Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 41, No. 3, Page 457-475 (2025)

DOI:10.22092/ijmapr.2025.367262.3483

Evaluation of yield and color quality of Rosselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under the influence of nutritional sources

Somayeh Badakhshan[1], Enayatollah Tohidi-Nejad[2*], Jalal Ghanbari[3] and Bahareh Parsa Motlagh[4]

1- Ph. D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
2*- Corresponding author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, E-mail: e_tohidi@uk.ac.ir
3- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
4- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

Received: October 2024 Revised: July 2025 Accepted: July 2024

Abstract

Background and objective: One of the most critical factors influencing the production of agricultural products is the proper nutrition of plants. In addition to its positive role in increasing quantitative yield, it also affects the quality of various products. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) is a medicinal plant and an annual, short-day, self-fertilizing species sensitive to cold and frost. More than 300 Roselle species exist worldwide; like other plants, their growth and yield, both quantitative and qualitative, can be influenced by genetic factors and environmental conditions. Moreover, due to the importance of the quality of extracted compounds in all types of medicinal plants, greater care is required when using chemical fertilizers. This study was conducted to develop a suitable integrated nutritional program using organic and biological fertilizers to replace chemical fertilizers in Roselle cultivation.

Methodology: The field experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications in Jiroft during the years 2021-2022 and 2022–2023. The experimental treatments included 14 nutritional sources: control (T_1), inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (T_2), application of *Azospirillum* (T_3), simultaneous application of arbuscular mycorrhizal fungi + *Azospirillum* (T_4), 100% recommended poultry manure (T_5), 100% recommended chemical fertilizer (T_6), 50% poultry manure + 50% recommended chemical fertilizer (T_7), 50% poultry manure + arbuscular mycorrhizal fungi (T_8), 50% poultry manure + *Azospirillum* (T_9), 50% poultry manure + arbuscular mycorrhizal fungi + *Azospirillum* (T_{10}), 50% chemical fertilizer + arbuscular mycorrhizal fungi (T_{11}), 50% chemical fertilizer + *Azospirillum* (T_{12}), 50% chemical fertilizer + arbuscular mycorrhizal fungi + *Azospirillum* (T_{13}), and 25% poultry manure + 25% chemical fertilizer + arbuscular mycorrhizal fungi + *Azospirillum* (T_{14}). Planting was done on June 12, and harvesting took place on December 1 in both years. Traits measured included wet and dry yield of Roselle sepals, anthocyanin content of sepals, and Hunter's color indices (L*, a*, and b*). Additionally, to evaluate color quality and purity, three indices-hue angle (degrees), chroma, and redness—were assessed. Data analyses were performed using SAS v. 9.1, and means were compared with Duncan's test.

Results: The findings showed significant differences among fertilizer treatments for all traits. The highest Roselle sepal yield was obtained from 50% poultry manure + *Azospirillum* (T_9) and

Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

50% poultry manure + 50% chemical fertilizer (T_7), with a 55% increase compared to the control (T_1). The highest dry sepal yield was also observed in 50% poultry manure + 50% chemical fertilizer (T_7), with no significant difference from 50% poultry manure + *Azospirillum* (T_9). The highest anthocyanin content, with increases of 36.26% and 34.97% over the control, was recorded in poultry manure + arbuscular mycorrhizal fungi + *Azospirillum* (T_{10}) and 50% poultry manure + *Azospirillum* (T_9), respectively. These two treatments also produced the maximum red-green color index values (25.292 and 24.960), color saturation (39.980 and 39.403), and redness (10.769 and 10.282), respectively.

Conclusion: The results indicate that combined nutritional treatments containing poultry manure and biofertilizers can enhance both the quality and quantity of Roselle sepal yield. Sepals from these treatments exhibited the highest values for the measured quantitative traits. In color attributes, the highest values were also obtained from poultry manure and biofertilizer combinations. Therefore, integrated nutritional treatments involving these fertilizers appear to be a suitable alternative for reducing chemical fertilizer use while improving both the quantitative and qualitative yield of Roselle.

Keywords: *Azospirillum*, anthocyanin, arbuscular mycorrhizal, poultry manure.

ارزیابی عملکرد و کیفیت رنگ کاسبرگ چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) تحت تأثیر منابع تغذیه‌ای

سمیه بدخشان[۱]، عنایت‌اله توحیدی‌نژاد[۲*]، جلال قنبری[۳] و بهاره پارسا مطلق[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، پست‌الکترونیک: e_tohidi@uk.ac.ir

۳- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۴- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۳ تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۴

چکیده

سابقه و هدف: از مهمترین عوامل مؤثر بر تولید محصولات کشاورزی، تغذیه صحیح گیاهان است که علاوه بر نقش مثبت در افزایش میزان عملکرد کمی، کیفیت تولیدات مختلف را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) نیز گیاهی دارویی، یکساله، روزکوتاه، خودگشن و حساس به سرما و یخبندان و دارای بیش از ۳۰۰ گونه در سراسر جهان است که رشد و عملکرد کمی و کیفی آن همانند سایر گیاهان می‌تواند علاوه بر عوامل ژنتیکی متأثر از شرایط محیطی باشد. از سوی دیگر، با توجه به اهمیت کیفیت مواد استحصال شده در انواع گیاهان دارویی، لازم است در بکارگیری کودهای شیمیایی دقت بیشتری لحاظ شود. بدین منظور، این پژوهش برای دستیابی به برنامه تغذیه‌ای تلفیقی مناسب از کودهای آلی و زیستی برای جایگزینی کودهای شیمیایی در مزرعه چای ترش انجام شد.

مواد و روش‌ها: این تحقیق، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در شهرستان جیرفت، انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۱۴ منبع مختلف تغذیه‌ای شاهد (T_1)، تلقیح قارچ آربوسکولار میکوریزا (T_2)، کاربرد باکتری آزوسپیریلوم (T_3)، تلقیح قارچ آربوسکولار مایکوریزا (*Funneliformis mosseae*) + باکتری آزوسپیریلوم (T_4)، کاربرد ۱۰۰ درصد کود مرغی توصیه شده (T_5)، کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده (T_6)، ترکیب ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده (T_7)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + قارچ آربوسکولار مایکوریزا (T_8)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + باکتری آزوسپیریلوم (T_9)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + قارچ آربوسکولار مایکوریزا + باکتری آزوسپیریلوم (T_{10})، کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده + قارچ آربوسکولار مایکوریزا (T_{11})، کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده + باکتری آزوسپیریلوم (T_{12})، کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده + قارچ آربوسکولار مایکوریزا + باکتری آزوسپیریلوم (T_{13}) و کاربرد ۲۵٪ کود مرغی توصیه شده + ۲۵٪ کود شیمیایی توصیه شده + قارچ آربوسکولار مایکوریزا + باکتری آزوسپیریلوم (T_{14}) بودند. کشت مزرعه در هر دو سال در تاریخ دوازدهم خردادماه و برداشت نیز در اول آذرماه انجام شد. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد تر و خشک کاسبرگ چای ترش، میزان محتوای آنتوسیانین کاسبرگ‌ها و شاخص‌های بررسی رنگ هانتر شامل شاخص‌های L^*، a^* و b^* بودند. همچنین برای ارزیابی کیفیت و خلوص رنگ نیز سه شاخص زاویه هیو (برحسب درجه)، کروما و شاخص قرمزی رنگ ارزیابی شدند. تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS Ver 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌دار پنج درصد انجام شد.

نتایج: براساس نتایج، بین تیمارهای مختلف کودی از لحاظ کلیه صفات تفاوت معنی‌داری دیده شد. به‌طوری‌که بیشترین عملکرد کاسبرگ تر چای ترش در شرایط کاربرد تیمار تغذیه‌ای ترکیبی ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + باکتری آزوسپیریلوم (T_9) و تیمار ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده (T_7) و با ۵۵٪ افزایش نسبت به شاهد (T_1)، بدست آمد. بالاترین میزان عملکرد کاسبرگ‌های خشک نیز در تیمارهای ترکیبی ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده (T_7) دیده شد که

تفاوت آماری با عملکرد کاسبرگ‌های حاصل از تیمار ترکیبی۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + باکتری آزوسپیریلوم (T_9) نداشت. بیشترین میزان محتوای آنتوسیانین نیز با ۳۶/۲۶ و ۳۴/۹۷ درصد افزایش نسبت به شاهد، به ترتیب از کاسبرگ‌های حاصل از تیمارهای ترکیبی ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + قارچ آربوسکولار مایکوریزا + باکتری آزوسپیریلوم (T_{10}) و ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + باکتری آزوسپیریلوم (T_9) بدست آمد. همچنین حداکثر میزان شاخص‌های رنگی قرمز- سبز (با میزان ۲۵/۲۹۲ و ۲۴/۹۶۰)، اشباع رنگی (با میزان ۳۹/۹۸۰ و ۳۹/۴۰۳) و قرمزی رنگ (با میزان ۱۰/۷۶۹ و ۱۰/۲۸۲) نیز به ترتیب در همین دو تیمار تغذیه‌ای تلفیقی، مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل نشان داد که کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای ترکیبی حاوی کود مرغی و کودهای زیستی می‌تواند علاوه بر افزایش کمی محصول کاسبرگ چای ترش، کیفیت کاسبرگ‌های بدست آمده را نیز افزایش دهد. به‌طوری‌که بیشترین میزان صفات کمی بررسی شده در کاسبرگ‌های حاصل از این تیمارها مشاهده شد و در صفات شاخص‌های رنگ کاسبرگ‌ها نیز، بالاترین میزان این صفات از تیمارهای ترکیبی کود مرغی و کود زیستی بدست آمدند. ازاین‌رو، به نظر می‌رسد تیمارهای تغذیه‌ای تلفیقی شامل این کودها، می‌تواند جایگزین مناسبی برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی به همراه بهبود عملکرد کمی و کیفی چای ترش درنظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: آزوسپیریلوم، آنتوسیانین، قارچ آربوسکولار مایکوریزا، کود مرغی.

