

Investigation of the Yield and Some Physiological and Biochemical Traits of the Medicinal Plant *Hibiscus sabdariffa* L. as Affected by Planting Arrangement and Integrated Fertilizer Management

M. Shirin¹, E. Fateh^{2*} and A. Aynehband³

1, 2 & 3) Department of Production Engineering and Plant Genetic, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*Corresponding author : e.fateh@scu.ac.ir

Received date: 2025.01.29

Accepted date: 2025.04.13

Abstract

Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) is an annual herbaceous shrub belonging to the Malvaceae family, commonly grown in tropical and subtropical countries. The pharmacobotanical and phytochemical studies of this plant have contributed to the understanding of its pharmacological effects and the development of new natural products with applications in medicine and the pharmaceutical industry. To investigate the effects of planting arrangement and integrated nutrient management on some traits of roselle, a field experiment was conducted during the 2023-2024 growing season at the Educational Farm No. 1 of the Department of Plant Genetics and Production Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. This study was conducted as a split-plot experiment arranged in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The main plot treatment consisted of ridge and furrow planting arrangements at four levels: row spacing of 50 cm (conventional furrow and wide furrow) and row spacing of 75 cm (conventional furrow and wide furrow). The subplot treatment included five levels of integrated nutrient management: 100% chemical fertilization, integrated fertilization A, integrated fertilization B, organic fertilization A, and organic fertilization B. At the end of the experiment, the following traits were measured: chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid content, total antioxidant capacity, pentose and hexose sugars, total calyx carbohydrates, flavonoids, phenols, and calyx anthocyanin. The main effects of planting arrangement treatments, integrated fertilizer management, and their interactions on most of the studied traits were found to be significant. The interaction of the wide furrow treatment at 75 cm with the integrated fertilizer (B) was identified as the optimal treatment for the examined traits. This combination resulted in the highest concentrations of chlorophyll a (1.6 mg/g), chlorophyll b (0.55 mg/g), carotenoids (0.8 mg/g), total antioxidant capacity (82.5%), pentose sugars (1.3%), total sugars (1.26%), calyx phenols (49.9 mg/g), calyx anthocyanin (47.5 $\mu\text{mol/g}$ Fresh Weight) and calyx yield (78 g per plant) in the 75 cm wide furrow planting arrangement with integrated fertilizer (B). The highest flavonoid content (4.9mg/g) was observed in the 75 cm wide furrow arrangement with 100% chemical fertilizer. The optimal interaction between the 75 cm wide ridge planting arrangement and the integrated fertilizer (B) improved growth parameters and increased the concentrations of key phytochemicals such as chlorophylls, carotenoids, phenols, and anthocyanin. This combination can enhance yield and improve the quality of calyces, contributing to the promotion of sustainable agricultural practices in roselle cultivation. Implementing effective planting patterns and integrated fertilization strategies is essential for maximizing productivity and ensuring the long-term sustainability of this valuable crop.

Keywords: Anthocyanin, Chemical Fertilizer, Cultivation Method, Organic Fertilizer and Qualitative

Traits..

بررسی عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در

واکنش به آرایش کاشت و مدیریت تلفیقی کود

شماره صفحات

۹۳-۱۱۰

محمد شیرین^۱، اسفندیار فاتح^{۲*} و امیر آینه بند^۳

۱، ۲ و ۳) گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: e.fateh@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

چکیده

به منظور مطالعه اثر آرایش کشت و مدیریت تلفیقی تغذیه بر برخی ویژگی‌های چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)، آزمایشی در مزرعه آموزشی شماره یک گروه مهندسی تولید ژنتیک گیاهی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار اجرا گردید. تیمار اصلی مورد آزمایش شامل آرایش کاشت جوی و پشته در چهار سطح (فاصله ردیف ۵۰ سانتی متر (پشته معمولی) و (پشته عریض))، (فاصله ردیف ۷۵ سانتی متر (پشته معمولی) و (پشته عریض)) و تیمار فرعی شامل پنج سطح مدیریت تلفیقی کود (۱۰۰ درصد شیمیایی، تلفیقی الف، تلفیقی ب، آلی الف و آلی ب) در نظر گرفته شدند. در پایان آزمایش صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی، قند پنج و شش کربنه، کربوهیدرات کل کاسبرگ، فلاونوئید، فنل و آنتوسیانین کاسبرگ اندازه‌گیری شدند. اثر اصلی تیمارهای آرایش کاشت، مدیریت تلفیقی کود و برهم‌کنش آنها بر بیشتر صفات مورد بررسی معنادار شد. برهم‌کنش تیمار پشته عریض ۷۵ سانتیمتری با کود تلفیقی (ب) به‌عنوان بهترین تیمار بر صفات بررسی شده شناخته شد. این ترکیب با بهبود جذب فسفر، تحریک هورمون‌های رشد و ایجاد تعادل بین نیتروژن و کربن، بالاترین مقدار غلظت کلروفیل a (۱/۶ میلی‌گرم در گرم)، کلروفیل b (۰/۵۵ میلی‌گرم در گرم)، کاروتنوئید (۰/۸ میلی‌گرم در گرم)، ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی (۸۲/۵ درصد)، قند پنج کربنه (۱/۳ درصد)، قند کل (۱/۲۶ درصد)، فنل کاسبرگ (۴۹/۹ میلی‌گرم در گرم)، آنتوسیانین کاسبرگ (۴۷/۵ میکرومول در گرم) و عملکرد کاسبرگ (۷۸ گرم در بوته) در تیمار آرایش کشت ۷۵ سانتی‌متری پشته عریض با کود تلفیقی (ب) به‌دست آمد. بیشترین میزان فلاونوئید (۴/۹ میلی‌گرم در گرم) در آرایش کشت ۷۵ سانتی‌متری پشته عریض با کود ۱۰۰ درصد شیمیایی تعلق داشت. این یافته‌ها اهمیت به‌کارگیری الگو کشت و کودهای تلفیقی را برای بهره‌وری پایدار در کشت چای ترش برجسته می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، روش کشت، صفات کیفی، کود آلی و کود شیمیایی.

مقدمه

به منظور دستیابی به کشاورزی دقیق، پایدار و هدایت چرخه‌های عناصر زیستی و همچنین استفاده صحیح از منابع آلی، بیولوژیکی و شیمیایی در اکوسیستم‌های زراعی، افزایش تولید با کیفیت بالا در کشت گیاهان دارویی، بررسی سیستم‌های مختلف و تلفیقی تغذیه گیاهان لازم و ضروری می‌باشد (Nieto *et al.*, 2018). با توجه به استعدادهای فراوان کشور و دارا بودن تنوع آب و هوایی در این زمینه، گیاهان دارویی نقش بسزایی در رشد اقتصادی می‌تواند ایفا کنند (Ghayoumi mohammadi and asadi gharneh, 2019). چای ترش با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* L. که گاهی با نام‌های رُزله^۱ یا سورل^۲ شناخته می‌شود، یک گیاه گل‌دهنده یکساله از خانواده مالوآسه^۳ بوده که عمدتاً برای برگ‌ها، ساقه، دانه و کاسبرگ‌های آن کشت می‌شود (Ankrah *et al.*, 2018). چای ترش حاوی ترکیبات شیمیایی مانند آنتوسیانین، اسید اسکوربیک، فلاونوئیدها، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آلی، اسیدهای فنولیک، پکتین، موسیلاژ، انواع مختلف ترکیبات فرّار، چربی و غیره است (Keya *et al.*, 2023). این گیاه منبعی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و ریزمغذی‌ها با فواید آشپزی، تغذیه‌ای و درمانی است. کاسبرگ گوشتی و متورم آن (کالیکس^۴) بخش اقتصادی مهمی است که به صورت دستی برداشت شده، خشک می‌شود و به طور کامل به صنعت چای و نوشیدنی فروخته می‌شود. همچنین برگ‌های آن به عنوان سبزی برگی، دانه‌های آن به عنوان منبع غذایی ارزشمند (پروتئین و کالری بالا) و ساقه‌های آن به دلیل داشتن مقدار قابل توجهی فیبر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Sapian *et al.*, 2023). علاوه بر اهمیت غذایی و سلامتی، در کشورهای در حال توسعه، چای ترش نقش مهمی در ایجاد درآمد و معیشت کشاورزان روستایی دارد، نسبتاً به راحتی رشد می‌کند و می‌تواند به عنوان بخشی از سیستم چندکشتی کشت شود. سالانه حدود ۱۵۰۰۰ تن از این گیاه وارد تجارت بین‌المللی می‌شود که کشورهایی مانند آلمان و ایالات متحده از مصرف‌کنندگان اصلی آن هستند (Keya *et al.*, 2023). با این حال، رشد و عملکرد چای ترش در واکنش به عوامل مختلفی مانند محیط و روش کاشت، استفاده از کودهای آلی و معدنی، نوع خاک و وضعیت مواد مغذی، مدیریت پس از برداشت و سایر عوامل قرار دارد (Al-Sayed *et al.*, 2020). در پژوهشی گزارش گردید که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، آنتوسیانین و عملکرد کاسبرگ در چای ترش رقم سودان در شرایط آرایش کشت پشته‌های عریض به ترتیب با ۵۸ و ۴۰ درصد بالاترین مقدار را داشت. همچنین ترکیبات فنولی که برای سلامتی بسیار مهم هستند، در زمان برداشت کاسبرگ‌ها به حداکثر مقدار خود رسیدند. این موضوع نشان می‌دهد که آرایش کاشت می‌تواند به طور غیرمستقیم بر کارایی استخراج این ترکیبات اثر بگذارد (Mao *et al.*, 2023). نور خورشید به طور قابل توجهی رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه را بهبود می‌بخشد، به طوری که گیاهان در معرض نور کامل خورشید عملکرد بهتری نسبت

