Journal of Research in Horticultural Science
پژوهش در علوم باغبانی
Vol. 3, No. 2 Autumn and Winter 2024 (21–30)
جلد ۳ شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳ (ص ۳۰-۲۱)
10.22092/rhsj.2025.366050.1098
مقاله علمی پژوهشی
تارنمای مجله: https://rhsj.areeo.ac.ir

مطالعه تغییرات رنگیزه‌های برگ اکسیشن‌های منتخب چای ارغوانی طی فصل برداشت در آستانه-اشرفیه

امیر صحرارو[۱]، طاهره رضائی[۱] ، احسان کهنه[۲*] و معظم حسن‌پور اصیل[۱]

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵

چکیده

تنوع بخشی و افزایش ارزش‌افزوده یک روش توسعه اقتصادی برای افزایش بازارپسندی چای در بازارهای جدید است. چای ارغوانی، ژنوتیپی با رنگ برگ‌های قرمز-ارغوانی و غنی از آنتوسیانین است. لذا این تحقیق با هدف شناسایی و انتخاب بوته‌های چای با مقادیر بیشتر آنتوسیانین طی دوره بهره‌برداری در شهرستان آستانه‌اشرفیه اجرا گردید. بدین‌منظور با پایش میدانی باغ‌های روستاهای بازان، تجن و کیسم، بوته‌هایی با رنگ متفاوت شناسایی و بوته‌های با شماره‌های ۱، ۲، ۱۱ و ۱۲ که رنگ برگ‌ها قرمز تا بنفش و تفاوت بیشتری با رنگ معمولی برگ چای داشت، انتخاب شد. از هر بوته انتخاب‌شده، یک جوانه و دو برگ با دست برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. مقدار آنتوسیانین کل، کلروفیل و کارتنوئید اندازه‌گیری شد. به‌منظور بررسی پایداری رنگ بوته‌ها در طی فصل رویشی، در چند نوبت بازدید انجام شد. در صورت پایدار بودن رنگ ارغوانی نسبت به برگچینی اقدام و مجدداً مقدار رنگدانه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اکسیشن ۱۱ در برداشت پنجم با ۴۸۴۲/۶۸ بیشترین و در برداشت دوم با ۱۱۶۸/۹۲ میکروگرم در گرم، کمترین فعالیت آنتوسیانین و بیشترین تغییرات زمانی را داشت در حالیکه بیشترین میانگین آنتوسیانین ۳۱۷۹/۷۲ با کمترین تغییرات زمانی در اکسیشن ۱۲ ثبت شد. بیشترین مقدار کلروفیل کل و کارتنوئید هم در برداشت پنجم اکسیشن ۱ مشاهده شد. با بررسی همبستگی بین رنگیزه‌ها مشخص شد که بین مقدار آنتوسیانین و دو رنگیزه دیگر رابطه منفی وجود دارد اما معنی‌دار نیست. لذا با توجه به نتایج حاصله اکسیشن ۱۲ می‌تواند برای تحقیقات بعدی به‌منظور معرفی ژنوتیپ چای غنی از آنتوسیانین مورد پایش و مطالعه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آنتوسیانین، کلروفیل کل، کاروتنوئید، چای، ژنوتیپ.

Studying changes of leaf pigments of selected purple tea accessions during the harvest season in Astana-Ashrafieh

Amir Sahraro, Tahereh Rezaii, Ehsan Kahneh, Moazzam HasanPour Asil

1. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran
2. Tea Research Center, Horticultural Science Research Institute, AREEO, Lahijan, Iran

Received: June 2024 Accepted: February 2025

Abstract

Diversifying tea products, increasing added-value is strategic approach to enhancing marketability of tea in new markets. Purple tea, characterized by its red to purple leaves, is rich in anthocyanins. This study aimed to select tea plants with higher anthocyanin content during harvesting period in AstanaAshrafieh. Thus through field monitoring, tea gardens of Bazan, Tajan, and Kisem, bushes with distinct coloration were identified. Bushes No 11, 2, 1, and 12 were selected. These bushes displayed leaves with red to purple hues, which were markedly different from the typical leaf color. For each selected plant, one bud and two leaves were hand-picked and taken to the laboratory, where the total anthocyanin, chlorophyll, and carotenoid content were measured. To assess the stability of the leaf color during the growing season, multiple visits were made. If purple color remained stable, leaves were harvested, and the pigment content was measured. The results showed that accession11 had the highest anthocyanin activity during the 4th harvest with 4842.68, and the lowest anthocyanin activity during second harvest with 1168.92 µg/g, indicating the most temporal variation. In contrast, accession12 recorded the highest average anthocyanin 3179.72 µg/g and the least temporal variation. The highest content of total chlorophyll and carotenoid were observed in the fifth harvest of accession1. A correlation analysis between pigments revealed a negative but insignificant relationship between anthocyanin levels and the other two pigments. Based on these findings, accession12 appears to be a promising candidate for further research and potential introduction as a genotype rich in anthocyanins.

Keywords: Anthocyanin, total chlorophyll, carotenoid, tea, genotype.