مقدمه

امروزه با اثبات تأثیر مجموعه عوامل بوم‌شناختی، ژنتیکی، فیزیولوژیکی، مدیریتی و محیطی بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان مختلف ازجمله گیاهان دارویی، تلاش در جهت اجرای عملیات مدیریتی مناسب به منظور بهبود شاخص‌های کمی و کیفی این محصولات، از نظر اقتصادی برای کشاورزان حائز اهمیت شده است (Rostaei *et al*., 2024؛ Alizadeh *et al*., 2019). بررسی‌های مختلف نیز نشان داده است که در تولیدات کشاورزی، تأمین عناصر غذایی به میزان مناسب، می‌تواند با افزایش کیفیت محصولات مانند اندازه، رنگ، طعم و مزه، نقش مهمی در بازارپسندی محصولات داشته باشد (Dorianizadeh *et al*., 2017).

یکی از راه‌های حصول محصول باکیفیت، اعمال راهکارهای مبتنی بر استفاده از اصول درازمدت کشاورزی اکولوژیک در بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشد (Rahimi *et al*., 2019). بر همین اساس، اخیراً استفاده از ترکیبات سازگار با گیاه، طبیعت و انسان در تولید انواع محصولات مورد توجه قرار گرفته است که رعایت آن موجب حفظ و بهبود خواص مواد غذایی حاصل، خواهد شد (Ozkan *et al*., 2016). به عبارت دیگر، اگرچه استفاده از کودهای معدنی ظاهراً سریع‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای تأمین نیازهای غذایی گیاهان محسوب می‌شود اما کاربرد کودهای شیمیایی در بوم‌نظام زراعی در نتیجه به هم خوردن تعادل عناصر غذایی خاک و آلودگی منابع آب و خاک، کیفیت محصولات را به شدت تحت تأثیر قرار داده است (Heydarzadeh *et al*., 2018).

امروزه در سیستم‌های کشاورزی پایدار، استفاده از منابع تجدیدپذیری که حداکثر مزایای بوم‌شناختی و حداقل مضرات محیطی را داشته باشند، موضوعی ضروریست (Farashiani *et al*., 2021). نهاده‌های بوم‌سازگاری مانند ترکیبات آلی و کودهای زیستی، ازجمله منابع تجدیدپذیر قابل استفاده‌ای هستند که امکان جایگزین نمودن کودهای شیمیایی توسط این ترکیبات وجود دارد (Babou & Mehera, 2022؛ Hammad *et al*., 2019). کودهای آلی ضمن دارا بودن عناصر مورد نیاز گیاه به فرم قابل جذب و تأثیر مثبت بر متابولیسم گیاه (Mousavi *et al*., 2023) خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک را نیز اصلاح کرده و موجب بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش فعالیت بیولوژیکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگه‌داری رطوبت در خاک می‌شوند (Hoover *et al*., 2019؛ Sharma & Agarwal, 2014).

Chowdhury و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه گیاه دارویی آلوئه‌ورا مشاهده کردند که مصرف کود مرغی با تأثیر مثبت بر ویژگی‌های خاک سبب بهبود وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه و نیز افزایش میزان ماده مؤثره آن شده است.

گزارش سایر محققان نیز نشان داد که مصرف کودهای دامی از طریق افزودن نیتروژن و کربن آلی می‌تواند شرایط رشد گیاه را با جذب بهتر آب و عناصر غذایی، فراهم نماید (Rostaei *et al*., 2018).

کودهای زیستی نیز شامل انواع ریزموجودات همزیست، همیار یا آزادزی و مواد حاصل از فعالیت آنها هستند که طی فرایندهای بیولوژیکی امکان تغییر عناصر غذایی را از فرم غیرقابل دسترس به صورت قابل استفاده، دارند. این شرایط موجب بهبود جوانه‌زنی بذرها، توسعه سیستم ریشه‌ای و در نهایت رشد و نمو بهتر گیاه می‌شوند (Ghamari *et al*., 2016). از انواع این ترکیبات زیستی می‌توان باکتری‌های محرک رشد (PGPR) مانند آزوسپیریلوم (*AZ*) را نام برد. گونه‌های مختلف باکتری آزوسپیریلوم در خاک‌ها و به تعداد بیشتر روی سطح ریشه گیاهان مناطق مختلف دیده شده‌اند (Hossain *et al*., 2015). این باکتری با بسیاری از گیاهان یکساله، چند ساله و گیاهان زراعی و علفی رابطه همیاری برقرار نموده و دارای اثرهای مثبتی مانند تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، تثبیت نیتروژن، افزایش حلالیت فسفات‌های نامحلول، ارتباط سینرژیستی با سایر باکتری‌های مفید خاکزی و ... می‌باشد (Prasad & Babu, 2017).

محققان استفاده از کودهای زیستی حاوی آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر را عامل مؤثر در افزایش رشد رویشی و زایشی شوید گزارش کردند (Chattopadhyay *et al*., 2017). پژوهشگران دیگری نیز مشاهده کردند که کاربرد تلفیقی کود دامی و آزوسپیریلوم سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی رازیانه گردید (Singh, 2012). مطابق نتایج بررسی Sadeghi و همکاران (۲۰۱۵) نیز اثر کاربرد کودهای زیستی بر دو رقم ذرت علوفه‌ای مثبت ارزیابی شد.

یکی دیگر از جایگزین‌های زیستی مهم در جهت حذف یا کاهش قابل ملاحظه مصرف نهاده‌های شیمیایی، تلقیح با گونه‌های قارچ‌های مایکوریزا گزارش شده است (Cely *et al*., 2016). این نوع قارچ می‌تواند از طریق همزیستی با ریشه گیاهان، انحلال بیشتر مواد غذایی و افزایش جذب این مواد، شرایط رشدی گیاه را تنظیم کند (Begum *et al*., 2019). محققان نیز، تلقیح بذرهای سیاهدانه با مایکوریزا را سبب بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه گزارش کردند (Darakeh *et al*., 2021). همچنین Karagiannidis و همکاران (۲۰۱۲) افزایش معنی‌دار رشد، تولید اسانس و جذب عناصر غذایی را در برخی گیاهان دارویی تلقیح شده با مایکوریزا مانند مریم گلی (*Salvia officinalis*)، اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) و مرزنجوش (*Origanum dicatmanus*) مشاهده کردند (Karagiannidis *et al*., 2012).

یکی از مهمترین پارامترهای کیفی انواع مواد غذایی، رنگ این محصولات می‌باشد که بیشتر حاصل بازتابش نور است و نور عبوری نقش مهمی در فرایند دید و پذیرش رنگ ندارد (Yagoobi-Soureh *et al*., 2013). رنگ، اغلب ۴۰ درصد از معیار پذیرش محصول توسط مصرف‌کنندگان را شامل می‌شود که می‌تواند توسط خواص حسی انسان و یا با استفاده از ابزارهای فیزیکی خاص بررسی شود (Mardani & Nadi, 2018). در گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) نیز کیفیت رنگ محصول، حائز اهمیت است (Da-Costa-Rocha *et al*., 2014). این گیاه یکساله، تتراپلوئید و دارای پایه کروموزومی 2n=18 است که ارتفاع ساقه آن گاه به ۴ متر هم می‌رسد. برگ‌های چای ترش، متناوب با رگبرگ‌های پنجه‌ای، دارای ۷-۳ لوب و حاشیه‌ای دندانه‌ای است (Abdelhafez *et al*., 2019). میوه چای ترش توسط کاسبرگ‌هایی احاطه شده‌اند که این کاسبرگ‌ها به دلیل دارا بودن ترکیباتی مانند انواع اسیدهای آلی، مواد معدنی، ویتامین ث و ... دارای خاصیت دارویی قابل توجهی می‌باشند (Ahmed *et al*., 2011).

براساس مطالعات انجام شده آنتوسیانن‌ها یا رنگیزه‌های عامل رنگ قرمز کاسبرگ چای ترش، علاوه بر ایجاد جذابیت ظاهری محصولات قرمز رنگ، بر میزان ارزش غذایی این محصولات نیز مؤثر بوده و مقدار آن از مهمترین عوامل تعیین‌کننده کیفیت و بازارپسندی اینگونه محصولات می‌باشد (Khalil & Abdel-Kader, 2011). از سویی دیگر، دارا بودن خواص فراوان مانند فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ویژگی‌های فیزیولوژیکی مختلف ازجمله خواص ضد

سرطانی، پیشگیری از انسداد شریان قلب و ... مصرف آنتوسیانین‌ها را در دنیا بسیار مورد توجه قرار داده است (Fang *et al.*, 2015). همچنین باوجود استفاده از انواع رنگ‌های با منبع شیمیایی در مواد غذایی که خود عامل مؤثری در ایجاد سرطان، اختلالات گوارشی و انواع آلرژی هستند، گرایش به استفاده از رنگ‌های طبیعی در حال افزایش است که آنتوسیانین‌ها می‌توانند با رنگ‌های جذاب و درخشان خود جایگزین مناسبی برای رنگ‌های مضر شیمیایی باشند (Houghton *et al.*, 2021). اما مطابق نتایج مطالعات مختلف علاوه بر ناپایداری ترکیبات آنتوسیانین‌ها، عوامل مختلفی بر میزان رنگدانه‌های آنتوسیانین موجود در محصولات گیاهی نیز اثر دارند که از آن جمله می‌توان به منابع غذایی استفاده شده، اشاره کرد (Nemati *et al.*, 2015).