-
- 1 . Roselle
 - 2 . Sorrel
 3. Malvaceae
 - 4 . Calyx

به گیاهان در محیط‌های سایه‌دار دارند (Tomazi and Dorigon, 2023). در پژوهشی دیگر محققین دریافتند که ترکیبات بیوشیمیایی مانند آنتوسیانین، قندها و فلاونوئیدها در تمامی آرایش‌های کاشت وجود داشتند، اما غلظت آن‌ها بسته به شرایط محیطی ناشی از آرایش کاشت متفاوت بود. اگرچه مطالعات مورد بحث مزایای آرایش کاشت در پشته‌های عریض را برای بهبود کیفیت چای ترش برجسته می‌کنند، اما لازم به توجه است که عدم رعایت این مهم رقابت برای دسترسی به منابع غذایی یعنی سلامت کلی گیاه و بازده بیوشیمیایی را کاهش می‌دهد (Bekoe *et al.*, 2020). از طرف دیگر استفاده از کودهای آلی و معدنی در کشت چای ترش به عنوان یک عامل مهم گزارش شده است و عملکرد آن با افزایش سطح مصرف نیتروژن به شکل‌های شیمیایی مختلف از منابع معدنی مانند نیترات (NO_3^-) و آمونیوم (NH_4^+) تا اسیدهای آمینه مختلف و ترکیبات آلی بهبود می‌یابد (Keya *et al.*, 2023). کودهای معدنی (مانند ۱۵-۱۵-۱۵ N.P.K کیلوگرم در هکتار)، به‌طور قابل توجهی محتوای تانن را کاهش داده و کیفیت غذایی کاسبرگ چای ترش را بهبود می‌بخشد (Getso *et al.*, 2018). اما تغذیه مناسب گیاه نقش مهمی در افزایش کیفیت رنگ گل‌ها (کاسبرگ) و عملکرد کاسبرگ (اقتصادی) دارد. یک تیم پژوهشی گزارش کردند که مصرف متناسب ریزمغذی‌ها می‌تواند مقدار آنتوسیانین و عملکرد کاسبرگ را افزایش می‌دهد، اما این مقدار با مصرف زیاد کود نیتروژن کاهش می‌یابد (Mao *et al.*, 2023). در تحقیقاتی نشان داده شد که کودهای آلی و هورمون‌های گیاهی می‌توانند کیفیت و کمیت محصول را افزایش دهند. ایشان گزارش کرد که با استفاده از کمپوست، میزان نمک‌های محلول کل و سطح آنتوسیانین در چای ترش به میزان بیشتری نسبت به کودهای شیمیایی افزایش یافته است (Khatab, 2016). در یک کار تحقیقاتی در ایران گزارش شده که مقدار آنتوسیانین، آهن، روی و منگنز در گل‌های چای ترش با استفاده از اسید هیومیک افزایش یافته است (Sanjari *et al.*, 2016). اثرهای بسیار مفیدی با کاربرد اسید هیومیک به‌همراه آب آبیاری از جمله تحریک متابولیسم گیاه، افزایش فعالیت آنزیم‌ها (ترانس‌آمیناز و اینورتاز)، جذب مواد مغذی و افزایش رشد و عملکرد کیفی محصول نسبت داده می‌شود (Jifon and Lester, 2019). اسید هیومیک از طریق فراهمی مناسب عناصر غذایی می‌تواند بر فرآیندهای مهم گیاه مانند فتوسنتز که تولید کننده اصلی کربوهیدرات‌ها در گیاهان است اثر مثبت داشته باشد (Amiri *et al.*, 2022). همچنین مواد جاسمونیک و الاژیک اسید نیز می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه اثر بگذارند (Yang *et al.*, 2014). با توجه به این دلایل، هدف اصلی این مطالعه بررسی عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در واکنش به آرایش کاشت و مدیریت تلفیقی کود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی در خرداد ماه سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه آموزشی شماره یک دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، واقع در مرکز استان خوزستان انجام شد. این منطقه دارای اقلیم گرم و خشک و در موقعیت جغرافیایی طول ۴۸ درجه و ۶۷ دقیقه و عرض ۳۱ درجه و ۳۱ دقیقه، در حاشیه غربی رودخانه کارون و در ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد.

این آزمایش به صورت طرح کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. هدف از این پژوهش، بررسی عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*) در واکنش به آرایش کاشت و مدیریت تلفیقی کود بود. اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است و پیش از شروع آزمایش، به‌منظور تعیین ویژگی‌های خاک مزرعه، دو نمونه مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و از این نمونه‌ها ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری قرار گرفتند (جدول ۲).

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش (۱۴۰۲)

Table 1. Meteorological information of the experiment site (2023)

Month	ماه	میانگین دمای هوا Mean air temperature (°C)	حداقل دمای هوا Min air temperature(°C)	حداکثر دمای هوا Max air temperature (°C)
May		33.7	29.5	44.8
Jun.	اردیبهشت	39.1	31.1	46.3
Jul.	خرداد	39.9	31.2	49.1
Aug.	تیر	39.2	31.8	47.5
Sep.	مرداد	33.6	23.7	40.3
Oct.	شهریور	30.1	19.1	40.6
Nov.	مهر	22.1	16.4	30.8

جدول ۲- مشخصات فیزیکی شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physicochemical properties of the soil at the experimental site

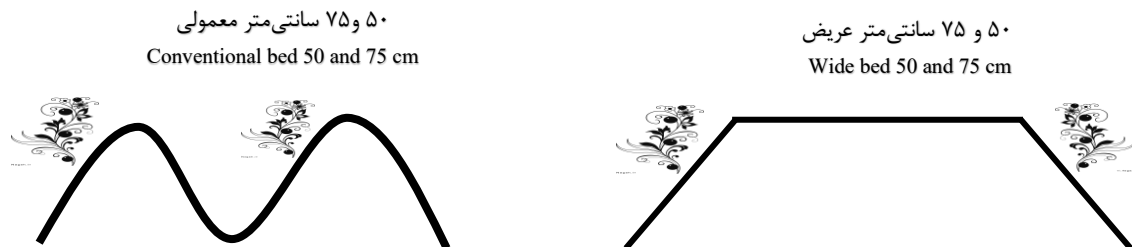
عمق خاک Soil depth(cm)	بافت Texture	نیتروژن N(%)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	ماده آلی O.M (%)
0-30	Silty-Clay	0.12	14.52	143	7.76	1.31	0.32

