

The effect of bio-microorganisms and nutrient sources on growth and quantitative and qualitative yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds

Somayeh Badakhshan ^a, Enayatollah Tohidi-Nejad ^{*b}, Jalal Ghanbari ^{b,c}, Bahareh Parsa Motlagh ^d

^a Ph.D student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

^b Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

^c Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

^d Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

*Corresponding Author: e_tohidi@uk.ac.ir

Received: 29 September 2025 Accepted: 12 November 2025 DOI: 10.22034/CSRAR.2025.550072.1516

How to cite this article:

Badakhshan, S., Tohidi-Nejad, E., Ghanbari, J. and Parsa Motlagh, B., 2026. The effect of bio-microorganisms and nutrient sources on growth and quantitative and qualitative yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds. *Crop Science Research in Arid Regions*, 8(1), 27-45. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.550072.1516>

Abstract

Introduction: Deficiencies of elements in plants disrupt plant activities and alter the production of various products, but fertilizer management can greatly affect the quantity and quality of these products. Thus, one important need in agricultural planning to achieve high yields and desired quality is to evaluate plant nutrition systems, because with appropriate soil fertility management and proper plant nutrition, product quality can be improved while preserving the environment. The continuous use of chemical fertilizers in the production of agricultural products has become unavoidable, which has led to a crisis of soil and water resource pollution in recent years. Therefore, extensive efforts have been initiated to find appropriate solutions to maintain the sustainability of producer ecosystems and produce high-quality agricultural products. Accordingly, today, various studies have introduced various types of biological and organic fertilizers as alternatives and sometimes supplements to chemical fertilizers, which are effective in the sustainability of agricultural production systems. Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) is a tropical medicinal plant whose red calyces are used in the preparation of herbal teas and medicinal products. Due to its high antioxidant content, it has been reported to help reduce blood pressure and blood lipid levels. In addition, because of its tolerance to environmental stresses, it is considered suitable for use in green spaces and landscaping. In this study, the effect of applying bio-fertilizer containing *Azospirillum* and arbuscular mycorrhiza and poultry manure on the quantity and quality of roselle was investigated.

Materials and methods: This research was conducted in a randomized complete block design with three replications in the 2021-2022 and 2022-2023 cropping seasons in the Jiroft region. The experimental treatments included 13 different levels of nutrient sources compared to the control (no fertilizer application) including: inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), application of



Azospirillum (Az), their combined application (AMF+Az), 100% recommended poultry manure (PM), 100% recommended CF, 50%PM+50%CF, 50%PM+AMF, 50%PM+Az, 50%PM+AMF+Az, 50%CF+AMF, 50%CF+Az, 50%CF+AMF+Az, and 25%PM+25%CF+AMF+Az.

Results and discussion: The results showed that, in addition to the effect of nutritional sources on growth indices, the highest flowering branch length was obtained from the 50%PM+Az treatment and the highest dry boll weight per plant was obtained from the 50%PM+Az and 50%PM+50%CF treatments. Also, the highest grain yield, oil percentage, and seed oil yield were observed in the 50%PM+50%CF treatment, and the highest protein percentage and seed protein yield were observed in the 50%PM+Az treatment. Based on the results of this study, the use of nutritional treatments containing poultry manure and bio-fertilizers can, in addition to improving growth indicators, increase the quantity and quality of roselle seeds.

Conclusion: According to the results, the application of poultry manure and bio-fertilizer treatments can, in addition to increasing the quantitative yield of roselle seeds, also increase the quality of the seeds. In other words, the positive effect of combined application of poultry manure and biological compounds (using a combined treatment of 50%PM+Az and, in some traits, combining this treatment with AMF), in addition to the possibility of increasing the quantitative yield of this plant, can also improve the quality of the product. In some traits, the highest amount of traits was obtained from the combined treatment of 50%PM+50%CF. In other words, although the use of mineral fertilizers is less expensive than organic compounds, the exclusive use of chemical compounds is not recommended due to the adverse effects of chemical compounds. Accordingly, it is recommended to replace integrated nutritional treatments such as the use of combined treatments of poultry manure and *Azospirillum*, sometimes in combination with arbuscular mycorrhizal fungi, and also the use of 50% chemical fertilizer along with poultry manure. Based on the results of this study, the application of nutritional treatments containing poultry manure and biofertilizers can improve growth indices and increase both the yield and quality of roselle seeds.

Keywords: *Azospirillum*, Chemical fertilizer, Poultry manure, Protein

تأثیر میکروارگانیزم‌های زیستی و منابع تغذیه‌ای بر رشد و عملکرد کمی و کیفی دانه چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)

سمیه بدخشان^۱، عنایت‌اله توحیدی نژاد^{۲*}، جلال قنبری^۳، بهاره پارسا مطلق^۴

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

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

۳- موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

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

* مسئول مکاتبه: e_tohidi@uk.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.550072.1516

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷

چکیده

بررسی کارایی کودهای زیستی و آلی بر چای ترش در شرایط کاهش مصرف کودهای شیمیایی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در شهرستان جیرفت اجرا شد. تیمارهای آزمایش در مقایسه با شاهد، شامل ۱۳ سطح منبع تغذیه‌ای تلقیح قارچ آربوسکولار میکوریزا (AMF)، کاربرد باکتری آزوسپیریوم (Az)، تلقیح قارچ آربوسکولار مایکوریزا+ باکتری آزوسپیریوم (AMF+Az)، کاربرد ۱۰۰٪ کود مرغی توصیه شده (100%PM)، کاربرد ۱۰۰٪ کود شیمیایی توصیه شده (100%CF)، ترکیب ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده+ ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده (50%PM+50%CF)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده+ قارچ آربوسکولار مایکوریزا (50%PM+AMF)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده+ باکتری آزوسپیریوم (50%PM+Az)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده+ قارچ آربوسکولار مایکوریزا+ باکتری آزوسپیریوم (50%PM+AMF+Az)، کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده+ قارچ آربوسکولار مایکوریزا (50%CF+AMF)، کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده+ باکتری آزوسپیریوم (50%CF+Az)، کاربرد ۲۵٪ کود مرغی توصیه شده+ ۲۵٪ کود شیمیایی توصیه شده+ قارچ آربوسکولار مایکوریزا+ باکتری آزوسپیریوم (25%PM+25%CF+AMF+Az) بودند. مطابق نتایج، علاوه بر تأثیر منابع تغذیه‌ای بر شاخص‌های رشد، بیشترین طول سرشاخه گلدار از تیمار 50%PM+Az و بیشترین وزن غوزه خشک بوته از تیمارهای 50%PM+Az و 50%PM+50%CF حاصل شد. همچنین بیشترین عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن دانه در تیمار 50%PM+50%CF و بالاترین درصد پروتئین و عملکرد پروتئین دانه در تیمار 50%PM+Az مشاهده گردید. براساس نتایج این بررسی، کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای حاوی کود مرغی و زیستی می‌تواند علاوه بر بهبود شاخص‌های رشد، افزایش کمیت و کیفیت دانه چای ترش را موجب شود.

واژه‌های کلیدی: آزوسپیریوم، پروتئین، کود شیمیایی، کود مرغی

مقدمه

گل‌هایی قرمز تا زرد رنگ می‌باشند (Abou-Sreeta et al., 2022).

تقویت سیستم ایمنی بدن، کنترل فشار و چربی خون، داشتن اثرات ضد التهابی و کاهش خطر ابتلا به سرطان از جمله اثرات مصرف چای ترش گزارش شده‌اند (Chiu et al., 2022). از مهمترین اجزای اقتصادی چای ترش، کاسبرگ‌های گوشتی آن است که سرشار از ویتامین ث بوده و دارای انواع مواد معدنی و ترکیبات آنتوسیانین می‌باشند (Mahbubul Islam, 2019). میوه کپسولی و مخملی شکل چای ترش در برگرنده دانه‌های

امروزه حدود ۷۵ درصد از مردم جهان جهت درمان بیماری‌ها از گیاهان دارویی استفاده می‌کنند (Kowti et al., 2020). چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) از جمله گیاهان دارویی است که بیش از ۳۰۰ گونه آن در دنیا شناسایی شده و واریته سابداریفا یکی از رایج‌ترین انواع آن می‌باشد. این گیاه یک‌ساله یا چندساله از خانواده مالواسه^۱، روز کوتاه، خودگشن، دارای ریشه‌ای عمیق، برگ‌هایی با رنگ‌های متنوع و

¹ -Malvaceae

اثراتی مانند اختلال در فتوسنتز، تنفس، سنتز ترکیبات آلی و ... در شرایط کمبود عناصر غذایی، ارزیابی سیستم‌های تغذیه‌ای گیاهان و جایگزینی کودهای شیمیایی توسط ترکیبات سازگار با محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است (Zare et al., 2020). امروزه کودهای زیستی به دلیل بهبود باروری خاک، به عنوان جایگزین مناسب کودهای شیمیایی و موثر در تولید پایدار محصولات کشاورزی تعریف شده‌اند که علاوه بر افزایش عملکرد، با تولید محصولات غذایی با کیفیت، ضمن تأمین رضایت خاطر مصرف کنندگان، سلامت جسمی آنان را نیز در پی دارند (Sarikhani and Ansari, 2015). در حال حاضر، طیف وسیعی از باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها با سازوکارهای مختلف برای تولید کودهای زیستی استفاده می‌شوند. باکتری‌های محرک رشد^۱ مانند باکتری آزوسپیریلوم^۲ یکی از مهمترین این منابع است که کارایی بالایی از نظر تولید عوامل محرک رشد و فراهم‌سازی عناصر غذایی به شکل قابل جذب را دارا هستند (Mirzaei et al., 2020). این باکتری‌ها علاوه بر توانایی تثبیت نیتروژن، قادر به تولید هورمون‌های گیاهی و ویتامین‌ها، کنترل عوامل بیماری‌زا، ارتباط سینرژیستی با سایر باکتری‌های مفید و افزایش مقاومت گیاهان نسبت به انواع تنش‌ها نیز می‌باشند (Sun et al., 2025). قارچ آربوسکولار مایکوریزا نیز پس از برقراری همزیستی با گیاهان میزبان می‌توانند بر جنبه‌های مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه تأثیر گذاشته و با افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش مقاومت گیاه میزبان به برخی تنش‌های محیطی، موجب بهبود رشد گیاه شوند (Rai et al., 2023). کود مرغی نیز به عنوان یکی از انواع کودهای دامی و منبع ماده آلی برای تقویت انواع خاک‌ها، علاوه بر داشتن مواد مغذی، یکی از کودهای ارزان قیمت در مقایسه با کودهای متداول می‌باشد (Ghanbari odivi et al., 2022). محققان تأثیر کاربرد قارچ آربوسکولار مایکوریزا به همراه باکتری محرک رشد بر سیستم فتوسنتزی، رشد و عملکرد دانه گیاه عدس (*Lens Culinaris Medik*) را به جذب بهتر آب و مواد مغذی در گیاه نسبت داده‌اند (Amirnia et al., 2019). دیگر پژوهشگران نیز، بیشترین عملکرد دانه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) را از تیمار تلقیح آزوسپیریلوم و مصرف ۱۰ تن کود دامی مشاهده کردند (Adavi and Dehghanzadeh, 2021).