*نویسنده مسئول: e.kahneh@areeo.ac.ir

۱- مقدمه

بیش از ۱۲۰ سال از ورود اولین نهال‌های چای به ایران می‌گذرد اما تاکنون تغییر محسوسی در محصولات تولیدی از برگ چای داده نشده است و همه کارخانه‌های موجود فقط از برگ سبز چای، به روش ارتودکس چای سیاه تولید می‌کنند. در سالیان اخیر تعداد اندکی از کارخانه‌ها چای سبز نیز تولید کرده‌اند. درحالی‌که امروزه در کشورهای چای‌خیز با استفاده از ژنوتیپ‌های جدید چای، سعی بر این است تا به‌جز استفاده از چای به‌عنوان نوشیدنی، استفاده دارویی و پزشکی از چای افزایش یابد. تنوع‌بخشی به محصولات و افزایش ارزش‌افزوده چای تولیدی در بازارهای محلی و بین‌المللی با استفاده از تولید فرآورده‌های جدید دارویی و بهداشتی از چای، یک روش استراتژیک برای بهبود وضعیت تولید، کشت و کار و اقتصاد چای است. باتوجه به قدیمی بودن باغ‌ها و مسن بودن بوته‌های چای ایرانی، احیا باغ‌ها امری ضروری است لذا با شناسایی ژنوتیپ‌های جدید و با خواص دارویی بهتر می‌توان در جهت بهبود وضعیت معیشتی چای‌کاران و کارخانه‌های چای‌سازی گام برداشت.

گیاه چای (*Camellia sinensis* L.) متعلق به خانواده Theaceae، درختچه‌ای چوبی، همیشه‌سبز و چندساله است (Kumari *et al*., 2019). به‌طورکلی، برگ‌های گیاه چای، سبز هستند اما گیاهان در مواجهه با محیط‌های اکولوژیکی مختلف تکامل پیداکرده و مکانیسم‌های پیچیده‌ای را برای پاسخ به تنش‌ها و سازگاری با محیط به کار می‌برند که تنوع و تغییر رنگ برگ‌ها یکی از این راهکارها است (Xu *et al*., 2021). جهش‌هایی در برگ‌ها مانند اتیوله، آلبینو و ارغوانی شدن رخ‌داده و جوانه‌ها، برگ‌ها و ساقه‌های آن‌ها به ترتیب زرد، سفید و ارغوانی می‌شوند. در گیاه چای عوامل اثرگذار بر فنوتیپ رنگ برگ‌ها، رنگ‌دانه‌های کلروفیل، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها هستند (Shin *et al*., 2018).

اخیراً واریته‌هایی از چای ارغوانی در کشورهایی مانند کنیا، چین، ژاپن و هند توسعه‌یافته (Chen *et al*., 2020) که به علت جذابیت و منحصر بودن رنگ و مزایای سلامتی متعدد به‌خوبی توسعه پیداکرده و به موضوع موردعلاقه محققان تبدیل‌شده است (Kumari *et al*., 2019)، در این ژنوتیپ بوته چای با برگ‌های قرمز تا ارغوانی ظاهرشده و غنی از آنتوسیانین است. چای ارغوانی در مقایسه با انواع چای معمولی شامل چای سیاه، چای سبز و چای اولونگ، مقدار پلی‌فنول بیشتری دارد. عصاره چای ارغوانی حاوی پلی‌فنول GHG (1,2-di-Galloyi-4,6-Hexahydroxy diphenoyl-β-D-Glucose) و تئوبرومین است که به‌طور طبیعی در چای‌های دیگر وجود ندارد. ترکیبات اصلی برگ‌های چای ارغوانی علاوه بر پلی‌فنول‌های مفید موجود در چای سبز، دارای آنتوسیانین‌ها مانند مالویدین‌ها و سیانیدین ۳-O-گالاکتوزید هستند بعلاوه چای ارغوانی کالری و کافئین کمتری نسبت به سایر چای‌ها دارد در نتیجه تقاضا برای تهیه آن توسط مصرف‌کنندگان افزایش‌یافته است (Hayat *et al*., 2015). امید است که چای ارغوانی بتواند منبع درآمدی بیشتر برای چای‌کاران خرده‌مالک باشد چون می‌توانند در کارخانه از آن عصاره حاوی آنتوسیانین و دیگر فلاونوئیدها تولید کرده و باعث افزایش ارزش‌افزوده محصول‌های تولیدی شود. لذا این تحقیق با هدف مطالعه تغییرات مقدار آنتوسیانین کل چهار اکسیشن منتخب طی دوره برداشت به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌هایی از چای ایران که دارای رنگ پایدار و مقدار آنتوسیانین بیشتری هستند اجرا شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ - برداشت و آماده‌سازی نمونه‌ها

