درصد نمونه‌ها مشاهده شد. در باغ‌های چای احداث‌شده در چین و هند نیز جنس *Glomus* غالب بود (Zahka, *et al.*, 1995; Six *et al.*, 2004)، اما در ریزوسفر چای‌کاری‌های طبیعی هند، چهار جنس *Acaulospora*، *Glomus*، *Gigaspora* و *Scutellospora* از قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا وجود داشت. به عقیده علی اصغرزاده و همکاران (Aliasgharzad *et al.*, 2011) اسپور قارچ‌های مایکوریزا می‌تواند



شکل ۳-درخت تصمیم‌گیری اثر ویژگی‌های خاکی بر جمعیت اسپور در خاک

جدا از نوع گیاه میزبان در بیشتر خاک‌ها وجود داشته باشد. بر اساس گزارش اپیک و همکاران (Öpik *et al*.,2003) گلوموس فراوان‌ترین (غالب) جنس مایکوریزا در اکوسیستم‌های مختلف کشورهای جهان است. بعلاوه حضور اسپور این جنس در مکان‌های خشک و نیمه‌خشک علی‌رغم عدم همزیستی با محصول اقتصادی ممکن است به علت همزیستی با سایر علف‌های هرز یا سازگاری بالای آن به شرایط بحرانی از قبیل خشکی و شوری است (Błaszkowski *et al*.,2002). به‌طوری‌که بر اساس گزارش علی‌اصغرزاده و همکاران (Aliasgharzad *et al.,* 2011) اگرچه کلنیزاسیون مایکوریزا در ریشه چای مشاهده نشد ولی ریشه پنج گونه علف هرز موجود در این باغ‌های چای (*Veronica* sp.، *Setaria* sp.،*Senecio* sp و.*Tripogon* sp) مایکوریزا بوده و میزان کلنیزاسیون آن در ۲۰-۱۰ درصد است. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، تمایل مایکوریزا گیاه میزبان و سن گیاه میزبان نقش تعیین‌کننده‌ای در تنوع قارچ‌های مایکوریزا دارند (Singh, *et al.*,2008). تک‌کشتی طولانی‌مدت در باغ‌های چای، مسن بودن بوته‌های چای، کشت فشرده درختان مرکبات با چای و نامساعد بودن ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک باعث شده است که تنها جنس‌های مقاوم به شرایط نامساعد در خاک چای‌کاری‌های ایران باقی بمانند.

٤-٤ ویژگی‌های خاک

۳۷ درصد از خاک‌ها دارای pH خیلی اسیدی یا کمتر از ۴/۵ هستند. از ۱۲ باغ چای مورد آزمایش در ویتنام نیز چهار خاک، pH کمتر از ۳/۵ و شش باغ pH= ۳/۵-۴ داشتند (Huu Chien *et al.*,2019). pH خاک سطحی در مناطق موردتحقیق باغ‌های چای هندوستان نیز از ۶/۸۱-۳/۶۱ متغیر بود (Karak *et al.,* 2011).pH پایین خاک را به ویژگی‌های مواد مادری، بارش‌های شدید، فرآیندهای هوادیدگی و مقادیر بالای آلومینیوم، آهن و منگنز مرتبط می‌دانند (Karak et al., 2015)، مواد مادری مناطق چای‌کاری ایران نیز شرایط مشابهی دارد (Ramezanpour *et al.,*2010) ترشح اسیدهای آلی از ریشه بوته چای نیز باعث اسیدی شدن خاک می‌شود. اسیدی شدن شدید خاک در چای‌کاری‌ها فرآیندی شناخته‌شده است و به علت آزادسازی پروتون طی جذب آمونیوم توسط بوته چای و نیتریفیکاسیون مقدار زیاد کود نیتروژنی مصرفی است. بعلاوه با افزایش سن بوته‌های چای، pH خاک به‌تدریج کاهش می‌یابد. لذا از مهم‌ترین عوامل کاهش pH در خاک‌های موردبررسی می‌توان به ۱-مصرف زیاد کودهای نیتروژنی (اوره و سولفات آمونیوم) در باغ‌های چای در سال‌های اخیر نیز عمدتاً کود اوره مصرف می‌شود [، ۲-سن بالای بیش از ۵۰ سال بوته‌های چای در اکثر باغ‌ها و ۳-آبشویی عناصر غذایی به‌ویژه کربنات‌های کلسیم و منیزیم از خاک اشاره کرد.