گیاه می‌باشند که در هر کیسول ۳-۴ کلیوی شکل با قطر حدوداً ۵-۳ میلی‌متر و به رنگ قهوه‌ای روشن دیده می‌شود (Da-Costa-Rocha et al., 2014). بعد از رسیدن دانه‌ها، کیسول‌ها قهوه‌ای رنگ شده و با شکافته شدن دانه‌ها نمایان می‌شوند. این دانه‌ها حاوی ۲۱/۵ - ۱۷٪ روغن و ۲۰٪ پروتئین بوده و در کشورهای در حال توسعه که با کمبود منابع پروتئین حیوانی روبرو هستند، مصرف این دانه‌ها به دلیل میزان پروتئین و کیفیت آن پیشنهاد می‌شود (Tounkara and Fane, 2022). علاوه بر امکان استفاده از کنجاله دانه چای ترش در تغذیه طیور در آفریقا، پودر حاصل از آسیاب دانه‌های بو داده شده به عنوان ادویه مصرف و استفاده از قهوه به دست آمده از دانه‌های چای ترش بو داده شده نیز مشاهده شده است (Ghosh et al., 2023). همچنین در برخی قاره‌ها این دانه‌ها به دلیل دارا بودن روغنی با اسیدهای چرب غیراشباع، در روغن‌گیری به کار می‌روند (Eltayeb and Elaziz, 2014). برخی مطالعات نیز استفاده از پودر دانه چای ترش را در پخت نان و محصولات قنادی مانند انواع کوکی و کیک‌ها، مثبت ارزیابی کرده‌اند (Zarringhalami et al., 2021).

از سویی دیگر با توجه به نیاز چای ترش به نور مستقیم و کافی، کشت این گیاه در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری وسیعی از جهان گزارش شده است (Gomes et al., 2018). در ایران نیز با وجود عدم بومی بودن این گیاه، گزارش‌هایی حاکی از توسعه کشت آن در بسیاری از مناطق کشور از جمله استان سیستان و بلوچستان، مناطق جنوبی استان کرمان و فارس می‌باشد (Zand-Silakhoor et al., 2023). بررسی‌های مختلف نشان داده‌اند، با وجود تأثیر قابل توجه عوامل ژنتیکی بر کمیت و کیفیت محصولات مختلف، رسیدن به عملکرد مناسب، مستلزم شناخت عوامل محیطی موثر بر رشد گیاهان می‌باشد (Abdalla and El-Khoshiban, 2007). یکی از این عوامل فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان است. مطالعات نشان داده است که استفاده مداوم از کودهای شیمیایی به دلیل اثر بر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید و کاهش عملکرد گیاهان، موجب تخریب بوم‌نظام زراعی، ایجاد مشکلات زیست‌محیطی و آسیب به سلامت انسان خواهد شد (Hassani et al., 2021). با توجه به

² - Azospirillum

¹ - Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

2023). سایر محققان نیز افزایش نیتروژن و درصد روغن دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) را در شرایط تلفیق با باکتری‌های محرک رشد گزارش کردند (Raei et al., 2015). این پژوهش با هدف بررسی منابع مختلف تغذیه‌ای بر رشد و محصول بذر چای ترش، جهت یافتن جایگزین مناسب کودهای شیمیایی، در شهرستان جیرفت انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، طی دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در شهرستان جیرفت (عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی) با ارتفاع ۶۲۵/۶ متر از سطح دریا و اقلیم بیابانی نیمه‌خشک با تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های ملایم انجام شد (Sarmast et al., 2015). تیمارهای آزمایش در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد)، شامل ۱۳ سطح منابع تغذیه‌ای تلفیق قارچ آربوسکولار میکوریزا (AMF)، کاربرد باکتری آزوسپیریوم (Az)، تلفیق قارچ آربوسکولار میکوریزا+ باکتری آزوسپیریوم (AMF+ Az)، کاربرد ۱۰۰٪ کود مرغی توصیه شده (100%PM)، کاربرد ۱۰۰٪ کود شیمیایی توصیه شده

(100%CF)، ترکیب ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده+ ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده (50%PM+ 50%CF)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده+ قارچ آربوسکولار میکوریزا (50%PM+)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده+ باکتری آزوسپیریوم (AMF)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده+ باکتری آزوسپیریوم (50%PM+ Az)، کاربرد ۵۰٪ کود مرغی توصیه شده+ قارچ آربوسکولار میکوریزا+ باکتری آزوسپیریوم (50%PM+ AMF+ Az)، کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده+ قارچ آربوسکولار میکوریزا (50%CF+ AMF)، کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده+ باکتری آزوسپیریوم (50%CF+ Az)، کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده+ قارچ آربوسکولار میکوریزا+ باکتری آزوسپیریوم (50%CF+ Az)، کاربرد ۲۵٪ کود مرغی توصیه شده+ ۲۵٪ کود شیمیایی توصیه شده+ قارچ آربوسکولار میکوریزا+ باکتری آزوسپیریوم (25%PM+ 25%CF+ AMF+ Az) بودند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال زراعی و در سه تکرار انجام گرفت. برخی ویژگی‌های اقلیمی محل و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزرعه، به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- هواشناسی منطقه مورد مطالعه طی دو سال زراعی

Table 1- Meteorological of the study area during two crop years

سال	میانگین مجموع بارندگی	میانگین حداکثر دما	میانگین حداکثر رطوبت نسبی	میانگین مجموع تبخیر	میانگین مجموع ساعت آفتابی
Year	Average total rainfall (mm)	Average maximum temperature (Tmax_m) (°C)	Average Maximum Relative Humidity (Umax_m) (%)	Average total evaporation (Evt_s) (mm)	Average total sunshine hours per Sshn (h)
سال اول Year 1	7.01	38.48	39.50	293	219.53
سال دوم Year 2	6.45	38.74	37.44	323.86	237.35

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 2- Some physical and chemical characteristics of the used soil (0- 30cm)

سال	سال	شوری	اسیدیته	آزوت در دسترس	فسفر قابل دسترس	پتاسیم قابل دسترس	درصد ماده آلی	بافت خاک
Year	Year	EC (dS.m ⁻¹)	pH	Available potassium (ppm)	Available phosphorous (ppm)	Total nitrogen (%)	Organic matter (%)	Soil texture
سال اول Year 1	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022	1.5	7.1	100	21	0.027	0.34	Loamy Sand
سال دوم Year 2	۱۴۰۱-۱۴۰۲ 2022-2023	1.8	7.5	145	22.4	0.075	0.52	Loamy Sand

مقدار کود مرغی پس از تجزیه نمونه‌ای از کود مورد استفاده (جدول ۳) مشخص گردید، به‌طوری‌که همزمان با آماده‌سازی بستر کاشت در تیمار ۱۰۰ درصد کود مرغی، مقدار کود مرغی لازم بر مبنای میزان نیاز چای ترش به نیتروژن که مطابق با نتایج بررسی محققان حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده بود، محاسبه و به زمین اضافه شد (Rezvani Moghaddam et al., 2017). همچنین در تیمار ۱۰۰ درصد

کاربرد کود شیمیایی، براساس مقدار نیتروژن توصیه شده، ۱۰۷ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره، ۷۳ کیلوگرم اکسید فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و ۱۳۲ کیلوگرم اکسید پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم مورد استفاده قرار گرفت. بر همین اساس قبل از کاشت بذور، یک سوم کود اوره به همراه کودهای شیمیایی سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم اعمال و مابقی کود اوره نیز در ادامه رشد گیاهان و طی دو مرحله استفاده گردید.

