

عوامل مؤثر در تغییرات میزان املاح معدنی (خاکستر) محلول در آب چای طی سال‌های اخیر در ایران

شیوا روفی‌گری حقیقت^{۱*}، احمد شیرین‌فکر^۱ و علیرضا نیک‌کار^۲

^۱ پژوهشکده چای، مؤسسه تحقیقات باغبانی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

^۲ اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان گیلان

*sh354haghighat@gmail.com

بیان مسأله

یکی از مهم‌ترین منابع در دسترس برای راهنمایی تولید یک محصول مناسب، مراجع استاندارد یا بروشورهای تدوین شده در استاندارد ملی هر کشور می‌باشند. اطلاعات مهمی مانند ویژگی‌های محصول خوب و مناسب مصرف، چگونگی فرآوری، نگهداری، بسته‌بندی و توزیع آن و روش‌های ارزیابی کیفیت و کشف تقلبات صورت گرفته در آن فرآورده در این بروشورها به تولیدکنندگان، صنایع تبدیلی و مصرف‌کنندگان ارائه می‌گردد (شکرگزار و روفی‌گری حقیقت، ۱۳۹۹). چای نیز به عنوان یک محصول نوشیدنی رایج در ایران از حدود قابل پذیرش ویژگی‌های کیفی در استاندارد برخوردار است. استاندارد ملی ایران به شماره ۶۲۳ همه ویژگی‌های کیفی لازم برای چای سیاه را مشخص و برای هر ویژگی مقدار قابل پذیرش را اعلام نموده است. لذا تولیدکنندگان چای ملزم به رعایت حدود استاندارد برای عرضه محصول به بازار مصرف می‌باشند. یکی از این ویژگی‌ها میزان مواد معدنی محلول در آب است که با عنوان خاکستر محلول در آب در استاندارد ۶۲۳ آورده شده است. طبق تعریف این استاندارد، خاکستر محلول در آب عبارت

است از بخشی از خاکستر کل، که در آب محلول می‌باشد و بخش باقی مانده به خاکستر غیرمحلول در آب گفته می‌شود. مقدار مجاز خاکستر کل در چای خشک، ۴ تا ۸ درصد تعیین شده است و باید بیش از ۴۵ درصد آن در آب محلول باشد (استاندارد ملی ایران، ۶۲۳). نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، منگنز، روی و مس از مهمترین مواد معدنی محلول چای هستند (گروه مؤلفین، ۱۳۸۷).

املاح معدنی (خاکستر) محلول در آب نقش مهمی در افزایش کمی و کیفی چای دارند. اما در سال‌های اخیر مقدار آن در چای سیاه به طور قابل توجهی کاهش یافته است. این موضوع سبب شد تا تعداد زیادی از کارخانجات چایسازی صرفاً به دلیل افت مقدار خاکستر محلول، موفق به دریافت نشان استاندارد نشوند. در این مقاله، ضمن بررسی گزارشات نتایج آزمون نمونه‌های تعدادی از کارخانجات چایسازی و مقایسه آنها به حدود استاندارد ملی ایران، عوامل مؤثر در این نقصان نیز مورد کندوکاو قرار می‌گیرد.

روش اجرا

در این بررسی، نتایج تجزیه کیفی نمونه‌های چای سیاه از ۲۶ واحد تولیدی چای در استان گیلان طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۳ جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها شامل ارقام چای شکسته ممتاز، شکسته و قلم بودند که از نظر بیشتر ویژگی‌های کیفی در محدوده استاندارد قرار داشتند. درصد

فراوانی، میانگین، میانه و انحراف معیار برای ویژگی درصد خاکستر محلول در آب با استفاده از نرم افزار اکسل تعیین گردید و نمودار هیستوگرام رسم شد. از آزمون T برای تعیین تفاوت معنی‌دار بین مقادیر بحرانی ویژگی خاکستر محلول استفاده شد.

نتایج

درصد نمونه‌ها با وجود اینکه از سایر ویژگی‌های استاندارد مورد پذیرش قرار گرفته‌اند؛ اما از نظر مقدار خاکستر محلول در آب دچار نقص شده‌اند. این در حالی است که مقدار میانگین و میانه در این بررسی برابر $43/9$ برآورد گردید. نمودار ۲ نشان می‌دهد نسبت خاکستر محلول به خاکستر کل در ۲۹ درصد نمونه‌های چای کمتر از ۴۲ درصد است.