در پژوهش Nemati و همکاران (۲۰۱۵)، بیشترین میزان آنتوسیانین در کاسبرگ‌های بدست آمده از تیمار تغذیه‌ای ترکیب کود دامی و کود زیستی تثبیت‌کننده نیتروژن مشاهده شد. بنابراین باوجود تأثیر میزان آنتوسیانین بر رنگ محصول نهایی، بررسی کیفیت و بازارپسندی محصول را می‌توان با مطالعه شاخص‌های رنگ هانتر شامل شاخص L^* (نماد روشنایی رنگ)، شاخص a^* (نماد سبزی تا قرمزی رنگ) و شاخص b^* (نماد آبی تا زردی رنگ) انجام داد. همچنین کیفیت و اشباع رنگ به ترتیب با استفاده از بررسی پارامترهای زاویه هیو و کروما قابل ارزیابی می‌باشند. در نهایت با استفاده از نتایج رنگ‌سنجی انجام شده می‌توان سیستم‌های تغذیه‌ای موردنظر را ارزیابی کرد.

بنابراین باتوجه به اهمیت و مصرف گیاه چای ترش به عنوان گیاه دارویی مقاوم نسبت به شرایط محیطی مناطق خشک و نیمه‌خشک و از سوی دیگر امکان کاربرد کاسبرگ آن در استخراج رنگ خوراکی، برنامه‌ریزی بلندمدت و بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد کمی و کیفی محصول چای ترش، الزامیست. این پژوهش نیز با هدف مطالعه تأثیر سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای بر میزان عملکرد و کیفیت رنگ کاسبرگ‌های حاصل، جهت یافتن جایگزینی مناسب برای ترکیبات شیمیایی مورد استفاده در تولید چای ترش، انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی تأثیر منابع مختلف تغذیه‌ای بر عملکرد و کیفیت رنگ کاسبرگ چای ترش در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در شهرستان جیرفت اجرا شد. شهرستان جیرفت با عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی در ارتفاع ۶۲۵/۶ متر از سطح دریا قرار دارد. برخی ویژگی‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش طی دو سال مورد نظر در جدول ۱ گزارش شده است. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری تصادفی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری انجام شد که نتایج حاصل از آنالیز نمونه خاک در آزمایشگاه، در جدول ۲ بیان شده است. تیمارهای آزمایش شامل منابع مختلف تغذیه‌ای در ۱۴ سطح شامل شاهد (T_1)، تلقیح قارچ آربوسکولار میکوریزا (T_2)، کاربرد باکتری آزوسپیریلوم (T_3)، تلقیح قارچ آربوسکولار مایکوریزا + باکتری آزوسپیریلوم (T_4)، کاربرد ۱۰۰ درصد کود مرغی توصیه شده (T_5)، کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده (T_6)، ترکیب ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده (T_7)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + قارچ آربوسکولار مایکوریزا (T_8)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + باکتری آزوسپیریلوم (T_9)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده + قارچ آربوسکولار مایکوریزا + باکتری آزوسپیریلوم (T_{10})، کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده + قارچ آربوسکولار مایکوریزا (T_{11})، کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده + باکتری آزوسپیریلوم (T_{12})، کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده + قارچ آربوسکولار مایکوریزا + باکتری آزوسپیریلوم (T_{13}) و کاربرد ۲۵٪ کود مرغی توصیه شده + ۲۵٪ کود شیمیایی توصیه شده + قارچ آربوسکولار مایکوریزا+ باکتری آزوسپیریلوم (T_{14}) بودند.

جدول ۱- آمار هواشناسی منطقه مورد مطالعه طی دو سال زراعی

Table 1. Meteorological statistics of the study area during two crop years

Year	Average maximum temperature (^{0}C)	Average temperature (^{0}C)	Average maximum relative humidity (%)	Average total evaporation (mm)	Average total sunshine hours (h)
2021-2022	38.48	32.61	39.50	293	219.53
2022-2023	38.74	32.93	37.44	323.86	237.35

جدول ۲- خصوصیات خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر طی دو سال زراعی

Table 2. Characteristics of the farm soil in depth of 0-30 cm during two crop years

Year	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	Total nitrogen (%)	Organic matter (%)	Available phosphorous (ppm)	Available potassium (ppm)	Texture
2021-2022	1.5	7.1	0.027	0.34	21	100	Loamy-Sandy
2022-2023	1.8	7.5	0.075	0.52	22.4	145	Loamy-Sandy

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی کود مرغی استفاده شده در آزمایش

Table 3. Chemical properties of poultry manure used in the experiment

Potassium (ppm)	Phosphorous (ppm)	Organic carbon (%)	Total nitrogen (%)	pH	EC ($dS.m^{-1}$)
4.4	2.43	34.02	3.58	7.5	4.5

براساس منابع مورد بررسی، نیاز چای ترش به نیتروژن سالانه حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2017; Ganjali *et al.*, 2017). از سویی، با توجه به اینکه هدف این تحقیق تکرار آزمایش طی دو سال متوالی بوده است، ازاین‌رو در مقدار کودها در سال دوم نیز تغییری انجام نشد، بر همین اساس، در تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود مرغی توصیه شده، بر مبنای محتوای نیتروژن حاصل از نتایج تجزیه کود (جدول ۳)، مقدار کود مرغی لازم میزان سه تن در هکتار محاسبه و در طی آماده‌سازی بستر کاشت، به کرت‌های مربوطه اضافه شد. مقادیر کود شیمیایی نیز در تیمار ۱۰۰ درصد کاربرد، براساس مقادیر نیتروژن توصیه شده و مقادیر فسفر و پتاسیم موجود در کود مرغی محاسبه و اعمال شد. بر این اساس، در تیمارهای ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، مقادیر ۱۰۷ کیلوگرم N از منبع اوره، ۷۳ کیلوگرم P_2O_5 از منبع سوپرفسفات تریپل و ۱۳۲ کیلوگرم K_2O از منبع سولفات پتاسیم اعمال شد. مقادیر کودهای شیمیایی سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به همراه یک‌سوم کود اوره قبل از کاشت و بقیه کود اوره نیز طی دو مرحله در اواسط و اواخر رشد رویشی گیاه استفاده گردید.

بذرهای چای ترش (توده بومی جیرفت) قبل از کاشت، در تیمارهای شامل کاربرد باکتری محرک رشد، با محلول حاوی باکتری آزوسپیریلوم (*Azospirillum lipoferum*) با 10^{7}-10^{8} عدد واحدهای کلونی باکتری در هر گرم که از بخش تحقیقات و توسعه شرکت زیست فناور سبز، تهران تهیه شده بود، تلقیح شدند و بعد از کاشت نیز محلول حاوی

باکتری، در محل کاشت بذرها ریخته شد. در تیمار مصرف قارچ نیز همزمان با کشت، مقدار پنج گرم اسپور قارچ آربوسکولار میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) تهیه شده از کلینیک گیاه‌پزشکی ارگانیک واقع در اسدآباد همدان، زیر بذرها در بستر کاشت قرار داده شد.

کاشت بذرها در هر دو سال زراعی مورد بررسی در تاریخ دوازدهم خردادماه (با توجه به اینکه گیاه چای ترش گرمادوست و حساسیت به کاهش دما در ابتدای مراحل رشد)، در کلیه کرت‌ها (با ابعاد ۵/۵ مترمربع) با تراکم ۵۰۰۰۰ بوته در هکتار (فاصله بین بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر) به صورت کپه‌ای انجام شد (Mohammadpour Vashvaei *et al*., 2017). تنک کردن بوته‌ها در مرحله ۴ تا ۶ برگی اعمال و در طول دوره رشد هیچ‌گونه مبارزه شیمیایی علیه آفات و بیماری‌ها انجام نشد. آبیاری مزرعه مطابق با نیاز گیاه و به صورت سیستم آبیاری قطره‌ای انجام شد. در مراحل دو تا چهار برگی و اواسط رشد رویشی نیز علف‌های هرز مزرعه وجین دستی شدند. گل‌های چای ترش، بزرگ، با دمگل کوتاه و به رنگ سفید تا زرد کم‌رنگ و دارای نقاط قرمز رنگ بر روی گلبرگ‌ها هستند که به دلیل ریزش سریع پس از باز شدن، کمتر موردتوجه قرار گرفته‌اند اما کاسبرگ گوشتی باقیمانده روی بوته که بعد از رسیدن به رنگ قرمز تغییر رنگ می‌دهد به دلیل دارا بودن خواص دارویی فراوان، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mahbubul Islam, 2019). بر همین اساس، در این بررسی فاکتورهای مورد مطالعه شامل عملکرد کاسبرگ تر و خشک چای ترش، میزان محتوای آنتوسیانین کاسبرگ‌ها و شاخص‌های مختص به رنگ کاسبرگ بودند. ازاین‌رو، به منظور اندازه‌گیری عملکرد کاسبرگ‌های تر و خشک، در هر دو سال در اول آذرماه، گیاهان از سطحی معادل یک مترمربع پس از حذف اثرهای حاشیه‌ای، برداشت شدند. پس از جداسازی کاسبرگ‌ها و توزین کاسبرگ‌های تر و خشک کردن آنها در سایه و در دمای آزمایشگاه، برای بررسی تأثیر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد گیاه، کاسبرگ‌های خشک شده مربوط به هر تیمار جداگانه توزین شدند.