جدول ۳- برخی ترکیبات شیمیایی کود مرغی

Table 3- Some chemical properties of poultry manure

نیتروژن کل	پتاسیم	فسفر	کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته
Total N	Potassium	phosphorous	Organic carbon	EC(dS.m ⁻¹)	pH
(%)	(ppm)	(ppm)	(%)		
3.58	4.4	2.43	34.02	4.5	7.5

همزمان با کشت بذور در تیمار کاربرد قارچ، مقدار پنج گرم اسپور قارچ آربوسکولار میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) (تهیه شده از کلینیک گیاه پزشکی اسدآباد همدان)، در محل کاشت بذرها قرار داده شد. همچنین در تیمار کاربرد باکتری آزوسپیریوم (*Azospirillum lipoferum*)، علاوه بر تلقیح بذور قبل از کشت با محلول حاوی باکتری 10^{-8} CFU g⁻¹ (10- تهیه شده از بخش تحقیقات و توسعه شرکت زیست‌فناور سبز تهران)، پس از کاشت نیز از محلول در محل کاشت بذرها ریخته شد. در خردادماه دو سال زراعی، کشت بذور از توده بومی جیرفت در کرت‌هایی با ابعاد ۵/۵ مترمربع با فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۳۰ سانتی‌متر (Mohammadpour Vashvaei et al., 2016)، به روش کپه‌ای صورت گرفت. آبیاری مزرعه بعد از استقرار بوته‌ها، متناسب با نیاز گیاهان انجام شد. وجین مزرعه نیز به‌صورت دستی و طی دو مرحله انجام شد. با شروع جوانه‌زنی و آغاز رشد رویشی گیاهان، جهت تعیین روند تغییرات شاخص سطح برگ^۱ (LAI)، تجمع ماده خشک^۲ (DMA)، سرعت رشد محصول^۳ (CGR) در طول دوره رشد، نمونه‌برداری از هر کرت، هر ۳۰ روز یک‌بار به‌طور تصادفی انجام شد. مراحل مختلف نمو گیاهان (مرحله رشد رویشی، مرحله گلدهی و مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی) ثبت شد (Elizabeth et al., 2013). در هر

مرحله از نمونه‌برداری، سطح برگ گیاهان توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک نمونه‌ها در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت، اندازه‌گیری شد (Parsa Motlagh et al., 2018). شاخص سطح برگ (LAI) و سرعت رشد محصول (CGR) با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (Hunt, 1990):

$$LAI = LA/GA \quad (1)$$

$$CGR = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

میزان تجمع ماده خشک کل (DMA) با واحد گرم در مترمربع نیز از مجموع وزن خشک‌های طول مدت زمان اندازه‌گیری به‌دست آمد. در روابط فوق، LAI سطح برگ (سانتی‌متر مربع)، W_1 و W_2 وزن خشک گیاه در زمان‌های t_1 و t_2 و GA مساحت زمین می‌باشند. همچنین در اوایل آذرماه هر دو سال زراعی و بعد از سپری شدن دوره رشد گیاهان، برداشت گیاهان هر کرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای ابتدا و انتهای ردیف‌های کشت از سطحی معادل یک مترمربع، صورت گرفت. صفت طول سرشاخه گلدار با استفاده از متر تعیین و تعداد غوزه در ساقه‌های اصلی و فرعی بوته نیز شمارش و یادداشت شد. پس از خشک شدن غوزه‌ها علاوه بر وزن خشک غوزه، وزن صد دانه توسط ترازو با دقت 10^{-3} اندازه‌گیری و میزان عملکرد و شاخص برداشت دانه نیز محاسبه گردید. به‌منظور تعیین میزان

³ - Crop Growth Rate

¹ - Leaf Area Index

² - Dry Matter Accumulation

50%CF، 50%PM+ Az، 50%PM+ AMF+ Az، 25%PM+ 25%CF+ AMF+ Az بیشترین میزان تجمع ماده خشک در مرحله گلدهی نیز در تیمارهای 50%PM+ AMF+، 50%PM+ 50%CF، 50%PM+ Az و 100%PM، به ترتیب با ۱۰۶/۴۳، ۱۰۴، ۱۰۱/۵۲ و ۱۰۱ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. کمترین میزان این شاخص در مرحله رویشی و گلدهی از تیمارهای شاهد و تلقیح قارچ آربوسکولار مایکوریزا (AMF) حاصل شد. حداکثر میزان ماده خشک در مرحله رسیدن فیزیولوژیک نیز در تیمارهای 50%PM+ AMF+، 50%PM+ 50%CF، 50%PM+ Az و 100%PM و با افزایش ۹۴/۰۵، ۹۳/۳۲، ۸۹/۸۷ و ۸۷/۰۹ درصد نسبت به شاهد مشاهده شد. در این مرحله نیز کمترین مقدار تجمع ماده خشک از شاهد، تلقیح گیاه با قارچ آربوسکولار مایکوریزا (AMF)، کاربرد باکتری آزوسپیریلوم (Az) و تیمار AMF+ Az به دست آمد، میزان تجمع ماده خشک در مرحله رسیدن محصول در سال اول نسبت به سال دوم بیشتر بود (جدول ۵).

بالاترین سرعت رشد گیاه در مرحله رشد رویشی از تیمارهای 100%PM، 50%PM+ 50%CF، 50%PM+ Az، 25%PM+ 25%CF+ AMF+ Az و 50%PM+ AMF+ Az به ترتیب با ۴۹/۷۵، ۴۸/۳۱، ۴۴/۲۳، ۴۴/۲۲، ۴۲/۵۴ درصد افزایش نسبت به شاهد، حاصل شد (جدول ۵). در مرحله گلدهی گیاه نیز بیشترین میزان این شاخص از تیمارهای 50%PM+ Az، 50%PM+ 50%CF و 50%PM+ AMF+ Az و به ترتیب با افزایش ۹۱/۵۳، ۸۹/۷۴، ۸۹/۳۹ درصدی نسبت به شاهد به دست آمد. کمترین میزان شاخص در این مرحله نیز مانند مرحله رویشی از تیمارهای شاهد و تلقیح با آربوسکولار مایکوریزا (AMF) حاصل شد. همچنین بالاترین سرعت رشد گیاه در مرحله رسیدگی از تیمارهای 50%PM+ 50%CF، 50%PM+ AMF+ Az و 50%PM+ Az به دست آمد که نسبت به شاهد، به ترتیب افزایش ۱۱۶/۶۶، ۱۱۲/۱۱ و ۱۱۰/۶۱ درصدی داشتند. کمترین مقدار سرعت رشد گیاه در این مرحله به ترتیب از تیمارهای شاهد، تلقیح با آربوسکولار مایکوریزا (AMF)، تیمار AMF+ Az، کاربرد باکتری آزوسپیریلوم (Az)، AMF، 50%PM+ 50%CF، 50%PM+ Az، 50%CF+ AMF+ Az و 50%CF+ AMF دیده شد (جدول ۵).

پروتئین دانه، ابتدا اندازه‌گیری میزان نیتروژن دانه با استفاده از روش کج‌لدال صورت گرفت (Bradstreet, 1954). درصد پروتئین نمونه‌ها نیز از رابطه ۳ محاسبه شد.

(۳) $6/25 \times \text{میزان ازت} = \text{درصد پروتئین}$
مقدار عملکرد پروتئین (کیلوگرم بر هکتار) از رابطه ۴ به دست آمد:

(۴) $\text{عملکرد دانه} \times \text{درصد پروتئین دانه} = \text{عملکرد پروتئین روغن دانه‌های چای ترش نیز به روش سوکسله و با استفاده از حلال آلی متانول استخراج شد (Parsa Motlagh et al., 2018)}$. عملکرد روغن دانه، از رابطه ۵ محاسبه شد:

(۵) $\text{عملکرد دانه} \times \text{درصد روغن دانه} = \text{عملکرد روغن دانه در نهایت، تجزیه مرکب داده‌های حاصل از دو سال مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.}$

نتایج

شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، سرعت رشد گیاه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها طی دو فصل زراعی نشان داد، تأثیر منابع تغذیه‌ای بر شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک و سرعت رشد در سه مرحله رشد گیاه معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۴). بیشترین میزان شاخص سطح برگ در مرحله رویشی گیاه با ۸۸/۸۲ درصد افزایش نسبت به شاهد در تیمار 50%PM+ 50%CF و در مرحله گلدهی گیاه به ترتیب در تیمارهای 50%PM+ Az و 50%PM+ 50%CF مشاهده شد که در این مرحله نسبت به شاهد ۵۰/۱۵ و ۴۸/۸۸ درصد بیشتر بود. بیشترین میزان این شاخص در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نیز به ترتیب در تیمارهای 50%PM+ Az، 50%PM+ 50%CF، 50%PM+ AMF+ Az و 100%PM و با افزایش ۱۰۶/۳۰، ۹۲/۷۹، ۸۲/۸۸ و ۷۷/۴۷ درصد نسبت به شاهد به دست آمد. کمترین مقدار این شاخص نیز در هر سه مرحله رشد در شاهد مشاهده شد (جدول ۵).

همچنین بیشترین میزان تجمع ماده خشک در مرحله رشد رویشی گیاه به ترتیب با ۵۲، ۴۸، ۴۴/۰۱، ۴۴ و ۴۲/۳۹ درصد افزایش نسبت به شاهد از تیمارهای 100%PM، 50%PM+

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک و سرعت رشد چای ترش در مراحل مختلف رشد تحت تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای طی سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of leaf area index, dry matter accumulation, and growth rate of Roselle at different stages of growth affected as nutritional treatments during seasons 2021- 2022 and 2022- 2023

		میانگین مربعات								
		Mean of squares (MS)								
منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ			تجمع ماده خشک			سرعت رشد گیاه		
		Leaf area index			Dry matter Accumulation			Crop growth rate		
		مرحله رشد	مرحله گلدهی	مرحله رسیدگی فیزیولوژیک	مرحله رشد روبشی	مرحله گلدهی	مرحله رسیدگی فیزیولوژیک	مرحله رشد روبشی	مرحله گلدهی	مرحله رسیدگی فیزیولوژیک
		Vegetative growth stage	Flowering stage	Physiological maturation stage	Vegetative growth stage	Flowering stage	Physiological maturation stage	Vegetative growth stage	Flowering stage	Physiological maturation stage
سال Year	1	1.440 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.009 ^{ns}	482 ^{ns}	24380 ^{ns}	127840 ^{ns}	0.134 ^{ns}	17.249 ^{ns}	5.622 ^{ns}
تکرار Block (Year)	4	0.191	0.437	0.026	1849	52915	41074	0.514	5.454	0.094
تیمار Treatment	13	1.272 ^{**}	1.522 ^{**}	0.721 ^{**}	12147 ^{**}	295348 ^{**}	380857 ^{**}	3.374 ^{**}	51.977 ^{**}	15.335 ^{**}
تیمار×سال Year×Treatment	13	0.226 ^{ns}	0.065 ^{ns}	0.031 ^{ns}	1119 ^{ns}	36754 ^{ns}	36419 ^{ns}	0.311 ^{ns}	8.125 ^{ns}	0.760 ^{ns}
خطا Error	52	0.153	0.194	0.038	1285	28857	26896	0.357	4.388	0.399
ضریب تغییرات C. V (%)	-	15.08	11.06	11.93	11.38	19.01	16.22	11.39	21.84	17.83

^{ns} و ^{**} به ترتیب نشانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری است.