در این پژوهش، کرت اصلی شامل چهار روش مختلف آرایش کاشت (شکل ۱) بود: (۱) فاصله بین ردیف ۵۰ سانتیمتر با پشته معمولی (کشت یکطرفه)، (۲) فاصله بین ردیف ۵۰ سانتیمتر با پشته عریض (کشت دوطرفه)، (۳) فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر با پشته معمولی (کشت یکطرفه)، (۴) فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر با پشته عریض (کشت دوطرفه)، و کرت فرعی شامل پنج سطح مدیریت تلفیقی کود شامل: (۱) کود ۱۰۰٪ شیمیایی بر اساس مقادیر توصیه شده (N-P-K ۷۵-۹۰-۱۱۰ کیلوگرم در هکتار از منابع اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم)، (۲) کود تلفیقی الف: کود پایه شیمیایی (N-P-۱۰۰) همراه با پنج تن در هکتار کود گاوی پوسیده و یک کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید، (۳) کود تلفیقی ب: ۷۵٪ کود شیمیایی N-P-K همراه با یک لیتر در هکتار کود زیستی سوپرنیتروپلاس، ۱۰۰ گرم در هکتار فسفات بارور ۲ و محلولپاشی عناصر ریزمغذی، (۴) کود آلی الف: پنج تن در هکتار کمپوست همراه با یک لیتر در هکتار سوپرنیتروپلاس، شش کیلوگرم در هکتار بیوسولفور، ۱۰۰ گرم در هکتار فسفات بارور ۲، یک کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید (از طریق آب آبیاری) و محلول پاشی ۵ میلی مولار جاسمونیک اسید، (۵) کود آلی ب: پنج تن در هکتار ورمی کمپوست همراه با مایکوریزا (تلقیح بذر به روش Rejali،

2018)، یک لیتر در هکتار سوپرنیتروپلاس، ۵ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید، ۵ میلی‌مولار ملاتونین (ان-استیل ۵-متوکسی تریپتامین) و محلول پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر الاژیک اسید. در این آزمایش هیومیک اسید از شرکت دانش بنیان مرسین کشت، بیوسولفور شرکت ردساس، کود زیستی نیتروپلاس از شرکت دانش بنیان مروارید هامون و مایه تلقیح قارچ میکوریزا شرکت دانش بنیان زیست فناوری پیشتاز واریان تهیه گردید. اعمال تیمار آرایش کشت ابتدا با دستگاه فارورر به عرض ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری پشته‌ها ایجاد شدند و سپس به کمک ادوات دستی اقدام به تهیه پشته عریض شد. هر تکرار شامل ۲۰ کرت بود و در مجموع ۶۰ کرت که فاصله کرت‌های اصلی سه متر و کرت‌های فرعی یک متر و فاصله تکرارها از هم دو متر در نظر گرفته شد. کشت بصورت دستی از بذرهاى سالم و یکدست گیاه چای ترش رقم ویداس^۵ انجام گردید. به این منظور، کشت در تاریخ اول خردادماه انجام شد و در هر کپه، سه تا چهار بذر در عمق دو تا سه سانتی‌متری خاک قرار داده شد. هر کرت در چهار ردیف به طول سه متر اجرا شد. در پشته‌های با فاصله ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها ۲۵ سانتی‌متر و در پشته‌های با فاصله ۷۵ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها ۱۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم کشت معادل ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار بود. آبیاری بر اساس نیاز گیاه در دوره جوانه‌زنی و سبز شدن (هر سه تا پنج روز یک بار) و سپس پس از مرحله شاخه‌دهی جانبی (هر ۱۵ روز یک بار) انجام گردید. در مرحله چهار تا شش برگی، به منظور دستیابی به تراکم مناسب، تنک کردن بوته‌ها انجام شد و تراکم نهایی به هشت بوته در مترمربع رسید. مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی و با استفاده از فوکا در سه مرحله (پنج تا شش برگی، ساقه‌دهی و شاخه‌دهی جانبی) انجام گرفت. در طول دوره رشد گیاه، از هیچ‌گونه آفت‌کش یا علف‌کش استفاده نشد. تیمار کود شیمیایی به دو صورت کود پایه (P و K طبق مقادیر تیمارها) و کود سرک نیتروژن در دو مرحله ۵۰ درصدی مقدار تیمارها اعمال شد که اولین مرحله در زمان چهار تا شش برگی و دومین مرحله قبل از غنچه‌دهی و همزمان با آبیاری انجام گرفت (Khatab, 2016). همچنین از بین سطوح کرت فرعی، مدیریت کود تلفیقی هیومیک اسید همزمان با آب آبیاری در دو مرحله و محلول پاشی ملاتونین، الاژیک اسید و جاسمونیک اسید بعد از تهیه محلول مورد نیاز در دو مرحله ۶ برگی و قبل از گلدهی و بدلیل حساس بودن این محلول‌ها به نور و گرما در زمان قبل از طلوع آفتاب صورت گرفت (Mohammadi et al., 2019). به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، نمونه‌گیری از جوان‌ترین برگ‌های توسعه یافته بوته چای ترش و کاسبرگ‌های کاملاً تشکیل شده (اوائل آبان ماه) شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی، قند پنج و شش کربنه، کربوهیدرات کل کاسبرگ، فلاونوئید کاسبرگ، فنل کاسبرگ، آنتوسیانین کاسبرگ و عملکرد کاسبرگ (اقتصادی) در پنج بوته از خطوط غیرحاشیه (ردیف‌های وسط هر کرت) به صورت تصادفی برداشت و اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش (Lichtenthaler, 1987)، اندازه‌گیری قندهای پنج و شش کربنه و قند کل از روش لون

5. Vidas

(Lunn, 2006)، اندازه گیری فلاونوئید به روش (Yang *et al.*, 2014) و آنتوسیانین به روش (Wagner, 1979) از بافت تر کاسبرگ استفاده شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم افزاری SAS نسخه ۹/۴ انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. رسم جداول نیز به کمک نرم افزار Excel ۲۰۱۹ صورت گرفت.



شکل ۱- نحوه قرار گرفتن بوته‌ها در کرت‌های اصلی معمولی و عریض
Fig. 1. Arrangement of plants in conventional and wide beds

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آرایش کشت، مدیریت تلفیقی کود و برهم‌کنش آنها بر غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئیدهای برگ در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش تیمار آرایش کشت و مدیریت تلفیقی کود بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کاروتنوئید) نشان دهنده آن است که بالاترین افزایش در این سه شاخص مربوط به کرت عریض ۷۵ سانتی‌متری با کود تلفیقی (ب) بود که بترتیب برابر با ۱/۶، ۰/۵۵ و ۰/۸ گرم در میلی‌گرم وزن تر برگ می‌باشد. در مقابل کمترین مقادیر این سه شاخص مربوط به کرت با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر معمولی و کود شیمیایی می‌باشد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد مقادیر کودهای موجود در سطح کود تلفیقی (ب) توانسته با تحریک جذب فسفر و تولید هورمون‌های رشد بواسطه فضای ایده‌آل برای استقرار کانوپی بر مقدار کلروفیل و کاروتنوئید اثر مثبت داشته باشد، هرچند که نیتروژن عامل اصلی ساختار کلروفیل (حلقه پورفیرین) است اما در مقابل کود شیمیایی ۱۰۰ درصد با تغییر مسیر متابولیک به سمت سنتز کلروفیل و استرس اکسیداتیو ناشی از تجمع نیترات سبب کاهش کاروتنوئید شده است. نتایج این آزمایش با یافته‌های پژوهش تأثیر محلول‌پاشی و استفاده از ورمی کمپوست بر ویژگی‌های کمی و کیفی چای ترش (Ghayoumi mohammadi *et al.*, 2020) مطابقت دارد. در پژوهشی که اثر آرایش کشت و سطوح مختلف آبیاری بر روی گیاه آویشن انجام شد، محققان دریافتند که آرایش کاشت با فواصل بیشتر از کشت شاهد و فاصله ردیف عریض مقدار کلروفیل b و کاروتنوئید را افزایش و کلروفیل a را کاهش داد (Fakhri *et al.*, 2022). همچنین در تحقیقی دیگر پژوهشگران دریافتند که برگ چای ترش به دلیل توزیع تیمار سطوح مختلف کودهای نیتروژنه و فسفر (با توجه به نقش کلیدی که در فرآیندهای بیولوژیکی دارند)، کارایی گیاه و بهبود توانایی جذب نیتروژن را افزایش دادند و این دلیلی بر افزایش مقدار کلروفیل برگ گیاه