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین کاسبرگ‌ها، ۰/۱ گرم از نمونه‌های کاسبرگ خشک و پودر شده را با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (با نسبت حجمی ۱:۹۹ اسید کلریدریک خالص بعلاوه متانول خالص) ترکیب کرده و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی نگه‌داری شدند. سپس نمونه در دور ۴۰۰۰rpm، به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ و در طول موج ۵۵۰ نانومتر جذب محلول رویی آنها ثبت شد. ضریب خاموشی $M^{-1}cm^{-1}$ برای محاسبه غلظت آنتوسیانین استفاده شد (Wagner, 1979).

برای بررسی صفات مربوط به رنگ نمونه کاسبرگ‌های خشک شده از دستگاه رنگ‌سنج مدل TES-135A ساخت کمپانی TES تایوان استفاده شد. برای این منظور، ابتدا دستگاه با مرجع سفید مختص به خود، کالیبره شد و بعد نمونه پودر شده کاسبرگ خشک مربوط به هر تیمار درون پتری شیشه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی، برای هر نمونه سه شاخص هانتر (Hunter component L*, a* and b*) اندازه‌گیری شد که *L نماد روشنایی رنگ از L*=۰ برای رنگ سیاه تا L*=۱۰۰ برای رنگ سفید، *a نماد سبزی تا قرمزی رنگ از a*= −۶۰ برای رنگ سبز تا a*= +۶۰ برای رنگ قرمز و *b نماد آبی تا زرد از b*= −۶۰ برای رنگ آبی تا b*= +۶۰ برای رنگ زرد استفاده شد. برای ارزیابی کیفیت و خلوص رنگ نیز سه شاخص زاویه هیو (Hue angle) برحسب درجه، کروما (Chroma) و شاخص قرمزی (Redness) رنگ به صورت زیر محاسبه گردید (Pathare *et al*., 2013).

$$\text{Hue angle}=\arctan(b^*/a^*)$$
$$\text{Chroma}=(a^{*2}+b^{*2})^{0.5}$$

RI= a*/b*

داده‌های آزمایش حاصل از دو سال بررسی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه مرکب در سال قرار گرفت. آزمون بارتلت برای بررسی همگنی واریانس صفات ارزیابی شده بین سال‌های مورد بررسی نیز انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج

آزمون همگنی واریانس سال‌های مورد بررسی

نتایج آزمون بارتلت بین سال‌های مورد بررسی نشان داد، اثر سال بر کلیه صفات مورد بررسی به‌جز شاخص b* (نماد آبی تا زرد) معنی‌دار بود که بیانگر همگنی واریانس‌ها در بین سال‌های مورد بررسی می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج آزمون بارتلت (مقادیر کای-اسکوئر) برای همگنی واریانس صفات گیاه چای ترش در دو سال زراعی متوالی

Table 4. Bartlett test (Chi-Square values) results for variance homogeneity of *Hibiscus sabdariffa* traits during two consecutive crop years

	Chi-Square									
	Sepal fresh yield ($kg.ha^{-1}$)	Sepal dry yield ($kg.ha^{-1}$)	Sepal anthocyanin content ($\mu mol.g^{-1}$ dry matter)	Lightness (L^*)	Red-Greenness (a^*)	Blue-Yellowness (b^*)	Chroma	b/a	Hue angle (degree)	Redness
Year	0.076 ^{ns}	0.021 ^{ns}	3.28 ^{ns}	2.01 ^{ns}	1.75 ^{ns}	5.35 *	1.76 ^{ns}	1.26 ^{ns}	3.56 ^{ns}	3.47 ^{ns}

$^{n.s.}$ and *: not significant and significant at 5% probability level, respectively.

عملکرد کاسبرگ تر و خشک

در تجزیه مرکب دو سال زراعی (جدول ۵) اثر تیمارهای مختلف تغذیه‌ای بر میزان عملکرد تر و خشک کاسبرگ چای ترش معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۱). بیشترین میزان عملکرد کاسبرگ تر به ترتیب از تیمارهای T_9 (50%PM+*Az*) و T_7 (50% PM+50%CF) با ۵۵ و ۵۴/۳۹ درصد افزایش نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) و کمترین میزان آن از شاهد (T_1) حاصل شد (جدول ۶). حداکثر میزان عملکرد کاسبرگ خشک نیز از تیمار (50% T_7 (PM+50%CF با ۴۹/۴۵ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد بدست آمد، هرچند عملکرد حاصل از این تیمار تفاوت آماری با تیمار T_9 (50%PM+*Az*) نداشت. همچنین حداقل میزان عملکرد کاسبرگ خشک در شاهد مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب تأثیر تغذیه بر صفات گیاه چای ترش در دو سال زراعی متوالی

Table 5. Combined ANOVA of nutrition effects on *Hibiscus sabdariffa* traits during two consecutive crop years

S. O.V.	d.f.	M.S.									
		Sepal fresh yield	Sepal dry yield	Sepal anthocyanin content	Lightness (L^*)	Red-Greenness (a^*)	Blue-Yellowness (b^*)	Chroma	b/a	Hue angle	Redness
Year	1	524204.500^{ns}	2571.340^{ns}	0.010^{*}	1.666^{ns}	22.872^{*}	0.203^{*}	68.846^{*}	0.0003^{ns}	0.759^{ns}	0.015^{ns}
Block (Year)	4	1485797.162	969.462	0.001	3.843	3.201	0.021	9.397	0.0002	0.701	0.272
Nutrition	13	30932597.390^{**}	512720.571^{**}	0.031^{**}	14.156^{**}	35.620^{**}	0.267^{**}	104.483^{**}	0.0042^{**}	13.190^{**}	13.814^{**}
Year × Nutrition	13	452871.549^{ns}	1997.513^{ns}	0.002^{ns}	2.637^{ns}	3.330^{ns}	0.032^{ns}	10.110^{ns}	0.0002^{ns}	0.713^{ns}	0.698^{ns}
Experimental error	52	834443.380	2236.541	0.002	3.233	3.463	0.036	10.595	0.0018	0.585	0.483
C.V. (%)	-	8.27	3.79	8.10	8.19	8.67	7.00	9.76	10.41	10.27	8.70

$^{n.s.}$, *, and **: not significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر تغذیه بر صفات گیاه چای ترش در دو سال زراعی متوالی

Table6. Means comparison of nutrition effects on *Hibiscus sabdariffa* traits during two consecutive crop years

	Sepal fresh yield ($kg.ha^{-1}$)	Sepal dry yield ($kg.ha^{-1}$)	Sepal anthocyanin content ($\mu mol.g^{-1}$ dry matter)	Lightness (L^*)	Red-Greenness (a^*)	Blue-Yellowness (b^*)	Chroma	b/a	Hue angle (degree)	Redness
Year										
2021-2022	10962.717^{a}	1252.664^{a}	0.483^{b}	22.093^{a}	20.948^{b}	2.682^{b}	32.441^{b}	0.132^{a}	7.537^{a}	7.981^{a}
2022-2023	11120.712^{a}	1241.599^{a}	0.506^{a}	21.811^{a}	21.991^{a}	2.781^{a}	34.252^{a}	0.129^{a}	7.347^{a}	8.008^{a}
Treatment										
T_1 (Control)	6499.717^{h}	874.500^{g}	0.385^{g}	24.080^{a}	16.175^{e}	3.155^{a}	24.424^{e}	0.197^{a}	11.154^{a}	5.142^{g}
T_2 (AMF)	8810.908^{g}	888.800^{f}	0.415^{fg}	23.352^{ab}	18.920^{de}	2.901^{a-c}	28.947^{de}	0.153^{b}	8.725^{b}	6.526^{f}
T_3 (*AZ*)	10298.66^{d-g}	1029.050^{f}	0.431^{e-g}	23.205^{ab}	19.755^{c-e}	2.892^{a-c}	30.390^{c-e}	0.148^{bc}	8.402^{bc}	6.833^{ef}
T_4 (AMF+ *AZ*)	9399.683^{e-g}	1028.133^{f}	0.465^{d-f}	22.758^{a-c}	20.230^{b-d}	2.852^{a-c}	31.180^{b-d}	0.141^{bc}	8.046^{bc}	7.112^{d-f}
T_5 (100%PM)	13296.980^{ab}	1466.392^{c}	0.577^{ab}	20.184^{b-d}	23.550^{ab}	2.599^{b-d}	36.931^{ab}	0.112^{d-f}	6.363^{d-f}	9.127^{b}
T_6 (100%CF)	11035.110^{c-e}	1225.675^{e}	0.412^{fg}	23.596^{ab}	20.127^{b-d}	2.958^{ab}	31.033^{b-d}	0.148^{bc}	8.401^{bc}	6.829^{ef}
T_7 (50%PM+50%CF)	14252.06^{a}	1729.842^{a}	0.544^{a-c}	21.279^{a-d}	22.940^{a-c}	2.539^{cd}	35.823^{a-c}	0.111^{d-f}	6.314^{d-f}	9.049^{b}
T_8 (50%PM+AMF)	9891.475^{d-g}	1007.05^{f}	0.518^{b-d}	22.023^{a-d}	21.181^{b-d}	2.729^{b-d}	32.816^{b-d}	0.130^{b-d}	7.426^{b-d}	7.762^{c-f}
T_9 (50%PM+ *AZ*)	14464.45^{a}	1656.233^{ab}	0.592^{a}	19.005^{d}	25.292^{a}	2.375^{d}	39.980^{a}	0.094^{f}	5.504^{f}	10.769^{a}
T_{10}(50%PM+AMF+ *AZ*)	11989.27^{bc}	1490.317^{c}	0.604^{a}	19.362^{cd}	24.960^{a}	2.434^{d}	39.403^{a}	0.098^{ef}	5.625^{ef}	10.282^{a}
T_{11} (50%CF+AMF)	9342.025^{fg}	1003.933^{f}	0.465^{d-f}	22.352^{a-d}	20.835^{b-d}	2.748^{b-d}	32.231^{b-d}	0.133^{b-d}	7.596^{b-d}	7.577^{c-f}
T_{12} (50%CF+ *AZ*)	10655.330^{c-f}	1320.183^{d}	0.469^{d-f}	22.209^{a-d}	22.186^{a-d}	2.718^{b-d}	34.540^{a-d}	0.123^{c-e}	6.988^{c-e}	8.188^{b-d}
T_{13} (50%CF+AMF+ *AZ*)	11989.270^{bc}	1160.317^{e}	0.491^{c-e}	22.132^{a-d}	21.513^{b-d}	2.706^{b-d}	33.357^{b-d}	0.126^{cd}	7.169^{cd}	7.989^{b-e}
T_{14} (25%PM+25%CF+AMF+ AZ)	*13444.380^{ab}*	*1579.417^{b}*	*0.561^{a-c}*	*21.791^{a-d}*	*22.914^{a-c}*	*2.635^{b-d}*	*35.801^{a-c}*	*0.115^{d-f}*	*6.581^{d-f}*	*8.749^{bc}*

