پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۷ / شماره۳ پاییز / ۱۴۰۲/ص۲۵۹-۲۷۶
dx.doi.org/10.22092/ijsr.2023.363521.724

بررسی رابطه اسیدیته خاک با برخی از ویژگی‌های کیفی برگ سبز چای در چای‌کاری‌های استان گیلان

احمد شیرین‌فکر*، شاهین اوستان، نصرت اله نجفی و عادل ریحانی تبار

عضو هیات علمی پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لاهیجان- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز **shirinfekr@gmail.com**

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز **oustan@hotmail.com**

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز **nanajafi@yahoo.com**

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز **areyhani@tabrizu.ac.ir**

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۲/۷/۳ و پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۷

چکیده

چای گیاهی دایمی و همیشه سبز است که به‌خوبی در خاک‌های اسیدی رشد می‌کند. این گیاه آلومینیم را به‌طور طبیعی جذب کرده و در قسمت‌های مختلف شاخساره انباشته می‌کند. اگرچه آلومینیم برای رشد گیاه چای ضروری است، اما برای سلامتی انسان مضر است. ارزیابی وضعیت آلومینیم در خاک و برگ سبز چای به درک رابطه بین این دو در جهت ارتقای کمیت و کیفیت محصول چای کمک می‌کند. به‌این منظور، ۳۸ نمونه خاک و برگ سبز سوم (برگ شاخص) به‌طور تصادفی از چای‌کاری‌های استان گیلان جمع‌آوری شدند. در نمونه‌های خاک، علاوه بر ویژگی‌های عمومی، مقادیر pH_w و pH_{CaCl2}، غلظت‌های آلومینیم، کلسیم و منیزیم تبادلی، نیتروژن کل و غلظت‌های فراهم فسفر و پتاسیم و در نمونه‌های گیاهی نیز غلظت‌های همین عناصر به‌همراه آهن و روی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر pH_w، pH_{CaCl2}، آلومینیم تبادلی خاک و نیز غلظت آلومینیم در گیاه چای به‌ترتیب ۴/۵۱، ۴/۰۴ ، ۲۵۶ mg/kg و ۱۳۶۲ mg/kg به‌دست آمد. آلومینیم تبادلی خاک با pH_w و pH_{CaCl2} یک رابطه معکوس و غیرخطی با ضرایب تعیین به‌ترتیب ۶۶% و ۸۴% داشت که حاکی از قابلیت اعتماد بیشتر به pH_{CaCl2} در مقایسه با pH_w بود. غلظت آلومینیم در برگ سبز چای با pH خاک همبستگی معناداری نداشت، اما رابطه آن با آلومینیم تبادلی خاک معنادار بود ($r=0.69^{**}$). همچنین، مقدار پلی‌فنل کل با نسبت مجموع غلظت‌های آهن و روی به غلظت آلومینیم ($\frac{Fe+Zn}{Al}$) در برگ سبز گیاه چای همبستگی معناداری ($r=0.64^{***}$) نشان داد. با توجه به حداقل pH بهینه باغ‌های چای (pH=۴/۵)، حداکثر غلظت بهینه آلومینیم تبادلی خاک معادل ۱۵۳ mg/kg به‌دست آمد. توصیه می‌شود که برای کنترل آلومینیم تبادلی خاک و تنظیم pH با توجه به ظرفیت بافری خاک از آهک یا دولومیت استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آلومینیم تبادلی، برگ سبز سوم، پلی‌فنل کل، غلظت فراهم

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول: **shirinfekr@gmail.com**

مقدمه

چای[۱] گیاهی غیربومی است که از کشت آن در ایران بیش از یک‌صد سال می‌گذرد؛ بااین‌حال، توسعه کشت آن در ایران، به دلیل محدودیت‌های اقلیمی و خاکی، محدود به استان‌های گیلان و مازندران (حدود ۲۸ هزار هکتار) بوده و در سایر مناطق کشور گسترش پیدا نکرده است. البته همین مساحت محدود تقریباً ۳۰ درصد از نیاز چای کشور را تأمین کرده و از این نظر اهمیت ویژه‌ای دارد. بهترین شرایط اقلیمی برای کشت چای دمای بین ۱۸ تا ۲۵ درجه سلسیوس، حداقل بارندگی ۱۲۰۰ میلی‌متر در سال و رطوبت نسبی بین ۸۰ تا ۹۰ درصد است (حاجی‌بلند، ۲۰۱۷). ازنظر نیاز خاکی نیز این گیاه در خاک‌های اسیدی با دامنه pH بین ۴/۵ تا ۵/۵ به‌خوبی رشد می‌کند (حسینی‌خواه‌چوشلی و همکاران، ۲۰۱۳). چنین شرایطی محدود به مناطق شمالی کشور یعنی حوضه خزری است (روزی‌طلب و همکاران، ۲۰۱۸). اسیدی شدن خاک فرآیندی است که طی آن pH، با ورود یون‌های هیدروژن به خاک در طی چرخه‌های کربن، نیتروژن، گوگرد و واکنش‌های کودی کاهش‌یافته و باعث شستشوی کاتیون‌های بازی و افزایش حل‌پذیری عناصری مانند آلومینیم می‌شود (اینیسی و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، کاهش CEC خاک در اثر تجزیه کانی‌های رس ۲:۱ و یا کاهش بار منفی آن‌ها به‌واسطه الحاق پلی‌مرهای هیدروکسی آلومینیم گزارش‌شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰). این فرآیند در باغ‌های چای به دلیل مصرف زیاد کودهای نیتروژن و برگرداندن بقایای هرس بوته‌های چای به‌مرورزمان تشدید شده و بدیهی است که باغ‌های مسن اسیدی‌تر از باغ‌های جوان هستند (فنگ و همکاران، ۲۰۱۴). گزارش‌شده است که در باغ‌های چای واقع در شرق چین در مقایسه با خاک‌های بایر مجاور پس از ۱۳، ۳۴ و ۵۴ سال کشت چای، pH خاک به ترتیب ۱/۳۷، ۱/۶۲ و ۱/۸۵ واحد کاهش‌یافته است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰). در شمال کشور، تغییر کاربری و تبدیل جنگل به باغ چای یکی از عوامل مهم اسیدی شدن خاک است (مجددی و همکاران، ۱۳۹۱). از دلایل مهم این امر آن است که در باغ‌های چای، به دلیل هرس‌های مکرر، مصرف کودهای نیتروژن عموماً بیشتر از سایر محصولات زراعی و باغی است (بهرامی و همکاران، ۲۰۱۰). مطابق آخرین پژوهش‌های انجام‌گرفته، حدود ۵۰ درصد از خاک باغ‌های چای کشور دارای pH کمتر از ۴/۵ هستند که از محدوده بهینه (۴/۵ تا ۵/۵) کم‌تر است (شیرین‌فکر، ۱۳۹۹). با اسیدی شدن خاک‌ها (pH< ۵)، حل‌پذیری آلومینیم در خاک و درنتیجه قابلیت جذب آن برای گیاهان افزایش می‌یابد (فرانکووسکی، ۲۰۱۳). گیاه چای مقادیر زیادی از آلومینیم و فلزات سنگین را از خاک جذب کرده و در شاخساره ازجمله برگ‌های بالغ ذخیره می‌کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). غلظت آلومینیم در برگ‌های مسن چای حتی تا ۳۰ هزار میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک نیز می‌رسد (استریت و همکاران، ۲۰۰۷). اگرچه آلومینیم برای بسیاری از گونه‌های گیاهی سمی است و رشد ریشه را محدود می‌کند (لیوو و همکاران، ۲۰۲۲)، اما این عنصر نقش مهمی در تحریک رشد لوله گرده، ظهور جوانه و افزایش شدت فتوسنتز دارد (موخوپادیای و همکاران، ۲۰۱۲). تصور می‌شود که اثرات سودمند آلومینیم به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی مانند فسفر (محمد و همکاران، ۲۰۱۹)، یا کاهش اثرات مرتبط با سایر عوامل مضر مانند سمیت آهن (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۱۳) و فلوراید (یانگ و همکاران، ۲۰۱۶) باشد. صرف‌نظر از اثرات منفی یا مثبت آلومینیم بر گیاه چای، این عنصر نقش مهمی در ایجاد بیماری‌های سیستم اعصاب مرکزی ازجمله آلزایمر دارد، بنابراین نوشیدن چای ممکن است برای مصرف‌کنندگان مایه نگرانی باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). ازآنجایی‌که نوشیدن چای در کشور ما یک عادت روزانه است، بنابراین آگاهی از محتوای آلومینیم در برگ سبز چای ایرانی و ارتباط آن با اسیدیتی خاک (شامل دو پارامتر pH و غلظت آلومینیم تبادلی) برای مدیریت بهینه

---

۱. *Camellia sinensis* (L.) Kuntze

چای‌کاری‌ها ضروری است. از دیگر اهداف این پژوهش، تعیین کیفیت برگ سبز چای ازنظر پلی‌فنل کل و ارتباط آن با اسیدیتی خاک به‌منظور شناخت اثرات نامطلوب فرآیند اسیدی شدن بر مرغوبیت چای در چای‌کاری‌های استان گیلان بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از خاک و برگ سبز چای و آماده‌سازی آن‌ها

تعداد ۳۸ نمونه مرکب خاک از باغ‌های چای استان گیلان (شکل ۱) از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. نمونه خاک‌ها به آزمایشگاه خاک و آب پژوهشکده چای منتقل‌شده و پس از هوا خشک و نرم شدن از غربال دو میلی‌متری عبور داده شدند. همچنین، تعداد ۳۸ نمونه برگ سبز سوم چای (برگ شاخص) در فصل تابستان (چین دوم) از همان محل نمونه‌برداری خاک، جمع‌آوری شد. نمونه‌های برگ پس از شست‌وشو با آب مقطر (برای حذف گردوغبار) و هوا خشک شدن، در پاکت‌های کاغذی قرار داده‌شده و در دستگاه خشک‌کن فن دار در دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک گردیدند. این نمونه‌ها آسیاب شده و بعد از عبور از غربال نیم‌میلی‌متری برای تجزیه‌های شیمیایی در یخچال نگه‌داری شدند (صفائی‌چائیکار و همکاران، ۲۰۲۰).