^{*}, ^{**}, and ^{ns}, Significant at 5% and 1% probability levels and not significant, respectively

فراهمی آن در مراحل مختلف رشد، افزایش پروتوپلاسم و اندازه سلول و در نتیجه افزایش سطح برگ گیاه گزارش کردند (Ghadirnezhad shiade *et al.*, 2024). عامل موثر بر تأثیر آزوسپیریوم بر افزایش شاخص سطح برگ چای ترش، مطابق نظر سایر پژوهشگران نیز می‌تواند تولید هورمون‌های رشد توسط باکتری باشد (Ferreira *et al.*, 2020). قابل ذکر است که افزایش شاخص سطح برگ گیاهان، افزایش آهنگ رشد گیاه و تسهیم ماده خشک به اندام‌های زایشی را نیز موجب شده است. براساس نتایج این پژوهش، تجمع ماده خشک در ابتدای رشد در کلیه تیمارها کند و تا رسیدن به مرحله زایشی، افزایش یافت و با نزدیک شدن گیاهان به مرحله بلوغ، روند کاهشی شد. بیشترین میزان تجمع ماده خشک نیز در این گیاه در زمان حصول بالاترین میزان شاخص سطح برگ دیده شد. بنابراین به نظر می‌رسد، در ابتدای دوره رشد گیاه به دلیل کم بودن تعداد برگ و به دنبال آن پایین بودن سطح برگ گیاه، تولید آسمیلات کم بوده و در نتیجه مقدار افزایش وزن خشک کل گیاه محدود

با توجه به تأثیر شاخص سطح برگ در جذب تشعشعات خورشیدی، بالا بودن میزان این شاخص می‌تواند در بهتر شدن رشد محصول موثر باشد (Nassiri-Mahallati *et al.*, 2014). پژوهشگران نشان دادند کاربرد کودهای تأمین‌کننده نیتروژن، در بیشتر شدن میزان شاخص سطح برگ و در نتیجه بالا رفتن ظرفیت فتوسنتزی از طریق افزایش دوام سطح برگ موثر است (Doaei *et al.*, 2020). در این بررسی نیز روند تغییرات شاخص سطح برگ در کلیه تیمارها همراه با افزایش میزان شاخص سطح برگ در تمام تیمارها در اوایل فصل رشد بود که در مرحله گلدهی به حداکثر میزان خود رسید. سپس، این شاخص در زمان رسیدن محصول با شیب تندی کاهش یافت. براساس نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد، مشاهده بیشترین میزان شاخص سطح برگ در سه مرحله مورد ارزیابی در تیمارهای حاوی کود مرغی، نشان‌دهنده تأثیر مثبت این ترکیب نسبت به سایر تیمارهای مورد نظر است. محققان دلیل افزایش نیتروژن قابل دسترس گیاه را در کاربرد کود مرغی، تداوم

می‌باشد. با افزایش سطح برگ و تا رسیدن به اوج گلدهی، افزایش وزن خشک شدت گرفته و بعد از آن، روند ثابت و در نهایت به دلایلی از قبیل قرار گرفتن برگ‌های پایین در سایه، ریزش قبل‌توجه برگ‌ها و عدم طولانی کامل برای فتوسنتز و تجمع ماده خشک، میزان این شاخص کاهش می‌یابد. سرعت رشد گیاهان نیز در ابتدای فصل رشد کم اما تا رسیدن به مرحله گلدهی افزایش یافت و بعد از رسیدن به حداکثر مقدار در مرحله گلدهی، مجدداً روندی کاهشی پیدا نمود. براساس این نتایج، بیشترین مقادیر سرعت رشد در سه مرحله مورد نظر در تیمارهای حاوی کود مرغی وجود داشت، به نظر می‌رسد در راستای مدیریت بهتر مزارع، استفاده از روش‌های زراعی از جمله کاربرد کودهای آلی با تقویت شرایط بیولوژیکی خاک کمک به حفظ رطوبت قابل استفاده گیاهان و بهبود سرعت رشد گیاهان، می‌تواند در بهبود عملکرد گیاهان نیز، موثر باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای تغذیه‌ای بر شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک و سرعت رشد چای ترش در مراحل مختلف رشد طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱

Table 5- Mean comparison leaf area index, dry matter accumulation and growth rate of Roselle at different stages of growth affected by nutritional treatments during seasons of 2021- 2022 and 2022- 2023

تیمار Treatment	شاخص سطح برگ Leaf area index			تجمع ماده خشک Dry matter Accumulation(g.m ⁻²)			سرعت رشد گیاه Crop growth rate(g.m ⁻² .d ⁻¹)		
	مرحله رشد			مرحله رشد			مرحله رشد		
	رویشی			رویشی			رویشی		
	Vegetative growth stage	Flowering stage	Physiological maturation stage	Vegetative growth stage	Flowering stage	Physiological maturation stage	Vegetative growth stage	Flowering stage	Physiological maturation stage
Control	1.70 ^e	3.13 ^e	1.11 ^d	250.00 ^c	570.00 ^d	695.00 ^d	4.16 ^c	5.30 ^c	2.08 ^e
AMF	2.00 ^{de}	3.27 ^{de}	1.21 ^{cd}	250.20 ^c	574.00 ^d	705.00 ^d	4.20 ^c	5.40 ^d	2.10 ^c
AZ	2.08 ^{cde}	3.52 ^{cde}	1.42 ^{bcd}	280.02 ^{bc}	668.00 ^{cd}	737.00 ^d	4.67 ^{bc}	6.47 ^{cd}	2.30 ^c
AMF+AZ	2.18 ^{cde}	3.51 ^{cde}	1.39 ^{bcd}	280.00 ^{bc}	650.00 ^{cd}	714.00 ^d	4.67 ^{bc}	6.17 ^{cd}	2.15 ^c
100%PM	3.01 ^{ab}	4.41 ^{ab}	1.97 ^a	380.01 ^a	1146 ^a	1300.35 ^a	6.23 ^a	12.44 ^{ab}	5.15 ^{ab}
100%CF	2.71 ^{abcd}	4.05 ^{abcd}	1.59 ^b	317.47 ^{abc}	909.54 ^{abc}	1043.54 ^{abc}	5.29 ^{abc}	9.94 ^{abc}	4.47 ^b
50%PM+50%CF	3.22 ^a	4.66 ^a	2.14 ^a	370.00 ^a	1162.96 ^a	1343.63 ^a	6.17 ^a	13.22 ^a	6.02 ^a
50%PM+AMF	2.39 ^{bcd}	3.81 ^{bcd}	1.48 ^{bcd}	280.00 ^{bc}	817.00 ^{bcd}	886.00 ^{bcd}	4.70 ^{bc}	8.80 ^{bcd}	2.30 ^c
50%PM+AZ	3.01 ^{ab}	4.70 ^a	2.29 ^a	360.00 ^a	1176.70 ^a	1348.70 ^a	6.00 ^a	13.78 ^a	5.42 ^a
50%PM+AMF+AZ	3.02 ^{ab}	4.46 ^{ab}	2.03 ^a	360.00 ^a	1149.82 ^a	1319.62 ^a	6.00 ^a	13.16 ^a	5.66 ^a
50%CF+AMF	2.71 ^{abcd}	3.72 ^{bcd}	1.47 ^{bcd}	281.70 ^{bc}	808.00 ^{bcd}	892.83 ^{bcd}	4.70 ^{bc}	8.72 ^{bcd}	2.41 ^c
50%CF+AZ	2.96 ^{ab}	4.21 ^{abc}	1.58 ^b	324.82 ^{ab}	912.82 ^{abc}	981.82 ^{bcd}	5.41 ^{ab}	9.81 ^{abc}	2.30 ^c
50%CF+AMF+AZ	2.55 ^{abcd}	3.92 ^{abcde}	1.54 ^{bc}	317.10 ^{abc}	911.47 ^{abc}	980.47 ^{bcd}	5.29 ^{abc}	9.84 ^{abc}	2.30 ^c
25%PM+25%CF+AMF+AZ	2.80 ^{abc}	4.40 ^{ab}	1.63 ^b	355.98 ^a	1038.12 ^{ab}	1188.12 ^{ab}	5.93 ^a	11.37 ^{ab}	5.00 ^{ab}

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن ندارند.

Mean followed by similar letters in each column are not significantly according to Duncan test ($p \leq 0.05$)

شاهد: بدون مصرف کود، (AMF): قارچ آربوسکولار میکوریزا، AZ: آزوسپیریلوم، PM: کود مرغی، CF: کود شیمیایی

Control: no fertilizer, AMF: Arbuscular Mycorrhizal Fungi, AZ: *Azospirillum*, PM: poultry manure, CF: chemical fertilizer

دید شده. بیشترین تعداد غوزه در ساقه اصلی از تیمار 50%PM+ 50%CF و با ۵۲/۹۸ درصد افزایش نسبت به شاهد به‌دست آمد. بیشترین تعداد غوزه در ساقه‌های فرعی نیز در تیمار کودی 50%PM+ Az و با ۸۰ درصد افزایش نسبت به شاهد حاصل شد و کمترین میزان صفات طول سرشاخه گلدار، تعداد غوزه در ساقه‌های اصلی و فرعی در شاهد مشاهده شد (جدول ۷).