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).
Control: no fertilizer and microorganism application, AMF: Arbuscular mycorrhizal fungi, *AZ*: *Azospirillum*, PM: poultry manure, CF: chemical fertilizer

محتوای آنتوسیانین کاسبرگ

مطابق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) در هر دو فصل زراعی، اثر منابع مختلف تغذیه‌ای بر میزان محتوای آنتوسیانین کاسبرگ چای ترش معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۱). حداکثر میزان محتوای آنتوسیانین از کاسبرگ‌های حاصل از تیمارهای ترکیبی (50%PM+AMF+*Az*) T_{10} و (50%PM+*Az*) T_9 و با افزایش ۳۶/۲۶ و ۳۴/۹۷ درصدی نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود) بدست آمد و کمترین میزان آن نیز در شاهد مشاهده شد (جدول ۶). همچنین میزان محتوای آنتوسیانین در سال دوم نسبت به سال اول افزایش نشان داد (جدول ۶).

شاخص‌های رنگ کاسبرگ

شاخص L^* (نماد روشنایی رنگ)

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) در هر دو فصل زراعی، شاخص روشنایی رنگ کاسبرگ چای ترش تحت تأثیر منابع مختلف تغذیه‌ای قرار گرفت ($P\leq$۰/۰۱). حداکثر میزان روشنایی رنگ از شاهد بدست آمد و حداقل میزان این شاخص در تیمار (50%PM+*Az*) T_9 مشاهده شد (جدول ۶).

شاخص a^* (نماد سبزی تا قرمزی)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) در هر دو فصل زراعی، حکایت از تأثیر منابع مختلف تغذیه‌ای بر شاخص a^* کاسبرگ چای ترش داشت ($P\leq$۰/۰۱). بیشترین میزان این شاخص از تیمارهای ترکیبی (50%PM+*Az*) T_9 و (50%PM+AMF+*Az*) T_{10} و کمترین میزان آن از شاهد حاصل شد (جدول ۶). اثر سال نیز بر میزان شاخص a^* معنی‌دار شد ($P\leq$۰/۰۵) (جدول ۵)، به‌طوری‌که مقدار این شاخص در سال دوم بیشتر از سال اول بدست آمد (جدول ۶).

شاخص b^* (نماد آبی تا زرد)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) در هر دو فصل زراعی، نشان داد که میزان شاخص b^* تحت تأثیر اثرهای ساده منابع مختلف تغذیه‌ای ($P\leq$۰/۰۱) و سال ($P\leq$۰/۰۵) قرار گرفت، هرچند که اثر متقابل آنها بر این شاخص تأثیر معنی‌داری نداشت. به‌طوری‌که حداکثر میزان این شاخص در تیمار تغذیه‌ای شاهد دیده شد و حداقل آن از تیمارهای تغذیه‌ای تلفیقی (50%PM+*Az*) T_9 و (50%PM+AMF+*Az*) T_{10} بدست آمد (جدول ۶). همچنین بیشترین مقدار شاخص b^* در سال دوم مشاهده شد (جدول ۶).

شاخص شدت رنگ (کروما)

مطابق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) در هر دو فصل زراعی، میزان شدت رنگ کاسبرگ چای ترش در تیمارهای منابع تغذیه‌ای مختلف به‌کار برده شده به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد اختلاف نشان دادند ($P\leq$۰/۰۱). به‌طوری‌که بیشترین میزان شدت رنگ کاسبرگ از تیمارهای (50%PM+*Az*) T_9 و (50%PM+AMF+*Az*) T_{10} حاصل شد و کمترین میزان کروما در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۶). مقدار این شاخص تحت تأثیر اثر سال نیز قرار گرفت و در سال دوم مقدار شدت رنگ بیشتر بود (جدول ۶).

زاویه هیو

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) در هر دو فصل زراعی، بیانگر تأثیر معنی‌دار تیمارهای منابع مختلف تغذیه‌ای استفاده شده بود ($P\leq$۰/۰۱). اثر ساده سال و اثر متقابل فاکتورهای موردنظر بر میزان زاویه هیو رنگ کاسبرگ چای ترش معنی‌دار نشد. حداکثر زاویه هیو از تیمار تغذیه‌ای شاهد بدست آمد و حداقل میزان آن نیز در تیمارهای (50%PM+*Az*) T_9 و (50%PM+AMF+*Az*) T_{10} مشاهده شد (جدول ۶).

شاخص قرمزی کاسبرگ

مطابق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵)

شاخص قرمزی کاسبرگ در طی دو فصل زراعی به‌طور معنی‌داری از تیمارهای مختلف تغذیه‌ای تأثیر پذیرفت ($P\leq$۰/۰۱). بیشترین میزان این شاخص از تیمارهای T_9(50%PM+*Az*) و T_{10} (50%PM+AMF+*Az*) حاصل و کمترین میزان شاخص قرمزی نیز در شاهد دیده شد (جدول ۶).

بحث

عملکرد کاسبرگ تر و خشک

محققان در بررسی اثر منابع مختلف تغذیه‌ای بر زرشک، مشکلات محیطی ناشی از کاربرد غیرضروری انواع کودهای شیمیایی، افزایش هزینه‌های تولید به دلیل مصرف بی‌رویه عناصر غذایی و کاهش خودپایداری بوم‌نظام‌های زراعی را عواملی مؤثر بر تجدیدنظر در روش‌های افزایش تولیدات کشاورزی گزارش کردند. همچنین بهبود عملکرد کمی و کیفی تولید ناشی از تیمارهای ترکیبی کود دامی، شیمیایی و اسید هیومیک مهم تلقی گردید (Zare *et al*., 2020). در مطالعه تأثیر کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی بر رشد نیز عملکرد کاسبرگ و کیفیت چای ترش نسبت به کاربرد منفرد آنها، اثرهای به مراتب بهتری گزارش شده است (Akanbi *et al*., 2009). در بررسی میزان عملکرد و روغن دانه آفتابگردان در مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی مشخص شده که مدیریت تلفیقی به عنوان یک سیستم مدیریتی منطقی کاهش میزان مصرف کودهای شیمیایی، جلوگیری از اثرهای منفی آنها بر آب‌های سطحی و زیرزمینی، توازن تغذیه‌ای گیاهان و در نهایت افزایش عملکرد را به دنبال دارد (Javanmard & Shekari, 2016). در این پژوهش باتوجه به نتایج بدست آمده مبنی بر تأثیر مثبت تیمارهای تلفیقی T_7 (50%PM+50%CF) و T_9 (50%PM+ *AZ*) بر میزان عملکرد کاسبرگ چای ترش و به ترتیب افزایش ۴۹/۴۵ و ۴۷/۲۰ درصدی میزان این صفت نسبت به شاهد، می‌توان بیان کرد که استفاده از نهاده بوم‌سازگار کود مرغی علاوه بر دارا بودن خاصیت بازچرخش عناصر غذایی به خاک، باروری خاک را موجب می‌شود. بنابراین می‌توان استفاده از این کود را به عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای غیرآلی و در راستای کاهش عوارض نامطلوب کودهای شیمیایی معرفی کرد. نتایج مشابهی در گیاه بامیه نیز دیده شده است (Olaniya *et al*., 2010). همچنین به نظر می‌رسد وجود آزوسپیریلوم در تیمار ترکیبی استفاده شده به عنوان یک منبع غذایی تکمیلی و توانمند در تثبیت زیستی نیتروژن با کمک به جذب آب و عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد و برخی ویتامین‌ها (Azarnia *et al*., 2015)، رشد کمی و کیفی گیاه چای ترش را تقویت کرده که نتیجه آن به صورت افزایش عملکرد اقتصادی، نمایان شده است. علاوه بر این، با وجود همسو بودن باکتری آزوسپیریلوم با طبیعت و امکان کاهش آسیب‌رسانی آن به محیط، به نظر می‌رسد کاربرد این ریزموجودات در این تیمار تلفیقی، ضمن توانایی تأمین مواد غذایی موردنیاز گیاه، می‌تواند در کاهش میزان مصرف کودهای شیمیایی نیز مؤثر باشد. نتایج بررسی Marashi و همکاران (۲۰۱۵) نیز افزایش عملکرد گیاه دارویی مریم گلی را در شرایط کاربرد ترکیبی کود زیستی و کود مرغی نسبت به سایر تیمارها نشان داد.