شکل ۱- پراکنش مناطق چای‌کاری و مکان‌های نمونه‌برداری

تعیین برخی از ویژگی‌های خاک

اندازه‌گیری pH با استفاده از دستگاه pH متر (Jenway model 3510) با دو روش اندازه‌گیری شد؛ درروش اول از سوسپانسیون ۱:۱ خاک و آب مقطر و در روش دوم از کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار استفاده شد (توماس، ۱۹۹۶). کربن آلی خاک به‌روش اکسایش با سولفوکرومیک اسید و تیترکردن با فروآمونیوم سولفات اندازه‌گیری شد (نلسون و سامرز، ۱۹۹۶). بافت خاک نیز به روش هیدرومتری تعیین شد (برتا و همکاران، ۲۰۱۴). کلسیم و منیزیم تبادلی و پتاسیم فراهم خاک با استفاده از روش استان آمونیوم یک نرمال (نسبت ۱:۱۰) به مدت نیم ساعت عصاره‌گیری شده و درنهایت غلظت کلسیم و منیزیم با دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer AAnalyst 800) و غلظت پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر (Jenway model PFP7) اندازه‌گیری شد (هلمک و اسپارکس، ۱۹۹۶). نیتروژن کل خاک نیز به روش کلدال اندازه‌گیری شد (برمنر، ۱۹۹۶). فسفر فراهم خاک به‌روش بری-۱[۲] (با استفاده از مخلوط فلورید آمونیوم ۰/۰۳ مولار و اسید کلریدیک ۰/۰۲۵ مولار در نسبت خاک به محلول ۱ به ۷ به مدت ۱ دقیقه) عصاره‌گیری شده (کو، ۱۹۹۶). غلظت فسفر به‌روش رنگ‌سنجی با مولیبدات آمونیم در طول‌موج ۶۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/V Cecil CE-2041) اندازه‌گیری شد. برای استخراج آلومینیم تبادلی خاک؛ ۵ گرم خاک هوا خشک به یک لوله سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری

[۲] .Bray-1

منتقل‌شده و به آن ۲۵ میلی‌لیتر کلرید پتاسیم ۱ مولار اضافه‌شده و به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد. سپس، سانتریفیوژ شده و رو شناور با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف (برش و بلوم، ۱۹۹۶) و غلظت ان با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer AAnalyst 800) در شعله استیلن-اکسید نیترو اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری غلظت برخی از عناصر در برگ سبز چای

برای اندازه‌گیری غلظت نیتروژن در برگ چای؛ ۰/۳ گرم پودر برگ سبز چای به لوله‌های هضم دستگاه میکروکلدال (Kjeltec^{TM} 2300-FOSS Analyzer) منتقل‌شده و با افزودن اسیدسولفوریک غلیظ به همراه قرص ۵ گرمی کلدال (سولفات مس+سولفات پتاسیم+سلنیم) در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس هضم شد. آمونیاک تولیدشده توسط دستگاه تقطیر در اسید بوریک جمع‌آوری‌شده و با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال تیتر شد. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر، ابتدا ۱ گرم پودر برگ سبز چای در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس کوره الکتریکی به مدت ۵ ساعت خاکستر شده و سپس در اسید کلریدیک ۲ نرمال حل شد. غلظت فسفر در عصاره به‌دست‌آمده به‌روش وانادومولیبدات در طول‌موج ۴۵۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/V Cecil CE-2041) اندازه‌گیری شد. همچنین، در این عصاره، غلظت پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر (Jenway model PFP7) و غلظت‌های آهن و روی با دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer AAnalyst 800) در شعله استیلن-هوا اندازه‌گیری شد (جونز، ۲۰۰۱). برای اندازه‌گیری غلظت آلومینیم در گیاه؛ ۲ گرم از پودر گیاهی به یک لوله هضم کلدال انتقال‌یافته و به آن ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۱ میلی‌لیتر اسید پرکلریک غلیظ اضافه شد. هضم در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس انجام شد. بعد از صاف کردن با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲، غلظت آلومینیم در عصاره با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer AAnalyst 800) با شعله استیلن-اکسید نیترو اندازه‌گیری شد (یردیم‌اغلو و همکاران ۲۰۰۰).

اندازه‌گیری مقدار پلی‌فنل کل در برگ سبز چای

۰/۲گرم پودر برگ سبز چای و ۵ میلی‌لیتر متانول ۷۰ درصد به یک لوله‌آزمایش اضافه شد و در حمام آبی ۷۰ درجه سلیسیوس با ورتکس مخلوط گردید. پس از خنک شدن، در ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده و رو شناور جمع‌آوری گردید. این عمل یک‌بار دیگر نیز انجام شد و عصاره حاصل از دو مرحله با متانول ۷۰ درصد در دمای اتاق به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. یک میلی‌لیتر از عصاره به‌دست‌آمده به یک لوله‌آزمایش منتقل‌شده و بعد از افزودن ۵ میلی‌لیتر شناساگر فولین-سیکالتو[۳]، مخلوط گردید. بعد از ۳ دقیقه و قبل از ۸ دقیقه، ۴ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم ۲۰ درصد اضافه‌شده و با ورتکس به‌خوبی یکنواخت شد. محلول به‌دست‌آمده به مدت ۶۰ دقیقه در دمای اتاق نگه‌داری شده و سپس مقادیر جذب در آن و نیز در محلول‌های استاندارد (غلظت‌های مختلف اسید گالیک) در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر (UV/V Cecil CE-2041) قرائت شد (سینگلتون و همکاران، ۱۹۹۹).

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار SPSS 24 استفاده شد و نمودارها در فضای نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج

نتایج آنالیز خاک

با توجه به جدول مقادیر pHw در دامنه ۳/۸۴ تا ۵/۷۰ با میانگین ۴/۵۱ و مقادیرpHCaCl2 در دامنه ۳/۵۹ تا ۵/۰۳ با میانگین ۴/۰۴ قرار داشت. رابطه بین این دو روش در شکل ۲ آمده است. در خاک‌های با خالص بار

[۳]. Folin Ciocalteu Reagent

منفی، مقادیرpH در آب مقطر همواره بزرگ‌تر از مقادیر pH در محلول نمکی هستند. با توجه به پایین بودن غلظت الکترولیت‌ها در خاک‌های اسیدی موردمطالعه، تفاوت نسبتاً کم ۰/۴۷ واحدی بین میانگین pH دو روش، قابل‌انتظار بود. رابطه‌های ۱ و ۲ برای ۱۲۰ خاک نمونه‌برداری شده از آمریکای شمالی پیشنهادشده است (میلر و کیسل، ۲۰۱۰):

(۱)

$$\Delta pH_{1:1} = 0.267EC_{1:1w}^{-0.445}$$

(۲)

$$\Delta pH_{1:1} = pH_{1:1w} - pH_{1:1CaCl2}$$

با توجه به میانگین EC عصاره سوسپانسیون ۱:۱ در خاک‌های موردمطالعه (۰/۱۶ dS/m)، تفاوت میانگین pH دو روش از این رابطه ۰/۶ به‌دست‌آمده که بیش‌برآوردی آن را نشان می‌دهد. علت می‌تواند آن باشد که برای به‌دست‌آمده آوردن رابطه مذکور از خاک‌های قلیایی و شور نیز استفاده‌شده است. مقادیر pH_w، برخلاف مقادیر pH_{CaCl2} که صرفاً وابسته به ماهیت بار متغیر خاک است، وابسته به قدرت یونی محلول خاک نیز هست (میناسنی و همکاران، ۲۰۱۱). اثر فلوکوله‌کننده محلول $CaCl_2$ باعث کاهش "اثر سوسپانسیون"[۴] می‌شود که می‌تواند سبب ۱± واحد خطا در اندازه‌گیری pH شود (پانسو و گوتیرو، ۲۰۰۷). ازاین‌رو، تأثیر تغییرات فصلی بر اندازه‌گیری‌های pH از بین می‌رود (کومه و همکاران، ۲۰۱۸). رابطه زیر برای تبدیل pH_w به pH_{CaCl2} پیشنهادشده است (کانیرز و دیوی، ۱۹۸۸)

(۳)

$$pH_{CaCl_2} = 1.05pH_w - 0.9$$

با استفاده از این رابطه، مقدار عددی میانگین pH_{CaCl2} خاک‌ها ۳/۸۴ به‌دست‌آمده آمد که ۰/۲ واحد کوچک‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده بود. بااین‌حال، رابطه ۴ ارائه‌شده برای ۳۰ خاک نمونه‌برداری شده از کانادا (لیروپ، ۱۹۸۱)، مطابقت خوبی با داده‌های pH در پژوهش حاضر(شکل ۲) داشت:

(۴)

$$pH_w = 0.98pH_{CaCl_2} + 0.53$$

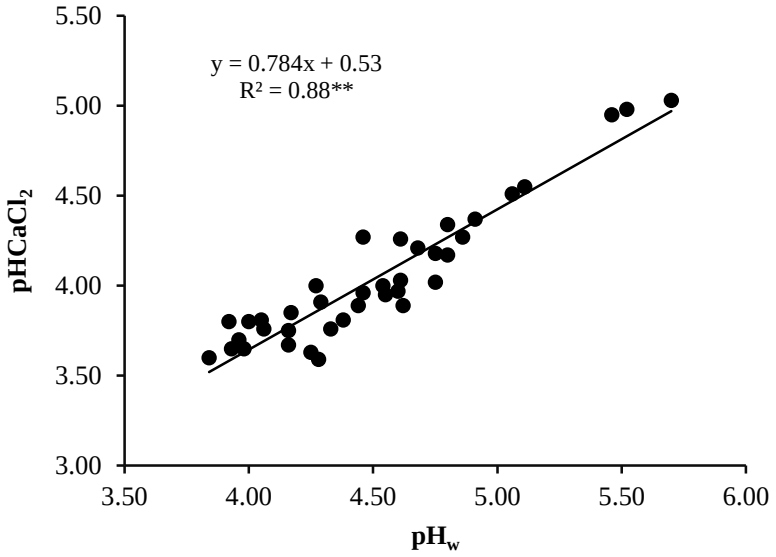
جدول یک نشان می‌دهد که حدود ۵۰ درصد از این خاک‌ها pH_w کمتر از ۴/۴۶ و pH_{CaCl2} کمتر از ۳/۹۶ دارند که نتایج گزارش قبلی پژوهشکده چای (شیرین فکر، ۱۳۹۹) مبنی بر اینکه حدود ۵۰ درصد از خاک باغ‌های چای کشور pH_w کمتر از ۴/۵ دارند را تائید می‌کند. سایر پژوهشگران مقادیر pH_w را در خاک‌های برخی از باغ‌های چای استان گیلان در دامنه ۳/۳ تا ۵/۴ با میانگین ۴/۶ (درویشی‌فشتامی و همکاران، ۲۰۱۱) و ۳/۹ تا ۵/۵ با میانگین ۴/۷ (خُرمالی و همکاران، ۲۰۱۲) و ۳/۴ تا ۶/۱ با میانگین ۴/۷۸ (کهنه و همکاران، ۲۰۲۲) گزارش کرده‌اند. دامنه تغییرات pH_w در خاک باغ‌های چای در کشورهای مختلف چای‌خیز جهان متفاوت بوده و کمترین میانگین (pH_w=۲/۷) در کشور ژاپن گزارش‌شده است (اوه و همکاران، ۲۰۰۶). این دامنه در کشور چین بین ۳/۹۶ تا ۵/۴۸ (با میانگین ۴/۶۸) (یان و همکاران، ۲۰۲۰) و در منطقه بنگال غربی هندوستان بین ۳/۳۰ و ۷/۵۳ (با میانگین ۴/۵۱) (مالاکار و همکاران، ۲۰۲۲) گزارش‌شده است. در کشور ترکیه که ازنظر جغرافیایی به ایران نزدیک است، مقادیر pH_w بین ۳/۳۸ و ۷/۳۷ (با میانگین ۴/۳۴) گزارش‌شده است (دنگیز و همکاران، ۲۰۲۰). به‌طورکلی، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که pH خاک در باغ‌های چای گیلان همانند سایر مناطق چای‌کاری دنیا اسیدی تا به‌شدت اسیدی است. اسیدی شدن شدید خاک در چای‌کاری‌ها یک پدیده شناخته‌شده بوده و به‌طورمعمول به دلیل افراط و تداوم در مصرف کودهای نیتروژن است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰). راهکارهای متفاوتی برای مقابله با آنچه اسیدی شدن خاک ناشی از اوره[۵] نامیده می‌شود، پیشنهادشده است که شامل مصرف کودهای آلی (لی و همکاران، ۲۰۱۶)، به حداکثر رساندن جذب نیترات و به حداقل رساندن حذف کاتیون‌های بازی مثلاً با جایگزینی اوره با کلسیم آمونیوم نیترات (CAN) (استامپ و ولک، ۱۹۹۱)، افزایش کارایی مصرف نیتروژن و کشت ژنوتیپ‌های اسید متحمل[۶] (اوویراجی و همکاران، ۲۰۲۳) و استفاده از بیوچار (محمود و

[۴]. Suspension effect

[۵].Urea-induced soil acidification

[۶]. Acid-tolerant genotypes

همکاران، ۲۰۱۷) است. گرچه گزارش‌شده است که اسیدزایی سولفات آمونیوم بیش‌تر از اوره است (فاجریا و همکاران، ۲۰۱۰)، ولی برخی پژوهشگران مشاهده کرده‌اند که این کود، برخلاف اوره که به دلیل افزایش اولیه pH باعث تحریک فعالیت نیتریفیکاتورها می‌شود، از فعالیت نیتریفیکانورها ممانعت کرده و ازاین‌رو مانع اسیدزایی می‌شود (تانگ و شو، ۲۰۱۲). یکی از نتایج کاهش pH خاک، افزایش حل‌پذیری آلومینیم است. وجود یک رابطه معکوس غیرخطی بین آلومینیم تبادلی و دو روش اندازه‌گیری pH خاک موید این مطلب است (شکل ۳). این رابطه غیرخطی در ۱۸۸ نمونه خاک جمع‌آوری‌شده از ۹۴ باغ چای از استان‌های مختلف چین با ضریب تعیین ۵۸ درصد گزارش‌شده است (روآن و همکاران، ۲۰۰۶). غلظت آلومینیم تبادلی خاک در چای‌کاری‌های استان گیلان بین ۴ تا ۷۸۳ با میانگین ۲۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست‌آمده آمد (جدول ۱). این غلظت در کشور چین، از ۶۴ تا ۵۶۲ با میانگین ۳۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (روآن و همکاران، ۲۰۰۶) گزارش‌شده است. در منطقه آسام هندوستان نیز غلظت آلومینیم تبادلی خاک در افق سطحی از ۷۲ تا ۱۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش‌شده است (باندیوپادیایی و همکاران، ۲۰۱۴). این نتایج نشان می‌دهد که غلظت آلومینیم تبادلی در خاک باغ‌های چای ایران، علی‌رغم تفاوت در مواد مادری، شرایط اقلیمی و فرآیندهای خاک‌سازی تقریباً مشابه با خاک باغ‌های چای در کشورهای مهم چای‌خیز است.



شکل ۲- رابطه رگرسیونی بین دو روش اندازه‌گیری pH در ۳۸ نمونه خاک

جدول ۱- آمار توصیفی نمونه‌های خاک مناطق مختلف چای‌کاری استان گیلان (۳۸ نمونه)

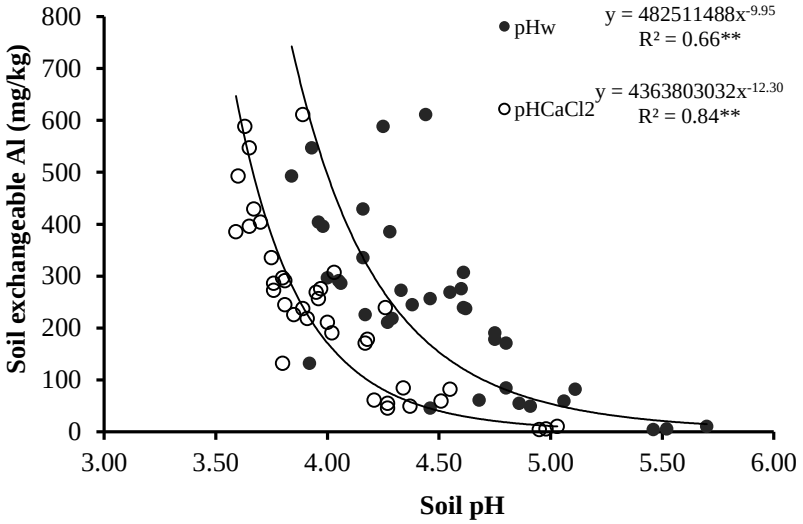
آماره	pH_w	pH_{CaCl2}	EC dS/m	کربن آلی (٪)	رس (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر فراهم	پتاسیم فراهم	کلسیم+منیزیم تبادلی	آلومینیم تبادلی
							میلی‌گرم بر کیلوگرم			
میانگین	۴/۵۱	۴/۰۴	۰/۱۶۳	۲/۴۳	۱۸/۴	۰/۲۳	۷۱/۹	۲۰۲	۵۸۳۲	۲۵۶
کمینه	۳/۸۴	۳/۵۹	۰/۰۵۵	۱/۲۰	۷/۴۰	۰/۱۲	۴/۸	۵۵	۱۳۶۰	۴/۰
بیشینه	۵/۷۰	۵/۰۳	۰/۹۲۵	۴/۳۰	۳۰/۷	۰/۳۶	۲۷۶	۶۶۵	۲۴۷۶۰	۷۸۳
میانه	۴/۴۶	۳/۹۶	۰/۱۰۸	۲/۲۰	۱۷/۴	۰/۲۲	۴۴	۱۶۶	۴۳۴	۲۴۲
انحراف معیار	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۱۷۸	۰/۷۴	۴/۶	۰/۰۵	۷۲/۱	۱۱۶	۴۶۱۱	۱۸۳
واریانس	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۰۳۵	۰/۵۴	۲۱/۲	۰/۰۱	۵۱۹۷	۱۳۴۵۶	۲۱۲۶۲۵۱۷	۳۳۶۹۰
چولگی	۰/۸۰	۱/۲۱	۲/۱۸	۰/۹۰	۰/۲۹	۰/۵۱	۱/۱۷	۲/۰۱	۲/۵۵	۰/۸۲
کشیدگی	۱/۴۲	۱/۰۷	۸/۷۸	۰/۱۹	۰/۶۸	۰/۲۶	۰/۵۳	۵/۸۲	۷/۷۱	۰/۶۵

pH_w نسبت ۱:۱ خاک به آب مقطر، pH_{CaCl2} خاک با نسبت ۱:۱ کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار

جدول ۲ - آمار توصیفی شاخص‌های گیاهی برگ سبز چای از مناطق مختلف چای‌کاری استان گیلان (۳۸ نمونه)