برآورد درصد خاکستر محلول در آب در بیش از ۱۹۰ نمونه و طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۳ نشان داد این درصد نسبت به خاکستر کل در نمونه‌های چای بین ۲۹ تا ۵۷ درصد متغیر بوده است (شکل ۱). نمودار تجمعی، نشان می‌دهد؛ مقدار این ویژگی در بیش از ۶۰ درصد نمونه‌ها کمتر از ۴۵ درصد است (شکل ۲). به عبارتی بیش از ۶۰



شکل ۱- فراوانی نسبی درصد خاکستر محلول نسبت به خاکستر کل در نمونه‌های چای مورد بررسی

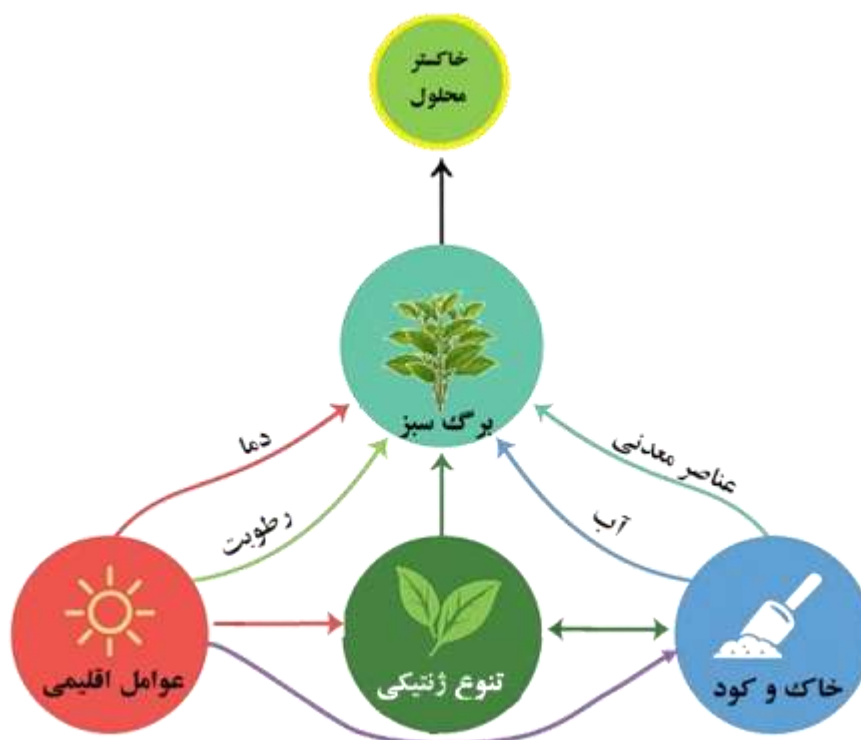


شکل ۲- فراوانی تجمعی درصد خاکستر محلول نسبت به خاکستر کل در نمونه‌های چای مورد بررسی

بحث و تحلیل

از جمله مهم‌ترین مواد معدنی چای که محلول در آب (خاکستر محلول در آب) هستند؛ نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، منگنز، روی و مس می‌باشند. نیتروژن، یکی از مهم‌ترین عناصر تشکیل دهنده کلروفیل، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها،

هورمون‌ها و ویتامین‌ها است (گروه مؤلفین، ۱۳۸۷). میزان خاکستر محلول در آب در چای به عوامل متعددی، از جمله تنوع ژنتیکی، حاصلخیزی خاک، اقلیم، روش‌های برداشت و فراوری وابسته است (شکل ۳).