به‌منظور غربالگری و دست‌یابی به بوته‌های رنگ ارغوانی، از مناطق مختلف چای‌کاری شهرستان آستانه‌اشرفیه (روستاهای بازان، تجن و کیسم) بازدید به عمل آمد. از ۱۲ مکان انتخاب‌شده، تعداد چهار بوته با شماره‌های ۱، ۲، ۱۱ و ۱۲ در روستای بازان و تجن که رنگ برگ‌ها قرمز تا بنفش (شکل ۱) و تفاوت بیشتری با رنگ معمولی برگ چای داشت، پلاک‌گذاری و موقعیت بوته‌ها مشخص شد. از هر بوته انتخاب‌شده، یک جوانه و دو برگ که استاندارد برگ‌چینی است با دست برداشت و به آزمایشگاه پژوهشکده چای منتقل شد. برگ‌ها در آزمایشگاه برای انجام آزمایش‌های بعدی، آماده‌سازی شده و مقدار آنتوسیانین کل، کلروفیل و کارتنوئید

در برگ این بوته‌ها اندازه‌گیری شد. به‌منظور بررسی تغییرات یا پایداری رنگ بوته‌ها در طی فصل رویشی و برگچینی در چند نوبت، بازدید انجام شد. در صورت پایدار بودن رنگ ارغوانی نسبت به برگچینی اقدام کرده و مجدداً مقدار رنگ‌دانه‌ها اندازه‌گیری شد.

۲-۲ - اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین کل

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین برگ‌ها ابتدا در دستگاه آون به مدت ۲۴ ساعت و دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها مراحل اندازه‌گیری رنگ‌دانه آنتوسیانین انجام شد. مقدار آنتوسیانین کل به روش طیف‌سنجی (Giusti and Wrolstad, 2001) اندازه‌گیری شد. به‌طور خلاصه، نمونه‌ها (برگ خشک‌شده) به مدت ۵ دقیقه در محلول ۰/۱ درصد اسیدسیتریک با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور و سپس فیلتر شد. برای اندازه‌گیری از روش تفاضل پی‌اچ با دو بافر کلرید پتاسیم ۰/۰۲۵ مولار در پی‌اچ ۱/۰ و بافر استات سدیم ۰/۴ مولار در پی‌اچ ۴/۵ استفاده شد. مقدار ۲۰۰ میکرولیتر از نمونه حاوی آنتوسیانین با ۱/۸ میلی‌لیتر از هر بافر جداگانه مخلوط شده و جذب در طول‌موج ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر خوانده شد. تفاوت جذب دو نمونه بر اساس فرمول ۱ محاسبه شد:

$A=(A_{520nm}-A_{700nm})$ at pH 1.0 – $(A_{520nm}-A_{700nm})$ at pH 4.5 فرمول۱-

A520= جذب محلول در طول موج ۵۲۰ نانومتر

A700= جذب محلول در طول موج ۷۰۰ نانومتر

غلظت آنتوسیانین‌های منومر در نمونه اصلی بر اساس فرمول ۲ تعیین شد:

Monomeric anthocyanins pigment (mg/1)=(A×MW×DF×1000)/(ε ×1)-فرمول۲

A=جذب MW = وزن مولکولی آنتوسیانین ۴۴۹/۲

ε= 26900 DF = ضریب رقت

۲-۳ - اندازه‌گیری کلروفیل و کارتنوئید

برای اندازه‌گیری رنگ‌دانه‌های کلروفیل، برگ‌ها تا زمان انجام آزمایش در فریزر نگهداری شدند. برگ سبز برای اندازه‌گیری مقادیر کلروفیل و کارتنوئید بر اساس روش آرنون آماده‌سازی شد. سپس جذب مایع رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد و مقادیر هر یک با استفاده از فرمول۳ استفاده محاسبه شد (Arnon, 1967).

