

Investigation of the possibility of reducing the effects of low irrigation of lavender (*Lavandula officinalis* L.) using biofertilizers and phosphorus through changes in some morphological and biochemical characteristics

E. Satarzadeh^{1*}, M. Yarnia², E. Khalilvand Behrooznia², B. Mirshekari², V. Rashidi²

1. PhD Student, Department of Crop Production, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2. Department of Crop Production, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Received 23 May 2022; Accepted 3 August 2022

Extended abstract

Introduction

Lavender (*Lavandula officinalis* L.) belonging to the Lamiaceae family is a plant with economic, medicinal and ornamental value. Its essential oil is used as a raw material for many industries, including perfumery, cosmetics, and pharmaceutical industries. Drought stress as a limiting factor reduces growth and productivity in plants. This issue is especially important in arid and semi-arid regions of the world such as Iran. One of the basic solutions to adjust or reduce the effect of water stress in agricultural plants is the use of different types of biological fertilizers. Also, its low diffusion speed in the soil can play an important role in the lack of its ions in the solution in the soil of the root development area. In most agricultural systems, due to the low mobility of phosphorus in the soil, absorption by the plant is low. In order to investigate the effect of biofertilizers and phosphorus on reducing the effects of irrigation deficiency in lavender, an experiment was conducted in the form of split plots in a randomized complete block design with 3 replications at the Research Station of the Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Tabriz in 2019-2020.

Materials and methods

Experimental factors including irrigation levels (irrigation after 60, 90 and 120 mm from Class A evaporation pan) as the main factor and inoculation with biofertilizer including four levels (inoculation with *Thiobacillus*, *Pseudomonas* and *Thiobacillus* + *Pseudomonas* and no inoculation As control) and phosphorus fertilizer levels at two levels (0 and 50 kg ha⁻¹) as a secondary factor. The studied traits included leaf dry weight, flower dry weight, cell membrane leakage rate, relative leaf water content, soluble sugars and proline content, catalase and superoxide dismutase enzymes and peroxidase and MDA. To measure the activity of antioxidant enzymes, leaf samples kept at -80 degrees Celsius were used. The activity of catalase was measured using the method described by (Aebi, 1984; Ezhilmathi, 2007). The measurement of superoxide dismutase (SOD) enzyme was calculated according to the method (Giannopolitis and Ries, 1977) based on enzyme unit per milligram per body weight. The determination of malondialdehyde (MDA) was based on Aston and Sidney's method (Aston and Sidney, 1987). Proline content in the youngest leaf was also determined by the method of Bates et al. (1973). SAS

* Corresponding author: Elnaza Satarzadeh; E-Mail: elnazazari947@yahoo.com



version 8 software was used to analyze the variance of the data, MSTATC version 2 software was used to compare the averages, and Excel software was used to draw the figures.

Results and discussion

The results showed that at all levels of irrigation, phosphorus consumption and inoculation with integrated biofertilizers increased the dry weight of flowers compared to the control. Irrigation after 60 mm of evaporation from the pan with the application of 50 kg of phosphorus per hectare and application of Thiobacillus + Pseudomonas obtained the highest dry weight of flowers (833.3 g ha⁻¹). The highest leaf dry weight was proline, catalase, peroxidase, superoxide dismutase and malondialdehyde at 60 ml of evaporation with 50 kg ha⁻¹ application and application of Thiobacillus + Pseudomonas. The results of this study also showed that the effects of interaction between irrigation, phosphorus and biofertilizer levels on cell membrane leakage, leaf dry weight and relative leaf water content were not significant.

Conclusion

Based on the results of this experiment, it can be said that in water stress conditions, the use of biological fertilizers combined with the use of phosphorus fertilizers can greatly reduce the incidence of malnutrition in lavender medicinal plant. The accumulation of soluble sugars, proline and the increase in the activity of antioxidant enzymes in this plant in the face of drought stress can be considered as drought tolerance mechanisms. The combined use of Thiobacillus and Pseudomonas bacteria had better results than the use of these bacteria alone; Therefore, if the intensity of water deficit stress in this plant is not high, the effects of water deficit stress can be reduced by using biological fertilizers and phosphorus fertilizer.