وضعیت کربن آلی خاک‌های بررسی‌شده نشان داد که دامنه کربن آلی خاک‌ها بین ۰/۵ درصد تا ۴/۶ درصد متغیر است. مقادیر کم کربن آلی خاک از چای‌کاری‌های هند و رواندا نیز گزارش‌شده است (Karak *et al.,* 2015; Mupenzi *et al.*, 2015). باتوجه به یکسان بودن شرایط اقلیمی در چای‌کاری‌های کشور، مقادیر بالای کربن آلی خاک را می‌توان به تجزیه ضعیف مواد آلی (جهت شمالی، گیاهان سایه‌انداز بین ردیفی و ...) یا مصرف موردی کودهای آلی نسبت داد. مقدار بالای کربن آلی در خاک چای‌کاری‌ها می‌تواند به دلیل توازن بین ورودی (عموماً بقایای هرس) و هدر رفت مواد آلی از طریق تجزیه، فرسایش و دیگر فرایندها است (Wu, *et al*.,2019) در مقابل مقدار پایین کربن آلی در خاک چای‌کاری‌های می‌تواند به دلیل ورود کم

بقایای گیاهی و برداشت مقدار زیادی شاخساره‌های جوان باشد (Tinker,1978). مقدار مواد آلی در باغ‌های با تولید برگ کیفی، عملکرد و کارایی بالا عموماً باید بالاتر از ۳۰ گرم بر کیلوگرم باشد. فسفر قابل‌دسترس خاک گستره وسیعی از ۳۳۳-۰/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم داشت. خاک‌های با مقدار فسفر خیلی کم و خیلی زیاد فراوانی بیشتری داشتند. مقدار فسفر قابل‌دسترس خاک به روش بری ۲ در برخی چای‌کاری‌های ویتنام، ۱۱۰۷-۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۵۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش‌شده است (Huu Chien *et al.*,2019). مقدار فسفر قابل‌دسترس خاک نسبتاً پایین، حدود ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، شرایط مناسبی برای کلنیزاسیون مایکوریزی بالا فراهم می‌کند. مقدار فسفر قابل‌دسترس در خاک چای‌کاری‌های منطقه کیشان چین در دامنه ۴۹/۷-۱۲ و میانگین ۲۷/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم قرار دارد، در چای‌کاری‌های با عملکرد و کیفیت بالای برگ، مقدار فسفر قابل‌دسترس باید بیشتر از ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک باشد (Zhu *et al*., 2019).

۴۹ درصد از خاک‌های مورد آزمایش پتاسیم قابل‌دسترس کمتر از ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم داشتند. مقدار پتاسیم قابل‌دسترس کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در چای‌کاری‌های چین، حد بحرانی گزارش‌شده است (Ruan *et al*.,1999, Schenck, and Perez, 1990)، میانگین پتاسیم در این خاک‌ها ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. از دو منطقه چای‌کاری در هند، میانگین پتاسیم قابل‌دسترس ۱۵۰/۹ و ۱۸۶/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش‌شده است (Karak *et al.*, 2015). ۴۵ درصد خاک‌ها دارای رس ۲۰-۱۰ درصد بودند و فقط سه درصد خاک‌ها بیش از ۳۰ درصد رس دارند. دامنه تغییرات رس ۳۵/۴-۶ درصد بود. مقدار رس خاک در چای‌کاری‌های ویتنام نیز ۳۲-۱۰ درصد گزارش‌شده است (Huu Chien, *et al.*, 2019). با توجه به همبستگی مثبت (r=0.19*) پتاسیم و رس خاک می‌توان بیان کرد که رس‌های خاک می‌تواند دارای ظرفیت بالای نگهداری پتاسیم باشد. بوته چای ریشه دهی عمیق دارد و به خشکی خاک تابستان و شرایط ماندابی مقاوم است (Hiramine and Ikegaya,1971) لذا خاک‌های با بافت درشت‌تر در مقایسه با خاک‌های با بافت ریز شرایط فیزیکی مناسب‌تری را برای بوته‌های چای فراهم می‌کند (Nakamura and Ogawa,1987).