طول سرشاخه گلدار، تعداد غوزه در ساقه‌های اصلی و فرعی بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو فصل زراعی نشان داد، تأثیر تیمارهای مختلف تغذیه‌ای بر طول سرشاخه گلدار، تعداد کل غوزه در ساقه‌های اصلی و فرعی معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۶). حداکثر طول سرشاخه گلدار به‌ترتیب در تیمارهای 100%PM, 50%PM+ 50%CF, 50%PM+ Az و با ۲۴/۳۴، ۲۲/۸۷ و ۲۲/۱۳ درصد افزایش نسبت به شاهد

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب اجزای عملکرد و عملکرد دانه چای ترش تحت تاثیر تیمارهای تغذیه‌ای طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) of combined yield components and seed yield of Roselle affected as nutritional treatments during seasons 2021- 2022 and 2022- 2023

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS) Mean of squares (MS)						
		طول سرشاخه گلدار Flowering branch length	تعداد غوزه در ساقه اصلی Number of bolls on the main stem	تعداد غوزه در ساقه‌های فرعی Number of bolls on secondary stems	وزن غوزه خشک در بوته Boll's dry weight per plant	وزن صد دانه Weight of hundred seeds	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت دانه Harvest index seed
سال Year	1	8.74 ^{n.s}	0.72 ^{n.s}	6.87 ^{n.s}	160.52 ^{n.s}	0.74 ^{n.s}	1635.93 ^{n.s}	0.23 ^{n.s}
تکرار Block (Year)	4	49.78	4.70	11.16	399.01	0.11	88799	9.87
تیمار Treatment	13	106.71 ^{**}	17.38 ^{**}	577.25 ^{**}	624.41 ^{**}	*0.13 [*]	432202 ^{**}	11.33 ^{**}
تیمار × سال Year × Treatment	13	18.69 ^{n.s}	0.67 ^{n.s}	1.47 ^{n.s}	84.18 ^{n.s}	0.02 ^{n.s}	7712.98 ^{n.s}	1.28 ^{n.s}
خطا Error	52	23.77	2.92	9.34	140.23	0.04	56169	11.22
ضریب تغییرات C. V (%)	-	7.63	12.09	5.75	14.93	5.35	17.22	20.36

*، ** و ^{n.s} به ترتیب نشانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری است.

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

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر تیمارهای تغذیه‌ای بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه چای ترش طی دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Table 7- Mean comparison of yield components and seed yield of Roselle affected by nutritional treatments during seasons 2021- 2022 and 2022- 2023

تیمار Treatment	طول سرشاخه گلدار Flowering branch length (cm)	تعداد غوزه در ساقه اصلی Number of bolls on the main stem	تعداد غوزه در ساقه‌های فرعی Number of bolls on secondary stems	وزن غوزه خشک در بوته Boll's dry weight per plant (gr.plant ⁻¹)	وزن صد دانه Weight of one hundred seeds (gr)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت دانه Harvest index seed
Control	56.49 ^c	12.24 ^b	40.51 ^f	62.68 ^c	3.48 ^c	904.56 ^e	13.04 ^a
AMF	59.21 ^{bc}	12.44 ^b	46.16 ^{def}	68.35 ^{bc}	3.58 ^{bc}	1078.82 ^{de}	15.40 ^a
AZ	62.33 ^{abc}	13.66 ^b	48.12 ^d	71.90 ^{bc}	3.64 ^{abc}	1182.68 ^{de}	15.24 ^a
AMF+AZ	61.85 ^{abc}	13.37 ^b	48.41 ^d	70.83 ^{bc}	3.73 ^{abc}	1210.82 ^{de}	16.20 ^a
100%PM	69.00 ^a	15.21 ^b	59.23 ^c	84.35 ^{abc}	3.88 ^{ab}	1656.97 ^{abc}	17.15 ^a
100%CF	64.87 ^{abc}	15.11 ^b	51.44 ^d	82.56 ^{abc}	3.80 ^{abc}	1281.04 ^{bcde}	16.08 ^a
50%PM+50%CF	69.41 ^a	18.75 ^a	65.04 ^b	90.55 ^{ab}	3.97 ^a	1733.32 ^a	17.67 ^a
50%PM+AMF	61.41 ^{abc}	12.79 ^b	50.79 ^d	77.37 ^{bc}	3.81 ^{abc}	1228.33 ^{cde}	15.65 ^a
50%PM+AZ	70.24 ^a	15.35 ^b	72.93 ^a	101.38 ^a	3.91 ^{ab}	1683.73 ^{ab}	17.61 ^a
50%PM+AMF+AZ	67.48 ^{ab}	15.27 ^b	65.01 ^b	86.56 ^{ab}	3.95 ^{ab}	1698.40 ^{ab}	18.43 ^a
50%CF+AMF	59.25 ^{bc}	12.84 ^b	41.82 ^{ef}	70.80 ^{bc}	3.67 ^{abc}	1156.92 ^{de}	15.99 ^a
50%CF+AZ	63.44 ^{abc}	13.62 ^b	46.48 ^{def}	76.94 ^{bc}	3.79 ^{abc}	1381.32 ^{abcd}	16.99 ^a
50%CF+AMF+AZ	63.10 ^{abc}	13.54 ^b	46.93 ^{de}	80.78 ^{abc}	3.87 ^{ab}	1404.65 ^{abcd}	17.17 ^a
25%PM+25%CF+AMF+AZ	66.83 ^{ab}	13.70 ^b	61.15 ^{bc}	85.38 ^{abc}	3.89 ^{ab}	1651.65 ^{abc}	17.59 ^a

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن ندارند.

Mean followed by similar letters in each column are not significantly according to Duncan test ($p \leq 0.05$)

شاهد: بدون مصرف کود، (AMF): قارچ آربوسکولار مایکوریزا، AZ: آزوسپیریوم، PM: کود مرغی، CF: کود شیمیایی

Control: no fertilizer, AMF: Arbuscular Mycorrhizal Fungi, AZ: Azospirillum, PM: poultry manure, CF: chemical fertilizer

آزوسپیریوم می‌توان اثر کاربرد نهاده‌های بوم‌سازگار را موثر بر

افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، انتقال بهتر عناصر غذایی

با توجه به نتایج این بررسی مبنی بر حصول حداکثر میزان

طول سرشاخه گلدار، از تیمار تلفیقی حاوی کود آلی و

دانه و عملکرد دانه چای ترش، معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۶). بیشترین وزن غوزه خشک در بوته در تیمار 50%PM+ Az با ۶۱/۷۴ درصد افزایش نسبت به شاهد، به‌دست آمد. بیشترین وزن صد دانه نیز از تیمار 50%CF+ 50%PM با ۱۴/۰۸ درصد افزایش نسبت به شاهد و بیشترین عملکرد دانه چای ترش در تیمار 50%CF+ 50%PM و با ۹۱/۶۲ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. کمترین میزان وزن غوزه خشک در بوته، وزن صد دانه و عملکرد دانه از تیمار شاهد (بدون کود)، به‌دست آمد (جدول ۷). با توجه به نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، در هر دو فصل زراعی، اثر منابع تغذیه‌ای، اثر سال و اثر متقابل تیمارهای تغذیه‌ای بر شاخص برداشت دانه معنی‌دار نبود (جدول ۶).

محققان استفاده تلفیقی از منابع کودی را به‌دلیل ایجاد تعادل عناصر موجود در خاک و استفاده مناسب‌تر گیاه بهتر از کاربرد جداگانه این ترکیبات گزارش کرده‌اند (Rezvani Moghaddam et al., 2018). در این بررسی نیز به نظر می‌رسد بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و افزایش دسترسی به آب در شرایط کاربرد کودهای زیستی و دامی (خصوصاً در خاک‌های دارای بافت سبک) موجب افزایش رشد گیاه، افزایش تعداد گل و میوه در بوته و به‌دنبال آن افزایش وزن غوزه خشک شده است. از دیگر دلایل ذکر شده توسط سایر محققان جهت توجیه بهبود رشد در این شرایط افزایش ترشح تنظیم‌کنندگان رشد گیاه (IAA, GA3 و ...) از باکتری استفاده شده و در نتیجه تثبیت نیتروژن غیرهمزیست، آزادسازی فسفات‌ها و ریزمغذی‌ها و انتقال بهتر آب و مواد غذایی به لندام‌های درحال رشد گیاه می‌باشد (kerekci et al., 2022). محققان بیشترین وزن غوزه خشک در بوته چای ترش را در تیمار ترکیبی کود آلی و شیمیایی مشاهده کردند که می‌تواند نشان‌دهنده اثرات مکملی این ترکیبات بر یکدیگر باشد (Hasani Nasab et al., 2025). وزن دانه یکی از مهمترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد دانه گیاهان است که علاوه بر تأثیرپذیری از عوامل ژنتیکی، متأثر از عوامل محیطی نیز می‌باشد (Wang et al., 2025). بنابراین مصرف صحیح و مناسب کودهای خاک مصرف (به‌عنوان عامل محیطی موثر بر رشد گیاهان) می‌تواند موجب حفظ و اصلاح حاصلخیزی خاک شود. به‌عبارت دیگر، با توجه به تقلیل میزان مواد آلی خاک زراعی اکثر مناطق به کمتر از یک درصد، راهکار

به گیاه، افزایش میزان نیتروژن و رطوبت خاک و ... دانست (Hoover et al., 2019). همچنین براساس نتایج به‌دست آمده، احتمالاً جذب مطلوب عناصر توسط گیاه، افزایش سنتز و ترشح مواد محرک رشد و تحریک گیاه در افزایش تقسیم سلولی در شرایط وجود ترکیبات زیستی محیط ریزوسفر نیز توانسته افزایش طول سرشاخه گلدار گیاه را موجب شوند. نتایج مشابهی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Sahoo et al., 2014). محققان افزایش عملکرد سرشاخه گلدار گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) را در شرایط استفاده از تیمار تلفیقی کود زیستی و مرگی گزارش نمودند (Gholami Sharafkhane et al., 2015). برخی محققان افزایش تعداد میوه توت‌فرنگی در شرایط استفاده از باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریوم را به افزایش جذب نیتروژن و فسفر، افزایش تجمع ماده خشک و مواد معدنی در برگ‌ها و ساقه گیاه و در نتیجه حرکت این مواد به سمت میوه، طی دوره رشد آن می‌دانند (Opstad and Sensteby, 2008). به نظر می‌رسد در این بررسی نیز باکتری استفاده شده، نقش تبدیل عناصر غذایی از حالت غیرقابل دسترس به قابل دسترس گیاه چای ترش را ایفا کرده است. همچنین احتمالاً ترکیب آزوسپیریوم با کود مرگی با تأثیر بر بهبود ساختمان خاک و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک در شرایط آب‌وهوایی گرم منطقه، موجب فراهمی تدریجی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شده است. بر این اساس می‌توان این ترکیب را نسبت به سایر تیمارها، به‌عنوان رقیبی مناسب برای کود شیمیایی معرفی نمود. در پژوهشی، بیشترین میزان کل غوزه در بوته چای ترش را در تیمار ترکیبی کود شیمیایی و کود آلی حاصل شد (Lemma, 2022). محققان بیشترین تعداد کل غوزه در بوته چای ترش را در مقایسه تأثیر تیمارهای کود شیمیایی، آلی و زیستی از تیمار تلفیقی ۳۰ تن کمپوست و کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، فسفر و پتاسیم گزارش به‌دست آوردند (Gomaa et al., 2018).