Keywords: Drought stress, Dry weight of flowers, Pseudomonas, Relative water content, Thiobacillus



بررسی امکان کاهش اثرات کم‌آبیاری گیاه دارویی اسطوخودوس (*Lavandula officinalis* L.) با استفاده از کودهای زیستی و فسفره از طریق تغییرات برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی

الناز ستارزاده^۱، مهرداد یارنیا^۲، ابراهیم خلیل‌وند بهروزیار^۲، بهرام میرشکاری^۲، وهرام رشیدی^۲

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز

۲. عضو هیئت‌علمی، گروه زراعت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: پسودوموناس تنش خشکی تیوباسیلوس محتوای نسبی آب وزن خشک گل	به‌منظور بررسی اثر کودهای زیستی و فسفره بر کاهش اثرات کم‌آبیاری در گیاه دارویی اسطوخودوس، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز در سال زراعی ۹۸-۱۹۷ اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سطوح آبیاری (آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر از تشت تبخیر کلاس A) به‌عنوان عامل اصلی و تلقیح با کود زیستی در چهار سطح (تلقیح با تیوباسیلوس، پسودوموناس و تیوباسیلوس+پسودوموناس و عدم تلقیح به‌عنوان شاهد) به‌عنوان عامل فرعی و سطوح فسفره در دو سطح (۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که اثرات برهمکنش بین سطوح آبیاری، فسفره و کود زیستی بر وزن خشک گل، نشت غشای سلولی، قندهای محلول، محتوای پرولین، آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و مالون‌دی‌آلدئید معنی‌دار اما بر نشت غشای سلولی، وزن خشک برگ و محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که در کلیه سطوح آبیاری، مصرف فسفره و تلقیح با کودهای زیستی موجب افزایش وزن خشک گل نسبت به شاهد شد. بیشترین وزن خشک گل (۸۳۳/۳ گرم در هکتار)، محتوای پرولین (۴/۸۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، قندهای محلول (۱/۹۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (۰/۱۱۴۷) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه، پراکسیداز (۰/۱۱۹۳) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه، سوپراکسیددیسموتاز (۰/۶۱۷۳) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه و مالون‌دی‌آلدئید (۵/۳۴۳ میکرومول بر گرم وزن تر) در آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت، ۵۰ کیلوگرم فسفره در هکتار و کاربرد تیوباسیلوس+پسودوموناس حاصل گردید. باکتری‌های محرک رشد به همراه کاربرد فسفره می‌تواند اثر مثبتی بر کاهش اثرات منفی تنش آبی داشته باشد و موجب افزایش عملکرد گل در گیاه اسطوخودوس شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۲	
تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۲ ۱۱۷۱-۱۱۵۳ (۴): ۱۶	

مقدمه

و صنایع دارویی کاربرد دارد (Chrysargyris et al., 2020; Silva et al., 2017; Gonzalez-Coloma et al., 2011; Touati et al., 2011). مهم‌ترین ترکیبات اسانس آن شامل ۱،۸ سینئول، کافور، بورنئول، آلفا پینن، بتا پینن، ترانس پینوکارونول، نرول، لینالول، اسید پروپیونیک، اسید بوتیریک، اسید والریک، ژرامبول، لینالول آزاد، فلاونوئیدها، تانن، ترکیبات فنلی و مونوتیرپن است (Mambri et al., 2018).

اسطوخودوس (*Lavandula officinalis* L.) متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) گیاهی چندساله، همیشه‌سبز همچنین با ارزش اقتصادی، دارویی و زینتی است. قسمت تحتانی ساقه انشعابات فراوانی دارد که گیاه به‌صورت متراکم و انبوه به نظر می‌رسد. ارتفاع گیاهان چندساله به ۶۰-۴۰ سانتی‌متر می‌رسد. اسانس آن به‌عنوان ماده اولیه برای بسیاری از صنایع از جمله عطرسازی، لوازم‌آرایشی و بهداشتی