آماره	نیتروژن (٪)	فسفر (٪)	پتاسیم (٪)	آلومینیم	روی	آهن	پلی‌فنل کل (٪)
				میلی‌گرم بر کیلوگرم			
میانگین	۳/۳۸	۰/۳۰	۱/۶۳	۱۳۶۲	۳۲/۹۰	۹۴/۵۸	۸/۳۷
کمینه	۲/۷۱	۰/۲۳	۱/۰۶	۴۱۱	۸/۶۰	۴۷/۵۰	۵/۸۰
بیشینه	۴/۴۵	۰/۳۹	۲/۱۰	۲۹۸۱	۹۲/۴۶	۲۶۱/۷۲	۱۰/۴۵
میانه	۳/۳۴	۰/۲۹	۱/۶۷	۱۱۴۲	۳۰/۸۷	۸۷/۳۴	۸/۵۰
انحراف معیار	۰/۴۲	۰/۰۴	۰/۲۴	۵۹۰/۲	۱۴/۱۵	۴۰/۸۰	۱/۱۰
واریانس	۰/۱۸	۰/۰۰۲	۰/۰۶	۳۴۸۳۰۱	۲۰۰	۱۶۶۴	۱/۲۱
چولگی	۰/۷۳	۰/۶۱	-۰/۱۶	۰/۷۸	۱/۹۱	۲/۱۷	-۰/۴۰
کشیدگی	۰/۲۳	-۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۷/۵۵	۶/۹۷	-۰/۰۷

علت این امر می‌تواند مدیریت یکسان درکشت بلندمدت چای باشد که با مصرف مقادیر زیاد کود نیتروژن و ریختن شاخ و برگ‌های هرس‌شده حاوی غلظت بالایی از آلومینیم در بین ردیف‌های چای‌کاری همراه است (روآن و همکاران، ۲۰۰۴). مورد اخیر چرخه بیوژئوشیمیایی آلومینیم[۷] نامیده می‌شود. گزارش‌شده است که ۵۴ سال کشت چای در ایالت جیانگ سو[۸] در کشور چین، غلظت آلومینیم تبادلی خاک سطحی را از ۸۴ به ۲۲۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش داده است (وانگ و همکاران ۲۰۱۰). درصد نیتروژن کل در خاک‌های موردمطالعه بین ۰/۱۲ تا ۰/۳۶ با میانگین ۰/۲۳ درصد بود (جدول ۱). درصد نیتروژن کل در خاک باغ‌های چای که محصول باکیفیت تولید می‌کنند باید بیشتر از ۰/۱ درصد باشد (ژانگ، ۲۰۱۸). ازاین‌رو، خاک باغ‌های چای موردمطالعه ازنظر نیتروژن غنی هستند. غلظت فسفر فراهم در خاک‌های موردمطالعه بین ۴/۸۰ و ۲۷۶ با میانگین ۷۷/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست‌آمده آمد (جدول ۱). سطح بحرانی غلظت فسفر فراهم خاک به‌روش بری-۱ در خاک‌های غنی از اکسیدهای آهن و آلومینیم جنوب چین معادل ۷۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش‌شده است (ما و همکاران، ۲۰۲۲)، لذا ۶۸ درصد از خاک باغ‌های چای دچار فقر فسفر هستند. درحالی‌که این سطح توسط هیات چای هند[۹] در دامنه ۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین‌شده است (موخرجی و همکاران، ۲۰۲۰)، چنانچه مورد اخیر مدنظر قرار گیرد، فقط ۲۶ درصد از نمونه‌ها زیر حد بحرانی قرار خواهند داشت. حد بحرانی فسفر به عوامل متعددی بستگی دارد و لذا استفاده از حدود بحرانی سایر مناطق جهان گمراه‌کننده خواهد بود. ازاین‌رو، تعیین حد بحرانی فسفر برای خاک چای‌کاری‌های کشور ضروری به نظر می‌رسد.



شکل ۳- رابطه بین غلظت آلومینیم تبادلی و pH در خاک

غلظت پتاسیم فراهم در خاک‌های موردمطالعه بین ۵۵ تا ۶۶۵ با میانگین ۲۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول ۱). با در نظر گرفتن سطح بحرانی ۸۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم (روآن و همکاران، ۲۰۱۳)، فقط ۶ درصد از نمونه خاک‌های موردمطالعه دچار کمبود پتاسیم هستند. از این نظر، وضعیت پتاسیم فراهم در چای‌کاری‌های ایران بسیار مطلوب‌تر از کشور چین است که بیش از ۵۹ درصد از خاک باغ‌های چای آن دچار کمبود این عنصر غذایی هستند (هوانگ و همکاران، ۲۰۲۲). بااین‌حال، پاسخ مثبت گیاه چای به مصرف کود پتاسیم در برخی باغ‌های چای گزارش‌شده است (فاطمی‌چوکامی، ۱۳۹۶) که نشان از ضرورت تعیین حد بحرانی برای این عنصر غذایی است.

نتایج آنالیز برگ سبز چای

غلظت نیتروژن در برگ سبز چای از ۲/۷۱ تا ۴/۴۵ با میانگین ۳/۳۸ درصد به‌دست‌آمده آمد (جدول ۲). غلظت نیتروژن در گیاه چای از ۱/۱ درصد در شاخه‌ها تا ۴ درصد در

۷. Biogeochemical cycling of Al

۸. Jiangsu

۹ . Tea Board of India

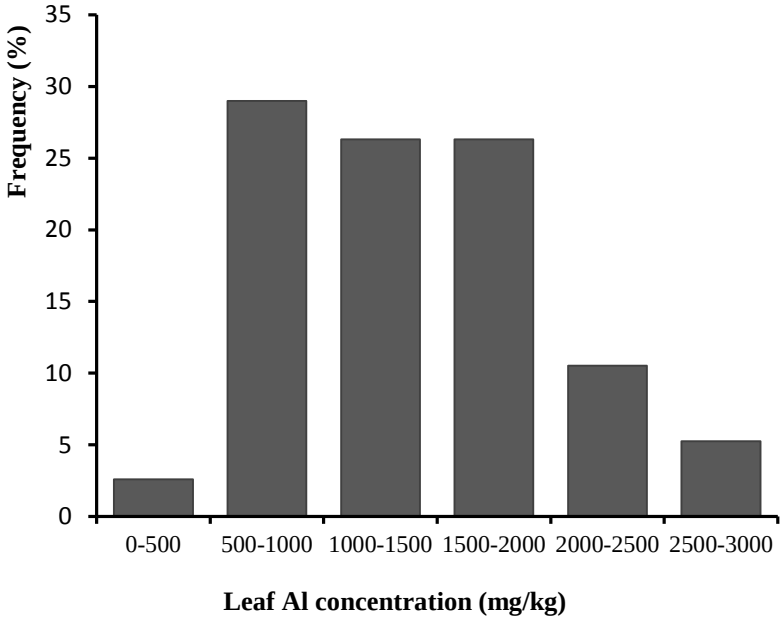
یک غنچه و دو برگ تغییر می‌کند (ویلسون و کلیفورد، ۲۰۱۲). پاسخ باورنکردنی گیاه چای به کاربرد سنگین کود نیتروژن با برداشت برگ سبز تحریک می‌شود (روآن و همکاران، ۲۰۰۴). جدول ۳ نشان می‌دهد که ۱۷ درصد از باغ‌های چای در کمبود شدید، ۷۱ درصد در کمبود خفیف و تنها ۱۲ درصد ازنظر تغذیه نیتروژن در وضعیت بهینه قرار داشتند. علی‌رغم وضعیت مناسب درصد نیتروژن کل در این خاک‌ها و مصرف سنگین کود اوره، کمبود گسترده نیتروژن در برگ سبز چای دور از انتظار بود. یکی از دلایل این تناقض می‌تواند آن باشد که باغداران در باغ‌های دیم اوره را عمدتاً در اواخر زمستان (اسفندماه) زمانی که گیاه هنوز در خواب است و به‌صورت یکجا مصرف می‌کنند (علی‌نقی‌پور، ۱۳۹۱). درنتیجه، بخش عمده نیتروژن در اثر باران‌های شدید بهاری از خاک آبشویی شده و مجالی برای جذب آن توسط گیاه در ماه‌های آتی باقی نمی‌ماند. میانگین غلظت فسفر و پتاسیم در برگ سبز چای به ترتیب ۰/۳۰ و ۱/۶ درصد به‌دست‌آمده آمد (جدول ۲). با توجه به جدول ۳، همه نمونه‌ها زیر حد بهینه قرار داشتند. این در حالی است که نتایج تجزیه خاک چنین مشکلی را نشان نمی‌دهد (جدول ۱). از علل این مشاهده می‌توان به ۱) عدم کارایی عصاره‌گیر (بری-۱) با توجه به عدم وجود همبستگی معنادار بین فسفر فراهم خاک و غلظت فسفر برگ سبز چای، ۲) حضور بخش قابل‌ملاحظه‌ای از فسفر فراهم خاک در مواد آلی خاک با توجه به همبستگی مثبت و معنادار فسفر فراهم خاک با کربن آلی خاک ($r=۰/۳۶^{*}$)، ۳) تشکیل کمپلکس‌های نامحلول Al-P و رسوب آن در ریشه که سبب کاهش جذب یا انتقال فسفر به شاخساره می‌شود (یو و همکاران، ۲۰۱۸)، ۴) کاربرد مقادیر مفرط کود نیتروژن که رقابت گیاه چای و جمعیت میکروبی خاک را برای فسفر تشدید می‌کند (جیانگ و همکاران، ۲۰۲۳). جدول ۳ نشان می‌دهد که پتاسیم در باغ‌های چای استان گیلان، ۴۰ درصد با کمبود شدید، ۵۱ درصد با کمبود خفیف و فقط ۹ درصد در وضعیت بهینه قرار داشت. برخلاف فسفر، همبستگی مثبت معناداری بین پتاسیم فراهم خاک و پتاسیم برگ سبز گیاه چای ($r=۰/۵۳^{**}$) مشاهده شد؛ بنابراین، علی‌رغم وجود پتاسیم فراهم کافی در خاک باغ‌های چای، به نظر می‌رسد که گیاه پتاسیم را به‌اندازه کافی جذب نمی‌کند. این ناهمخوانی می‌تواند به دلیل بیش برآوردی عصاره‌گیر استات آمونیم برای گیاه چای باشد که منطقی به نظر نمی‌رسد، زیرا شرایط اسیدی، تغییر شکل پتاسیم غیرتبادلی به تبادلی را تشدید می‌کند (هان و همکاران، ۲۰۱۹). دیگر اینکه غلظت بالای آلومینیم در خاک‌های اسیدی چای‌کاری‌ها، جذب پتاسیم را مختل می‌کند (هورست و همکاران، ۲۰۱۰). غلظت‌های آهن و روی در برگ سبز چای به ترتیب ۹۴/۶ و ۳۲/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست‌آمده آمدند (جدول ۲). در مورد آهن، تنها ۱۳ درصد از نمونه‌ها دچار کمبود شدید آهن بوده و ۴۶ درصد دارای کمبود خفیف و ۴۱ درصد نیز در حد بهینه بودند (جدول ۳). عدم مشاهده زیاد بود آهن می‌تواند به دلیل غلظت بالای آلومینیم تبادلی در خاک باغ‌های چای موردمطالعه باشد (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۱۳). در مورد روی، ۱۷ درصد از نمونه‌ها دارای کمبود شدید، ۵ درصد دارای کمبود خفیف، ۶۹ درصد در حد بهینه و ۹ درصد در حد زیاد بود بودند. یکی از دلایل کمبود فسفر در نمونه‌های برگ سبز چای ممکن است زیاد بود روی باشد که برای سایر گیاهان مانند برنج گزارش‌شده است (دینگ و همکاران، ۲۰۲۱).