شکل ۳- عوامل تأثیرگذار بر میزان خاکستر محلول چای

۱- تنوع ژنتیکی (کلون‌ها و واریته‌ها):

مطالعات نشان داده‌اند که تفاوت‌های ژنتیکی بین کلون‌های چای می‌تواند بر میزان خاکستر محلول در آب تأثیر بگذارد. برخی کلون‌ها به‌طور طبیعی دارای محتوای بالاتری از مواد معدنی محلول هستند که به افزایش خاکستر محلول در آب منجر می‌شود. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای، میزان خاکستر محلول در آب در کلون‌های مختلف چای سبز بین ۴۴.۶٪ تا ۶۱.۲٪ متغیر بوده است (جایاوردهان و همکاران، ۲۰۱۶). باغ‌های چای کشور از نظر ساختاری دارای بوته‌های بذری و در نتیجه تفرق ژنتیکی زیادی داشته و در نتیجه، تفاوت گسترده داده‌ها قابل پیش‌بینی و انتظار است. اما حداکثر و حداقل خیلی پایین در نتیجه میانگین

خیلی پایین درصد خاکستر محلول در آب، ممکن است به عوامل دیگری به غیر از عامل ژنتیکی مرتبط باشد.

۲- عوامل اقلیمی

تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر به یکی از چالش‌های اصلی در کشاورزی جهانی تبدیل شده‌اند. گیاه چای نیز به‌عنوان یکی از محصولات حساس به شرایط اقلیمی، تحت تأثیر مستقیم این تغییرات قرار دارد. اثرات تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما، کاهش رطوبت نسبی، تنش آبی، افزایش CO₂ و تغییر در الگوهای فصلی، بر جذب و انتقال عناصر غذایی و سنتز ترکیبات اولیه و ثانویه تأثیرگذار است. این عوامل، موجب تغییر در کیفیت، کمیت و ترکیب شیمیایی

برگ‌های چای می‌شوند که در نهایت بر میزان خاکستر محلول در آب تأثیر می‌گذارد.

افزایش دما باعث کاهش رطوبت نسبی، افزایش تبخیر-تقرق و به‌دنبال آن بروز تنش حرارتی در گیاه چای می‌شود (Ahmed et al., 2019). این تنش‌ها با اختلال در تعادل فیزیولوژیکی، کاهش جذب عناصر معدنی از جمله پتاسیم، کلسیم و منیزیم، و اختلال در سنتز متابولیت‌های ثانویه همراه هستند که در نهایت به کاهش خاکستر محلول در آب منجر می‌شود. علاوه‌براین، دمای بالا موجب تسریع در بلوغ برگ‌ها شده و دوره فتوسنتز مؤثر را کاهش می‌دهد که تأثیر منفی بر مقدار ترکیبات موجود در برگ‌ها دارد.

در کنار افزایش دما، کاهش میزان بارندگی و افزایش دوره‌های خشکسالی نیز از عوامل مهم تنش‌زای اقلیمی محسوب می‌شوند. در چنین شرایطی، سیستم ریشه‌ای گیاه دچار محدودیت عملکرد شده و توانایی جذب عناصر غذایی کاهش می‌یابد. مکانیسم جذب توده‌ای که به جریان تبخیر-تقرق وابسته است، در نتیجه خشکی مختل می‌شود و توانایی ماتریک خاک برای جذب و انتقال آب به اندام‌های هوایی به حداقل می‌رسد. این اختلال به‌ویژه بر جذب عناصری چون پتاسیم، کلسیم و منیزیم تأثیر می‌گذارد؛ عناصری که نقش مهمی در ساختار خاکستر محلول در آب دارند (Li et al., 2021).