گردید (Al-Baik and Alamery, 2024). بر اساس جدول تجزیه واریانس، اثر آرایش کشت، مدیریت تلفیقی کود و برهم‌کنش آنها بر ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در جدول نتایج مقایسات میانگین‌ها برهم‌کنش تیمارهای مورد آزمایش، آرایش کشت پشته عریض ۷۵ سانتی‌متری با تیمار کود تلفیقی (ب) بیشترین درصد (۸۲/۵) و آرایش کشت ۵۰ سانتی‌متر پشته معمولی با کود ۱۰۰ درصد شیمیایی کمترین درصد ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی (۱۵/۳ درصد) را شامل شد (جدول ۴). در یک تحقیق با بررسی سطوح تنش شوری و سطوح مختلف ملاتونین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه نعنای فلفلی تحت تاثیر مقادیر مختلف ملاتونین معنی‌دار شد که نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت ندارد. ترکیبات هیومیک اسید و کودهای آلی بیان ژن‌های مرتبط با مسیر تولید ترکیبات فنولی را افزایش می‌دهند (Tahmasebi et al., 2023). در مقابل برخی محققین معتقدند که کاشت مستقیم گیاه رزماری با کود شیمیایی باعث کاهش ۲۰ درصدی ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی آن می‌شود (Nieto et al., 2018). تعادل بین عناصر ماکرو و میکرو (کود پرمصرف و ریزمغذی‌ها) در کود تلفیقی (ب) در سنتز ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی بسیار مهم بوده است. کودهای آلی از جمله جاسمونیک اسید، ملاتونین، الاژیک اسید و اسید سالیسیلیک با تحریک مسیر فنیل پروپانویید و جذب عناصر کم مصرف قادر به افزایش این شاخص نیز می‌شوند اما در مقابل ترکیب متعادل کودهای پر و کم مصرف از اثر پذیری کمتری برخوردار بودند (Marschner, 2012). با بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس تیمار مدیریت تلفیقی کود و برهم‌کنش آرایش کشت و مدیریت تلفیقی کود بر شاخص قندهای پنج و شش کربنه و قند کل کاسبرگ چای ترش در سطح احتمال پنج و یک درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). مقدار قند پنج کربنه موجود در تیمار کود تلفیقی (ب) در بالاترین سطح آماری قرار داشته، عبارتی ۵۷ درصد اختلاف نسبت به تیمار کود شیمیایی ۱۰۰ درصد را نشان داد. میزان قند شش کربنه در تیمار کود تلفیقی (ب) ۲۵ درصد بیشتر از مقدار این نوع قند در تیمار کود آلی (ب) را نشان داد. همچنین مقدار قند کل در کاسبرگ چای ترش در تیمار کود تلفیقی (ب) بیشترین مقدار (۱/۱ درصد) را شامل شد و نسبت به تیمار کود شیمیایی و کود آلی (ب) ۵۷ درصد اختلاف داشت (شکل ۲). بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها، بیشترین مقدار قند پنج کربنه و قند کل مربوط به برهم‌کنش آرایش کشت در پشته عریض ۷۵ سانتی‌متری با کود تلفیقی (ب) به ترتیب به میزان ۱/۳ و ۱/۲۶ درصد و کمترین آن در آرایش کشت در پشته ۷۵ و ۵۰ سانتی‌متری معمولی با کود شیمیایی به ترتیب به میزان ۰/۵۶ و ۰/۵۹ درصد بدست آمد. در تیمار برهم‌کنش آرایش کشت عریض ۵۰ سانتی‌متری با کود تلفیقی (الف) بیشترین میزان قند شش کربنه با ۱/۲ درصد و کمترین آن در برهم‌کنش آرایش کشت ۵۰ سانتی‌متری پشته معمولی با کود آلی (ب) به میزان ۰/۶۲ درصد حاصل شد (جدول ۴). با بررسی کودهای تشکیل دهنده هر سطح در این آزمایش می‌توان به این نتایج دست یافت که نیتروژن در مقادیر کم بیشترین میزان ریبوز (پنج کربنه) و گلوکز (شش کربنه) را سبب می‌شود و در مقابل استفاده بیش از حد آن باعث کاهش ۱۵ درصدی قند در گیاه دارویی چای ترش می‌گردد. در واقع مکانیسم آن به این شکل است که سطوح بالای نیتروژن، مسیر

گلیکولیز را مهار کرده و انرژی را به سمت سنتز پروتئین‌ها هدایت می‌کند (Ramroudi *et al.*, 2020). این نتایج با یافته‌های پژوهش مورد بررسی بر چای ترش مطابقت دارد. تعدادی از پژوهشگران علوم تولیدات گیاهی با بررسی اثر فواصل کاشت سورگوم و منابع مختلف تغذیه گیاه بر شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه دریافتند در فاصله کاشت ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متری بدلیل در هم تنیدن شاخ برگ گیاه مقدار قندکل آن با توجه به رقابت شدید بوته‌ها کاهش پیدا کرد (Muhammad *et al.*, 2020). برخی از محققین معتقدند که ترکیب ۵۰ درصد کود دامی + ۵۰ درصد کود شیمیایی میزان فروکتوز (شش کربنه) و قند کل را با ایجاد تعادل بین نیتروژن و کربن از طریق مسیر کالوین- بنسون در گیاه چای ترش افزایش می‌دهد (Hashemi *et al.*, 2018). کودهای آلی مورد استفاده نیز با تحریک آنزیم‌های تجزیه کننده پلی ساکاریدها و فعال سازی مسیر پنتوز فسفات توانسته به مقدار قند موجود در کاسبرگ چای ترش اضافه کند (Li *et al.*, 2022). با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثر آرایش کشت و برهم‌کنش آرایش کشت و مدیریت تلفیقی کود بر میزان فلاونوئید کاسبرگ چای ترش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان فلاونوئید در کشت با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متری عریض با ۴/۱ میلی‌گرم در گرم و کمترین مقدار آن به کشت با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متری معمولی با ۳/۲ میلی‌گرم در گرم مربوط بود (جدول ۳). با بررسی جدول مقایسه میانگین‌ها بر هم‌کنش آرایش کشت و مدیریت تلفیقی کود بیشترین مقدار فلاونوئید کاسبرگ مربوط به آرایش کشت ۷۵ سانتی‌متر عریض با کود شیمیایی با ۴/۹ میلی‌گرم در گرم بود هرچند که این شاخص در تیمار آرایش کشت عریض ۵۰ سانتی‌متری با کود تلفیقی (الف)، (ب) و آلی (ب) در یک کلاس آماری قرار داشتند (جدول ۴). درباره آرایش کاشت، مقدار فلاونوئید می‌توانند بر تعاملات گیاهان با محیط اطرافشان اثر بگذارند. به‌عنوان مثال، این ترکیبات می‌توانند مثل مواد آلوکمیک عمل کنند، یعنی رشد گیاهان مجاور را تحریک یا مهار کنند که این موضوع در استراتژی‌های کاشت اهمیت زیادی دارد. فلاونوئیدها به عنوان ترکیبات فنولی مهم در گیاهان دارویی نقش کلیدی در اثرات آنتی‌اکسیدانی دارند (khalid *et al.*, 2019). آرایش کشت و مدیریت تلفیقی کود اثر مستقیم بر تولید این متابولیت ثانویه داشت. کنترل بهتر علف‌های هرز و کاهش رقابت برای مواد مغذی، دسترسی به نور به دلیل آرایش منظم‌تر در کشت‌های با پشته عریض از عوامل افزایش فلاونوئید هستند. قارچ‌های میکوریزا و ورمی کمپوست جذب فسفر و تولید فلاونوئیدها را بهبود و تحریک می‌کنند و حتی تا ۲۵ درصد افزایش می‌دهند (Ifie *et al.*, 2018). کوددهی تلفیقی موجب بهبود قابل توجه فلاونوئید چای ترش شد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاسبرگ‌های چای ترش به ترکیبات فنولی نسبت داده شده است، به‌طوری که فلاونوئیدهای موجود قادر به کاهش رادیکال‌های آزاد و تنظیم واکنش‌های اکسیداسیون هستند (Santos *et al.*, 2022). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات آرایش کشت، مدیریت تلفیقی کود و برهم‌کنش آرایش کشت و مدیریت کود بر میزان فنل و آنتوسیانین چای ترش اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان فنل و آنتوسیانین در آرایش کشت ۷۵ سانتی‌متر عریض به ترتیب با ۳۸/۹ میلی‌گرم در گرم و ۳۸/۲ میکرومول در گرم وزن تر بود. همچنین