محتوای آنتوسیانین کاسبرگ

آنتوسیانین‌ها ترکیبات فنولی و متعلق به گروه گسترده‌ای از متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که موجب ایجاد رنگ‌های متنوع صورتی، قرمز، بنفش و آبی در انواع گل‌ها، سبزیجات و میوه‌ها می‌شوند (Alappat & Alappat, 2020). میزان این ترکیب در گیاهان مختلف تحت تأثیر متغیرهای مختلفی مانند مواد غذایی، دما، دسترسی گیاه به آب و نیز نور است (Nowruzi *et al*., 2017). به عبارتی دیگر، اگرچه هدایت فرایندهای ژنتیکی عامل مؤثر در ساخت مواد مؤثره گیاهان می‌باشد اما کمیت و کیفیت این مواد به میزان قابل توجهی متأثر از عواملی مانند تعادل عناصر غذایی در دسترس گیاه است

(Khalil *et al*., 2020). در این بررسی نیز مشاهده حداکثر میزان محتوای آنتوسیانین از تیمارهای تغذیه‌ای ترکیبی (T_{10} (50%PM+AMF+*Az*) و (50%PM+*Az*) T_9 به ترتیب با مقادیر ۰/۶۰۴ و ۰/۵۹۲ میکرومول در گرم کاسبرگ خشک، نشان‌دهنده نقش مؤثر کاربرد تغذیه تلفیقی کودهای آلی و زیستی بر افزایش عملکرد گیاه چای ترش و بهبود کیفیت محصول تولیدی بود. به عبارت دیگر، مطابق نتایج سایر محققان (Nemati *et al*., 2015) به نظر می‌رسد ترکیب کود مرغی استفاده شده، می‌تواند نقش مؤثری در بیوسنتز مواد القاکننده مسیر شیکمیک استات و افزایش میزان آنتوسیانین محصول داشته باشد. این نتیجه هم‌راستا با نتایج بررسی Hamedi و همکاران (۲۰۲۲) و Al-Amri (۲۰۲۱) مبنی بر تأثیر مواد آلی استفاده شده به ترتیب در افزایش کمیت و کیفیت اسانس گل‌سرخ و نعناع فلفلی می‌باشد. همچنین براساس نتایج مشاهده شده در این پژوهش، به نظر می‌رسد وجود باکتری آزوسپیریلوم و قارچ آربوسکولار مایکوریزا، توانسته است شرایط حاصلخیزی خاک و فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را ایجاد کرده که به دنبال آن بر میزان متابولیت ثانویه آنتوسیانین نیز مؤثر بوده‌اند. در راستای نتایج این پژوهش، علاوه بر گزارش بالاترین مقادیر آنتوسیانین از کاربرد تیمار تلفیقی کود دامی و کود زیستی توسط Gomaa و همکاران (۲۰۱۸)، گزارش‌های Shabahang و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان‌دهنده افزایش کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی زوفا در تیمارهای تلفیقی کود دامی و قارچ آربوسکولار مایکوریزا بود. بررسی تأثیر تنش سرما در بیان ژن‌های آنتوسیانین در آرابیدوپسیس، افزایش سطح و میزان نقش آنتی‌اکسیدانی این ترکیب را در این گیاه نشان داده است (Wingler *et al*., 2020). بر این اساس، به نظر می‌رسد افزایش میزان رنگیزه آنتوسیانین در کاسبرگ‌های حاصل از کشت چای ترش در سال دوم هم می‌تواند ناشی از افزایش میانگین دمای محیط (جدول ۱) نسبت به سال اول کشت و تنش احتمالی حاصل از آن باشد.

شاخص‌های رنگ کاسبرگ

در محصولات مختلف کشاورزی عوامل متفاوتی مانند قرار گرفتن محصول در معرض نور خورشید و مدیریت تغذیه گیاهان می‌توانند در ساخت ترکیبات رنگی و رنگ‌گیری محصول تولید شده مؤثر باشند (Nikkhah *et al*., 2008). عامل ایجادکننده رنگ‌های قرمز، بنفش و آبی در بسیاری از گل‌ها، میوه‌ها و سبزیجات، آنتوسیانین‌ها هستند که متعلق به خانواده فلاونوئیدها و دسته‌ای از ترکیبات طبیعی می‌باشند. درواقع این ترکیبات در گروه متابولیت‌های ثانویه بوده و دارای خواص بیولوژیکی و دارویی منحصر به فرد می‌باشند که فراهمی شرایط محیطی و تغذیه‌ای مناسب می‌تواند موجب افزایش کیفیت محصول و بهبود میزان آنتوسیانین و رنگ میوه شود. طی بررسی‌های انجام شده، در بسیاری از محصولات با وجود همبستگی منفی بین میزان آنتوسیانین و شاخص روشنایی رنگ، ارتباطی مثبت بین میزان این ماده مؤثره با شاخص‌های a^*، کروما و قرمزی رنگ میوه (RI) دیده شده است. با توجه به یافته‌های مشابه در مطالعه سایر محققان مبنی بر تأثیر عناصر غذایی بر میزان توسعه رنگدانه‌های سلولی و سنتز آنتوسیانین و افزایش محتوای آن در کاسبرگ چای ترش (Mohammadpour Vashvaei *et al*., 2017)، در این پژوهش به نظر می‌رسد فراهمی شرایط مناسب رشد گیاهان در تیمارهای تغذیه‌ای ترکیبی T_9 (50%PM+*Az*) و T_{10} (50%PM+AMF+*Az*) به دلیل ترکیب مقادیر مناسب کود دامی همراه با کود زیستی با بهبود فعالیت‌های میکروبی مفید در خاک و معدنی کردن عناصر غذایی، افزایش میزان آنتوسیانین کاسبرگ‌ها را به دنبال دارد. به‌طوری‌که بالا بودن میزان شاخص L^*، b^* و زاویه هیو در کاسبرگ‌های حاصل از تیمار شاهد و در شرایط عدم کاربرد هرگونه کود، نشان‌دهنده کاهش رنگ کاسبرگ‌ها و کم‌رنگ شدن محصول نسبت به محصول حاصل از تیمارهای تغذیه‌ای ترکیب کودهای آلی و زیستی می‌باشد. بالا بودن مقادیر شاخص b^* که نشان‌دهنده میزان زردی نمونه و حاصل تنش‌های وارده بر گیاهان موردنظر است (Fallahi *et al*., 2017) و برای

میوه‌های قرمز نامطلوب می‌باشد، بنابراین به نظر می‌رسد پرهیز از تنش غذایی برای حفظ رنگ ظاهری کاسبرگ‌ها در چای ترش نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. بر همین اساس، احتمالاً در شرایط عدم کاربرد هر گونه کود (شاهد)، به دلیل کمبود مواد غذایی مورد نیاز گیاهان، کاهش میزان آنتوسیانین و کاهش کیفیت ظاهری محصول حاصل شده است که به دنبال آن مشاهده کمترین میزان شاخص a^* و بالاترین مقدار شاخص b^* دور از ذهن نیست. مطابق با نتایج این بررسی، علاوه بر گزارش برخی محققان از تأثیر تنش‌ها بر کاهش میزان آنتوسیانین و افزایش میزان شاخص b^* حاصل از افزایش میزان رنگدانه‌های کاروتنوئیدی در کاسبرگ چای (Da-Costa-Rocha *et al*., 2014)، پژوهشگران دیگری نیز بالا بودن میزان شاخص a^* و کم بودن مقادیر شاخص‌های b^*، L^* و زاویه هیو را در ارقام انار با رنگ قرمزتر نسبت به ارقام دارای رنگ روشن مشاهده کردند (Khademi *et al*., 2022). بنابراین براساس نتایج این بررسی با افزایش میزان آنتوسیانین در کاسبرگ‌ها، وضعیت رنگ کاسبرگ‌های حاصل از این تیمارها هم بهبود یافت، به‌طوری‌که شاخص‌های رنگی a^*، کروما و قرمزی رنگ در تیمارهای ترکیبی T_9 (50%PM+*Az*) و T_{10} (50%PM+AMF+*Az*) بیشترین میزان و شاخص‌های L^*، b^* و زاویه هیو کمترین مقدار را داشتند. به عبارت دیگر، این تیمارها نسبت به سایر ترکیبات کودی استفاده شده، محصولات قرمزتری تولید کردند. اما با توجه به تأثیر منابع مختلف تغذیه‌ای بر مقدار محتوای آنتوسیانین، بیشتر بودن میزان شاخص‌های رنگی مانند شاخص a و شاخص قرمزی رنگ کاسبرگ در شرایط جایگزینی ترکیب تلفیقی کود زیستی و آلی می‌تواند ناشی از تولید مقادیر بیشتر این ترکیب در گیاهان تحت این تیمارهای کودی باشد. مشاهده این نتیجه با توجه به وجود رابطه میزان آنتوسیانین و شاخص قرمزی قابل درک است (Naderi *et al*., 2015). بر همین اساس، جایگزینی کودهای آلی و بیولوژیک می‌تواند در نهایت علاوه بر افزایش میزان عملکرد کمی این محصول، با افزایش رنگ کاسبرگ‌ها، اولین شاخص کیفی مؤثر در پذیرش محصول توسط مصرف‌کننده را بهبود ببخشد. همچنین به نظر می‌رسد تأثیر معنی‌دار سال بر میزان برخی شاخص‌های رنگ بررسی شده می‌تواند ناشی از تنش دمایی احتمالی وارد شده بر گیاهان در سال دوم باشد (جدول ۱)، زیرا این تغییرات دمایی همانگونه که می‌تواند موجب تغییر در میزان محتوای آنتوسیانین شود به دنبال تغییر میزان آنتوسیانین، امکان افزایش و در برخی از پارامترها کاهش شاخص‌های رنگی مربوط به کاسبرگ‌ها را نیز موجب می‌شود.