۵- نتیجه‌گیری کلی

باتوجه به نتایج حاصله می‌توان بیان کرد که کاشت چای همراه با مدیریت نامناسب به باغی (تغذیه، هرس، خاک‌ورزی نامناسب و.) باعث کاهش شدید جمعیت اسپور قارچ مایکوریزا شده است. باتوجه به روابط مشاهده‌شده بین جمعیت قارچ‌های مایکوریزا و ویژگی‌های خاک در این پژوهش، مصرف کودهای فسفاته فقط بر اساس توصیه آزمون خاک، اصلاح pH خاک چای‌کاری‌ها با استفاده از دولومیت یا آهک و تأثیر تلقیح نهال چای با کودهای زیستی تجاری با گونه‌های مختلف مدنظر قرار گیرد. همچنین مدیریت به‌باغی با کشت مخلوط درختان سایبانی با گونه‌های بومی تثبیت‌کننده نیتروژن مثل درخت گل ابریشم و توسکا که همزیستی خوبی با قارچ‌های مایکوریزی دارند می‌تواند به بهبود شرایط ریزوسفر باغ‌های چای کمک کند. باتوجه به اینکه گزارش‌های زیادی از مایکوریزا شدن ریشه چای در جهان وجود دارد که نمی‌تواند تنها مربوط به ویژگی‌های خاک باشد در این راستا، کشت نهال چای ایرانی در شرایط مساعد گلدانی و کنترل‌شده و تلقیح با گونه‌های مختلف و تجاری قارچ‌های آربسکولار می‌تواند ابهامات مربوط به عدم تشکیل همزیستی مایکوریزایی در نهال‌های چای ایران را پاسخ دهد.

تضاد و تعارض منافع- نویسندگان هر گونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیر تجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم با اثر منتشرشده است رد می‌نمایند.

تشکر و قدردانی- این مقاله حاصل از نتایج پروژه تحقیقاتی به شماره ۹۵۰۵۷۶-۰۳۹-۳۳-۲۱-۲ در پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، است که بدین‌وسیله از همکاری پژوهشکده چای در تأمین منابع مالی و اجرایی این پروژه سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Abbott, L. K., and Robson, A. D. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. Agriculture, ecosystems and environment, 35(2-3):121-150.

Aliasgharzad, N., Hajiboland, R., and Olsson, P. A. 2011. Lack of arbuscular mycorrhizal colonisation in tea (*Camellia sinensis* L.) plants cultivated in Northern Iran. Symbiosis, 55(2): 91-95.

Błaszkowski, J., Tadych, M., and Madej, T. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycota) of the Bledowska desert, Poland. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 71(1):71-85.

Brundrett, M. C. 1991. Mycorrhizas in Natural Ecosystems. In: Mafaydn, A., Begon, M. and Fitter, A. H. (eds.), Advances in Ecological Research. Vol.21. Academic Press, London.

Brundrett, M. C., Ashwath, N., and Jasper, D. A. 1996. Mycorrhizas in the Kakadu region of tropical Australia. Plant and Soil, 184(1): 159-171.

Bücking H. and Kafle A., 2015. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in the nitrogen uptake of plants: Current knowledge and research gaps. Agronomy, 5: 587-612.

Carling, D. E., Roncadori, R. W., and Hussey, R. S. (1995). Interactions of arbuscular mycorrhizae, *Meloidogyne arenaria*, and phosphorus fertilization on peanut. Mycorrhiza, 6(1): 9-13.

Cheng, L., Booker, F.L., Tu, C., Burkey, K.O., Zhou, L., Shew, H.D., Rufty, T.W., Hu, S. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi increase organic carbon decomposition under elevated CO2. Science, 337: 1084e1087

Clapp, J. P., Young, J. P. W., Merryweather, J. W., and Fitter, A. H. 1995. Diversity of fungal symbionts in arbuscular mycorrhizas from a natural community. New Phytologist, 130(2): 259-265.

Cooper, K. M. 1975. Growth responses to the formation of endotrophic mycorrhizas in Solanum, Leptospermum, and New Zealand ferns. In Endomycorrhizas; Proceedings of a Symposium.

Cox, G. and Tinker, P. B. 1976. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. I. The arbuscule and phosphorus transfer: a quantitative ultrastructural study. New Phytologist, 77: 371-378.

Crush, J. R. 1975. Occurrence of endomycorrhizas in soils of the Mackenzie Basin, Canterbury, New Zealand, New Zealand Journal of Agricultural Research, 18: 361-364.

Douds Jr, D. D. 1994. Relationship between hyphal and arbuscular colonization and sporulation in a mycorrhiza of Paspalum notatum Flugge. New Phytologist, 126(2): 233-237.

FAO. 1998. Tea variety development and management, Iran, TCP/IRA/6614. TCP project, Iran.

Guo Y., George E., and Marschner H. 1996. Contribution of an arbuscular mycorrhizal fungus to the uptake of cadmium and nickiel in bean and maize plants. Plant Soil, 184(2): 195-205.

Harley, J. L. 1969. The biology of mycorrhiza. The biology of mycorrhiza, (2nd ed.).

Hiramine, S., and Ikegaya, K. 1971. Water movement in the tea field (part 1). Chagyo Kenkyu Hokoku (Tea Research Journal), 1971(34): 20-30.