جدول ۳- حدود بحرانی غلظت عناصر غذایی (ویلسون و کلیفورد، ۲۰۱۲) و فراوانی آن‌ها در برگ سبز چای در چای‌کاری‌های استان گیلان

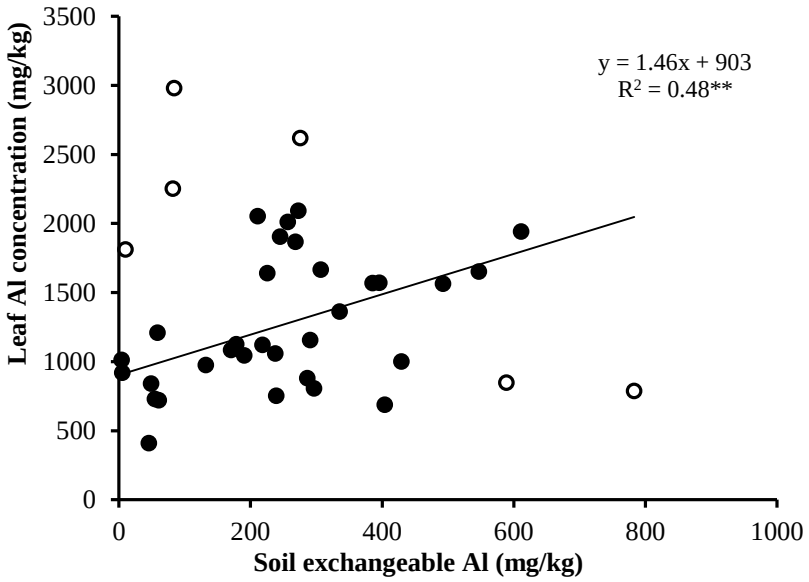
وضعیت عنصر	نیتروژن		فسفر		پتاسیم		آهن		روی	
	غلظت (٪)	فراوانی (٪)	غلظت (٪)	فراوانی (٪)	غلظت (٪)	فراوانی (٪)	غلظت (mg/kg)	فراوانی (٪)	غلظت (mg/kg)	فراوانی (٪)
کمبود شدید	<۳	۱۷	<۰/۳۵	۸۵	<۱/۶	۴۰	<۶۰	۹	<۲۰	۱۷
کمبود خفیف	۳-۴	۷۱	۰/۳۵-۰/۴	۱۵	۱/۶-۲	۵۱	۶۰-۱۰۰	۴۶	۲۰-۲۵	۶
بهینه	۴-۵	۱۲	۰/۴-۰/۵	۰	۲-۳	۹	۱۰۰-۵۰۰	۴۰	۲۵-۵۰	۶۹
زیادبود	>۵	۰	>۰/۵	۰	>۳	۰	>۵۰۰	۰	>۵۰	۹

غلظت آلومینیم در برگ سبز چای از ۴۱۱ تا ۲۹۸۱ با میانگین ۱۳۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست‌آمده آمد (جدول ۲). این غلظت در ۸۱/۵ درصد از نمونه‌ها بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در ۲/۵ درصد کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در ۱۶ درصد بیشتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (شکل ۴)؛ بنابراین، غلظت آلومینیم در بخش اعظم نمونه‌ها بیشتر از ۱۰۰۰

میلی‌گرم بر کیلوگرم که حد شناسایی گونه‌های ابرانباشتگر آلومینیم[۱۰] است (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۲۳). گستره غلظت آلومینیم در برگ سبز چای در کشور چین بین ۲۵۰ تا ۱۰۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸) و نیز بین ۱۰۰۰ تا ۵۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (روآن و همکاران، ۲۰۰۶) گزارش‌شده است. نشان داده‌شده است که غلظت‌های زیاد آلومینیم در خاک مانع از جذب و انتقال آهن در گیاه چای می‌شود (حاجی‌بلند و همکاران، ۲۰۱۳). عدم مشاهده مسمومیت آهن در باغ‌های چای (جدول ۲) می‌تواند به همین دلیل باشد. همچنین، با حذف چند داده دورافتاده (پرت)، بین غلظت آلومینیم در برگ سبز چای و غلظت آلومینیم تبادلی خاک یک رابطه خطی نسبتاً خوب مشاهده شد (شکل ۵).



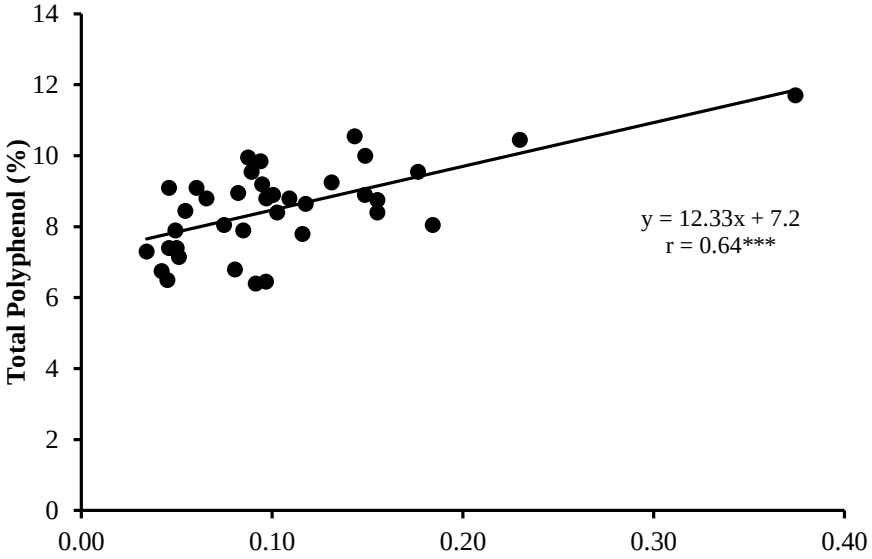
شکل ۴- نمودار توزیع فراوانی غلظت آلومینیم برگ سبز در باغ‌های چای استان گیلان



شکل ۵- رابطه بین غلظت آلومینیم برگ سبزچای و غلظت آلومینیم تبادلی خاک (دایره‌های توخالی داده‌هایی هستند که از مدل رگرسیونی کنار گذاشته‌شده‌اند)

۱۰. Al-hyperaccumulating species

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت بیوشیمیایی چای، مقدار پلی‌فنل کل آن است که هرچه بیشتر باشد کیفیت چای بهتر خواهد بود. مقدار پلی‌فنل کل در برگ سبز چای از ۵/۸ تا ۱۰/۴۵ با میانگین ۸/۳۷ درصد اندازه‌گیری شد (جدول ۲). مقدار پلی‌فنل کل در تعدادی از چای‌های موجود در بازارهای ایران بین ۳/۰ تا ۱۹/۶ درصد اندازه‌گیری شده است (حاجی‌محمودی و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهش‌های مختلف، مقدار پلی‌فنل کل در برگ سبز چای بین ۱۱/۵۵ تا ۱۶/۱۹ درصد (حمید و همکاران، ۲۰۱۴) برای درختچه‌های چای کشت‌شده در عرض‌های جغرافیایی بالا و نیز بین ۷/۵ درصد در برگ چهارم تا ۱۴/۵ درصد در غنچه (پراویرا-آتماجا و همکاران، ۲۰۱۸) گزارش‌شده است. همبستگی معناداری بین مقدار پلی‌فنل کل گیاه چای و آلومینیم تبادلی خاک مشاهده نشد، اما این مقدار با نسبت مجموع غلظت آهن و روی به غلظت آلومینیم ($\frac{Fe+Zn}{Al}$) در برگ سبز چای یک رابطه خطی مستقیم معنادار نشان داد (شکل ۶).