فرمول۳-

مقدار کلروفیل a (Ca)=$13.95A_{665\ nm}$- $6.88A_{649nm}$

مقدار کلروفیل b (Cb)=$24.96A_{649nm}$- $7.32A_{665nm}$

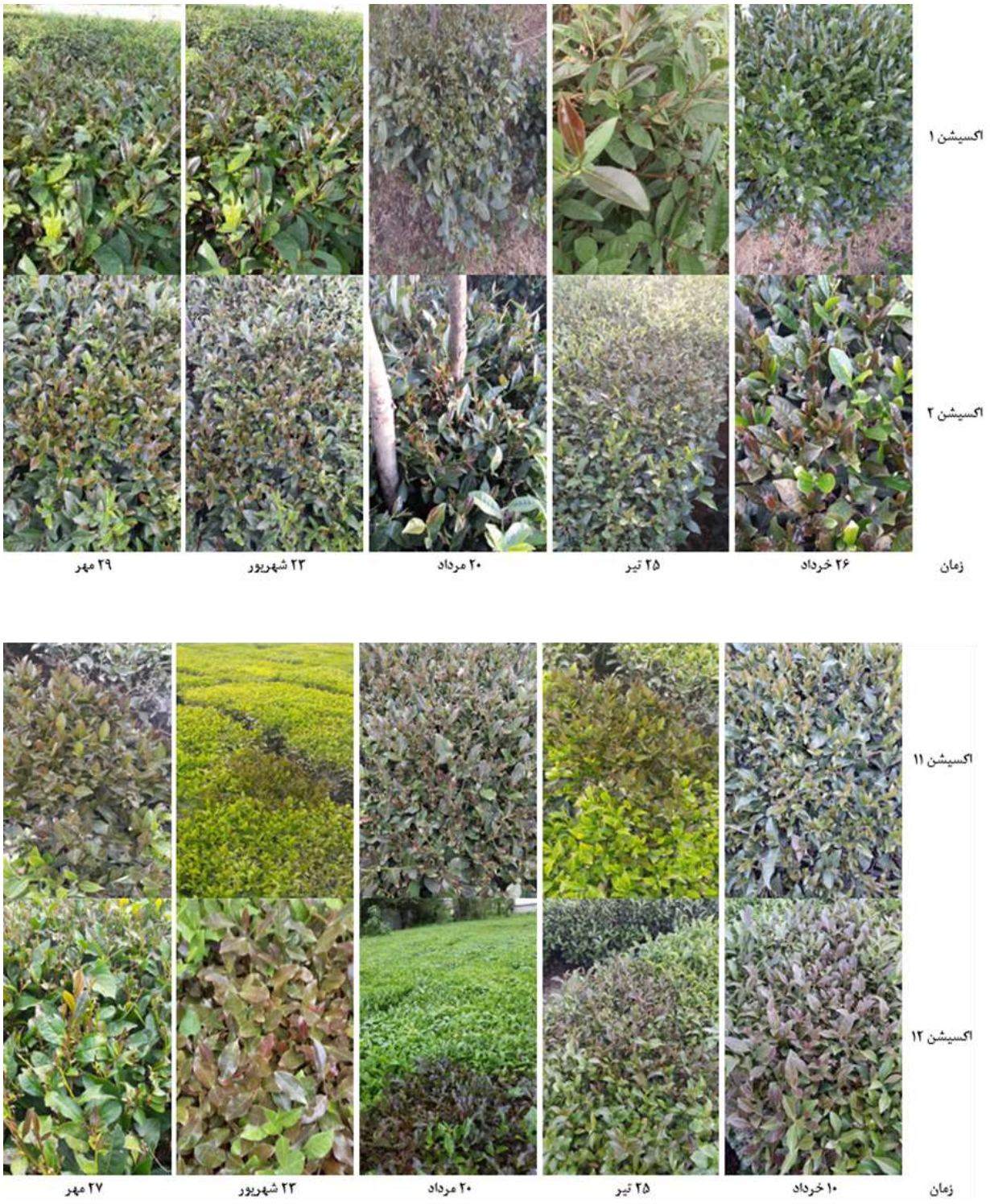
مقدار کاروتنوئیدها Cx.c)=$(1000A_{470\ nm}$-2.05Ca-114.8Cb)/245

۳- نتایج و بحث

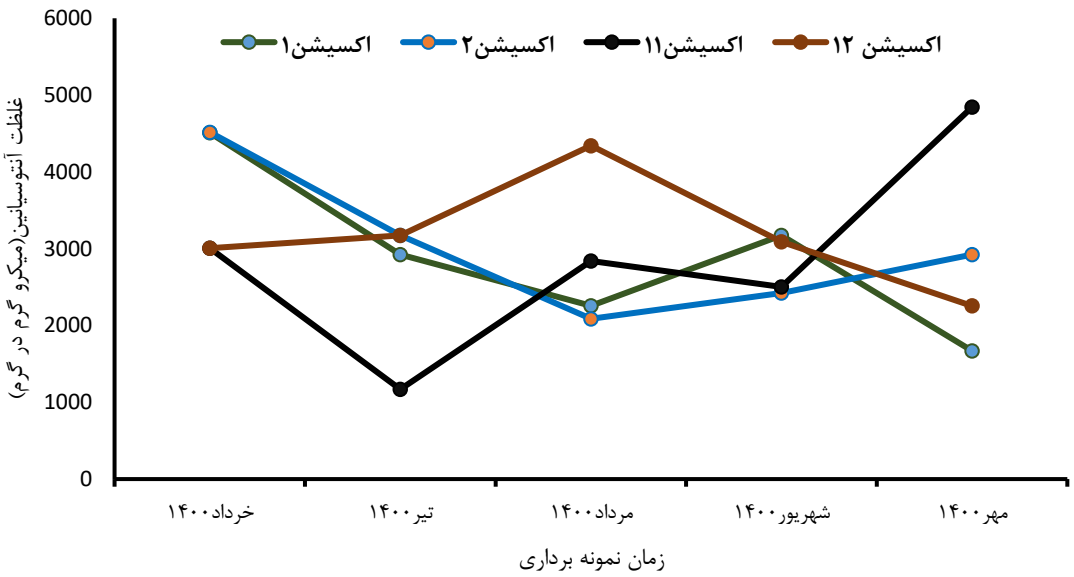
نتایج نشان داد که طی دوره برداشت بیشترین مقدار آنتوسیانین کل را اکسیشن ۱۱ در برداشت آخر با (۴۸۴۲/۶۸ میکروگرم در گرم) دارا بود و کمترین مقدار آنتوسیانین کل را نیز اکسیشن ۱۱ در برداشت دوم با (۱۱۶۸/۹۲ میکروگرم در گرم) داشت (شکل ۲). هی و همکاران (He *et al*., 2018) نیز در برگ‌های چای ارغوانی رقم Mooma ۵۹۱۸ میکروگرم در گرم آنتوسیانین گزارش کردند. از طرفی لی و همکاران (Li *et al*., 2020) غلظت آنتوسیانین کل را در رقمZiyan ۱۰۷۹/۸ میکروگرم در گرم گزارش کردند و همچنین مقدار آنتوسیانین در شاخساره‌های چای ارغوانی رقم Zixin، (۲۰۸۶۰ میکروگرم در گرم) می‌باشد (Shen *et al*., 2018) و از طرفی نتایج وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2017) غلظت آنتوسیانین را در رقم Zijuan ، ۳۷۷/۱۳ میکروگرم در گرم نشان دادند، درحالی‌که بائو و همکاران (Bao *et al*., 2008) مقدار آنتوسیانین را در رقم Zijuan، ۲۹۱۴۰ میکروگرم در گرم به دست آوردند. ولی نتایج هیو و همکاران (Hu *et al*., 2020) مقدار آنتوسیانین را در رقم Zijuan ۳۳۳۶/۸ میکروگرم در گرم نشان داد؛ که این اختلاف در مقدار آنتوسیانین را به اختلاف ارتفاع و تفاوت محیط رشد دو منطقه که از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده مقدار آنتوسیانین کل در گیاه است، مرتبط دانسته‌اند.