Hodge, A., Campbell, C.D., Fitter, A.H. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material.Nature 413: 297e299.

Huu Chien, H., Tokuda, M., Van Minh, D., Kang, Y., Iwasaki, K., and Tanaka, S.2019. Soil physicochemical properties in a high-quality tea production area of Thai Nguyen province in northern region, Vietnam. Soil science and plant nutrition, 65(1): 73-81. DOI: 10.1080/00380768.2018.1539310.

Isobe, K., Sugimura, H., Maeshima, T., and Ishii, R. 2008. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in upland field soil of japan: 2. spore density of arbuscular mycorrhizal fungi and infection ratio in soybean and maize fields. Plant production science, 11(2): 171-177.

Karak, T., Abollino, O., Bhattacharyya, P., Das, K. K., and Paul, R. K. 2011. Fractionation and speciation of arsenic in three tea gardens soil profiles and distribution of As in different parts of tea plant (*Camellia sinensis* L.). Chemosphere, 85(6): 948-960.

Karak, T., Paul, R. K., Boruah, R. K., Sonar, I., Bordoloi, B., Dutta, A. K., and Borkotoky, B. 2015. Major soil chemical properties of the major tea-growing areas in India. Pedosphere, 25(2):316-328.

Kawahara, A., An, G. H., Miyakawa, S., Sonoda, J., and Ezawa, T. 2016. Nestedness in arbuscular mycorrhizal fungal communities along soil pH gradients in early primary succession: acid-tolerant fungi are pH generalists. PloS one, 11(10).

Khanam, D., MAU, M., Arm, S., and Hossain, T. 2006. Effect of edaphic factors on root colonization and spore population of arbuscular mycorrhizal fungi. Bulletin of the Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University, 29(1): 97-104.

Kohout, P., Doubková, P., Bahram, M., Suda, J., Tedersoo, L., Voříšková, J., and Sudová, R. 2015. Niche partitioning in arbuscular mycorrhizal communities in temperate grasslands: a lesson from adjacent serpentine and nonserpentine habitats. Molecular Ecology, 24(8): 1831-1843.

Koller, R., Rodriguez, A., Robin, C., Scheu, S., and Bonkowski, M. 2013. Protozoa enhance foraging efficiency of arbuscular mycorrhizal fungi for mineral nitrogen from organic matter in soil to the benefit of host plants. New Phytologist, 199(1): 203-211.

Konishi, S. 1992. Promotive effects of aluminium on tea plant growth. Japan Agricultural Research

Quarterly, 26: 26-26.

Krishna, K. R., and Bagyaraj, D. J. 1982. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza and soluble phosphate on (*Abelmoscus esculentus* L.) Moench. Plant and soil, 64(2): 209-213.

Leifheit, E. F., Verbruggen, E., and Rillig, M. C. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi reduce decomposition of woody plant litter while increasing soil aggregation. Soil Biology and Biochemistry, 81: 323-328.

McGonigle TP, Miller, MH.1996. Mycorrhizae, phosphorus absorption, and yield of maize in response to tillage. Soil Sci Soc Am J 60:1856-1861.

Meyer, A. H., Botha, A. B., Valentine, A. J., Archer, E., and Louw, P. J. E. 2005. The occurrence and infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi in inoculated and uninoculated rhizosphere soils of two-year-old commercial grapevines. South African Journal of Enology and Viticulture, 26(2): 90-94.

Mohammad, A., Mitra, B., and Khan, A. G.2004. Effects of sheared-root inoculum of Glomus intraradices on wheat grown at different phosphorus levels in the field. Agriculture, Ecosystems and Environment, 103(1): 245-249.

Mupenzi, de la Paix, J., Li, L., Ge, J., Varenyam, A., Habiyaremye, G., Theoneste, N., and Emmanuel, K. 2011. Assessment of soil degradation and chemical compositions in Rwandan tea-growing areas. Geoscience Frontiers, 2(4): 599-607.

Nagahashi, G., Douds Jr, D. D., and Abney, G. D. 1996. Phosphorus amendment inhibits hyphal branching of the VAM fungus Gigaspora margarita directly and indirectly through its effect on root exudation. Mycorrhiza, 6(5): 403-408.

Nakamura, M., and Ogawa, S. 1987. Effects of physical improvement of inter-hedge subsoil of tea field on the growth and the nitrogen content of shoots. Bulletin of the Shizuoka Tea Experiment Station (Japan).

Nelsen, C. E., Bolgiano, N. C., Furutani, S. C., Safir, G. R., and Zandstra, B. H. 1981. The effect of soil phosphorus levels on mycorrhizal infection of field-grown onion plants and on mycorrhizal reproduction. J. Am. Soc. Hortic. Sci, No. 106: 786-788.