شکل ۶- رابطه بین درصد پلی‌فنل کل و نسبت مجموع آهن و روی به آلومینیم در برگ سبز چای

بحث

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که خاک باغ‌های چای موردمطالعه به‌شدت اسیدی شده است. به‌طوری‌که pH_w در بیش از ۵۰ درصد از آن‌ها کمتر از ۴/۴۶ است که به‌عنوان حداقل بهینه pH خاک برای باغ‌های چای شناخته می‌شود (حسینی‌خواه‌چوشلی و همکاران ۲۰۱۳). اسیدی شدن شدید خاک در چای‌کاری‌ها به‌طورمعمول به دلیل افراط و تداوم در مصرف کودهای نیتروژن (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰) است. در چای‌کاری‌های استان گیلان، به‌طور متوسط مقادیر ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار برای کشت دیم و ۸۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار برای کشت آبی مصرف می‌شود (شیرین‌فکر، ۱۳۹۹) که نشان از اهمیت کود نیتروژن دارد. علاوه بر آن؛ برگرداندن بقایای هرس (روآن و همکاران، ۲۰۰۴)، ترشح اسیدهای آلی و پروتون از ریشه گیاه چای و شستشوی کاتیون‌های بازی به‌ویژه کلسیم و منیزیم از خاک از دیگر عوامل دخیل در اسیدی شدن خاک باغ‌های چای هستند (کهنه و همکاران، ۲۰۲۲). میانگین درصد کربن آلی خاک در باغ‌های چای موردمطالعه ۲/۴۳ درصد به‌دست‌آمده آمد. خاک‌هایی که کربن آلی آن‌ها کم‌تر و بیش‌تر از ۰/۶ و ۱/۲ درصد است، به ترتیب فقیر و غنی شناخته می‌شوند (کائو و همکاران، ۲۰۱۸). از این نظر، خاک باغ‌های چای موردمطالعه در این تحقیق ازنظر کربن آلی در گروه غنی قرار می‌گیرند که اهمیت و نقش بقایای هرس را نشان می‌دهد.

وجود یک رابطه غیرخطی معکوس بین آلومینیم تبادلی و pH خاک در دیگر مطالعات نیز گزارش‌شده است (الباکوی و همکاران، ۲۰۱۷ و مانریک، ۱۹۸۶). هرچند، رابطه خطی نیز گزارش‌شده است (وانگ و همکاران،

۲۰۱۰). این روابط غیرخطی نشان می‌دهند که با کاهش pH خاک، به‌ویژه به کمتر از ۴/۵، غلظت آلومینیم تبادلی به‌شدت افزایش می‌یابد که بیانگر ورود آلومینیم از فاز رسوب به فازهای محلول است، زیرا شکل‌های شیمیایی و فراهمی آلومینیم به‌شدت وابسته به pH هستند (کومی ۲۰۱۸). این امر شرایط را برای رقابت با سایر کاتیون‌ها و اشغال مکان‌های تبادلی خاک مهیا کرده و درنتیجه فراهمی آلومینیم برای گیاه را افزایش می‌دهد (اینیسی و همکاران، ۲۰۲۳). با افزایش فراهمی آلومینیم در خاک، جذب آن توسط گیاه چای و درنتیجه غلظت آن در شاخساره افزایش می‌یابد. افزایش غلظت آلومینیم در محلول غذایی سبب افزایش غلظت آن در برگ‌های گیاه چای و به‌ویژه برگ‌های مسن‌تر می‌شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸). در یک آزمایش مزرعه‌ای، با افزایش غلظت آلومینیم (از منبع سولفات آلومینیم) در خاک، غلظت آلومینیم در برگ سوم چای افزایش یافت (شیرین‌فکر و همکاران، ۲۰۲۲). رابطه رگرسیونی نسبتاً قوی بین آلومینیم برگ سبز چای و آلومینیم تبادلی خاک (R^2 =۰/۴۶**) حاکی از آن است که اندازه‌گیری آلومینیم تبادلی خاک می‌تواند تخمین خوبی را از جذب و انتقال این عنصر در گیاه چای ارائه دهد.

علی‌رغم پیچیدگی‌های موجود در جذب و انتقال عناصر از خاک به گیاه، روابط رگرسیونی ساده می‌توانند در برآورد تقریبی غلظت آلومینیم در گیاه چای مفید باشند. با آگاهی از اینکه حداقل pH_w بهینه برای خاک در چای‌کاری‌ها ۴/۵ است و با استفاده از معادله‌های رگرسیونی در شکل ۳، حداکثر غلظت بهینه آلومینیم تبادلی در خاک ۱۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست می‌آید. برای بسیاری از گیاهان، غلظت آلومینیم تبادلی در خاک در محدوده ۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌عنوان یک غلظت بحرانی در نظر گرفته می‌شود (والنا و همکاران، ۲۰۰۵). با جاگذاری حداکثر غلظت بهینه آلومینیم خاک (۱۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در معادله رگرسیونی شکل ۵، غلظت آستانه آلومینیم در برگ سبز چای ۱۱۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست می‌آید. به‌طور جالب‌توجهی، در حدود ۵۰ درصد از نمونه‌های برگ سبز باغ‌های چای، غلظت آلومینیم کمتر از ۱۱۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که از این نظر مشابه pH خاک است. پیشتر نیز گزارش‌شده است که pH خاک در حدود ۵۰ درصد از باغ‌های چای کمتر از ۴/۵ است (شیرین‌فکر، ۱۳۹۹). افزایش pH خاک، کاهش غلظت آلومینیم در گیاه را به دنبال دارد. مشاهده‌شده است که با مصرف سرباره کارخانه فولادسازی (یک درصد)، pH از ۴/۴ به ۵/۴ افزایش‌یافته و غلظت آلومینیم در یک غنچه و دو برگ چای از ۵۲۲ به ۲۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش یافت (کیایی‌جمالی و همکاران، ۱۳۸۶). بااین‌حال، رابطه رگرسیونی بین pH خاک و غلظت آلومینیم برگ سبز چای در این پژوهش معنادار نبود. این موضوع ممکن است به عوامل متعدد مؤثر درجذب و انتقال آلومینیم در گیاه ازجمله کمپلکس شدن آلومینیم با اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم مانند اگزالات، مالات و به‌ویژه سیترات و یا آنیون‌هایی مانند فلوراید (پنگ و همکاران، ۲۰۲۳) مرتبط باشد. بااین‌حال، همبستگی منفی معناداری بین غلظت آهن در برگ سبز چای و pHw(r= −۰/۴۰*) و pHCaCl2 (r= −۰/۳۲*) در پژوهش حاضر مشاهده شد.

تداخل جذب آلومینیم با عناصر غذایی ممکن است ساخت ترکیبات ثانویه ازجمله پلی‌فنل‌ها را نیز تحت تأثیر قرار دهد (هیو و همکاران، ۲۰۱۷). وجود یک همبستگی منفی معنادار (r= −۰/۵۱**) بین غلظت‌های نیتروژن و آلومینیم در برگ سبز چای یکی از این تداخل‌هاست. عدم مشاهده همبستگی مقدار پلی‌فنل کل برگ سبز چای با آلومینیم تبادلی خاک و مشاهده این همبستگی با نسبت مجموع غلظت آهن و روی به غلظت آلومینیم ($\frac{Fe+Zn}{Al}$) در برگ سبز چای حاکی از پیچیدگی رابطه بین مقدار پلی‌فنل کل برگ سبز چای و غلظت آلومینیم تبادلی خاک است (تولرا و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش‌شده است که مقدار پلی‌فنل کل برگ سبز چای با افزایش غلظت آلومینیم ابتدا افزایش‌یافته ولی با افزایش بیشتر آن، کاهش می‌یابد (موخوپادیای و همکاران، ۲۰۱۲). بااین‌حال، در پژوهش‌های مزرعه‌ای، رابطه‌ای بین مقدار

پلی‌فنل کل برگ سبز چای و غلظت آلومینیم تبادلی خاک مشاهده نشد (شیرین‌فکر و همکاران، ۲۰۲۲ و هیو و همکاران، ۲۰۱۷). علت آن می‌تواند علاوه بر تفاوت ذاتی ارقام (شیرین‌فکر و همکاران، ۲۰۲۲ و ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸)، نقش عوامل دیگری از جمله؛ مقدار بارش، نحوه مدیریت هرس، تنش‌های محیطی و نیز مصرف کودهای شیمیایی مانند فسفر و پتاسیم، در ساخت ترکیبات ثانویه همچون پلی‌فنل‌ها باشد (ویی و همکاران، ۲۰۲۲).

نتیجه‌گیری

درمجموع خاک‌های باغ‌های چای کشور به‌شدت اسیدی بوده و غلظت آلومینیم در آن‌ها بالا است، درنتیجه چای‌های استحصالی، در صورت مدیریت نادرست باغ‌های چای، غلظت آلومینیم بالایی خواهند داشت. در بین راهکارهای مقابله با اسیدی شدن خاک، در عمل امکان مصرف کلسیم آمونیوم نیترات به دلیل عدم تولید آن در داخل کشور وجود ندارد. در مورد کشت ارقام اسید متحمل، باید اذعان کرد که جدای از صرف هزینه و وقت برای دستیابی به این ارقام، مهیاکردن ۲۰ هزار نهال برای هر هکتار و درمجموع ۴۰۰ میلیون نهال برای جایگزینی در ۲۰ هزار هکتار از باغ‌های چای کشور، در کنار دوره انتظار ۵ ساله برای بهره‌برداری، حتی با حمایت دولتی به چند ده سال زمان نیاز دارد که خود یک ابر چالش است. سایر گزینه‌های مطرح‌شده مانند مصرف کودهای آلی و یا بیوچار نیز نیاز به پژوهش‌های کاربردی بیشتری دارند و به نظر نمی‌رسد در حال حاضر و در سطح کلان راهکار مناسبی باشند؛ بنابراین، از بین گزینه‌های موجود می‌توان اصلاح pH خاک را با استفاده از آهک یا دولومیت به دلیل وفور آن‌ها در کشور و علی‌رغم هزینه‌های هنگفت، به‌عنوان راهکار عملی در سطح باغ‌های چای کشور پیشنهاد کرد.

فهرست منابع

۱. کیایی‌جمالی، س، فرقانی، ا. شریعتمداری، ح.، و شیرین فکر، ا. ۱۳۸۶. اثر کاربرد سرباره و لجن کنورتور فولادسازی به‌عنوان یک ماده آهکی روی یک خاک اسیدی در شرایط مزرعه‌ای. علوم و صنایع کشاورزی (ویژه خاک، آب، هوا)، ۲۱(۲)، ۱۴۱-۱۵۳.

۲. شیرین‌فکر ا. ۱۳۹۹. توصیه کودی باغ‌های چای آلوده به نماتد مولد زخم ریشه چای با استفاده از نقشه جمعیت نماتد. گزارش پایانی، موسسه پژوهشات علوم باغبانی، پژوهشکده چای. شماره فروست؛ ۵۷۴۰۲.