گزارش وی و همکاران (Wei *et al*., 2016) نشان داد که شدت نور بالاتر یا شرایط کیفیت نور بر سنتز آنتوسیانین

نقش دارد. از طرفی گزارش ناخومیکا و همکاران (Nakhumicha *et al*., 2009) مشخص کرد که دما و پی‌اچ خاک از مهم‌ترین عوامل خارجی است که بر تجمع آنتوسیانین در بافت‌های گیاهی اثر دارد به‌طوری‌که کاهش دما باعث افزایش غلظت آنتوسیانین می‌شود. گزارش بونگو و همکاران هم (Bongue-Bartelsnam and Phillips, 1995) کمبود نیتروژن را عامل تجمع آنتوسیانین دانستند. در نمونه‌های موردبررسی این پژوهش، اکسیشن ۱۱ در برداشت پنجم بالاترین و در برداشت دوم کمترین مقدار آنتوسیانین کل را نشان داد لذا می‌توان بیان کرد که اختلاف در میزان رطوبت، بارندگی و ابری بودن هوا و همچنین تغییرات دما در طول فصل رویش توانسته بر غلظت آنتوسیانین کل مؤثر باشد که در این مورد ناخومیکا و همکاران (Nakhumicha *et al*., 2009) هم‌چنین نتایجی را تأیید کردند.

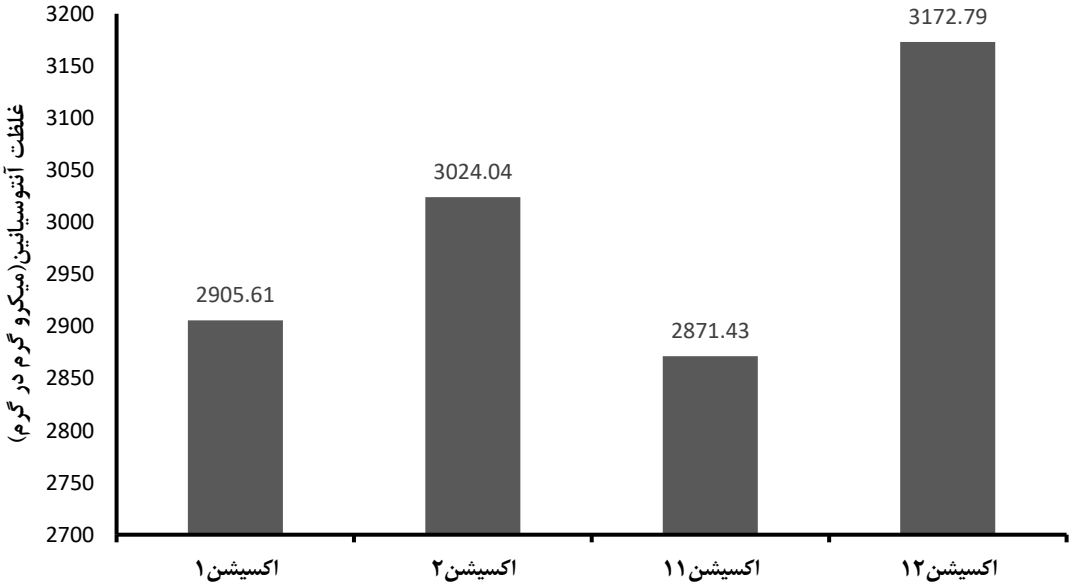


شکل ۱- تغییر رنگ برگ سبز چای اکسیشن‌های منتخب ناشی از تغییر غلظت آنتوسیانین.