فعالیت این آنزیم‌ها باعث می‌شود سلول از تولید فرم‌های فعال اکسیژن جلوگیری کرده یا این‌که آن‌ها را جمع‌آوری و اثرات مضر آن‌ها را کاهش دهند، بنابراین گیاهان در شرایط تنش آبی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهند (Ahmad and Prasad, 2012). پس گونه‌های گیاهی که به تنش مقاوم‌تر می‌باشند، میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان آن‌ها، در شرایط تنش افزایش بیشتری می‌یابد و این طریق از غشاء سلولی در برابر صدمات حاصل از تنش حفاظت می‌کنند (Ashraf and Ali, 2008). سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش می‌تواند از افت بیشتر عملکرد جلوگیری نماید (Seyed Sharifi and Seyed Sharifi, 2019).

با توجه به اینکه O_2^- و H_2O_2 در شرایط تنش افزایش می‌یابد، این ترکیبات به‌وسیله فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز کنترل می‌شود (Niliwajski and Sklodowska, 2021). نتایج تحقیقات جباری و همکاران (Jabbari et al., 2014) نشان می‌دهد که نقش انواع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در افزایش تحمل به تنش کم-آبی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها بسیار مهم‌تر و پررنگ‌تر از پرولین است. از مهم‌ترین تغییرات ناشی از تنش کم-آبی، می‌توان به کاهش محتوای نسبی آب برگ اشاره کرد که باعث ایجاد توانمندی گیاه در مواجهه با شرایط تنش کم‌آبی می‌شود (Kandeel et al., 2002). یکی از راهکارهای اساسی برای تعدیل یا کاهش اثر تنش آبی در گیاهان زراعی، کاربرد انواع مختلفی از کودهای زیستی (باکتری‌ها و قارچ‌های مفید خاک‌زی) است (Marulanda Aguirre et al., 2008). این کودها شامل ریزموجودات مفید خاک هستند که عناصر غذایی را به شکل قابل جذب در اختیار گیاهان قرار می‌دهند (Chen, 2006). مهم‌ترین اکسیدکنندگان گوگرد در زمین-های کشاورزی، باکتری‌های جنس تیوباسیلوس هستند که گوگرد خاک را به‌صورت قابل جذب برای گیاهان فراهم می‌کنند (Chgazrdi et al., 2013). همچنین این باکتری‌ها با اکسید کردن گوگرد برای تأمین سولفات مورد نیاز گیاهان و کاهش اسیدیته خاک در اطراف ریشه‌ها حلالیت عناصر ریزمغذی در خاک افزایش می‌دهند، با افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی ریزمغذی و پرمصرف در خاک باعث رشد بهتر گیاه می‌شوند (Besharaty, 2001). در اکثر سیستم‌های کشاورزی به خاطر پایین بودن تحرک فسفر در خاک، جذب

اسانس آن به‌طور سنتی به‌عنوان ضدعفونی‌کننده زخم‌ها، سوختگی‌ها، نیش حشرات، در دامپزشکی و به‌عنوان یک آرام‌کننده و مسکن استفاده می‌شود (Demissie et al., 2011; Meftahizade et al., 2011; Hritcu et al., 2012).