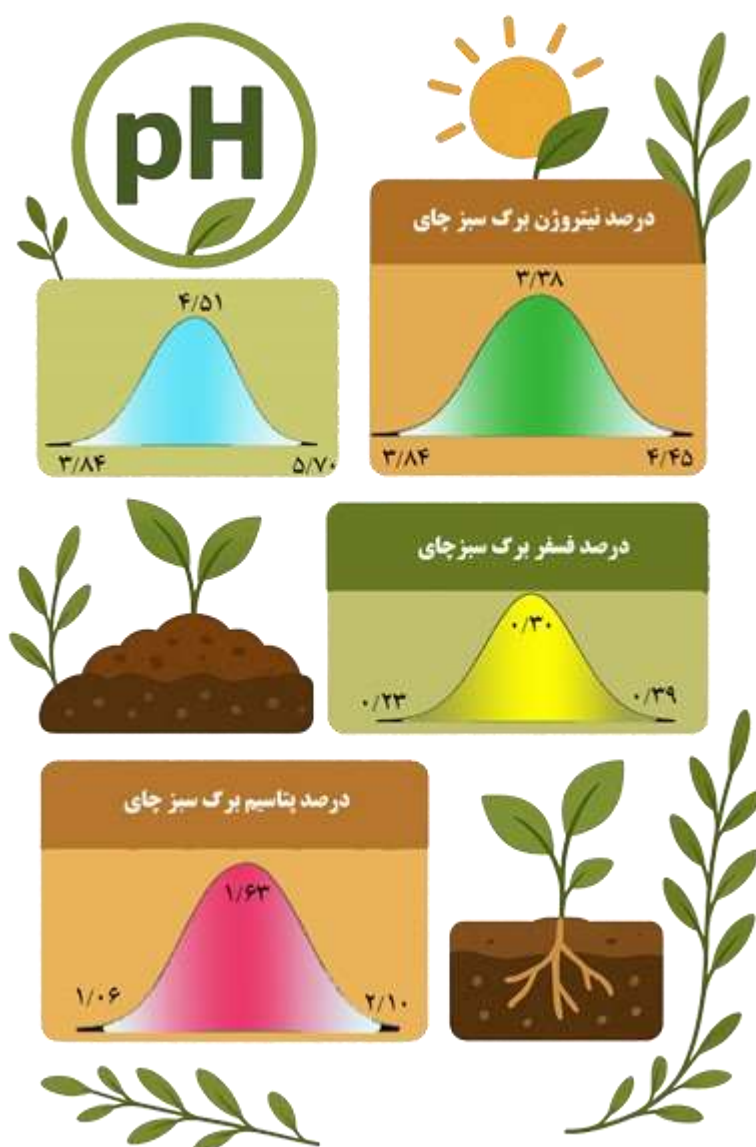
از دیگر نشانه‌های تغییرات اقلیمی، بی‌نظمی در الگوهای فصلی مانند زمان شروع و پایان بارندگی و نوسانات شدید دمایی است. این اختلالات، منجر به عدم تطابق زمان رشد و برداشت با شرایط زیستی بهینه می‌شوند. برای مثال، در بهاری که زودتر از حد معمول فرا می‌رسد، خاک هنوز به اندازه کافی گرم نشده است و جذب عناصر غذایی با کندی انجام می‌پذیرد، به‌طوری که گیاه برای رشد برگ‌های جوان، بیشتر به ذخیره‌های غذایی موجود در بافت‌های دائمی متکی می‌شود (Wijeratne et al., 2007). در چنین شرایطی، متابولیسم گیاه دستخوش تغییر شده و محتوای پلی‌فنول‌ها، اسیدهای آمینه و سایر ترکیبات

مؤثر در کیفیت نهایی برگ و درصد خاکستر محلول در آب کاهش می‌یابد (Ahmed et al., 2019).

اثر تغییرات اقلیمی به‌طور قابل‌توجهی به موقعیت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، نوع خاک، و اقلیم محلی وابسته است. مناطق مرتفع‌تر که به‌طور سنتی دارای دمای پایین‌تر و شرایط خنک‌تری بوده‌اند، در صورت افزایش دما ممکن است شرایط بهینه خود را از دست بدهند. این مناطق به دلیل حساسیت بالاتر به تغییر دما، بیشتر در معرض کاهش کیفیت محصول قرار دارند. همچنین نوع بافت خاک، ظرفیت نگهداری آب و شدت تبخیر در هر منطقه، نقش مهمی در تعیین شدت تأثیر تغییر اقلیم بر جذب عناصر غذایی و در نتیجه، کیفیت نهایی برگ چای ایفا می‌کند.