بیشترین مقدار فنل و آنتوسیانین در تیمار مدیریت تلفیقی کود مربوط به کرت کود تلفیقی (ب) به ترتیب با ۴۲/۷ میلی گرم در گرم و ۳۹/۹ میکرومول در گرم وزن تر بود (شکل ۳ و ۴). بیشترین مقدار فنل و آنتوسیانین در تیمار آرایش کشت پشته عریض ۷۵ سانتی‌متری با کود تلفیقی (ب) به ترتیب با ۴۹/۹ میلی‌گرم در گرم و ۴۷/۵ میکرومول در گرم وزن تر بود (جدول ۴). آنتوسیانین‌ها قسمتی از ترکیبات فنلی می‌باشند که گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه را تشکیل می‌دهند. کاسبرگ‌های چای ترش سرشار از فنل و آنتوسیانین هستند (Ramroudi *et al.*, 2020). فنل و آنتوسیانین ترکیبی گلیکوزیدی هستند که وجود قند برای تشکیل آنها ضروری می‌باشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین مربعات برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چای ترش تحت اثر آرایش کاشت و مدیریت کود

Table 3- Analysis of variance (mean squares) of some physiological and biochemical traits of roselle under the influence of planting arrangement and fertilizer management

منابع تغییر Sources of Variation	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid	ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی Total Antioxidant Capacity	قند ۵ کربنه Pentose Sugar	قند ۶ کربنه Hexose Sugar	قند کل Total Sugar	فلاونوئید کاسبرگ Calyx Flavonoid	فنل کاسبرگ Calyx Phenol	آنتوسیانین کاسبرگ Calyx Anthocyanin	عملکرد کاسبرگ Calyx Yield
بلوک Block	2	0.1**	0.02**	0.2**	126.7 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.1**	0.1**	0.1 ^{ns}	40.4 ^{ns}	17.1 ^{ns}	11.21 ^{ns}
آرایش کشت Planting Arrangement	3	0.03*	0.01**	0.2**	152.2*	0.1 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.04 ^{ns}	3.1**	443.7**	158.9**	858.4**
خطای اصلی Main Plot Error	6	0.04	0.003	0.07	41.7	0.01	0.04	0.007	0.05	52.2	32.4	6.4
مدیریت تلفیقی کود Fertilizer Management	4	1.3**	0.1**	0.09**	4864.3**	0.2**	0.06*	0.3**	0.4 ^{ns}	896.1**	234.2**	2301.4**
آرایش کشت × مدیریت کود Planting Arrangement × Fertilizer Management	12	0.1**	0.006*	0.06**	238.4**	0.03 ^{ns}	0.1**	0.06*	1.09**	54.9*	24.4**	165.3**
خطای کرت فرعی Subplot Error	32	0.01	0.003	0.002	46.4	0.04	0.03	0.02	0.3	22.7	6.7	7.0
ضریب تغییرات (%)		16.5	19.0	10.4	18.5	12.2	18.7	17.4	15.5	14.5	7.7	5.5

^{ns}, ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد آزمون LSD می‌باشد.

Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD tes

استفاده از کودهای ریزمغذی سبب بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، افزایش جذب عناصر توسط ریشه‌ها، تولید پیکر رویشی بیشتر و سطح فتوسنتزی بالاتر، تولید کربوهیدرات بیشتر و در نهایت فنل و آنتوسیانین بیشتر می‌شود (Karimian *et al.*, 2020). نتایج یک پژوهش حاکی از آن است که تحت شرایط کمبود عناصر ریزمغذی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (فنل و آنتوسیانین) کاهش می‌یابد (Hashemi fadaki *et al.*, 2018). کشت مخلوط چای ترش با سطوح مختلف لوبیا چشم بلبلی و کود دامی مقدار آنتوسیانین در دامنه ۱۳.۳۴ تا ۲۷ میکرومول بر گرم وزن تر در نوسان می‌باشد (karimian *et al.*, 2020).

پژوهشگران دریافتند کودهای فسفاته، الاژیک اسید و سالیسیلیک اسید در مقادیر مختلف می‌تواند باعث افزایش چشمگیر این صفات در چای ترش شود (Sanjari *et al.*, 2016). نتایج این پژوهش با نتایج ایشان مطابقت ندارد. آنتوسیانین‌ها مولکول‌های بسیار ناپایداری در ماتریکس مواد غذایی هستند. پایداری رنگ آنتوسیانین‌ها به شدت تحت اثر pH، حلال‌ها، دما، غلظت و ساختار آنتوسیانین، اکسیژن، نور، آنزیم‌ها و سایر مواد همراه قرار دارد و افزایش دما تخریب آنتوسیانین را تسریع می‌کند (Sapian *et al.*, 2023). احتمال اینکه شرایط نامناسب، دمای بالای محیطی و محل آزمایش در اثرگذاری بهینه این مواد دخیل باشد بی‌اثر نیست. عملکرد محصول، سودآوری و پایداری سیستم‌های کشاورزی را نیز ارزیابی می‌کند. اثرهای ساده و متقابل تیمارهای آزمایشی بر عملکرد کاسبرگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). برهم کنش تیمارهای آزمایشی نشان داد که تیمار کشت ۷۵ سانتی‌متر پشته عریض با کود تلفیقی (ب) با ۷۸ گرم در بوته و تیمار کشت فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متری معمولی با کود ۱۰۰ درصد شیمیایی با ۲۶/۴ گرم در بوته به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد کاسبرگ در بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۴). علیرغم اینکه وجود مواد آلی در تغذیه گیاه مانند الاژیک اسید، جاسمونیک اسید و اسید سالیسیلیک نقش افزایش مقاومت به تنش‌ها و بهبود فتوسنتز را به دنبال دارند اما نتوانستند چندان بهبود عملکرد کمی کاسبرگ را سبب شوند. این نتایج با نتایج آزمایش کاربرد انواع کودها بر صفات کیفی چای ترش (Getso *et al.*, 2018) مطابقت دارد. در یک مزرعه تحقیقاتی مقایسه بیوشیمیایی واریته‌های چای ترش محققین به این نتایج رسیدند که آرایش کاشت مناسب منطقه مورد کشت (۱۰۰ × ۴۵ سانتی‌متر) باعث افزایش عملکرد کاسبرگ چای ترش شد اما اثر معنی‌داری نسبت به سایر آرایش‌های مورد آزمایش نداشت (Keya *et al.*, 2023). استفاده از مدیریت تلفیقی کودها می‌تواند شاخص برداشت اقتصادی را با افزایش عملکرد و کاهش هزینه‌های تولید بهبود بخشد (Li *et al.*, 2022). در مطالعه دیگر استفاده از مدیریت تلفیقی کودها (ترکیب کودهای شیمیایی و آلی) باعث افزایش عملکرد کمی کاسبرگ چای ترش شد. بهترین نتایج با ترکیب ۵۰ درصد کود شیمیایی و ۵۰ درصد کود آلی به دست آمد که عملکرد کاسبرگ را تا ۵۵ درصد افزایش داد (Karimian *et al.*, 2020). ضرایب همبستگی صفات بررسی شده نشان داد که کلروفیل a و کلروفیل b همبستگی مثبت و قوی با یکدیگر دارند (جدول ۵). این نتیجه منطبق با یافته‌های مطالعاتی (Lichtenthaler, 1987) است که نشان می‌دهد این دو رنگدانه به صورت هماهنگ در فرآیند فتوسنتز مشارکت می‌کنند. هر دو کلروفیل a و b با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل^۶ همبستگی مثبت و معنادار دارند. کلروفیل‌ها می‌توانند به عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرمستقیم عمل کنند. قند کل همبستگی قابل توجهی با TAC دارد که احتمالاً به دلیل نقش قندها در مسیرهای متابولیک تولید آنتی‌اکسیدان‌ها است. متابولیت ثانویه یعنی فنل همبستگی مثبت با کلروفیل‌ها و TAC نشان دادند.