تنش خشکی به‌عنوان یک عامل محدودکننده باعث کاهش رشد و بهره‌وری در گیاهان می‌شود. این مسئله به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه مناطق خشک جهان مانند ایران بسیار اهمیت دارد. در شرایط تنش کم‌آبی با کاهش مقدار آب قابل دسترس گیاهان، تولید ماده خشک به علت کاهش فتوسنتز، کاهش می‌یابد (Yang et al., 2007). روا و بهات (Roa and Bhatt, 2005) گزارش کردند که علت کاهش وزن خشک کل و زیست‌توده گیاهی، به‌واسطه تنش کم‌آبی، پیری زودرس برگ‌ها و کاهش شدت فتوسنتز است. تنش خشکی می‌تواند فتوسنتز را مهار کرده و با محدود کردن جذب آب و آسیب رساندن به غشای سلول باعث کاهش رشد در بسیاری از گیاهان گردد (Ortiz et al., 2015; Lee and Thomason, 2018). گیاهان معمولاً مکانیسم‌های مختلفی جهت مقابله با تنش کم‌آبی دارند و از طریق القای انواعی از پاسخ‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی به تنش سازگار می‌شوند (Farooq et al., 2009; Mirzaee et al., 2013). تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش، به‌واسطه سنتز پرولین و غیرفعال شدن تخریب آن است. افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Liang et al., 2013). واکنش‌های پراکسیداسیون لیپیدها یا گونه‌های فعال اکسیژن^۱ در غشای گیاهان به‌صورت انتخابی اسیدهای چرب غیراشباع را تجزیه کرده و باعث تجمع هیدروکربن‌ها و آلدئیدها می‌شود. جهت سنجش میزان تنش وارده به سلول‌ها و پی بردن به نقش رادیکال‌های آزاد اکسیژن، مقدار مالون دی‌آلدئید (فراوان‌ترین محصول که از تجزیه لیپید آلدئیدی در نتیجه اکسیداسیون لیپیدی حاصل می‌گردد) اندازه‌گیری می‌شود (Davey et al., 2005).

برای جلوگیری از آسیب سلولی به علت تولید گونه‌های فعال اکسیژن در برابر تنش، گیاهان تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را جهت حفاظت ثانویه در برابر تنش اکسیداتیو تولید می‌کنند (Osmolovskaya et al., 2018). افزایش

¹ Reactive oxygen species (ROS)

امکان کاهش اثرات کم آبیاری اسطوخودوس با استفاده از کودهای زیستی (تیوباسیلوس و پسودوموناس) و فسفره از طریق تغییرات برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی در شرایط تنش کم آبی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۷-۹۸ در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز واقع در ۵ کیلومتری تبریز اجرا گردید. بر مبنای طبقه‌بندی اقلیمی دوماتن، این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

قبل از شروع آزمایش برای تعیین خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک منطقه نمونه برداری انجام پذیرفت. نمونه‌ها برای آنالیز به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل شد که نتایج به شرح جدول ۲ است (جدول ۲).

توسط گیاه پایین است (Shenoy and Kalagud, 2005). سرعت انتشار پایین آن در خاک می‌تواند نقش مهم در کمبود یون‌های آن در محلول موجود در خاک منطقه توسعه ریشه داشته باشد (Smith, 2002). کارایی مصرف و جذب فسفر در خاک حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد بوده و تنها جزئی از باقی‌مانده آن در خاک ممکن است در طی سالیان متوالی و در اثر فعالیت‌های بیولوژیکی خاک آزاد شده و در دسترس گیاه قرار بگیرد (Malhi et al., 2002). فسفر به‌عنوان عامل محدودکننده رشد گیاهان زراعی در واقع همیشه به معنای پایین بودن میزان آن در خاک نبوده، بلکه مقداری از فسفر قابل جذب در خاک ممکن است به علت واکنش‌های پیچیده در خاک محبوس و به شکل غیرقابل استفاده برای گیاهان تبدیل شود (Khorasani, 2010). با توجه به اینکه پژوهش‌های اندکی در خصوص کاربرد توأم و تلفیقی کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد در شرایط آبیاری متفاوت در زراعت اسطوخودوس انجام شده است، در این پژوهش هم‌راستا با اهداف کشاورزی پایدار،

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و آب‌وهوایی محل اجرای آزمایش

Longitude	طول جغرافیایی	46° 17'
Latitude	عرض جغرافیایی	38° 5'
Height(m)	ارتفاع از سطح دریا	1360 (m)
Average annual precipitation	میانگین میزان بارندگی سالانه	364.3 (mm)
Highest annual average temperature	میانگین بیشترین دمای سالانه	20.1 (°C)
Lowest annual average temperature	میانگین کمترین دمای سالانه	9.2 (°C)