۳- عوامل خاکی

حاصلخیزی خاک به مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن گفته می‌شود که توانایی خاک در تأمین عناصر مورد نیاز گیاه را تعیین می‌کند (Brady & Weil, 2016). مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی، حفظ و عرضه تدریجی عناصر را برای گیاه تضمین می‌کند. این شرایط به‌ویژه برای عناصری مانند پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و آهن (Fe) که در کیفیت چای و تشکیل خاکستر محلول در آب نقش دارند دارای اهمیت است (Ruan et al., 2010). بررسی‌های انجام شده در ۳۸ نقطه از باغ‌های چای کشور بصورت خلاصه در شکل ۴ آمده است (شیرین‌فکر و همکاران ۱۴۰۲). با توجه به جدول، مشاهده می‌شود که کمترین مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در برگ‌های چای بیشتر در خاک‌های اسیدی با pH کمتر از ۴ مشاهده می‌شود و در عوض، با افزایش مقدار pH خاک به بالاتر از ۵ این عناصر افزایش قابل توجهی دارند. همچنین، یک همبستگی منفی بین pH و آلومینیم خاک ($R^2 = 0.66^{**}$) مشاهده می‌شود (شیرین‌فکر و همکاران ۱۴۰۲).



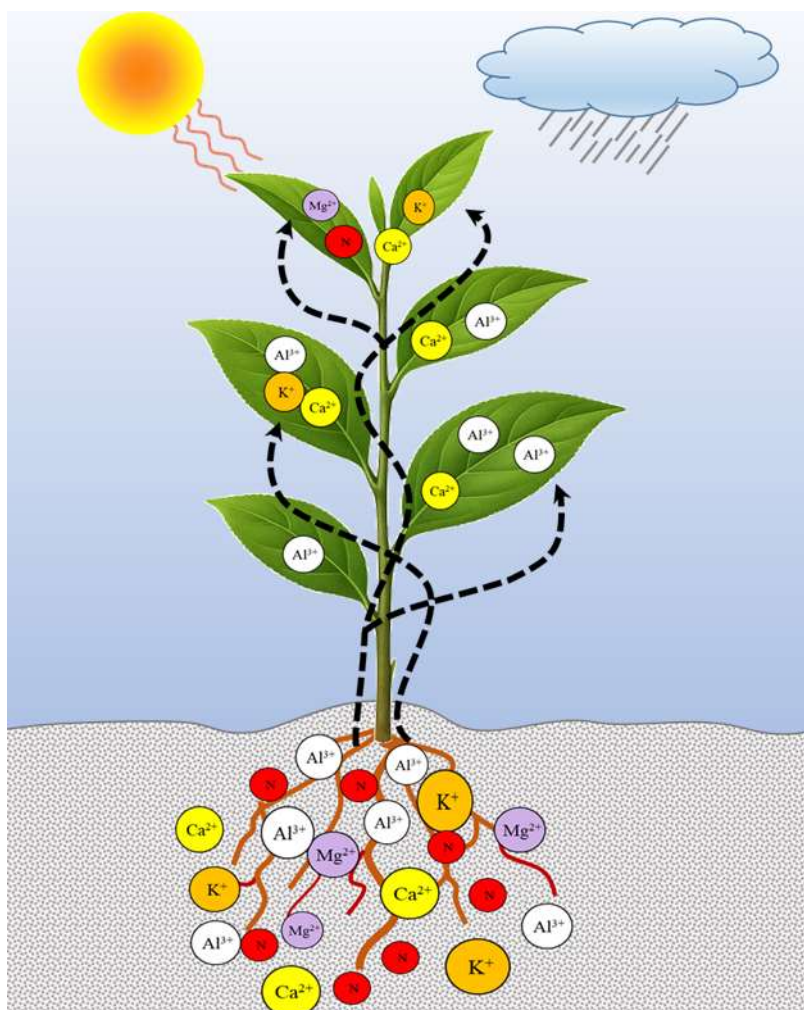
شکل ۴- کمینه، میانگین و بیشینه عناصر غذایی (اعداد به درصد) در برگ سبز چای و همچنین pH خاک باغ چای (شیرین فکر و همکاران ۱۴۰۲)