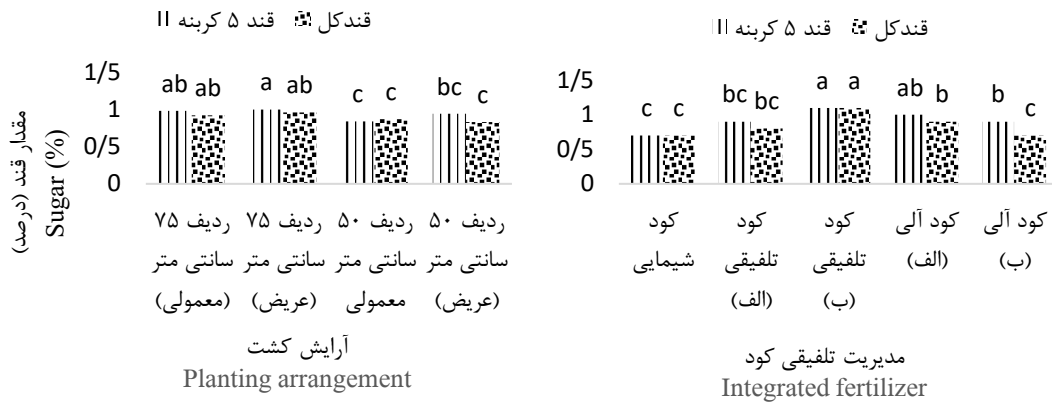
۶ . TAC

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چای ترش در برهم‌کنش اثرات تیمار آرایش کشت و مدیریت تلفیقی کود

Table 5. Mean comparison the interaction effects of planting arrangement treatments and integrated fertilizer management on some physiological and biochemical traits of roselle

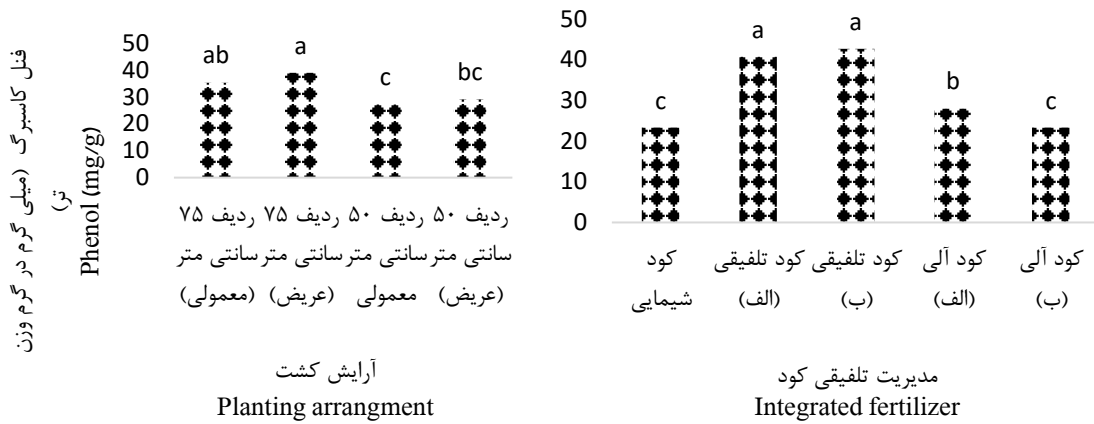
آرایش کشت Planting arrangement	مدیریت تلفیقی کود Integrated fertilizer	صفات Traits									
		کلروفیل a (میلی گرم در گرم وزن تر) Chlorophyll a (mg/g)	کلروفیل b (میلی گرم در گرم وزن تر) Chlorophyll b (mg/g)	کاروتنوئید (میلی گرم در گرم وزن تر) Carotenoid (mg/g)	ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی (درصد) Total Antioxidant	قند ۶ کربنه کاسبرگ (درصد) Hexose Sugar (%)	قند کل کاسبرگ (درصد) Total Sugar (%)	فلاونوئید کاسبرگ (میلی گرم در گرم) Flavonoid (mg/g)	فنل کاسبرگ (میلی گرم در گرم) Phenol (mg/g)	آنتوسیانین کاسبرگ (میکرو مول در گرم وزن تر) Anthocyanin (μmol/g)	عملکرد کاسبرگ (گرم در هر بوته) Calyx Yield (g per plant)
ردیف ۷۵ سانتی متر (معمولی) conventional furrow of 75 cm	شیمیایی Chemical	0.36 ^{km}	0.17 ^{ik}	0.57 ^{ce}	17.6 ^{jk}	1.1 ^a	0.69 ^{eg}	4.0 ^{bd}	23.9 ^{gi}	33.9 ^{eg}	59.0 ^d
	تلفیقی الف IntegrateA	0.54 ^{hk}	0.35 ^{cc}	0.36 ⁱ	17.3 ^{jk}	0.98 ^{ad}	0.88 ^{cf}	2.8 ^f	42.9 ^{ab}	38.7 ^c	62.4 ^{cd}
	تلفیقی ب IntegrateB	1.3 ^b	0.45 ^b	0.62 ^{bd}	73.8 ^{ab}	0.98 ^{ad}	1.25 ^a	3.2 ^{d-f}	42.4 ^{ab}	40.7 ^c	70.8 ^a
	آلی الف Organic A	0.78 ^{d-f}	0.34 ^{cf}	0.58 ^{bc}	36.3 ^{d-g}	0.97 ^{ad}	0.92 ^{bc}	3.5 ^{cf}	34.4 ^{cc}	32.0 ^{fi}	38.1 ^{hj}
	آلی ب Organic B	0.51 ^{hk}	0.25 ^{fi}	0.45 ^{gh}	45.8 ^d	0.86 ^{bc}	0.88 ^{cf}	2.8 ^f	33.1 ^{d-f}	29.1 ^{hj}	44.3 ^f
ردیف ۷۵ سانتی متر (عریض) wide furrow of 75 cm	شیمیایی Chemical	0.38 ^{lm}	0.27 ^{cg}	0.47 ^{fg}	23.7 ^{hj}	0.84 ^{bc}	0.81 ^{d-g}	4.9 ^a	26.1 ^{fi}	38.5 ^{cd}	44.0 ^{fg}
	تلفیقی الف IntegrateA	0.44 ^{li}	0.18 ^{hk}	0.85 ^a	20.3 ^{ik}	1.0 ^{a-c}	0.97 ^{bd}	3.6 ^{cf}	49.4 ^a	43.9 ^a	70.0 ^a
	تلفیقی ب IntegrateB	1.6 ^a	0.55 ^a	0.8 ^a	82.5 ^a	1.0 ^{a-c}	1.26 ^a	4.4 ^{a-c}	49.9 ^a	47.5 ^a	78.0 ^a
	آلی الف Organic A	0.46 ^{ik}	0.28 ^{d-g}	0.64 ^{bc}	33.3 ^{ch}	1.0 ^{ab}	0.92 ^{bc}	3.5 ^{cf}	31.3 ^{d-g}	30.8 ^{fi}	33.6 ^k
	آلی ب Organic B	0.58 ^{gi}	0.25 ^{fi}	0.58 ^{cc}	38.5 ^{d-f}	1.0 ^{ab}	0.82 ^{d-g}	3.7 ^{cf}	37.9 ^{bd}	30.3 ^{gi}	35.0 ^{jk}
ردیف ۵۰ سانتی متر (معمولی) conventional furrow of 50 cm	شیمیایی Chemical	0.22 ^m	0.1 ^k	0.19 ^k	15.3 ^k	0.72 ^{cc}	0.59 ^g	3.4 ^{d-f}	22.3 ^{hi}	27.0 ^j	26.4 ^l
	تلفیقی الف IntegrateA	0.67 ^{eh}	0.27 ^{cg}	0.29 ^{ij}	42.2 ^{de}	1.2 ^a	0.91 ^{b-c}	2.8 ^f	40.9 ^{bc}	33.4 ^{ch}	42.7 ^{fg}
	تلفیقی ب IntegrateB	0.73 ^{d-g}	0.32 ^{d-f}	0.33 ⁱ	41.8 ^{de}	1.0 ^{ab}	1.15 ^{ab}	3.1 ^{d-f}	28.7 ^{ch}	34.8 ^{d-f}	69.6 ^b
	آلی الف Organic A	0.83 ^{de}	0.37 ^{b-d}	0.55 ^{d-f}	58.2 ^c	0.85 ^{b-c}	1.1 ^{a-c}	3.1 ^{d-f}	21.5 ^{hi}	30.3 ^{gj}	39.5 ^{gi}
	آلی ب Organic B	0.56 ^{gj}	0.28 ^{d-g}	0.47 ^{fg}	23.7 ^{hj}	0.62 ^e	0.64 ^f	3.8 ^{b-c}	22.6 ^{hi}	29.3 ^{hj}	34.6 ^{jk}
ردیف ۵۰ سانتی متر (عریض) wide furrow of 50 cm	شیمیایی Chemical	0.27 ^{lm}	0.15 ^{jk}	0.37 ^{hi}	16.4 ^{jk}	1.0 ^{a-c}	0.83 ^{c-g}	3.0 ^{ef}	20.8 ^{hi}	28.9 ^{ij}	35.6 ^{hj}
	تلفیقی الف IntegrateA	0.6 ^{fi}	0.2 ^{gj}	0.51 ^{cg}	27.0 ^{ik}	0.69 ^{d-c}	0.62 ^{fg}	4.6 ^{ab}	37.0 ^{bd}	34.2 ^{ef}	41.3 ^{fh}
	تلفیقی ب IntegrateB	0.85 ^d	0.26 ^{ch}	0.22 ^{jk}	30.0 ^{fi}	1.0 ^{a-c}	0.93 ^{b-c}	4.4 ^{a-c}	43.3 ^{ab}	36.6 ^{cc}	70.0 ^a
	آلی الف Organic A	1.0 ^c	0.42 ^{bc}	0.22 ^{jk}	66.8 ^c	1.3 ^a	1.15 ^{ab}	3.9 ^{b-c}	24.9 ^{gi}	29.4 ^{hj}	33.6 ^{jk}
	آلی ب Organic B	0.63 ^{fi}	0.18 ^{hk}	0.66 ^b	21.5 ^{ij}	0.66 ^e	0.61 ^g	4.4 ^{a-c}	19.3 ⁱ	31.7 ^{fi}	32.6 ^k