جدول ۲. مشخصات خاک مزرعه مورد بررسی در عمق ۳۰ سانتی‌متری

Table 2. Characteristics of the studied farm soil at a depth of 30 cm

کربن آلی	ماده آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	فسفر	پتاسیم	شن	لوم	رس	بافت خاک
OC	OM	EC	pH	P	K	Sand	Silt	Clay	Soil texture
-----%	-----%	dS m ⁻¹		mg kg ⁻¹			-----%		لوم-شنی
1.7	2.9	1.56	7.8	48	600	68	18	14	Loam-Sand

پسودوموناس و عدم تلقیح (شاهد) در کرت‌های فرعی و مصرف کود فسفر در دو سطح (صفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان فاکتور فرعی فرعی در نظر گرفته شدند. قطعه زمین طرح آزمایشی قبل از کاشت، با انجام شخم عمیق، دیسک زنی، تسطیح و کرت بندی بر اساس نقشه کاشت آماده گردید. نشاهای اسطوخودوس (تهیه‌شده از

این بررسی به‌صورت آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل سطوح مختلف رژیم آبیاری در ۳ سطح (آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) به‌عنوان فاکتور اصلی و تلقیح با کود زیستی در چهار سطح تلقیح با تیوباسیلوس، پسودوموناس و تیوباسیلوس +

شد. محتوای رطوبتی نسبی آب (برگ آخر از بلندترین شاخه) در اوایل صبح و با استفاده از رابطه زیر تعیین شد.

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \quad [1]$$

که در این رابطه، DW وزن خشک برگ‌ها، FW وزن تر برگ‌ها و TW وزن آماس برگ‌ها است (Levitt, 1980). هم‌زمان میزان نشت غشای سلولی با تعیین هدایت الکتریکی ۵ برگ انتهایی بوته غوطه‌ور شده در آب مقطر تعیین شدند. پس از اتمام گلدهی، با از بین بردن اثرات حاشیه‌ای، وزن خشک برگ و وزن خشک گل برحسب هکتار به دست آمد. برای سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، از نمونه‌های برگی نگهداری شده در دمای ۸۰- درجه سلسیوس استفاده شد. اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز از روش شرح داده‌شده توسط (Aebi, 1984; Ezhilmathi, 2007) انجام گرفت. اندازه‌گیری آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) طبق روش جیانوپولیتیس و ریس (Giannopolitis and Ries, 1977) بر اساس واحد آنزیمی به ازای هر میلی‌گرم بر وزن تر محاسبه گردید. تعیین میزان مالون دی‌آلدئید (MDA) بر اساس روش استون و سیدنی (Aston and Sidni, 1987) استفاده شد. پیک MDA با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر شناسایی و بر اساس سطح زیر منحنی پیک، اندازه‌گیری گردید. محتوای قندهای محلول با استفاده از جوان‌ترین برگ و روش اوموکولو و همکاران (Omokolo et al., 1996) انجام گرفت. محتوای پرولین نیز در جوان‌ترین برگ به روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) انجام پذیرفت. جهت تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS ورژن ۸ و برای مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار MSTATC ورژن ۲، و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

با توجه به تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) محتوای نسبی آب برگ اثر متقابل آبیاری و کود زیستی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و کود زیستی نشان داد که بیشترین مقدار آن (۸۹/۹۳ درصد) از سطح آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و کاربرد تیوباسیلوس + پسودوموناس و کمترین آن (۷۷/۱۵ درصد) مربوط به شرایط تنش شدید (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و عدم تلقیح با باکتری بود. روند تغییرات محتوای نسبی آب

مدیریت جهاد کشاورزی تبریز) در مرحله ۴ تا ۶ برگی در تاریخ ۹ الی ۱۱ اردیبهشت ۱۳۹۷ به زمین اصلی منتقل شدند. فاصله ردیف‌های کاشت از یکدیگر یک متر و فاصله بین نشاها یک متر در نظر گرفته شد. تعداد کرت‌های آزمایشی ۷۲ بوده و هر کرت دارای ابعادی معادل ۱۲×۷ متر شامل سه خط کاشت برای هر یک از تیمارهای آزمایشی بود. فاصله کرت‌های اصلی از یکدیگر ۲ متر، فاصله کرت‌های فرعی و فرعی فرعی نیز یک ردیف نکاشت (۱ متر) در نظر گرفته شد. باکتری‌های مورد استفاده از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه و بر اساس دستورالعمل اعلام‌شده تلقیح باکتری‌ها پیش از انتقال نشاها به زمین اصلی، از طریق خوابانیدن ریشه نشاها در مایه تلقیح (۱۰ برابر میزان باکتری آب افزوده شد) به مدت ۳۰ دقیقه صورت گرفت. کود سوپر فسفات تریپل براساس نقشه آزمایش بر مبنای ۵۰ کیلوگرم در هکتار در کرت‌های تعریف‌شده قبل از کاشت با خاک مخلوط شد.