وزن غوزه خشک در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت دانه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها طی دو فصل زراعی نشان داد، اثر منابع مختلف تغذیه‌ای بر وزن غوزه خشک در بوته، وزن صد

پروتئین و عملکرد پروتئین دانه در تیمار 50%PM+Az به ترتیب با ۳۸ و ۱۵۶ درصد افزایش نسبت به شاهد، مشاهده شد. کمترین درصد پروتئین و میزان عملکرد پروتئین دانه نیز از شاهد به دست آمد (جدول ۹).

با توجه به اهمیت ویژه نیتروژن در ساختمان اسیدهای آمینه و نیز نقش ساختاری اسیدهای آمینه در تولید پروتئین‌ها، مصرف ترکیبات آلی و زیستی موثر در تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه می‌تواند موجب افزایش سنتز پروتئین گیاهی شود (Bamshad et al., 2018). کود مرغی به عنوان عاملی موثر در افزایش زیست توده میکروبی خاک و باکتری‌های محرک رشد با تأثیر بر فعالیت تثبیت نیتروژن هوا، متعادل نمودن جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف و رشد پایدار فعالیت‌های میکروبی خاک موجب بهبود رشد کمی و کیفی گیاهان خواهد شد (Arab-Niasar et al., 2019).

کاربرد کود آلی و زیستی، با بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه، افزایش سنتز پروتئین در دانه‌های حاصل از این تیمارها را موجب شده است. این نتایج هم‌راستا با نتایج بررسی محققان در گیاه بامیه می‌باشد (Purbajanti and Fuskhad, 2022). همچنین علاوه بر تأثیر کاربرد همزمان کودهای آلی و زیستی و تأمین مداوم نیتروژن در طی فصل زراعی و در نتیجه افزایش میزان پروتئین دانه، اثبات وجود همبستگی مثبت بین عملکرد پروتئین و عملکرد دانه محصولات مختلف می‌تواند توجیه کننده مشاهده بیشترین میزان عملکرد پروتئین دانه در تیمار 50%PM+ Az در این بررسی باشد (Gharakhani Beni et al., 2011, Sepehri and Shahbazi, 2019).

درصد روغن و عملکرد روغن دانه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها طی دو فصل زراعی نشان داد، اثر منابع تغذیه‌ای بر میزان درصد روغن و عملکرد روغن دانه جای ترش معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۸). بیشترین میزان درصد روغن و عملکرد روغن دانه در تیمار 50%PM+CF و به ترتیب با ۲۳/۹۷ و ۱۳۷/۲۶ درصد افزایش نسبت به شاهد به دست آمد. حداقل درصد روغن دانه جای ترش نیز به ترتیب از تیمارهای شاهد و تلقیح با قارچ آربوسکولار میکوریزا (AMF) حاصل شد و حداقل میزان عملکرد روغن دانه جای ترش از تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۹).

افزودن ماده آلی خاک جهت حفظ حاصلخیزی بستر، مورد توجه محققان قرار گرفته است (Mojab Ghasroddashti et al., 2017).

در این بررسی و در شرایط کاربرد ترکیبی کودهای مورد نظر نیز به نظر می‌رسد کود دامی مصرف شده و در برخی از تیمارها، کود زیستی استفاده شده با جلوگیری از وارد آمدن تنش و یا با کاهش تنش‌های محیطی، مانع از پیری زودرس برگ و ریزش آنها شده که در نتیجه با وجود برگ بیشتر روی بوته، فتوسنتز جاری تا اواخر دوره رشد گیاه وجود داشته است که در نتیجه آن امکان افزایش طول دوره پر شدن دانه فراهم شده است. همچنین احتمالاً این ترکیبات با تأثیر بر ریشه گیاهان، بهبود شرایط جذب عناصر معدنی را قبل از گلدهی و همزمان با رشد حداکثری گیاه فراهم نموده تا علاوه بر افزایش جذب، بخشی از مواد حاصل از فتوسنتز در بخش‌های مختلف گیاه مانند ساقه‌ها و ریشه گیاه ذخیره شود. در نهایت طی گلدهی گیاه و رسیدن دانه‌ها، مواد ذخیره شده به اندام‌های زایشی انتقال یافته که افزایش وزن دانه‌ها را موجب شده است. در بررسی دو رقم بامیه (*Abelmoschus esculentus* L.) نیز تیمار کودی ۵۰٪ کود شیمیایی + ۵۰٪ کود مرغی، بیشترین میزان عملکرد دانه را حاصل کرد (Muhammad and Sanda, 2019).

برخی محققان افزایش عملکرد میوه بامیه را به افزایش دسترسی به مواد مغذی که با استفاده از مقدار مناسب کود گاوی در خاک ایجاد می‌شود، نسبت دادند (Vieira de Figueiredo et al., 2024). پژوهشگران، بیشترین عملکرد و شاخص برداشت دانه ذرت (*Zea mays* L.) در تیمار کودی تلفیقی ۵۰٪ کود آلی + ۵۰٪ کود شیمیایی مشاهده کردند (Cheema et al., 2010).

صفات کیفی دانه جای ترش

درصد پروتئین و عملکرد پروتئین دانه

تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو فصل زراعی نشان داد اثر منابع تغذیه‌ای بر درصد پروتئین و عملکرد پروتئین دانه جای ترش معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۸). بیشترین درصد

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب درصد پروتئین و روغن، عملکرد پروتئین و روغن دانه چای ترش تحت تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱

Table 8- Analysis of variance (mean of squares) of seed protein and oil percentage, seed protein yield and seed oil yield of Roselle affected as nutritional treatments during seasons 2021- 2022 and 2022- 2023

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares (MS)			
		درصد پروتئین دانه Seed protein percentage	عملکرد پروتئین دانه Seed protein yield	درصد روغن دانه Seed oil percentage	عملکرد روغن دانه Seed oil yield
سال Year	1	1.37 ^{n.s}	81.90 ^{n.s}	2.16 ^{n.s}	216.74 ^{n.s}
تکرار Block (Year)	4	10.84	4989	10.22	6641
تیمار Treatment	13	12.65 ^{**}	27935 ^{**}	4.93 ^{**}	16500 ^{**}
تیمار × سال Year × Treatment	13	0.36 ^{n.s}	361.75 ^{n.s}	0.25 ^{n.s}	227.17 ^{n.s}
خطا Error	52	3.88	2911	2.42	1860
ضریب تغییرات C. V (%)	-	10.33	20.30	10.00	19.93

*، ** و ^{n.s} به ترتیب نشانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری است.

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

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف تغذیه‌ای بر درصد پروتئین و روغن، عملکرد پروتئین و روغن دانه چای ترش طی دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱

Table 9-Mean comparison of seed protein and oil percentage, seed protein yield and seed oil yield of Roselle seeds affected by different nutritional treatments during seasons of 2021- 2022 and 2022- 2023

تیمار Treatment	پروتئین دانه Seed protein (%)	عملکرد پروتئین دانه Seed protein yield (kg.ha ⁻¹)	روغن دانه Seed oil (%)	عملکرد روغن دانه Seed oil yield (kg.ha ⁻¹)
Control	16.187 ^c	146.888 ^f	13.818 ^b	125.357 ^e
AMF	17.208 ^{bc}	188.871 ^{ef}	14.050 ^b	156.283 ^{de}
AZ	18.083 ^{bc}	212.338 ^{ef}	15.425 ^{ab}	185.357 ^{cde}
AMF+AZ	18.708 ^{abc}	228.193 ^{def}	15.615 ^{ab}	190.075 ^{cde}
100%PM	20.187 ^{ab}	334.708 ^{abc}	15.998 ^{ab}	263.982 ^{abc}
100%CF	19.187 ^{abc}	224.095 ^{bcdef}	15.585 ^{ab}	199.982 ^{bcde}
50%PM+50%CF	19.771 ^{abc}	342.448 ^{ab}	17.131 ^a	297.434 ^a
50%PM+AMF	19.312 ^{abc}	235.844 ^{cdef}	15.480 ^{ab}	188.355 ^{cde}
50%PM+AZ	22.333 ^a	376.101 ^a	16.197 ^{ab}	273.042 ^{ab}
50%PM+AMF+AZ	20.239 ^{ab}	343.240 ^{ab}	16.221 ^{ab}	275.902 ^{ab}
50%CF+AMF	18.448 ^{bc}	214.531 ^{ef}	14.770 ^{ab}	170.076 ^{de}
50%CF+AZ	18.812 ^{abc}	259.632 ^{bcde}	15.250 ^{ab}	211.365 ^{bcd}
50%CF+AMF+AZ	18.937 ^{abc}	269.239 ^{bcde}	15.360 ^{ab}	216.950 ^{bcd}
25%PM+25%CF+AMF+AZ	19.562 ^{abc}	232.789 ^{abcd}	16.605 ^{ab}	274.568 ^{ab}