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.
Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test



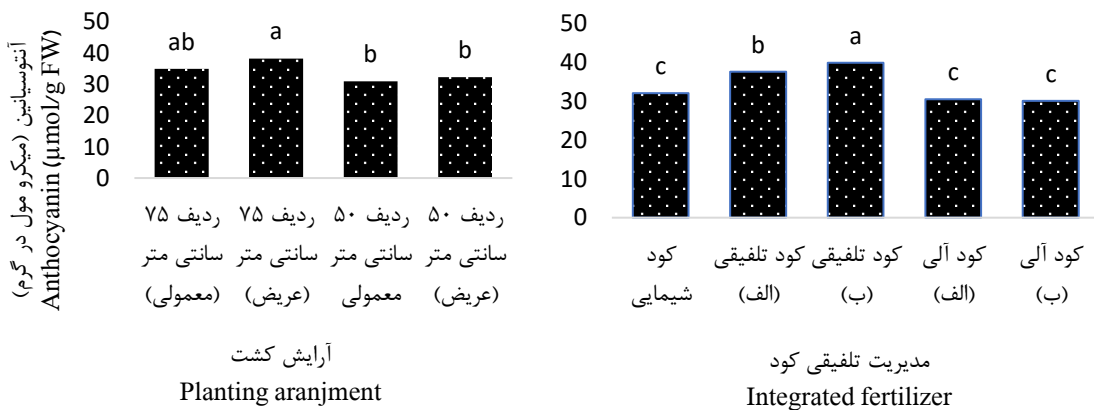
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر آرایش کشت و مدیریت تلفیقی کود برصفت قند ۵ کربنه و قند کل چای ترش

Fig 2. Mean comparison effects of planting arrangement and integrated fertilizer management on Pentos and total carbohydrate of roselle



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر آرایش کشت و مدیریت تلفیقی کود برصفت مقدار فنل کاسبرگ چای ترش

Fig 3. Mean comparison effects of planting arrangement and integrated fertilizer management on phenol calyx of roselle



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر آرایش کشت و مدیریت تلفیقی کود برصفت آنتوسیانین چای ترش

Fig 4. Mean comparison effects of planting arrangement and integrated fertilizer management on anthocyanin of roselle

در چای ترش، آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فنولی به صورت هماهنگ و معنی داری مسئول فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی هستند. هر چند تنش‌های محیطی (مانند خشکی یا شوری) می‌توانند محتوای آنتوسیانین و فنلی را افزایش دهند. اما زمان برداشت،

میزان رسیدگی محصول به همراه مقدار اشعه ماوراء بنفش در محیط نیز می‌تواند بر مقدار همبستگی بین متابولیت‌های ثانویه بسیار تأثیرگذار باشد (Haydari and Hashempour, 2023).

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات بررسی شده چای ترش تحت تأثیر تیمار آرایش کشت و مدیریت تلفیقی کود
Table 5- Correlation coefficients among the evaluated traits of roselle as influenced by planting arrangement and integrated nutrient management

صفات	کلروفیل A CHLOROPHYLL A	کلروفیل B CHLOROPHYLL B	کاروتنوئید CAROTENOID	ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی TOTAL ANTIOXIDANT CAPACITY	قند ۵ کربنه PENTOSE SUGAR	قند ۶ کربنه HEXOSE SUGAR	قند کل TOTAL SUGAR	فلاونوئید کاسبرگ FLAVONOID	فنل کاسبرگ PHENOL	آنتوسیانین کاسبرگ ANTHOCYANIN
کلروفیل a Chlorophyll a	1									
کلروفیل b Chlorophyll b	0.7**	1								
کاروتنوئید Carotenoid	0.4**	0.2 ^{ns}	1							
ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی Total Antioxidant Capacity	0.7**	0.7**	0.1 ^{ns}	1						
قند ۵ کربنه Pentose Sugar	0.4**	0.4**	0.1 ^{ns}	0.4**	1					
قند ۶ کربنه Hexose Sugar	0.2*	0.2*	0.1 ^{ns}	0.2 ^{ns}	0.07 ^{ns}	1				
قند کل Total Sugar	0.6**	0.6**	0.2 ^{ns}	0.7**	0.4**	0.5**	1			
فلاونوئید کاسبرگ Flavonoid	-0.04 ^{ns}	-0.1 ^{ns}	0.1 ^{ns}	-0.1 ^{ns}	-0.1 ^{ns}	0.1 ^{ns}	-0.1 ^{ns}	1		
فنل کاسبرگ Phenol	0.4**	0.5**	0.1 ^{ns}	0.5**	0.4**	0.1 ^{ns}	0.4**	0.1 ^{ns}	1	
آنتوسیانین کاسبرگ Anthocyanin	0.4**	0.4**	0.3*	0.2 ^{ns}	0.4**	0.2 ^{ns}	0.4**	0.1 ^{ns}	0.6**	1

LSD *، ** و ns: عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد بر اساس آزمون LSD

ns, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% levels, respectively, based on the LSD test

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که آرایش کشت‌های عریض و دو طرفه پشته بدلیل فضای مناسب برای رشد و مبارزه زراعی با علف‌های هرز فضا را برای دریافت تغذیه گیاه چای ترش مهیا می‌کند. عبارتی در آرایش کشت پشته معمولی بدلیل رقابت بیشتر برای دریافت نور و تغذیه از ویژگی بیوشیمیایی چای ترش کاسته است. هر چند تنوع کودهای مورد استفاده در این آزمایش بر ویژگی مورد بحث اثر گذار بودند، اما کمتر کارا بودن کودهای آلی محلول پاشی شده این آزمایش احتمالاً بدلیل اثر افزایش دمای هوا و اثر منفی بر عملکرد کیفی و کمی گیاه می‌باشد. بهترین نتایج بررسی ویژگی فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از کشت در پشته عریض ۷۵ سانتی‌متر با کود تلفیقی (ب) متشکل از کود شیمیایی (N-P-K) ۷۵ درصد توصیه شده، کود زیستی

سوپرنیتروپلاس، کود فسفات بارور ۲ و کود مخلوط ریز مغذی‌ها بود.