در خاک‌های اسیدی باغ‌های چای، جذب برخی عناصر مانند آلومینیوم و منگنز افزایش یافته، ولی جذب عناصر ضروری مانند کلسیم، منیزیم و پتاسیم و فسفر محدود می‌شود (Wang et al., 2016). آلومینیوم می‌تواند از طریق چند مکانیسم مختلف، به ویژه از طریق مهار فعالیت پمپ پتاسیم (H^+/K^+ ATPase) و تغییر پتانسیل غشای سلولی در عملکرد کانال‌های پتاسیمی اختلال ایجاد کرده و باعث کاهش جذب پتاسیم شود. همچنین، آلومینیوم (Al^{3+}) محلول با رقابت یونی شدید، جذب کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) را مختل می‌کند (شکل ۵). این اختلال، ناشی از جایگزینی آلومینیوم در مکان‌های تبادل کاتیونی ریشه و نیز تأثیر مستقیم آن بر نفوذپذیری غشای سلولی است که باعث نشت کاتیون‌ها و کاهش انتقال آن‌ها به اندام‌های هوایی می‌شود. همچنین، آلومینیوم با بر هم زدن مسیرهای سیگنال‌دهی وابسته به کلسیم، رشد طبیعی ریشه را مختل می‌کند که منجر به کاهش کارایی جذب عناصر غذایی دیگر نیز می‌شود (Kochian, 1995; Rengel, 1992; Marschner, 2012).

در خاک‌های اسیدی باغ‌های چای، جذب برخی عناصر مانند آلومینیوم و منگنز افزایش یافته، ولی جذب عناصر ضروری مانند کلسیم، منیزیم و پتاسیم و فسفر محدود می‌شود (Wang et al., 2016). آلومینیوم می‌تواند از طریق چند مکانیسم مختلف، به ویژه از طریق مهار فعالیت پمپ پتاسیم (H^+/K^+ ATPase) و تغییر پتانسیل غشای سلولی در عملکرد کانال‌های پتاسیمی اختلال ایجاد کرده و باعث کاهش جذب پتاسیم شود. همچنین، آلومینیوم (Al^{3+}) محلول با رقابت یونی شدید، جذب کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) را مختل می‌کند (شکل ۵). این اختلال، ناشی از جایگزینی آلومینیوم در مکان‌های تبادل کاتیونی ریشه و نیز تأثیر مستقیم آن بر نفوذپذیری غشای سلولی است که باعث نشت کاتیون‌ها و کاهش انتقال آن‌ها به اندام‌های هوایی می‌شود. همچنین، آلومینیوم با بر هم زدن مسیرهای سیگنال‌دهی وابسته به کلسیم، رشد طبیعی ریشه را مختل می‌کند که منجر به کاهش کارایی جذب عناصر غذایی دیگر نیز می‌شود (Kochian, 1995; Rengel, 1992; Marschner, 2012).

حاصلخیزی خاک و در نهایت تأمین مواد معدنی برگ چای است. میکروارگانیزم‌های خاک با تجزیه مواد آلی، عناصر غذایی را به فرم قابل جذب برای گیاه تبدیل می‌کنند و برخی از آن‌ها مانند قارچ‌های میکوریزا مستقیماً در جذب فسفر و سایر ریزمغذی‌ها مشارکت دارند (Smith & Read, 2008).

ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند بافت، ساختمان و تهویه بر نفوذپذیری آب و ریشه تأثیر گذاشته و فراهمی عناصر را برای گیاه مهیا می‌کند. افشردگی یا اشباع بودن بیش از حد خاک، موجب محدودیت در رشد ریشه و در نتیجه کاهش جذب مواد معدنی خواهد شد (Ahmed et al., 2014). همچنین فعالیت میکروبی نیز یکی دیگر از عوامل موثر در



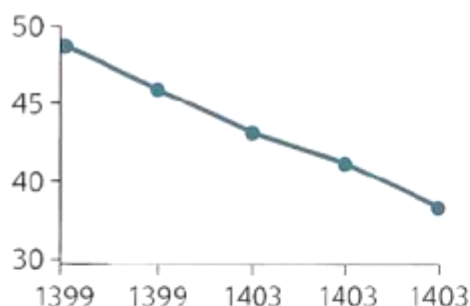
شکل ۵- جذب و رقابت برای عناصر موجود در خاک