۳. علی‌نقی‌پور، ب. ۱۳۹۱. اثر مقدار و تقسیط کود اوره بر عملکرد و کیفیت برگ سبز چای. گزارش پایانی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات چای کشور، شماره ثبت؛ ۴۲۳۲۰.

۴. فاطمی‌چوکامی، ع. ۱۳۹۶. مطالعه تأثیر نوع و مقدار کود پتاسیمی بر عملکرد و کیفیت محصول چای. گزارش پایانی، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده چای. شماره فروست؛ ۵۳۳۳۹.

۵. مجددی، ح.، مرادمندجلالی، ع.، اسماعیل پور، س. و بهمنیار، م.۱۳۹۱. تاثیر تغییر کاربری اراضی جنگلی بر خصوصیات شیمیایی خاک. پژوهش های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۲۵(۴)، ۱-۶.

6. Al-Baquy, M. A., Li, J.-Y., Xu, C.-Y., Mehmood, K., and Xu, R.-K. 2017. Determination of critical pH and Al concentration of acidic Ultisols for wheat and canola crops. Solid Earth, 8(1): 149-159.

7. Bahrami, A., Emadodin, I., Ranjbar Atashi, M., and Rudolf Bork, H. 2010. Land-use change and soil degradation: A case study, North of Iran. Agriculture and Biology Journal of North America, 1(4): 600-605.
8. Bandyopadhyay, S., Dutta, D., Chattopadhyay, T., Reza, S. K., Dutta, D. P., Baruah, U. and Singh, S. K. 2014. Characterization and classification of some tea-growing soils of Jorhat district, Assam. Agropedology, 24(2): 138-145.
9. Beretta, A. N., Silbermann, A. V., Paladino, L., Torres, D., Bassahun, D., Musselli, R., and García-Lamohte, A. (2014). Soil texture analyses using a hydrometer: Modification of the Bouyoucos method. Ciencia e Investigación Agraria, 41(2): 263-271.
10. Bertsch, P. M., and Bloom, P. R. 1996. Aluminum. p. 517-550. In D. L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis. Part 3. Third edition. Chemical Methods. ASA and SSSA, Madison, WI.
11. Bremner, J. M. 1996. Total Nitrogen. p. 1149-1178. In D. L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Third edition. ASA and SSSA, Madison, WI.
12. Cao, H. L., Cai, F. Y., Jiao, W.-B., Liu, C., Zhang, N., Qiu, H.-Y. and Lü, J. 2018. Assessment of tea garden soils at An'xi County in southeast China reveals a mild threat from contamination of potentially harmful elements. Royal Society Open Science, 5(8): 180050.
13. Conyers, M. K., and Davey, B. G. J. S. S. 1988. Observations on some routine methods for soil pH determination. Soil Science, 145(1): 29-36.
14. Darvishi-Foshtomi, M., Norouzi, M., Rezaei, M., Akef, M., and Akbarzadeh, A. 2011. Qualitative and economic land suitability evaluation for tea (*Camellia sinensis* L.) in sloping area of Guilan, Iran. Journal of Biological Environmental Sciences, 5(15): 135-146.
15. Dengiz, O., Sekan, İ., Saygin, F., and İmamoğlu, A. 2020. Assessment of soil quality index for tea cultivated soils in Ortaçay micro catchment in Black Sea region. Journal of Agricultural Sciences, 26(1): 42-53.
16. Ding, Z. J., Shi, Y. Z., Li, G. X., Harberd, N. P., and Zheng, S. J. 2021. Tease out the future: How tea research might enable crop breeding for acid soil tolerance. Plant Communications, 2(3), 100182.
17. Enesi, R. O., Dyck, M., Chang, S., Thilakarathna, M. S., Fan, X., Strelkov, S., and Gorim, L. Y. 2023. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability - a meta-analysis. Frontiers in Agronomy, 5:1194896.
18. Erdemoğlu, S. B., Pyrzyniska, K., and Güçer, Ş. 2000. Speciation of aluminum in tea infusion by ion-exchange resins and flame AAS detection. Analytica Chimica Acta, 411: 81.
19. Fageria, N.K. Ballgar, V.C., and Wright, R.J. 1988. Aluminum toxicity in crop plants. Journal of Plant Nutrition, 11(3): 309-319.
20. Fang, X.-M., Chen, F.-S., Hu, X.-F., Yuan, P.-C., Li, J., and Chen, X. 2014. Aluminum and nutrient interplay across an age-chronosequence of tea plantations within a hilly red soil farm of subtropical China. Soil Science and Plant Nutrition, 60(4): 448-459.
21. Frankowski, M., Ziola-Frankowska, A., and Siepak, J. 2013. From soil to leaves-Aluminum fractionation by single step extraction procedures in polluted and protected areas. Journal of Environmental Management, 127:1-9.
22. Hajiboland, R. 2017. Environmental and nutritional requirements for tea cultivation. Folia Horticulturae, *29*(2): 199-220.
23. Hajiboland, R., Barceló, J., Poschenrieder, C., and Tolrà, R. 2013. Amelioration of iron toxicity: A mechanism for aluminum-induced growth stimulation in tea plants. Journal of Inorganic Biochemistry, 128: 183-187.

24. Hajiboland, R., Moradi, A., Kahneh, E., Poschenrieder, C., Nazari, F., Pavlovic, J., Nikolic, M. 2023. Weed species from tea gardens as a source of novel aluminum hyperaccumulators. Plants, 12(11): 2129.
25. Hajimahmoodi, H., Hanifeh, M., Oveisi, M., Sadeghi, N., and Janat, B. 2008. Determination of total antioxidant capacity of green teas by the ferric reducing/antioxidant power assay. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 5(3): 167-172.
26. Hamid, F., Ahmad, T., Waheed, A., Ahmad, N., and Aslam, S. 2014. Effect of different levels of nitrogen on the chemical composition of tea (*C. sinensis* L.) grown at higher altitude. Journal of Materials and Environmental Science, 5(1): 37-80.
27. Han, T., Cai, A., Liu, K., Huang, J., Wang, B., Li, D., Qaswar, M., Feng, G., and Zhang, H. 2019. The links between potassium availability and soil exchangeable calcium, magnesium, and aluminum are mediated by lime in acidic soil. Journal of Soils and Sediments, 19 (3):1382-1392.
28. Horst, W. J., Wang, Y., and Eticha, D. 2010. The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. Annals of Botany, 106(1): 185-197.
29. Huang, W., Lin, M., Liao, J., Li, A., Tsewang, W., Chen, X., and Zheng, P. 2022. Effects of potassium deficiency on the growth of tea (*Camelia sinensis*) and strategies for optimizing potassium levels in soil: A critical review. Horticulturae, 8(7): 660.
30. Helmke, P. A., & Sparks, D. L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. p. 551-574. In D. L. Sparks (ed.). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods ASA and SSSA, Madison, WI.
31. Hosseinikhah-Choshali, A., Seraji, A., Rezaee, S., and Shirinfekr, A. 2013. The relationship between soil pH and population level of Pratylenchus loosi in tea plantations of Iran. Archives of phytopathology and plant protection, 46(12): 1384-1392.
32. Hu, X.-F., Chen, F.-S., Wine, M. L., and Fang, X.-M. 2017. Increasing acidity of rain in subtropical tea plantation alters aluminum and nutrient distributions at the root-soil interface and in plant tissues. Plant and Soil, 417(1): 261-274.
33. Jiang, Y., Yang, X., Ni, K., Ma, L., Shi, Y., Wang, Y., Ruan, J. 2023. Nitrogen addition reduces phosphorus availability and induces a shift in soil phosphorus cycling microbial community in a tea (Camellia sinensis L.) plantation. Journal of Environmental Management, 342, 118207.
34. Jones Jr, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press.
35. Kahneh, E., Shirinfekr, A., Ramzi, S., and Salimi, K. M. 2022. Effects of long-term tea (*Camellia sinensis*) cultivation on the earthworm populations in northern Iran. Eurasian Journal of Soil Science, 11(3): 234-240.
36. Khormali, F., Foomani, F. K., and Fatemi, A. 2012. Tea yield and soil properties as affected by slope position and aspect in Lahijan area, Iran. International Journal of Plant Production, 1(1): 99-111.
37. Kome, G. K., Enang, R. K., Yerima, B. P. K., and Lontsi, M. G. R. 2018. Models relating soil pH measurements in H_2O, KCl and $CaCl_2$ for volcanic ash soils of Cameroon. Geoderma Regional, 14: e00185.
38. Kuo, S. 1996. Phosphorus. p. 869-919. In D. L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Third edition. ASA and SSSA, Madison, WI.
39. Li, S., Li, H., Yang, C., Wang, Y., Xue, H., and Niu, Y. 2016. Rates of soil acidification in tea plantations and possible causes. Agriculture, Ecosystems and Environment, 233: 60-66.