موفقیت در ترغیب کشاورزان برای کشت گیاهان دارویی، مستلزم انجام تحقیقات کافی به منظور دستیابی به روش‌های مؤثر در افزایش کمیت و کیفیت محصول می‌باشد. بر این اساس، علاوه بر توجه به افزایش عملکرد کمی گیاه دارویی چای ترش، تأثیر مستقیم کیفیت ظاهری محصول تولید شده بر بازارپسندی آن و وجود رابطه بین رنگ کاسبرگ و میزان آنتوسیانین (که معرف ارزش دارویی این محصول است)، اهمیت ارزیابی عوامل مؤثر بر کیفیت رنگ محصول را نیز افزایش داده است. نتایج این پژوهش در ارزیابی عملکرد و کیفیت رنگ کاسبرگ چای ترش تحت تأثیر منابع تغذیه‌ای در شهرستان جیرفت با شرایط اقلیمی خشک با تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های ملایم، نشان داد که استفاده از تیمار ترکیبی T_9 (50%PM+*Az*) و در برخی صفات تلفیق این تیمار با AMF علاوه بر امکان افزایش عملکرد کمی این گیاه می‌تواند میزان آنتوسیانین کاسبرگ‌ها را نیز افزایش داده و بهبود کیفیت رنگ و افزایش بازارپسندی محصول را ایجاد نماید. مشاهدات حاصل از این مطالعه، به نقش مهم کودهای آلی و زیستی در فراهمی سطوح مناسب مواد غذایی موردنیاز گیاه برای دستیابی به حداکثر عملکرد ممکن و بدون عوارض زیست محیطی اشاره دارد. هرچند که استفاده از کودهای معدنی نسبت به ترکیبات آلی هزینه کمتری داشته اما به دلیل تأثیرات نامناسب ترکیبات شیمیایی و از سویی ایجاد شرایط پایدار تولید در صورت استفاده از تیمارهای تغذیه‌ای تلفیقی، کاربرد تیمارهای ترکیبی کود مرغی و آزوسپیریلوم و در برخی

صفات در حضور قارچ آربوسکولار مایکوریزا قابل توصیه می‌باشد. وجود کود مرغی و ریزموجودات آزوسپیریلوم و قارچ آربوسکولار مایکوریزا، می‌تواند با تأمین عناصر غذایی موردنیاز گیاه موجب رنگ‌گیری بهتر محصول و افزایش بازارپسندی آن شود.

References

- Abdelhafez, O.H., Othman, E.M., Fahim, J.R., Desoukey, S.Y., Pimental-Elardo, Sh.M., Nodwell, J.R., Schirmeister, T., Tawfike, A. and Abdelmohsen, U.R., 2019. Metabolomics analysis and biological investigation of three Malvaceae plants. Phytochemical Analysis, 31(2): 204-214. https://doi.org/10.1002/pca.2883
- Ahmed, Y.M., Shahlaby, E.A. and Shnan, N.T., 2011. The use of organic and inorganic cultures in improving vegetative growth, yield characters, and antioxidant activity of roselle plants (*Hibiscus sabdariffa*). African Journal of Biotechnology, 10: 1988-1996. http://dx.doi.org/10.5897/AJB10.876
- Akanbi, W.B., Olaniyan, A.B., Togun, A.O., Ilupeju, A.E.O. and Olaniran, A. 2009. The effect of organic and inorganic fertilizer on growth, calyx yield and quality of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 3: 652-657. https://worldveg.tind.io/record/50061#files
- Al-Amri, S.M., 2021. Response of growth, essential oil composition, endogenous hormones and microbial activity of *Mentha piperita* to some organic and bio-fertilizers agents. Saudi Journal of Biological Sciences, 28(10): 5435-5441. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.094
- Alappat, B. and Alappat, J., 2020. Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics. Molecules, 25(23): 5500. https://doi.org/10.3390/molecules25235500
- Alizadeh, M.B., Makarian, H., Ebadi Khaziane Ghadim, A., Izadi-Darbandi, E. and Gholami, A., 2019. The effect of organic and biological fertilizers on the quantitative and qualitative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) in the climate of Ardabil region. Saffron Agronomy and Technology, 7(2): 227-244. https://doi.org/10.22048/jsat.2018.109405.1274
- Azarnia, M., Safikhani, S. and Biabani, A., 2015. The effect of bio-fertilizer on crop yield, sustainable agriculture, and organic farming. Journal of Bio Safety, 2: 85-97. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.27170632.1394.8.2.9.6
- Babu, D.N. and Mehera, B., 2022. Influence of iron and bio-fertilizer on growth parameters and yield of baby corn (*Zea mays* L.) Prayagraj condition. International Journal of Environment and Climate Change, 12(10): 830-836. https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i1030870
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M. and Zhang, L., 2019. Role of *arbuscular mycorrhizal* fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. Front Plant Science, 19(10): 1068-1079. http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.01068
- Cely, M.V., De Oliveira, A.G., De Freitas, V.F., De Luca, M.B., Barazetti, A.R., Dos Santos, I.M. and Andrade, G., 2016. Inoculant of *arbuscular mycorrhizal* fungi (*Rhizophagus clarus*) increases the yield of soybean and cotton under field conditions. Frontiers in Microbiology, 7: 1-9. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00720
- Chattopadhyay, A., Mukherjee, A. and Hore, J.K., 2017. Nutrient management of dill (*Anethum sowa* L.) through organic and inorganic management. Journal of Crop and Weed, 13(2): 102-105. https://www.cropandweed.com/archives/2017/vol13issue2/13-2-19.pdf
- Chowdhury, T., Chowdhury, M.A.H., Qingyue, W., Enyoh, C.E., Wang, W. and Khan, M.S.I., 2021. Nutrient uptake and pharmaceutical compounds of *Aloe vera* as influenced by integration of inorganic fertilizer and poultry manure in soil. Heliyon, 7(7): 64-74. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07464
- Da-Costa-Rocha, L., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I. and Heinrich, M., 2014. *Hibiscus sabdariffa* L. A phytochemical and pharmacological review. Food Chemistry, 165: 424-443. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.002
- Darakeh, S.A.S.S., Weisany, W., Diyanat, M. and Ebrahimi, R., 2021. Bio-organic fertilizers induce biochemical changes and affect seed oil fatty acids composition in black cumin (*Nigella sativa* L.). Industrial Crops and Products, 164: 1-8. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113383
- Dorianizadeh, M., Ghasemnezhad, M. and Sabouri, A., 2017. The correlation between fruit mineral nutrient content and apple fruit cv. Red. Delicious peel pigmentation. Iranian Journal of Horticultural Science, 48(3): 565-574. https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.203180.979
- Fallahi, H.R., Ghorbani, M., Aghhavani-Shajari, M., Samadzadeh, A., Khayyat, M., Maraki, Z. and Asadian, A., 2017. Effects of irrigation management, mycorrhiza inoculation, and humic acid application on color characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) dried sepals. Environmental Stresses in Crop Sciences, 10(4): 571-582. https://doi.org/10.22077/escs.2017.113.1029
- Fang, J., 2015. Classification of fruits based on anthocyanin types and relevance to their health effects. Nutrition, 31(11-12): 1301-1306. https://doi.org/10.1016/j.nut.2015.04.015