نیتروژن بین ۴ تا ۶ درصد پتاسیم بین ۱/۲ تا ۲/۵ درصد و منیزیم بین ۰/۱۲ تا ۰/۳ درصد از وزن ماده خشک را تشکیل می‌دهد. در عوض در برگ‌های پیر شاخساره چای این عناصر به شدت کاهش پیدا می‌کنند؛ به همین سبب است که کمبود این عناصر بیشتر در برگ‌های پیر مشاهده می‌شود (شکل ۵). برعکس در مورد آلومینیم و کلسیم

۴- نحوه برگ‌چینی و سن برگ‌ها

مقدار عناصر معدنی در برگ‌های چای متفاوت است به طوری که در برگ‌های جوان عناصر متحرکی همچون پتاسیم، منیزیم و نیتروژن بالاتر از برگ‌های پیر و مسن است و از سوی دیگر آلومینیم، منگنز و کلسیم در برگ‌های پیرتر بیشتر از برگ‌های جوان هستند. در برگ‌های جوان،

با فواصل زمانی کوتاه‌تر منجر به برگ‌های جوان‌تر با محتوای بالاتر خاکستر محلول در آب و برداشت‌های زمخت‌تر (با فواصل زمانی طولانی‌تر) منجر به کاهش میزان خاکستر محلول در آب و افزایش فیبر خام می‌شود.

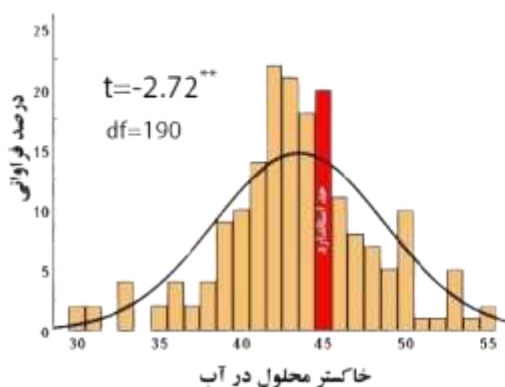


تغییرات خاکستر کل در چای ایرانی در سال‌های اخیر

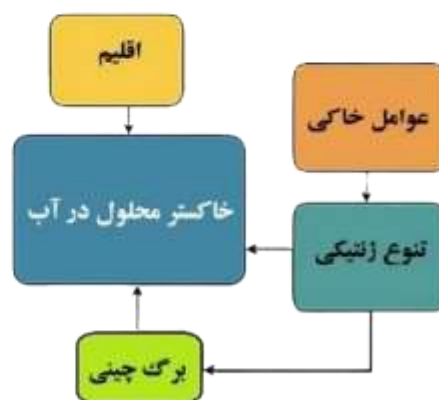
برگ‌های پایین‌تر غلظت بالاتری نسبت به برگ‌های جوان دارد بطوری که مقدار آلومینیم برگ‌های پایین تا ۰/۵ درصد اندازه‌گیری شده است (شیرین‌فکر و همکاران ۲۰۲۰). عناصر اصلی حاضر در خاکستر محلول در آب عمدتاً پتاسیم، منیزیم، کلسیم و مقدار اندکی نیتروژن است. برداشت‌های



تطابق با استاندارد ملی ایران



درصد فراوانی خاکستر محلول در آب در چای ایران



برخی از عوامل مؤثر بر مقدار خاکستر محلول در آب

شکل ۶- وضعیت میزان خاکستر محلول در آب در چای ایرانی

جمع‌بندی

کمبود عناصر غذایی ضروری، و نحوه برگ‌چینی (افزایش برداشت برگ‌های مسن‌تر) در کاهش این شاخص کیفی مؤثر بوده‌اند. این یافته‌ها لزوم بازنگری در مدیریت ژرم‌پلاسم، بهبود شرایط زراعی و تغذیه‌ای، و اصلاح تکنیک‌های برداشت به منظور ارتقاء کیفیت چای و تطابق با استاندارد ملی ایران را برجسته می‌کند.