ستون‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly according to Duncan test ($p \leq 0.05$)

شاهد: بدون مصرف کود، AMF: قارچ آربوسکولار مایکوریزا، AZ: آزوسپیریلوم، PM: کود مرغی، CF: کود شیمیایی

Control: no fertilizer, AMF: Arbuscular Mycorrhizal Fungi, AZ: *Azospirillum*, PM: poultry manure, CF: chemical fertilizer

مقدار روغن به‌دست آمده در شرایط کاربرد ترکیبات آلی، می‌تواند قابل توجه باشد (Hasanzadeh Ghortapeh and Javadi, 2016). به عبارت دیگر در این بررسی نیز به نظر

با وجود تأثیر تأمین عنصر نیتروژن بر فراهمی سوپسترای موثر در سنتز پروتئین و در نتیجه افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ساخت پروتئین گیاهی به نظر محققان، همچنان

می‌رسد، کاربرد کودهای دامی و وجود آن در تیمارهای مربوطه از طریق بهبود شرایط رشد گیاه، طولانی کردن دوره انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و امکان تداوم پر شدن دانه‌ها، علاوه بر افزایش عملکرد دانه در واحد سطح توانسته است از طریق تأمین نیتروژن و فسفر مورد نیاز برای تشکیل روغن در دانه، موجبات افزایش میزان روغن را در تیمارهای حاوی ترکیبات آلی فراهم کند. محققان استفاده از کودهای آلی را علاوه بر بهبود ویژگی‌های رشد رویشی، در تولید روغن گیاهان نیز موثر می‌دانند (Amran et al., 2013). در تحقیق دیگری مصرف کود دامی، افزایش عملکرد دانه و میزان روغن را در گیاه خارمریم (*Silybum marianum* L.) به‌دنبال داشته است (Nasiri and Javanmard, 2021). قابل ذکر است، اگرچه در برخی بررسی‌ها استفاده از ترکیبات کودی موثر در افزایش فراهمی نیتروژن تأثیر قابل توجهی بر درصد روغن نداشته اما در صورت هدف‌گیری افزایش کل روغن تولیدی در واحد سطح، استفاده از این کودها در مقادیر مناسب مطلوب است (Shokri et al., 2025).

نتیجه‌گیری کلی

نگرانی‌های زیست‌محیطی و سلامت انسان، مسائل مرتبط با مصرف بی‌رویه کودهای معدنی را برجسته نموده‌اند، به‌طوری‌که امروزه ارزیابی الگوی تغذیه یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی به‌منظور حصول عملکرد بالا و کیفیت مطلوب محصولات گیاهان به‌شمار می‌رود. بنابراین با توجه به اهمیت گیاه چای ترش به‌عنوان گیاه دارویی مقاوم نسبت به شرایط محیطی

مناطق خشک و نیمه‌خشک، ارزیابی عوامل موثر بر کمیت و کیفیت محصول این گیاه قابل توجه است. بر همین اساس، نتایج بررسی صفات مرتبط با شاخص‌های رشد و دانه این گیاه تحت تأثیر منابع تغذیه‌ای نشان داد کاربرد توأم کود مرغی و زیستی (استفاده از تیمار ترکیبی Az 50%PM+ و در برخی صفات تلفیق این تیمار با AMF)، علاوه بر افزایش عملکرد کمی این گیاه، کیفیت محصول را نیز بهبود بخشیده است. در برخی صفات نیز حصول بیشترین میزان از تیمار تلفیقی 50%PM+ CF 50% صورت گرفت. بنابراین اگرچه استفاده از کودهای معدنی نسبت به ترکیبات آلی هزینه کمتری دارد، اما به جهت اثرات نامناسب ترکیبات شیمیایی و عدم ایجاد شرایط پایدار تولید، جایگزینی تیمارهای تغذیه‌ای تلفیقی کود مرغی و باکتری آروسپیریلوم و گاه در تلفیق با قارچ آربوسکولار مایکوریزا و همچنین کاهش میزان استفاده از کود شیمیایی به ۵۰ درصد و در تلفیق با کود مرغی، قابل توصیه می‌باشد. به‌عبارت دیگر کاربرد ترکیبی این نهاده‌ها علاوه بر کاهش اثرات منفی منابع شیمیایی به‌عنوان یک راه‌حل مناسب، عاملی موثر در رسیدن به حداکثر عملکرد پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در نهایت یافته‌های این مطالعه بر پتانسیل کودهای آلی و زیستی برای دستیابی به نتایج برتر نسبت به تیمارهای معدنی تأکید کرده و به نظر می‌رسد استفاده از کودهای آلی و میکروبی برای بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش بهره‌وری محصول چای ترش در این منطقه تأثیر مثبتی بر چشم‌انداز کشاورزی آن داشته باشد.

References

- Abdalla, M.M. and El-Khoshiban, N.H., 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Science Research*, 3, pp.2062-2074.
- Abou-Sreya, A.I.B., Roby, M.H.H., Mahdy, H.A.A., Abdou, N.M., El-Tahan, A.M., El-Saadony, M., El-Tarabily, Kh. A. and El-Saadony, F.M.A., 2022. Improvement of selected morphological, physiological, and biochemical parameters of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) grown under different salinity levels using potassium silicate and aloe saponaria extract. *Plants*, 11(497), pp.1-20. <https://doi.org/10.3390/plants11040497>

- Adavi, Z. and Dehghanzadeh, H., 2023. Investigation the effects of manure and seed inoculation with *Azospirillum* manure on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 3(33), pp.75-87. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/saps.2022.50112.2818>
- Amirnia, R., Ghyasi, M., Siavash-Moghaddam, S., Rahimi, A., Damalas, C.A. and Heydarzadeh, S., 2019. Nitrogen-fixing soil bacteria plus mycorrhizal fungi improve seed yield and quality traits of lentil (*Lens Culinaris* Medik). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(3), pp.1-11. <https://doi.org/10.1007/S42729-019-0058-3>
- Amran, K.A.A., 2013. *Physiological studies on Pelargonium graveolens* L. plant (Ph.D. thesis). Faculty of Agriculture, University of Egypt.
- Arab-Niasar, L., Mirzakhani, M. and Nozad Namin, K., 2019. Evaluation of nitrogen efficiency and grain yield of white bean under combined application of organic and biological fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(3), pp.1-11. [In Persian].
- Bamshad, R., Ramroudi, M. and Asgharipour, M., 2018. Effect of chemical and biological fertilizers on seed yield and biochemical traits of black cumin (*Nigella Sativa*) under irrigation cutting conditions. *Journal of Crops Improvement*, 20(3), pp.655-666. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2018.248224.1901>
- Bradstreet, R.B., 1954. Kjeldahl method for organic nitrogen. *Analytical Chemistry*, 26(1), pp.185-187. <https://doi.org/10.1021/ac60085a028>
- Cheema, M.A., Farhad, W., Saleem, M.F., Khan, H.Z., Vahid, M.A., Rasul, F. and Hammad, H.M., 2010. Nitrogen management strategies for sustainable maize production. *Journal of Crop and Environment*, 1(1), pp.49-52.
- Chiu, H.F., Liao, Y.R., Shen, Y.Sh., Han, Y.Ch., Golovinskaia, O., Venkatakrishnan, K., Hung, Ch. and Wang, Ch., 2022. Improvement on blood pressure and skin using roselle drink: A clinical trial. *Journal Food Biochemistry*, 46:e14287, pp.1-14. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14287>
- Da-Costa-Rocha, I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I. and Heinrich, M., 2014. *Hibiscus sabdariffa* L.—A phytochemical and pharmacological review. *Food Chemistry*, 165, pp.424–443. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.002>
- Doaei, F., Nakhzari Moghaddam, A., Rahemi Karizaki, A. and Aldaghi, M., 2020. The effect of nutritional management on phenological stages, radiation use efficiency and seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under influence of planting date. *Iranian Journal of Pulses Research*, 11(1), pp.49-61. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i1.72775>
- Elizabeth, O., Ajibade, D., Gabriel, A. and Folorunsho, A.E., 2013. Phenological Studies of Two Varieties of *Hibiscus cannabinus* Linn in Ile-Ife, South West, Nigeria. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3(8), pp.49-57.
- Eltayeib, A. and Elaziz, A., 2014. Physicochemical properties of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds oil 10–(Elrahad–1) in North Kordofan, Sudan. *Journal Scientific Innovative Research*, 3(6), pp.578–582. <https://doi.org/10.31254/jsir.2014.3606>