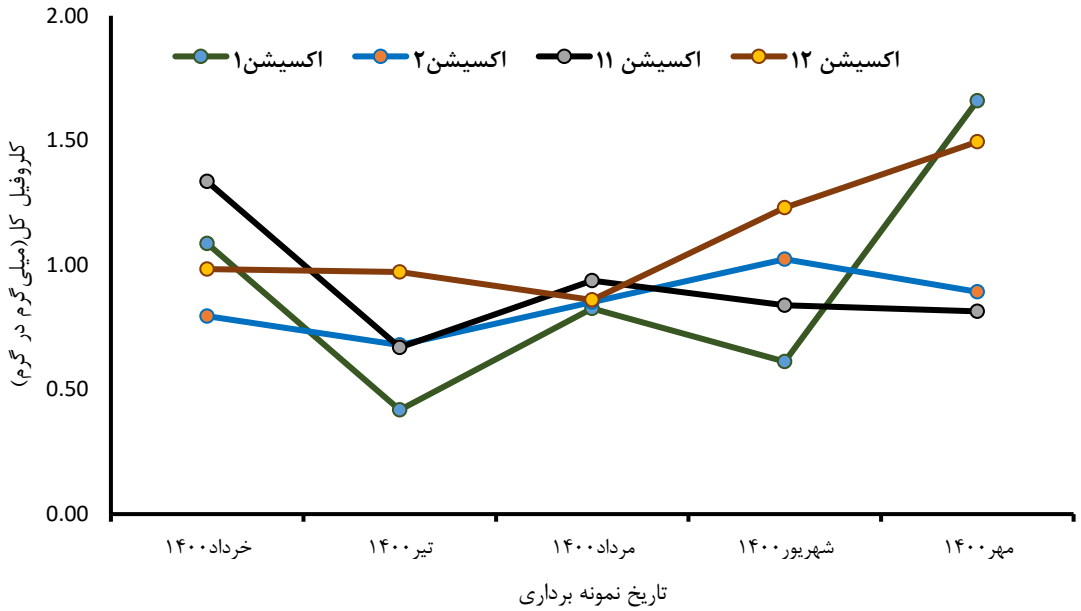
شکل ۲- تغییر غلظت آنتوسیانین برگ در اکسیشن‌های منتخب چای.

نتایج نشان داد که بیشترین میانگین غلظت آنتوسیان در برگ‌های اکسیشن ۱۲ وجود دارد (شکل ۳) و همچنین کمترین دامنه تغییرات غلظت آنتوسیانین طی دوره بهره-برداری را نیز این اکسیشن دارد.



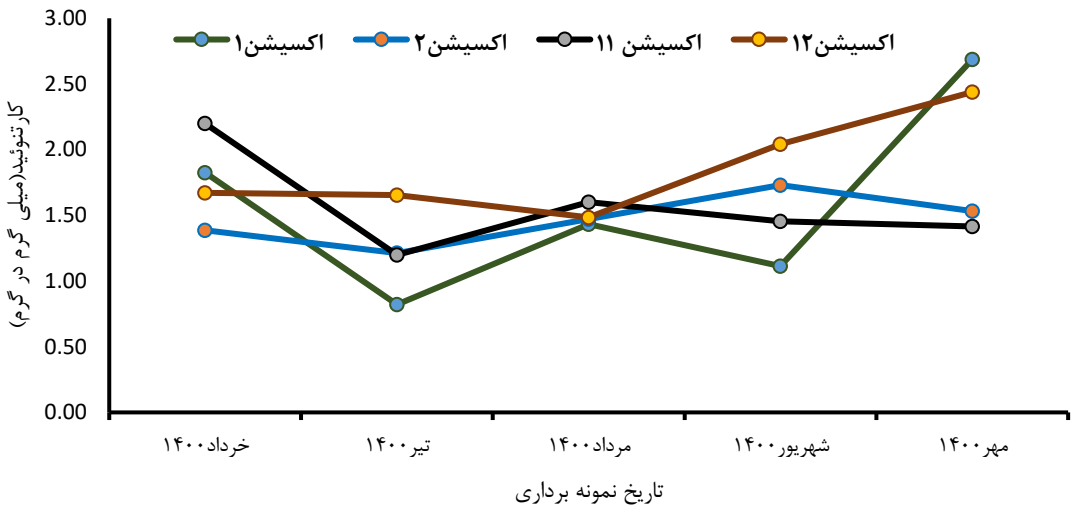
شکل ۳- میانگین غلظت آنتوسیانین برگ اکسیشن‌های منتخب چای طی دوره بهره‌برداری.