در سال‌های اخیر، میزان خاکستر محلول در آب چای سیاه تولیدی در ایران کاهش چشمگیری داشته است بطوری که ۶۰ درصد نمونه‌ها، میزان خاکستر محلول در آب کمتر از حد استاندارد ۴۵٪ دارند (شکل ۶). تحلیل نتایج بیانگر آن است که عوامل متعددی از جمله تفرق ژنتیکی بوته‌های بذری، تغییرات اقلیمی (افزایش دما، خشکسالی، نوسانات فصلی)، کاهش حاصلخیزی خاک (اسیدی شدن و

تقدیر و تشکر

فومن، نویر، تیمن، پدیده طلای سبز لنگرود، گیل چای خزر و شرکت‌های بسته‌بندی طبیعت ماندگار، سازنده و ایلکین کمال تشکر و قدردانی را دارم.

بدینوسیله از سرکار خانم سمیرا رستمی از شرکت گشت فومن که در جمع‌آوری بخش زیادی از داده‌های آزمایشی همکاری نمودند و همچنین مساعدت همکاران اداره کل استاندارد گیلان و شرکت‌های چایسازی صنایع غذایی

پیام ترویجی

از مهمترین راهکارهای افزایش خاکستر محلول در آب در چای ایران می‌توان به مصرف بهینه کودهای شیمیایی و آلی، محلول‌پاشی عناصر غذایی مانند پتاسیم، منیزیم و روی، اصلاح اسیدیته خاک و برگ‌چینی استاندارد و در صورت وجود منابع آبی، استفاده از آبیاری در باغ‌های چای اشاره کرد.

منتخب منابع

- تقی‌شکرگزار، سیداحمد و روفی‌گری حقیقت، شیوا. (۱۳۹۹). آشنایی با استانداردهای ملی چای در ایران. نشریه فنی به شماره ۵۸۲۱۲، موسسه تحقیقات علوم باغبانی ایران، پژوهشکده چای.
- شیرین‌فکر، احمد، اوستان، شاهین، نجفی، نصرت اله و ریحانی تبار، عادل (۱۴۰۲). بررسی رابطه اسیدیته خاک با برخی از ویژگی‌های کیفی برگ سبز چای در چای‌کاری‌های استان گیلان. *پژوهش‌های خاک*, ۳۷(۳), ۲۵۹-۲۷۶.
- شیرین‌فکر، احمد و شایگان، شهرزاد. (۱۴۰۱). اهمیت پتاسیم و منیزیم در چای. *چای و دمنوش‌های گیاهی*, ۵(۲), ۸-۱۲.
- گروه مؤلفین. (۱۳۸۷). اصول فنی، بهداشتی و نظام مدیریت ایمنی فرآوری و بسته‌بندی چای. نشر معاونت غذا و دارو
- Ahmed, S., Griffin, T. S., Kraner, D., Schaffner, M. K., Sharma, D., Hazel, M., ... & Orians, C. M. (2019). Environmental Factors Variably Impact Tea Secondary Metabolites in the Context of Climate Change. *Frontiers in Plant Science*, 10, 939.
- Ahmed, S., Stepp, J. R., Orians, C. M., Griffin, T. S., Matyas, C., Robbat Jr, A., ... & Xue, D. (2014). Effects of soil type and nitrogen fertilization on secondary metabolites and leaf quality in tea. *Agricultural and Food Chemistry*, 62(44), 10767-10776.
- Ali Abaker Omer, A., Zhang, C. H., Liu, J., & Shan, Z. G. (2025). Comprehensive review of mapping climate change impacts on tea cultivation: bibliometric and content analysis of trends, influences, adaptation strategies, and future directions. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1542793.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson Education.
- Chen, D., Yu, B., Li, J., Sun, J., Tian, Y., & Liu, J. (2021). Effects of elevated atmospheric CO₂ concentration on tea quality. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125800.
- Jayawardhane, S. A. D. P. S., Madushanka, K., Mewan, K., Jayasinghe, S., Karunajeewa, N., & Edirisinghe, E. N. U. (2016, November). Determination of quality characteristics in different green tea products available in Sri Lankan supermarkets. In 6th Symposium on Plantation Crop Research (pp. 57-68).
- Li, Q., Zhang, L., Wu, L., & Zhang, Y. (2021). Drought stress alters mineral uptake and metabolism in tea plants. *Agronomy*, 11(4), 619.
- 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.
- Wang, Y., Zhang, Q., & Fan, X. (2016). Soil pH and heavy metal availability in tea-growing soils under different fertilizer treatments. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(6), 5556-5564.