Nuccio, E. E., Hodge, A., Pett-Ridge, J., Herman, D. J., Weber, P. K., and Firestone, M. K. 2013. An arbuscular mycorrhizal fungus significantly modifies the soil bacterial community and nitrogen cycling during litter decomposition. Environmental Microbiology, 15(6): 1870-1881.

Öpik, M., Moora, M., Zobel, M., Saks, Ü. Wheatley, R., Wright, F., and Daniell, T.2008. High diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a boreal herb-rich coniferous forest. New Phytologist, 179(3): 867-876.

Osmont, K. S., Sibout, R., and Hardtke, C. S. 2007. Hidden branches: developments in root system architecture. Annu. Rev. Plant Biol., 58: 93-113.

Pandey, A., and Palni, L. M. S. 1996. The rhizosphere effect of tea on soil microbes in a Himalayan monsoonal location. Biology and fertility of soils, 21(3): 131-137.

Pang, P. C., and Paul, E. A. 1980. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza on 14C and 15N distribution in nodulated fababeans. Canadian Journal of Soil Science, 60(2): 241-250.

Ramezanpour, H., Kahneh, E., & Rasoli, N. (2010). Land Use Effects on Soil Properties Derived from Various Parent Materials in Northern Iran. Asian Journal of Chemistry, 22(9), 6927.

Razaq, M., Zhang, P., and Shen, H. L. 2017. Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of Acer mono. PloS one, 12(2).

Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods, 5: 417-435.

Ruan, J., Ma, L., and Shi, Y. 2013. Potassium management in tea plantations: Its uptake by field plants, status in soils, and efficacy on yields and quality of teas in China. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 176(3): 450-459.

Ruan, J., Wu, X., and Härdter, R. 1999. Effects of potassium and magnesium nutrition on the quality components of different types of tea. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79(1): 47-52.

Schenck, N. C., and Perez, Y. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi (Vol. 286). Gainesville: Synergistic Publications.

Sharma, C., Gupta, R. K., Pathak, R. K., and Choudhary, K. K.2013. Seasonal colonization of arbuscular mycorrhiza fungi in the roots of *Camellia sinensis* (tea) in different tea gardens of India. International Scholarly Research Notices: 2013.

Singh, S., Pandey, A., and Palni, L. M. S. 2008. Screening of arbuscular mycorrhizal fungal consortia developed from the rhizospheres of natural and cultivated tea plants for growth promotion in tea [Camellia sinensis (L.) O. Kuntze]. Pedobiologia, 52(2): 119-125.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil and Tillage Research 79:7e31.

Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., and Loeppert, R. H. (Eds.). 2020. Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods (Vol. 14). John Wiley and Sons.

Sylvia, D. M. (1999). Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. In: C. R. W. Weaver et al. (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties. Soil Science Society of America, Inc.

Talbot, J. M., Allison, S. D., and Treseder, K. K. 2008. Decomposers in disguise: mycorrhizal fungi as regulators of soil C dynamics in ecosystems under global change. Functional ecology, 22(6): 955-963.

Tchienkoua, M., and Zech, W.2004. Organic carbon and plant nutrient dynamics under three land uses in the highlands of West Cameroon. Agriculture, ecosystems and environment, 104(3): 673-679.

Tinker, P. B., and PB, T. 1978. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas on plant nutrition and plant growth. Physiologie VegStale, 16: 743-751

Venkatesan, S., and Senthurpandian, V. K. (2006). Comparison of enzyme activity with depth under tea plantations and forested sites in south India. Geoderma, 137(1-2): 212-216.

Wu, Q. S., Shao, Y. D., Gao, X. B., Xia, T. J., and KUČA, K. (2019). Characterization of AMF-diversity of endosphere versus rhizosphere of tea (*Camellia sinensis*) crops. Indian Journal of Agricultural Sciences, 89(2): 348-352.

Zahka, G. A., K. L. Baggett and B. L. Wong. 1995. Inoculum potential and other VAM fugi parameters in four sugar maple forests with different levels of stand dieback. Forest Ecology and management, No. 75: 123-134.

Zhang, J. (2018). Research on the soil nutrient characteristics of tea plantation. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 208, No. 1, p. 012079). IOP Publishing.

Zhu, P., J. Ren, L.C. Wang, X.P. Zhang, X.M. Yang, and D. MacTavish. 2007. Long-term fertilization impacts on corn yields and soil organic matter on a clay-loam soil in Northeast China. Journal of Plant Nutrient and Soil Science 170:219-223.