نتایج نشان داد بیشترین مقدار کلروفیل کل در اکسیشن شماره ۱ در برداشت پنجم (۱/۶۶ میلی‌گرم در گرم)، حاصل شد درحالی‌که کمترین مقدار کلروفیل کل در نمونه شماره ۱ در برداشت دوم (۰/۴۲ میلی‌گرم در گرم) به دست آمد (شکل ۴). گزارش ونگ و همکاران (Wang *et al.*, 2019) مشخص کرد تحت نور متوسط یا سایه کوتاه، گیاهان در پاسخ به تنش، سازگاری پیدا می‌کنند تا با کاهش آسیب به کلروفیل، مقدار کلروفیل کل و مقدار کلروفیل b افزایش پیدا کند همچنین نسبت کلروفیل‌های a/b کاهش پیدا می‌کند. همچنین ازیزاتو و همکاران (Azizatuv *et al.*, 2021) مطالعه بر روی اثر عوامل محیطی که می‌تواند بر مقدار کلروفیل تأثیر بگذارد ازجمله (پی اچ خاک، دمای پایین، شدت نور بالاتر، ارتفاع از سطح دریا) که منجر به افزایش میزان فتوسنتز و سنتز کلروفیل در گیاه می‌شود را بررسی کردند. اختلاف در دما در برداشت‌های مختلف و میزان آبیاری، بارندگی، رطوبت خاک و ابری بودن هوا توانسته در این بررسی در افزایش غلظت کلروفیل کل مؤثر باشد که در این مورد ازیزاتو و همکاران (Azizatuv *et al.*, 2021) هم‌چنین نتایجی را تأیید کردند.



شکل ۴- تغییر غلظت کلروفیل کل برگ در اکسیشن‌های منتخب چای.

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کاروتنوئید در اکسیشن شماره ۱ در برداشت پنجم (۲/۶۹ میلی‌گرم در گرم)، به دست آمد درحالی‌که کمترین مقدار کاروتنوئید نیز در نمونه شماره ۱ در برداشت دوم (۰/۸۲ میلی‌گرم در گرم) دست آمد (شکل ۵). بر اساس گزارش کوئین و همکاران (Quian *et al.*, 2021) تحت شدت نوربالا، تنظیم ژن‌های بیوسنتزی کاروتنوئیدها کاهش می‌یابد درحالی‌که در نور متوسط بیوسنتز کاروتنوئیدها افزایش می‌یابد. همچنین پایاولا و همکاران (Payyavula *et al.*, 2012) مشخص کردند متغیرهای محیطی در بین مکان‌ها، شامل اختلاف درجه حرارت شب، روز، شدت نور، طول روز، پوشش ابر، نوع خاک، زمان کاشت و ارتفاع از سطح دریا نقش مهمی بر میزان کاروتنوئیدها و درنتیجه عملکرد گیاه دارد.



شکل ۵- تغییر غلظت کارتنوئید برگ در اکسیشن‌های منتخب چای.

۴- نتیجه‌گیری کلی

اثر آنتی‌اکسیدانتی آنتوسیانین می‌تواند در حضور کاتچین تشدید شود؛ بنابراین حضور کاتچین‌های محلول در آب در چای ارغوانی یک مزیت افزوده است؛ بنابراین چای حاوی دو آنتی‌اکسیدانت در یک دم‌کرده خواهد بود که آن را به‌عنوان نوشیدنی سلامت‌بخش معرفی می‌کند. حلالیت بالای آنتوسیانین چای در آب نیز برای صنایع غذایی مفید است، آنتوسیانین می‌تواند با خشک‌کن پاششی به پودر تبدیل‌شده و به‌عنوان رنگ‌دهنده بدون ترس از آلودگی با باقی‌مانده حلال‌های آلی که چندین بار در عصاره‌گیری بکار می‌رود استفاده شود. از آنجایی‌که چای عموماً به‌عنوان عصاره (نوشیدنی) با آب مصرف می‌شود حلالیت بالای آنتوسیانین در آب نیز یک مزیت اضافه است و بدان معنی است که قابلیت زیست دسترسی آنتوسیانین تضمین‌شده است. در کنیا همچنین تحقیقاتی درباره عصاره‌گیری کاتچین‌ها، آنتوسیانین‌ها، آنتوسیانیدین‌ها (که به‌عنوان دارو مکمل، نگه‌دارنده در صنایع غذایی)، عصاره پلی‌فنول چای برای داروسازی و صنعتی، چای فوری و چای آماده نوشیدن (Ready To Drink) و... از چای ارغوانی در حال انجام است. عوامل متعددی شامل ژنوتیپ، موقعیت جغرافیایی، شرایط رویشی، ترکیبات خاک و رژیم رطوبتی، زمان برداشت، عملیات پس از برداشت و ساختار فیزیکی برگ بر مقدار و ترکیب پلی‌فنول‌های برگ چای تأثیرگذار است. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده بیشترین میانگین و کمترین تغییرات آنتوسیانین کل در طی دوره بهره‌برداری را اکسیشن ۱۲ دارد می‌تواند برای تحقیقات بعدی به‌منظور تولید نهال چای غنی از آنتوسیانین مورد پایش و مطالعه قرار گیرد.

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

تشکر و قدردانی– از مدیریت و همکاران پژوهشکده چای موسسه تحقیقات علوم باغبانی که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

Arnon, D. S. (1967). Copper enzyme in isolated chloroplast polyphenol oxidase in Beta Vulgaris. *Journal of Plant Physiology*, *24*(690): 1 -15.