- Ferreira, L.L., Santos, G.F., Carvalho, I.R., Fernandes, M., Carnevale, A.B., Lopes, K., Fonseca Prado, R.L., Lautenchleger, F., Azevedo Pereira, A. and Silva Curvelo, C.R., 2020. Cause and effect relationships, multivariate approach for inoculation of *Azospirillum brasilense* in corn. *Plant Sciences*, 10, pp.37-45. <https://doi.org/10.26814/cps2020006>
- Ghadirnezhad Shiade, S.R., Fathi, A., Kardoni, F., Pandey, R. and Pessarakli, M., 2024. Nitrogen contribution in plants: Recent agronomic approaches to improve nitrogen use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 47(2), pp.314-331. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2278656>
- Ghanbari Odivi, A., Fallah, S., Lorigooini, Z. and Karimi, M., 2022. Evaluation of the Efficiency of Animal Manures in the Production of Thyme (*Thymus daenensis* L.). *Journal of Agroecology*, 14(3), pp.449-466. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/agry.2021.68631.1019>
- Gharakhani Beni, H., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A. and Hashemi Jazi, S.M., 2011. Study of the Quantitative and Qualitative Traits of Four Soybean (*Glycine max* L.) Cultivars under Different Sowing Dates in Shahrekord Region. *Journal of Production and Processing*, 1(2). pp.19-33. [In Persian].
- Gholami Sharafkhane, E., Jahan, M., Bannayan Aval, M., Koocheki, A. and Rezvani Moghaddam, P., 2015. The effect of organic, biological and chemical fertilizers on yield, essential oil percentage and some agroecological characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under Mashhad conditions. *Journal of Agroecology*, 7(2), pp.179-189. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v7i2.50231>
- Ghosh, P., Priyadarshini, S., Munshi, M., Beula, P., Atthoti, L., Kruthi, G.S., Sai Sravan, B., Irshaan, S., Rana, S.S. and Abdullah, S., 2023. Physicochemical characterization and mass modelling of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyx and seeds. *Food Chemistry Advances*, 3, 100400, pp.1-11. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100400>
- 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), pp.171-193. <https://doi.org/10.21608/sjfop.2018.18128>
- Gomes, J.J.A., Bruno, R.L.A., De Melo, P.A.F.R., Alves, E.U., Araujo, J.R.G., De Andrade, A.P., Santos, R.N.V., Mesquita, M.L.R., Mendonca, M.C.S. and Barrozo, L.M., 2018. Substrates and temperatures in the germination of *Hibiscus sabdariffa* L. seeds. *Journal of Agricultural Science*, 10, pp.493-500. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n12p493>
- Hasani Nasab, M., Fateh, E., Aynehband, A., Monsefi, A. and Behnam Far, K., 2025. Effects of organic and chemical fertilizer management on yield and quantitative traits of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Ahvaz climate. *Journal of Crops Improvement*, 27(20), pp.315-336. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2025.378013.2889>
- Hasanzadeh Ghorttapeh, A. and Javadi, H., 2016. Study on the effects of inoculation with bio-fertilizers (*Azotobacter* and *Azospirillum*) and nitrogen application on oil, yield and yield components of spring canola

- in west Azerbaijan. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(18), pp.39-50. [In Persian].
<https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.18.39>
- Hassani, M., Tadayon, M.R. and Fadaei Tehrani, A.A., 2021. The effect of chemical and biological fertilizers on leaf characteristics, yield and nutrient uptake and consumption efficiency, phosphorus and sulfur in *Camelina sativa* L. *Journal of Plant Process and Function*, 10(45), pp.123-140. [In Persian].
- Hoover, N.L., Lawb, J.K., Longa, A.M., Kanwarc, R.S. and Soupird, M.L., 2019. Long-term impact of poultry manure on crop yield, soil and water quality, and crop revenue. *Journal of Environmental Management*, 252, pp.1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109582>
- Hunt, R., 1990. *Basic growth analysis: Plant growth analysis for beginners*. Edward Arnold.
<https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6>
- Kerecki, S., Pecinar, L., Karlicic, V., Mirkovic, N., Kljujev, I., Raicevic, V. and Jovicic Petrovic, J., 2022. *Azotobacter chroococcum* F8/2: a multitasking bacterial strain in sugar beet biopriming. *Journal of Plant Interactions*, 17, pp.719-730. <https://doi.org/10.1080/17429145.2022.2091802>
- Kowti, R., Majumder, P., HS, H., Joshi, V., Kumar, R. and Ahmed, S.S., 2020. Hibiscus herbs - a comprehensive botanical, chemical and biological overview. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 07(03), pp.291-303. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2020.7.3.0351>
- Lemma, D.T., 2022. Evaluation of yield and economic profitability of using NP and FYM for the production of roselle. *International Research Journal of Plant Science*, 13(4), pp.1-10.
<https://doi.org/10.14303/irjps.2022.021>
- 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, pp.14-20.
- Mirzaei, M., Ladan Moghadam, A., Hakimi, L. and Danaee, E., 2020. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) improve plant growth, antioxidant capacity, and essential oil properties of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) under water stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 10(2), pp.3155-3166.
<https://doi.org/10.30495/ijpp.2020.672574>
- Mohammadpour Vashvaei, M., Ghanbari, A. and Fakheri, B.A., 2016. Effect of different fertilization systems (chemical, biological and integrated (on nitrogen and phosphorus concentration, biochemical attributes and sepals dry weight of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agroecology*, 3(9), pp.625-674. [In Persian].
<https://doi.org/10.22067/jag.v9i3.40529>
- Mojab Ghasroddashti, A., Maghsoudi, E., Yaqoub Behzadi, Y. and Fereidooni, M.J., 2017. The effects of different nitrogen sources on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* L. saccharata). *Journal of Agroecology*, 9(1), pp.171-184. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v9i1.52309>
- Muhammad, A. and Sanda, H.Y., 2019. Influence of sole and combined application of NPK (15:15:15) fertilizer and poultry manure on growth and yield of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) varieties in Aliero, Kebbi State, Nigeria. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 3(3), pp.1-10.
<https://doi.org/10.9734/ajrcs/2019/v3i330047>

- Nasiri, Y. and Javanmard, A., 2021. Yield components and qualitative and quantitative yield of milk thistle (*Silybum marianum* L.) under organic and biological inputs application. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), pp.1-22. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.12767>
- Nassiri-Mahallati, M., Koocheki, A., Mondani, F., Feizi, H. and Amirmoradi, S., 2014. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. *Journal of Cleaner Production*, 106, pp.343-350. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.099>
- Opstad, N. and Sonstebj, A., 2008. Flowering and fruit development in strawberry in a field experiment with two fertilizer strategies. *Acta Agriculture Scandinavia, Section B: Soil Plant Science*, 58, pp.297-304. <https://doi.org/10.1080/09064710701706283>
- Parsa Motlagh, B., Rezvani Moghadam, P. and Azami Sardooi, Z.A., 2018. The effect of sowing date and intra-row space on leaf area index, dry matter accumulation and physiological characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as medicinal plant. *Journal of Plant Process and Function*, 7(26), pp.171-184. [In Persian].
- Purbajanti, E.D. and Fuskhad, E., 2022. Response of growth and production of red and green okra plants to effect of organic fertilization. *International Journal of Plant & Soil Science*, 34 (23), pp.57-63. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i2331561>
- Raei, Y., Shariati, I. and Weisany, W., 2015. Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(1), pp.65-84. [In Persian].
- Rai, P., Tewari, S. and Prajapati, R., 2023. Importance of arbuscular mycorrhiza (AM) fungi in agriculture. *Research Communication*, 1(1), pp.71-80.
- Rezvani Moghaddam, P., Asadi, G.H., Aghvahani Shajari, M., Ranjbar, F. and Shahriari, R., 2018. Effect of nutritional management on yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as a medicinal plant in Mashhad condition, *Iranian Journal of Field Crops Research*, 4, pp.776-785. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v15I4.50956>
- Rezvani Moghaddam, P., Asadi, G., Ranjbar, F., Aghhavani Shajari, M. and Shahriari, R., 2017. Effect of integrated organic and chemical fertilizer on growth indices of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as a medicinal plant in Mashhad condition. *Journal of Agroecology*, 9(4), pp.960-971. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v9i4.42885>
- Sahoo, R.K., Ansari, M.W., Pradhan, M., Dangar, T.K., Mohanty, S. and N. Tuteja., 2014. Phenotypic and molecular characterization of native Azospirillum strains from rice fields to improve crop productivity. *Protoplasma*, 251, pp.943-953. <https://doi.org/10.1007/s00709-013-0607-7>
- Sarikhani, M.R. and Ansari, S., 2015. Assessment of some qualitative characteristics of common bio-fertilizers in Iran. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(4.1) pp.1-14. [In Persian].
- Sarmast, M., Farpoor, M.H. and Esfandiarpour Boroujeni, I., 2015. Comparison of some desert varnish characteristics on stable, unstable and moderately stable surfaces of mantled pediment in Giroft area. *Journal of Water and Soil Science*, 73, pp.99-112. [In Persian]. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.73.99>

- Sepehri, A. and Shahbazi, H., 2019. Effect of planting date and chemical and biological fertilizers application on quantitative and qualitative characteristics of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 37(11), pp.258-280. [In Persian].
- Shokri, M., Yadavi, A.R., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A. and Karami, R., 2025. The effect of different sources of chemical, organic, biological and integrated fertilizers on chlorophyll, nutrient content and grain yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 15(2), pp.61-73. [In Persian]. <https://doi.org/10.47176/jcpp.15.2.20336>
- Sun, W., Shahrajabian, M.H. and Wang, N., 2025. A Study of the Different Strains of the Genus *Azospirillum* spp. on Increasing Productivity and Stress Resilience in Plants. *Plants*, 14, pp.1-24. <https://doi.org/10.3390/plants14020267>
- Tounkara, F. and Fane, M.M., 2022. Physico-chemical and nutritional properties of unfermented and fermented Roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn) seeds. *Asian Food Science Journal*, 21(9), pp.1–10. <https://doi.org/10.9734/afsj/2022/v21i930447>
- Vieira de Figueiredo, D.F., Silva Dantas, J., Evandro Franklin de Mesquita, E.F., Fernandes Pereira, R., Mota de Melo, D.R., Bezerra Nogueira, V.F., Silva Sousa, C. and Costa Diniz, J.P., 2024. Influence of soil organic matter on okra mineral nutrition and yield. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 54, pp.1-10. <https://doi.org/10.1590/1983-40632024v5479784>
- Wang, X., Sun, J., Yi, Z. and Dong, Sh., 2025. Effects of seed size on soyabean performance: germination, growth, stress resistance, photosynthesis, and yield. *BMC Plant Biology*, 25, pp.219-234. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06224-3>
- Zand-Silakhoor, A., Madani, H., Heidari Sharifabadi, H., Mahmoudi, M. and Nourmohamad, Gh., 2023. Evaluation of yield, harvest index, and water use efficiency of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in different treatments of irrigation and sowing date. *Journal of Crop Ecophysiology*, 4(16), pp.511-526. [In Persian]. <https://doi.org/10.30495/jcep.2023.1935375.1818>
- 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), pp.19-34.
- Zarringhalami, S., Ganjloo, A. and Mokhtari Nasrabadi, Z., 2021. Optimization xanthan gum, roselle seed and egg white powders levels based on textural and sensory properties of gluten-free rice bread. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), pp.1124–1131. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04626-9>