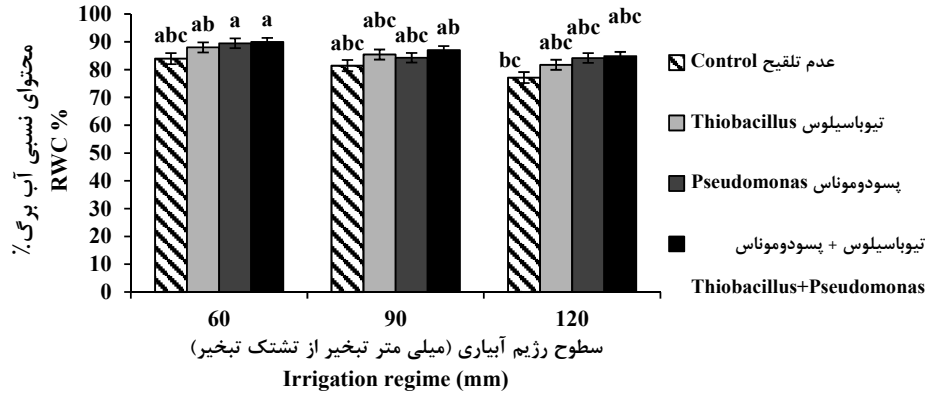
بلافاصله بعد از کاشت نشاها آبیاری انجام شد. تا زمان استقرار نشاها، آبیاری هر دو تا سه روز یک‌بار انجام و پس از استقرار نشاها آبیاری هر هفته یک‌بار انجام شد. با ظهور اولین گل در هر کرت آزمایشی، سطوح تنش کم‌آبی بر اساس تیمارهای آزمایشی اعمال شد. برای این منظور هر دور آبیاری بعد از ۶۰±۵، ۹۰±۵ و ۱۲۰±۵ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A انجام شد. تیمار آبیاری بعد از ۶۰±۵ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A با توجه شرایط اقلیمی منطقه و ویژگی‌های فیزیکی خاک و همچنین تعیین درصد وزنی رطوبت خاک به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. مقدار تبخیر جمعی روزانه از تشت تبخیر، پس از رسیدن به میزان مورد نظر برای هر تیمار (۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر)، زمان آبیاری مشخص می‌شود. مقدار آب آبیاری شده برای هر تیمار بر اساس نیاز آبی کامل محاسبه‌شده که توسط نمونه‌برداری تصادفی از ۳ قسمت مختلف هر کرت و تعیین درصد وزنی رطوبت خاک حدود ۲۴ ساعت قبل از آبیاری محاسبه گردید. برای تعیین ضریب گیاهی از دو معادله: $ET_c = K_c \times ET_0$ و $ET_0 = K_{pan} \times E_p$ استفاده گردید که در آن‌ها ET_c و ET_0 به ترتیب تبخیر تعرق مرجع و تبخیر تعرق گیاه است (Fazeli, Rostampour et al., 2013).

برای کنترل علف‌های هرز و جین دستی در زمان‌های مورد نیاز انجام شد. با اتمام گلدهی در تمامی کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک انجام

گزارش شده است که تنش خشکی سبب تخریب شدید غشای سلولی برگ ارقام سویا به دلیل کاهش رطوبت نسبی برگ و سطح برگ سویا می شود (Munns, 2002). به نظر می رسد مصرف کود زیستی در حفظ محتوای بیشتر آب برگ در اسطوخودوس با افزایش جذب آب کمک می کند (Ghonjalipour Goshki et al., 2021).