- Farashiani, M.E., Alinejad, M. and Zamani, S.M., 2021. The destructive effects of chemical fertilizers on nature and living organisms. Environment and Interdisciplinary Development, 5(70): 61-68. https://doi.org/10.22034/envj.2021.181319
- Ganjali, H.R., Deljoo, A., Azizian Shermeh, O. and Lakizahi, M., 2017. Growth and yield characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) affected by different rates of nitrogen, phosphorus, and potassium in Saravan, Iran. Agroecology Journal, 13(1): 27-35. https://doi.org/10.22034/aej.2017.531118
- Ghamari, H., Shafaghkolvagh, J., Sabaghpoure, S.H. and Dabbagh Mohammadi Nassba, A., 2016. Effects of chemical and biological fertilizers on some morpho-physiological traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) and dragon's head (*Lallemantia iberica* Fisch. and C.A. Mey) cultivated under an intercropping system. Notulae Scientia Biologicae, 8(1): 112-117. http://dx.doi.org/10.15835/nsb.8.1.9755
- Gomaa, A.O., Youssef, A.S.M., Mohamed, Y.F.Y. and Abdallah, M.S.A., 2018. Effect of some fertilization treatments on growth productivity and chemical constituents of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) plants. Scientific Journal Flowers and Ornamental Plants, 5(2): 171-193. http://dx.doi.org/10.21608/sjfop.2018.18128
- Hamedi, B., Ghasemi Pirbalouti, A. and Rajabzadeh, F., 2022. Manures, vermin compost, and chemical fertilizers' impacts on the yield and volatile compounds of the damask rose (*Rosa Damascena* Mill.) flower petals. Industrial Crops and Products, 187(1): 1-13. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115470
- Hammad, H.S., Al-Mandalawi, A.A.M. and Hamdi, G.J., 2019. Effect of manure on growth and yield of broccoli. International Journal of Vegetable Science, 25(4): 400-406. http://dx.doi.org/10.1080/19315260.2018.1543223
- Heydarzadeh, S., Jalilian, J., Pirzad, A.R. and Jami, R., 2018. The effect of biofertilizers on some quantitative and qualitative characteristics of vetch maragheh (*Vicia* sp.) under rainfed and supplementary irrigation. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 28(3): 187-208. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_8069_cc1d375f396e2dfd8cc3d3653690efe4.pdf?lang=en
- Hoover, N.L., Law, J.Y., Long, L.A.M., Kanwar, R.S. and Soupir, M.L., 2019. Long-term impact of poultry manure on crop yield, soil and water quality, and crop revenue. Journal of Environmental Management, 252: 109582.
- Houghton, A., Appelhagen, I. and Martin, C., 2021. Natural blues: Structure meets function in anthocyanins. Plants, 10(4): 726-748. https://doi.org/10.3390/plants10040726
- Hossain, M., Jahan, I., Akter, S., Rahman, N. and Rahman, S.M.B., 2015. Isolation and identification of *Azospirillum* isolates from different paddy fields of North Bengal. Indian Journal of Research in Pharmacy and Biotechnology, 3(1): 74-80.
- Javanmard, A. and Shekari, F., 2016. Improvement of seed yield, its components, and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by applications of chemical and organic fertilizers. Journal of Crop Ecophysiology, 1(37): 35-56. https://journals.iau.ir/article_521183_08935c124d1977e0e1a6f738a48f7175.pdf
- Karagiannidis, N., Thomidis, T. and Filotheou, E.P., 2012. Effects of *Glomus lamellosum* on growth, essential oil production, and nutrient uptake in selected medicinal plants. Journal of Agricultural Science, 4(3): 137-144. https://doi.org/10.5539/jas.v4n3p137
- Khademi, O., Vazifeshenas, M.R. and Erfani Moghadam, J., 2022. Investigation of quantitative and qualitative characteristics of some commercial pomegranate cultivars in Yazd climatic conditions. Journal of Food Science and Technology, 19(127): 395-407. http://dx.doi.org/10.22034/FSCT.19.127.395
- Khalil, N., El-Jalel, L., Yousif, M. and Gonaid, M., 2020. Altitude impact on the chemical profile and biological activities of *Satureja thymbra* L. essential oil. BMC Complementary Medicine and Therapies, 20(186): 1-11. https://doi.org/10.1186/s12906-020-02982-9
- Khalil, S.E. and Abdel-Kader, A.A.S., 2011. The influence of soil moisture stress on growth, water relations, and fruit quality of *Hibiscus sabdariffa* L. grown within different soil types. Nature and Science, 9(4): 62-74. https://www.sciencepub.net/nature/ns0904/ns0904.pdf
- Li, C., Sun, Y., Zhao, D. and Tao, J., 2015. Relationship between major mineral nutrient elements contents and flower colors of herbaceous peony (*Paeonia Lactiflora* Pall.). Journal of Food Science and Technology, 7(5): 374-382. http://dx.doi.org/10.19026/ajfst.7.1327
- Mahbubul Islam, M.D., 2019. Food and medicinal values of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. Linne Malvaceae) plant parts: A review. Open Journal of Nutrition and Food Sciences, 1: 014-020. https://www.medtextpublications.com/open-access/food-and-medicinal-values-of-roselle-hibiscus-sabdariffa-l-linne-121.pdf
- Marashi, S.J., Niknejad, Y. and Fallah Amoli, H., 2015. Comparison of the impact of bio-fertilizers on agronomic characteristics, livestock, and medicinal *Salvia officinalis*. Biological Forum - An International Journal, 7(1): 1585-1588. https://www.researchtrend.net/bfij/bf12/250%20HORMOZ%20FALLAH%20AMOLI-F.pdf

- Mardani, O. and Nadi, F., 2018. Comparison of the effect of convection drying and osmo-convection drying on drying behavior and color indexes of peppermint leaves. Journal of Food Science and Technology, 15(82): 405-420. https://fsct.modares.ac.ir/article-7-13131-en.pdf
- Mohammadpour Vashvaei, R., Ghanbari, A. and Fakheri, B.A., 2017. Effect of bio-fertilizers in combination with different rates of chemical fertilizers on the growth characters and sepals yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Journal of Agroecology, 9(2): 276-295. (In Persian) https://doi.org/10.22067/jag.v9i2.37186
- Mousavi, S.M., Srivastava, A.K. and Cheraghi, M., 2023. Soil health and crop response of biochar: an updated analysis. Archives of Agronomy and Soil Science, 69(7): 1085-1110. https://doi.org/10.1080/03650340.2022.2054998
- Naderi, B., Maghsoudlou, Y., Aminifar, M., Ghorbani, M. and Rashidi, L., 2015. Investigation on the changes in color parameters and turbidity of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) produced by microwave and conventional heating. Nutrition and Food Sciences Research, 2(4): 39-46. https://nfsr.sbmu.ac.ir/article-1-105-fa.pdf
- Nemati, M., Dahmardeh, M., Khmmari, E. and Nejati, M., 2015. Effect of bio-fertilizer and manure application on economic yield and quality characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 31(4): 610-625. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.102679
- Nikkhah, E., Khayami, M. and Heidari R. 2008. In vitro screening for antioxidant activity and cancer suppressive effect on blackberry (*Morus nigra*). Iranian Journal of Cancer Prevention, 1: 167-172. https://brieflands.com/articles/ijcm-80627.pdf
- Olaniya, J., Babatunde, A.W., Olaniran, O.A. and Ilupeju, O.T., 2010. The effect of organo-mineral and inorganic fertilizers on the growth, fruit yield, quality, and chemical compositions of okra. Journal of Animal and Plant Sciences, 9(1): 1135-1140. http://www.m.elewa.org/JAPS/2010/9.1/7.pdf
- Ozkan, S., Vitali, A., Lacetera, N., Amon, B., Bannink, A., Bartley, D.J., Blanco-Penedo, I., De Haas, Y., Dufrasne, I., Elliott, J., Eory, V., Fox, N.J., Garnsworthy, P.C., Gengler, N., Hammami, H., Kyriazakis, I., Leclère, D., Lessire, F., Macleod, M., Robinson, T,B. and Kipling, R.P., 2016. Challenges and priorities for modelling livestockhealth and pathogens in the context of climate change. Environmental Research, 151: 130-144.
- Pathare, P.B., Opara, U.L. and Al-Said, F.A., 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. Food and Bioprocess Technology, 6: 36-60.
- Prasad, A. and Babu, S., 2017. Compatibility of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* in growth promotion of groundnut (*Arachis hypogea* L.). Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 89(2): 1027-1040. https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160617
- Rahimi, A., Doulati, B. and Heydarzadeh, S., 2019. Investigation of the effect of organic, biological, and chemical fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Thymus daenensis* Celak. Agricultural Engineering, 42(3): 79-95. https://doi.org/10.22055/agen.2019.27350.1457
- Rezvani Moghaddam, P., Asadi, G., Ranjbar, F., Aghhavani Shajari, M. and Shahriyari, R., 2017. Effect of integrated organic and chemical fertilizer on growth indices of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as a medicinal plant in the Mashhad condition. Journal of Agroecology, 9(4): 960-971. https://doi.org/10.22067/jag.v9i4.42885
- Rostaei, M., Fallah, S., Carrubba, A. and Lorigooini, Z., 2024. Organic manures enhance biomass and improve content, chemical compounds of essential oil, and antioxidant capacity of medicinal plants: A review. Heliyon, 10(17): e36693. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36693
- Rostaei, M., Fallah, S., Lorigooini, Z. and Surki, A., 2018. Crop productivity and chemical compositions of black cumin essential oil in sole crop and intercropped with soybean under contrasting fertilization. Industrial Crops and Products, 125: 622-629. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.09.044
- Sadeghi, S., Heidari, G.H. and Sohrabi, Y., 2015. Effect of biological fertilizer and fertilization management on some growth indices of two maize varieties. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 25(3): 43-60. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_3942.html
- Shabahang, J., Khoramdel, S., Siahmarguee, A., Gheshm, R. and Jafari, L., 2014. Evaluation of integrated management of organic manure application and mycorrhiza inoculation on growth criteria, qualitative and essential oil yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under Mashhad climatic conditions. Journal of Agroecology, 2: 353-363. https://www.magiran.com/paper/1314171/
- Sharma, J. and Agarwal, S., 2014. Impact of organic fertilizers on growth, yield, and quality of spinach. Indian Journal of Plant Sciences, 3(3): 37-43. http://www.cibtech.org/jps.htm
- Singh, S.P., 2012. Response of bio-fertilizer *Azospirillum* on growth and yield of fennel. Asian Journal of Horticulture, 7(2): 561-564. https://researchjournal.co.in/upload/assignments/7_561-564.pdf
- Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplast. Plant

- Zare, A., Asgharipour, M.R. and Fakheri, B., 2020. The effect of combined application of organic, chemical and biological fertilizers on yield and quality of seedless barberry (*Berberis vulgaris* cv. Asperma). Journal of Plant Process and Function, 9(38): 19-34. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1399.9.38.29.6
- Zare, S. and Sayyari, M., 2018. The effect of calcium ascorbate on fruit firmness, cell wall-degrading enzymes activities and postharvest quality of tomato cv. Rio Grande. Iranian Journal of Horticultural Science, 49(3): 669-679. https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.220257.1126
- Wingler, A., Tijero, V., Muller, M., Yuan, B. and Munn e -Bosch, S., 2020. Interactions between sucrose and jasmonate signalling in the response to cold stress. BMC Plant Biology, 20(1): 1-13. https://bmcplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-020-02376-6
- Yagoobi-Soureh, A., Alizadeh-Khaled Abad, M. and Rezazad Bari., 2013. Application of image processing for the determination of L*, a*, and b* indices in color measurement of foods. Journal of Food Research, 23(3): 411-422. https://foodresearch.tabrizu.ac.ir/article_123_5a9a5b4275ed866d8a448862b34cf2a3.pdf
Physiology, 64(1): 88-93. https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88