منابع

- Al-Baik, M.M.A., & Alamery, A.A.H. (2024).** Effect of NPK combinations on some growth and yield indicators of two varieties of roselle plant (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Kerbala for Agricultural Sciences*, 1, (1): 43-56.
- Al-Sayed, H.M., Hegab, S.A., Youssef, M.A., Khalafalla, M.Y., & Almaroai, Y.A. (2020).** Evaluation of quality and growth of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as affected by bio-fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 1-11.
- Amiri, M., Abdali Mashhadi, A., Bakhshandeh, A., Danesh Shahraki, A., & Gharineh, M. H. (2020).** The effect of density, humic acid and seaweed extract on the quantitative and qualitative yield of baby corn. *Crop physiology Journal*, 14(53): 121-135. (in Persian).
- Ankrah, N.A., Tetteh, A.Y., Coffie, N. & Niagiah, A. (2018).** Characterization of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *altissima* Wester) accessions in Northern Ghana by agromorphological traits. *Journal of Agricultural Science*, 10, 64-75.
- Bekoe, E.O., Cindy Kitcher, C., Agyei, G.A., & Frimpong-Manso, S. (2020).** Pharmacognostic characteristics of (*Hibiscus sabdariffa* L.) as a means of monitoring quality. *Research Journal of Pharmacognosy*, 7(3): 55-63.
- Fakhri, K., Sayfzadeh, S., Sarajooghi, M., Valadabadi, S.A., & Hadidi Masouleh, I. (2022).** Effect of biochar, planting pattern and irrigation methods on yield and yield components of essential oil and nutrient content of Thyme (*Thymus vulgris*). *Agriculture Science and Stable product*, 33(2): 73-84. (In Persian).
- Getso, M.M., Sallau, M.S., Abechi, S.E., & Uba., S. (2018).** The influence of mineral fertilizers in nutrients supplementation and qualitative calyx production of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 11(2): 198-204.
- Ghayoumi-Mohammadi, N., & Asadi-Gharneh, H.A. (2019).** Effects of foliar application and use of vermicompost on quantitative and qualitative characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 34(6): 871-887. (in Persian).
- Hashemi Fadaki, S.E., Fakheri, B.A., Mahdinezhad, N., & Mohammadpour Vashvaei, R. (2018).** Effects of nano and nano bio-fertilizer on physiological, biochemical characteristics and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under drought stress. *Journal of Agricultural Crops Production*, 20(1): 45-66. (in Persian).
- Haydari, M., & Hashempour, A. (2023).** Investigation of Phenolic Compounds and Antioxidants in Fruits. *Journal of Research in Plant Metabolites*, 1(4): 33-69. (in Persian).
- Ifie, I., B.E., Ibitoye, D.O., Marshall, L.J., & Williamson, G. (2018).** Seasonal variation in *Hibiscus sabdariffa* (Roselle) calyx phytochemical profile, soluble solids and a-glucosidase inhibition. *Food Chemistry*, 261, 164–168.
- Jifon, J.L., & Lester, G.E. (2019).** Foliar potassium fertilization improves fruit quality of field-grown muskmelon on calcareous soils in south Texas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 2452-2460.
- Karimian, M.A., Mir, B., Bidranameni, F., & Keshtehgar, A. (2020).** Effects of manure and different intercropping patterns on quantitative and qualitative yield of roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) and cowpea (*Phasaeolous vulgaris*). *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 2(1): 113-125. (in Persian).

- Khalid, M., Saeed-ur-Rahman, Bilal, M., & Huang, D. (2019).** Role of flavonoids in plant interactions with the environment and against human pathogens - A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(11): 2824-2839.
- Khamsezadeh Ghazvini, S., Rasouli, M., & Barna, F. (2024).** Effect of foliar application of melatonin on some morphological and antioxidant characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress conditions. *Journal of Research in Plant Metabolites*, 2(4): 19–35. (in Persian).
- Khatab, A.KH. (2016).** Response of Roselle plants (*Hibiscus sabdariffa* L.) to pressed olive cake compost types and potassium fertilization rates on newly reclaimed soils at siwa oasis, Egypt. *Journal Soil Science and Agricultural Engineering*, 7(5): 365-373.
- Keya, A., Ariful, I., Shishir, R., Mousumi, J.S., Afsana, Y., & Tatia, B. (2023).** Comparative morpho-agronomic and biochemical profiling of different Roselle morphotypes based on their growth and yield associated attributes. *Journal of Agriculture and Crops*, 9, 514-523.
- Li, H., Hu, Z., Wan, Q., Mu, B., Li, G., & Yang, Y. (2022).** Integrated application of inorganic and organic fertilizer enhances soil organo-mineral associations and nutrients in tea garden soil. *Agronomy*, 12, 1-17.
- Lichtenthaler, H.K. (1987).** Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
- Lunn, J.E. 2006.** Sugar-induced increases in trehalose 6-phosphate are correlated with redox activation of ADP-glucose pyrophosphorylase. *Plant Journal*, 47(6): 961–974.
- Mao, A.L., Loeza, C.y., & Ángel A.J.Z. (2023).** Agronomic and physicochemical changes in calyxes of (*Hibiscus sabdariffa* L.) according to the environment and the plantation density. *Agricultural and Biological Sciences*, 35(2): 83-96.
- Marschner, P. (2012).** Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd Ed.). *Academic Press*.
- Mohammadi, Y., Firozabad, B., Gholami, M., & Makarian A.H. (2020).** The effect of vitamins B group and melatonin foliar application on yield and some of physiological traits of soybean (*Glycine max*). *Plant Process and Function*, 9(35): 359-376. (in Persian).
- Muhammad, T.S., Muhammad U., & Rida, N. (2020).** Evaluation of Plant Spacing for Different Morphological, Physiological and Biochemical Traits of (*Sorghum bicolor* L). *Agriculture and Forestry Journal*, 4(2): 106-111.
- Nieto, G., Ros, G., & Castillo, J. (2018).** Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.): A review. *Medicines*, 5(3): 90-98.
- Ramroudi, M., Raisi Nezhad, M., Galavi, M., & Asgharpour, M.R. 2020.** Evaluation of different schedules on morphological traits, economical and photosynthesis pigments of (*sabdariffa Hibiscus*. L). *Nutrition Plants Horticultural*, 3(2): 131-144. (in Persian).
- Rejali, F. (2018).** Introduction to mycorrhizal fungi and their use in various ecosystems. Publication of Agricultural education. (pp. 55-56). (in Persian).
- Santos, E.M., Sánchez-Ortega, I., Lorenzo, J.M., Domínguez, R., Munekata, PES, Falfán-Cortés, R.N., Ibarra, I.S., & Rangel-Vargas, E. (2022).** Use of (*Hibiscus sabdariffa* L.) Calyxes in Meat Products. *Frontiers in Animal Science*, 3, 876042.
- Sanjari, M., Sirousmehr, A.R., & Fakhri, B. (2016).** The effects of drought stress and humic acid on morphological traits, yield and anthocyanin of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agroecology*, 8(3): 346-358. (in Persian).
- Sapian, S., Ibrahim-Mze, A.A., Jubaidi, F.F., Mohd nor, N.A., Taib, I.S., Abd Hamid, Z., & Budin, S.B. (2023).** Therapeutic potential of (*Hibiscus sabdariffa* L.) in attenuating cardiovascular risk factors. *Pharmaceuticals*, 16, 796-807.

Tahmasebi, A., Asgari, A., Bakhshi, S., Shahriari, A.G., & Lee, C.W. (2023). Ultrasound application for the decontamination of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds: Influence on fungal inhibition and seed quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 95, 106-124.

Tomazi, D., & Dorigon, E.B. (2023). Atlantic forest biome: pharmacobotanical and phytochemical effects (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Acta Ambiental Catarinense*, 21(1): 1-11.

Wagner, G.J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, 64(1): 88-93.

Yang, C.M., Wang, M.H., Lu, Y.F., Chang, I.F., & Chou, C.H. (2014). Humic substances affect the activity of chlorophylls. *Chemistry Ecology Journal*, 30, 1057-1065.