برگ با افزایش شدت تنش کم آبی در کلیه تیمارهای مورد بررسی کاهش یافت، بیشترین میزان کاهش در شرایط عدم تلقیح با باکتری و کمترین میزان کاهش در شرایط تلقیح با دو باکتری بود، باین حال مقادیر کاهش های مشاهده شده از نظر آماری معنی دار نبود (شکل ۱).

محتوای نسبی آب تخمین مناسبی از وضعیت آبی گیاه برحسب کمبود آب سلولی است (Lu et al., 2004).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل کود زیستی و رژیم آبیاری بر میانگین محتوای نسبی آب برگ

Fig. 1. Comparison of the mean interaction of biofertilizer and irrigation regime on the average relative leaf water content

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

Table 3. Variance analysis of investigated traits under the influence of experimental treatments

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	وزن خشک برگ Dry weight of leaf	وزن خشک گل Dry weight of flower	محتوای نسبی آب Relative water content	نشت غشای سلول Cell membrane leakage	قندهای محلول Soluble sugars
Block	بلوک	2	0.721 ^{ns}	0.009*	2.23 ^{ns}	31.51 ^{ns}	0.00008 ^{ns}
Irrigation Regime	سطوح آبیاری	2	1.1 ^{ns}	0.007*	5.08 ^{ns}	11.55 ^{ns}	1.134**
Ea	اشتباه آزمایشی ۱	4	0.43	0.001	31.65	26.45	0.000116
Bio-fertilizer (B-F)	کود زیستی	3	0.27 ^{ns}	0.026*	114.65	371.55**	0.622**
I × B-F	آبیاری × کود زیستی	6	2.03**	0.074**	178.92*	23.00 ^{ns}	0.679**
Eb	اشتباه آزمایشی ۲	18	0.39	0.005	65.51	19.213	0.000128
Phosphorus fertilizer (P)	کود فسفر	1	0.05 ^{ns}	0.092**	191.59 ^{ns}	6.72 ^{ns}	0.015**
I × P	آبیاری × کود فسفر	2	0.017 ^{ns}	0.002	24.42 ^{ns}	42.88 ^{ns}	0.809**
P × B-F	کود زیستی × کود فسفر	3	0.91 ^{ns}	0.024**	128.55 ^{ns}	14.87 ^{ns}	0.208**
I × P × B-F	آبیاری × کود زیستی × کود فسفر	6	0.76 ^{ns}	0.024**	187.03 ^{ns}	14.92 ^{ns}	0.251**
Ec	اشتباه آزمایشی ۳	24	0.33	0.003	80.54	18.97	0.000177
CV%	ضریب تغییرات	-	25.96	10.09	10.69	23.83	1.1

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	پرولین Proline	کاتالاز Catalase	سوپر اکسید دیسموتاز SOD	مالون دی‌آلدئید MDA	پراکسیداز H ₂ O ₂
Block	بلوک	2	0.006**	0.0000001*	0.003 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.0000027 ^{ns}
Irrigation Regime	سطوح آبیاری	2	20.406**	0.001**	0.013*	0.243**	0.0000097 ^{ns}
Ea	اشتباه آزمایشی ۱	4	0.000316	0.000004	0.001	0.002	0.0000016
Bio-fertilizer (B-F)	کود زیستی	3	2.955**	0.001**	0.032**	1.355**	0.000468**
I × B-F	آبیاری × کود زیستی	6	0.819**	0.000279**	0.013**	1.031**	0.000112**
Eb	اشتباه آزمایشی ۲	18	0.002	0.000003	0.001	0.001	0.0000023
Phosphorus fertilizer(P)	کود فسفر	1	0.074**	0.00055**	0.002 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.000016*
I × P	آبیاری × کود فسفر	2	0.975**	0.00009**	0.009**	0.012**	0.001**
P × B-F	کود زیستی × کود فسفر	3	0.461**	0.000489**	0.005*	0.526**	0.000033**
I × P × B-F	آبیاری × کود زیستی × کود فسفر	6	0.816**	0.000279**	0.01**	0.328**	0.00037**
Ec	اشتباه آزمایشی ۳	24	0.001	0.000002	0.001	0.002	0.000003
CV%	ضریب تغییرات	-	1.07	1.56	6.69	0.93	1.85

ns غیرمعنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵٪ و ۱٪.

ns= non significant, * and ** significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

است (Farhoudi, 2007). با کاربرد کود زیستی پایداری
غشای سلولی افزایش می‌یابد.