40. Lierop, W.V. 1981. Conversion of organic soil pH values measured in water, 0.01M $CaCl_2$ or 1N KCl. Canadian Journal of Soil Science, 61: 577-579.
41. Liu, H., Zhu, R., Shu, K., Lv, W., Wang, S., and Wang, C. 2022. Aluminum stress signaling, response, and adaptive mechanisms in plants. Plant Signaling and Behavior, 17(1): 2057060.
42. Ma, L., Zhu, Y., Geng, S., Ruan, J. 2022. Response of nutritional status and tea quality to the rate and substitution of chemical fertilizers with organic manure. Horticulturae, 8:1198.
43. Malakar, H., Timsina, G., Dutta, J., Borgohain, A., Deka, D., Babu, A., Paul, R.K., Yeasin, M., Rahman, F.H., Panja, S. and Karak, T. 2022. Sick or rich: Assessing the selected soil properties and fertility status across the tea-growing region of Dooars, West Bengal, India. Frontiers in Plant Science. 13:1017145.
44. Manrique, L. A. 1986. The relationship of soil pH to aluminum saturation and exchangeable aluminum in ultisols and oxisols. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 17(4): 439-455.
45. Mehmood, K., Li, J.-Y., Jiang, J., Shi, R.-Y., Liu, Z.-D., and Xu, R.-K. 2017. Amelioration of an acidic ultisol by straw-derived biochars combined with dicyandiamide under application of urea. Environmental Science and Pollution Research, 24(7): 6698-6709.
46. Miller, R.O. and Kissel, D.E. 2010. Comparison of soil pH methods on soils of north America. Soil Science Society America Journal, 74: 310-316.
47. Minasny, B., McBratney, A. B., Brough, D. M., and Jacquier, D. 2011. Models relating soil pH measurements in water and calcium chloride that incorporate electrolyte concentration. European Journal of Soil Science, 62(5): 728-732.
48. Muhammad, N., Zvobgo, G., and Zhang, G.-P. 2019. A review: The beneficial effects and possible mechanisms of aluminum on plant growth in acidic soil. Journal of Integrative Agriculture, 18: 1518–1528.
49. Mukhopadyay, M., Bantawa, P., Das, A., Sarkar, B., Bera, B., Ghosh, P., and Mondal, T. K. 2012. Changes of growth, photosynthesis and alteration of leaf antioxidative defence system of tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] seedlings under aluminum stress. BioMetals, 25(6): 1141-1154.
50. Mukherjee M., Chakraborty S., Sarkar S., Saha S., Majumder S., Ghosh A., and Bhattacharya M. 2020. Soil Nutritional Status of Tea Plantations in Plains of Sub Himalayan West Bengal, Indian. Current Agriculture Research Journal, 8(3): 239-246.
51. Nelson, D. W., and Sommers, L. E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In D. L. Sparks (ed.), Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Third edition. ASA and SSSA, Madison, WI.
52. Oh, K., Kato, T., Li, Z.-P., and Li, F.-Y. 2006. Environmental problems from tea cultivation in Japan and a control measure using calcium cyanamide. Pedosphere, 16(6): 770-777.
53. Pansu, M., and Gautheyrou, J. 2007. Handbook of soil analysis: Mineralogical, organic and inorganic methods. Springer, Berlin.
54. Peng, A., Yu, K., Yu, S., Li, Y., Zuo, H., Li, P., Li, J., Huang, J., Liu, Z., and Zhao, J. 2023. Aluminum and fluoride stresses altered organic acid and secondary metabolism in tea (*Camellia sinensis*) Plants: Influences on plant tolerance, tea quality and safety. International Journal of Molecular Sciences, 24(5):4640.
55. Prawira-Atmaja, M. I., Shabri, Khomaini, H. S., Maulana, H., Harianto, S., and Rohdiana, D. 2018. Changes in chlorophyll and polyphenols content in *Camellia sinensis* var. sinensisat different stage of leaf maturity. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 131(1):012010.
56. Roozitalab, M. H., Siadat, H., and Farshad, A. 2018. The soils of Iran. World soils book series. Springer Cham.

57. Ruan, J., Ma, L., Shi, Y., and Zhang, F. 2004. Effects of litter incorporation and nitrogen fertilization on the contents of extractable aluminium in the rhizosphere soil of tea plant (*Camallia sinensis* (L.) O. Kuntze). Plant and Soil, 263(1): 283-296.
58. Ruan, J., Ma, L., and Shi, Y.2006. Aluminium in tea plantations: mobility in soils and plants, and the influence of nitrogen fertilization. Environmental Geochemistry and Health, 28(6): 519-528.
59. 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.
60. Safaei-Chaeikar, S., Marzvan, S., Jahangirzadeh Khiavi, S., and Rahimi, M. 2020. Changes in growth, biochemical, and chemical characteristics and alteration of the antioxidant defense system in the leaves of tea clones (*Camellia sinensis* L.) under drought stress. Scientia Horticulturae, 265: 109257.
61. Shirinfekr, A., Oustan, S., Najafi, N., and Reyhanitabar, A. 2022. Morphological and biochemical responses of some promising tea genotypes to aluminum-induced soil acidification. International Journal of Horticultural Science and Technology, 9(4): 463-476.
62. Singleton, V. L., Orthofer, R., and Lamuela-Raventós, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. p.152-178. In L. Packer (ed.) Methods in Enzymology,Vol. 299. Academic Press.
63. Street, R., Drabek, O., Szakova, J., and Mladkova, L. 2007. Total content and speciation of aluminium in tea leaves and tea infusions. Food Chemistry, 104(4): 1662-1669.
64. Stumpe, J. M., and Vlek, P. L. G. 1991. Acidification induced by different nitrogen sources in columns of selected tropical soils. Soil Science Society of America Journal, 55(1): 145-151.
65. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. In D. L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Third edition. ASA and SSSA, Madison, WI.
66. Tolrà, R., Martos, S., Hajiboland, R., and Poschenrieder, C. 2020. Aluminium alters mineral composition and polyphenol metabolism in leaves of tea plants (*Camellia sinensis*). Journal of Inorganic Biochemistry, 204:110956.
67. Tong, D., and Xu, R. 2012. Effects of urea and $(NH_4)_2SO_4$ on nitrification and acidification of Ultisols from Southern China. Journal of Environmental Sciences, 24(4): 682-689.
68. Uwiragiye Y., Ngaba M.J.Y., Yang M., Elrys A.S., Chen Z., and Zhou J. 2023. Spatially explicit soil acidification under optimized fertilizer use in sub-Saharan Africa. Agronomy, 13(3):632.
69. Walna, B., Spychalski, W., and Siepak, J. 2005. Assessment of potentially reactive pools of aluminium in poor forest soils using two methods of fractionation analysis. Journal of Inorganic Biochemistry, 99(9): 1807-1816.
70. Wang, H., Xu, R.-K., Wang, N., and Li, X.-H. 2010. Soil acidification of Alfisols as influenced by tea cultivation in eastern China. Pedosphere, 20(6): 799-806.
71. Wei, K., Liu, M., Shi, Y., Zhang, H., Ruan, J., Zhang, Q., and Cao, M. 2022. Metabolomics reveal that the high application of phosphorus and potassium in tea plantation inhibited amino-acid accumulation but promoted metabolism of flavonoid. Agronomy, 12(5):1086.
72. Willson, K. C., and Clifford, M. N. 2012. Tea: Cultivation to consumption: Chapman and Hall, London, p. 792.
73. Yan, P., Wu, L., Wang, D., Fu, J., Shen, C., Li, X., and Wen-yan, H. 2020. Soil acidification in Chinese tea plantations. Science of the Total Environment, 715: 136963.

74. Yang, Y., Liu, Y., Huang, C.-F., de Silva, J., and Zhao, F.-J. 2016. Aluminium alleviates fluoride toxicity in tea (*Camellia sinensis*). Plant and Soil, 402, 179–190.
75. Yu, J., Xia, L., Yin, D., and Zhou, C. 2018. Effects of phosphorus on aluminum tolerance of Chinese fir seedlings. Scientia Silvae Sinicae, 54(5): 36-47.
76. Zhang, J., Yang, R., Chen, R., Peng, Y., Wen, X., and Gao, L. 2018. Accumulation of heavy metals in tea leaves and potential health risk assessment: A case study from Puan County, Guizhou Province, China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(1):133.

Investigating the Relationship between Soil Acidity and Some Quality Characteristics of Tea Green Leaves in Tea Plantations of Gilan Province

A. Shirinfekr*, S. Oustan , N. Najafi and A. Reyhanitabar

Tea Research Center, Horticultural Science Research Institute, AREEO, Lahijan, Iran - Former student of University of Tabriz:shirinfekr@gmail.com
Faculty of Agriculture, Department of Soil Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran oustan@hotmail.com
Faculty of Agriculture, Department of Soil Science, University of Tabriz, Tabriz, n-najafi@tabrizu.ac.ir
Faculty of Agriculture, Department of Soil Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran areyhani@tabrizu.ac.ir
Iran
Received: September 25, 2023and Accepted: December 18, 2023

Abstract

Tea is a permanent and evergreen plant that grows adeptly in acidic soils. The tea plant naturally absorbs aluminum and accumulates it in various shoot parts. Although aluminum is essential for tea growth, it is harmful to human health. Evaluating aluminum status in both soils and tea green leaves is necessary to better understand their relationships in order to improve the quality as well as quantity of tea yields. For this purpose, 38 samples of the soils and the third green leaves of tea (as an index leaf) were collected randomly from tea plantations of Guilan Province. In soil samples, besides the general properties, the values of pH_w, pH_{CaCl2}, exchangeable aluminum, calcium and magnesium, total nitrogen and available concentrations of phosphorus and potassium were determined. Concentrations of the aforementioned nutrients along with iron and zinc were also evaluated in the tea leaves. Based on the results, the mean values of pH_w and pH_{CaCl2}, and the mean concentrations of soil exchangeable aluminum and leaf aluminum were 4.51, 4.04, 256 mg/kg, and 1362 mg/kg, respectively. The soil exchangeable aluminum had inverse power relationships with pH_w and pH_{CaCl2} with the coefficients of determination of 66% and 84%, respectively. This indicated that the pH_{CaCl2} was more valid than pH_w. Leaf Al concentration showed no significant correlation with soil pH, but had significant relationship with soil exchangeable aluminum (r=0.69**). Furthermore, the total polyphenol content of the green tea leaves had no significant correlation with leaf Al concentration, but had significant relationship with $\frac{Fe+Zn}{Al}$ ratio in tea leaves (r=0.64***). According to the lower limit of optimum pH for tea plantations (pH=4.5), the maximum permissible concentration of soil exchangeable aluminum was estimated to be 153 mg/kg. In order to control soil exchangeable aluminum and adjusting soil pH, it is recommended to use lime or dolomite, based on the soil buffering capacity.

Keywords: Exchangeable aluminum, Third green leaf, Total polyphenol, Available concentration

* Corresponding author's email: shirinfekr@gmail.com