Azizatuv, R., & Rahmawati, D. L. (2021). Effect of the abiotic factor on *Schleichera oleosa* chlorophyll level. El Hayah. *Journal Biological*, *8*(2): 55-61.

Bao, Y. X., Xia, L. F., Li, Y. Y., & Liang, M. Z. (2008). A new tea tree cultivar 'Zijuan'. *Acta Horticulturae. Science*, *35*(6), 934-946.

Bongue-Bartelsman, M., & Phillips, D. A. (1995). Nitrogen stress regulates gene expression of enzymes in the flavonoid biosynthetic pathway of tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, *33*(5), 539-546.

Chen, X., Wang, P., Zheng, Y., Gu, M., Lin, X., Wang, S., Jin, S., & Ye, N. (2020). Comparison of metabolome and transcriptome of flavonoid biosynthesis pathway in a purple-leaf tea germplasm 'Jinmingzao' and a Green-leaf tea germplasm 'Huangdan' reveals their relationship with genetic mechanisms of color formation. *International Journal Molecular Science*, *21*(11), 4167.

Giusti, M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins byUV-Visible Spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry.John Wiley and Sons, Inc.

Harborne, J. B., & Grayer, R. J. (1988). The anthocyanins, In: Harborne JB, ed, The Flavonoids: *Advances in Research Since*, *1980*(1), 1-621.

Hayat, K., Iqbal, H., Malik, U., Bilal, U., & Mushtaq, S. (2015). Tea and its consumption: benefits and risks. *Critical Reviews Food Sciences Nutrre*, *55*(7), 939–954.

He, X., Zhao, X., Gao, L., Shi, X., Dai, X., Liu, Y., & Wang, Y. (2018). Isolation and characterization of key genes that promote flavonoid accumulation in purple-leaf tea (*Camellia sinensis* L). *Scientific Reports*, *8*(1), 1-13.

Hu, J. G., Zhang, L. J., Sheng, Y. Y., Wang, K. R., Shi, Y. L., Liang, Y. R., & Zheng, X. Q. (2020). Screening tea hybrid with abundant anthocyanins and investigating the effect of tea processing on foliar anthocyanins in tea. *Folia Horticulturae*, *32*(2), 279-290.

Kumari, M., Thakur, S., Kumar, A., Joshi, R., Kumar, P., Shankar, R., & Kumar, R. (2019). Regulation of color transition in purple tea, (*Camellia sinensis*). *Planta*, *251*(1), 3-8.

Li, W., Tan, L., Zou, Y., Tan, X., Huang, J., Chen, W., & Tang, Q. (2020). The effects of ultraviolet A/B treatments on anthocyanin accumulation and gene expression in dark-purple tea cultivar 'Ziyan'

Nakhumicha Muriithi, A., Wamocho, L. S., & Njoroge, J. B. M. (2009). Effect of pH and magnesium on color development and anthocyanin accumulation in Tuberose florets. *African Crop Science Society*, *9*(143), 227-234.

Payyavula, R. S., Navarre, D. A., Kuhl, J. C., Pantoja, A., & Pillai, S. S. (2012). Differential effects of environment on potato phenylpropanoid and carotenoid expression. *BMC Plant Biology*, *12*(1), 1-17.

Quian-Ulloa, R., & Stange, C. (2021). Carotenoid biosynthesis and plastid development in plants: the role of light. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(3), 1184-1194.

Sachray, S. L., Weiss, D., Reuveni, M., Nissim-Levi, A., & Oren-Shamir, M. (2002). Increased anthocyanin accumulation in aster flowers at elevated temperatures due to magnesium treatment. *Physiologia plantarum*, *114*(4), 559-565.

Shen, J., Zou, Z., Zhang, X., Zhou, L., Wang, Y., Fang, W., & Zhu, X. (2018) Metabolic analyses reveal different mechanisms of leaf color change in two purple-leaf tea plant (Camellia sinensis L.) cultivars. *Horticulturae Research*, *5*(7), 1-14.

Shin, Y. H., Yang, R., Shi, Y. L., Li, X. M., Fu, Q. Y., Lu, J. L., & Liang, Y. R. (2018). Light-sensitive albino tea plants and their characterization. *HortScience*, *53*(2), 144-147.

Wang, F., Yan, J., Chen, X., Jiang, C., Meng, S., Liu, Y., & Li, T. (2019). Light regulation of chlorophyll biosynthesis in plants. *Journal Acta Horticulturae Sinica*, *46*(5): 975-994.

Wang, L., Pan, D., Liang, M., Abubakar, Y. S., Li, J., Lin, J., & Chen, W. (2017). Regulation of anthocyanin biosynthesis in purple leaves of zijuan tea (*Camellia sinensis* var. kitamura). *International Journal of Molecular Sciences*, *18*(4), 833.

Wei, K., Zhang, Y., Wu, L., Li, H., Ruan, L., Bai, P., & Cheng, H. (2016). Gene expression analysis of bud and leaf color in tea. *Plant Physiology and Biochemistry*, *107*(41), 310-318.

Xu, M. (2021). Advances in molecular mechanism of plant leaf color variation. *Molecules Plant Breed*. *10*(5), 13271-13281.