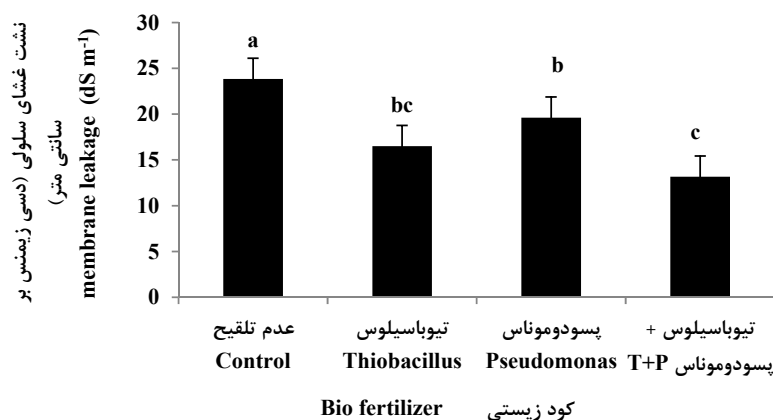
محتوای پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح آبیاری، کود زیستی، فسفر، اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و کود فسفر، اثر متقابل کود زیستی و کود فسفر و همچنین اثرات سه‌جانبه سطوح آبیاری، کود زیستی و کود فسفر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی بر میانگین پرولین نشان می‌دهد که با افزایش شدت تنش کم‌آبی مقدار پرولین افزایش می‌یابد و کاربرد کود فسفر و کود زیستی باعث ایجاد عکس‌العمل‌های متفاوت به مقدار این ماده در گیاه اسطوخودوس گردید.

نشت غشای سلولی

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثر ساده کود زیستی در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان نشت غشای سلولی معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر ساده کود زیستی نشان داد (شکل ۲) بیشترین مقدار نشت غشای سلولی (۲۳/۸۳) دسی زیمنس بر سانتی‌متر) مربوط به عدم تلقیح و کمترین آن (۱۳/۱۷) دسی زیمنس بر سانتی‌متر) از کاربرد تیوباسیلوس + پسودوموناس مشاهده شد؛ بنابراین اعمال تیمارهای کودی باعث تقویت پایداری غشاهای سلولی در گیاه اسطوخودوس شده است.

بررسی پایداری غشای سلولی یکی از راهکارهای شناخت میزان تحمل تنش‌های محیطی از جمله خشکی در گیاهان



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر کود زیستی بر میانگین نشت غشای سلولی اسطوخودوس

Fig. 2. Comparison of the average effect of biofertilizer on the average cell membrane leakage *Lavandula officinalis*

(Marschner, 2002). مصرف کودهای زیستی در شرایط تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی نه تنها سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی می‌شود، بلکه باعث افزایش ساختمان گرانول‌های خاک، ظرفیت نگهداری آب و افزایش فعالیت‌های آنزیمی و میکروبی و رهاسازی عناصر غذایی موجود در کلوئیدهای خاک و نهایتاً جبران میکروارگانیزم‌های از دست رفته خاک می‌شود (Gilik et al., 2001). گیاهان تلقیح شده با این کودها از روابط تغذیه و آبی بهتر نسبت به گیاهان بدون تلقیح دارند و می‌توانند از شرایط تنش کم‌آبی موقتاً فرار کرده و کمتر دچار خسارت شوند. پس مقدار قندهای محلول و پرولین نسبت به گیاهان بدون تلقیح افزایش کمتری خواهد داشت، همچنین ضمن کاهش آثار تنش باعث افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن، سبب افزایش کربن و نیتروژن لازم برای تولید دیگر آمینواسیدها و کاهش تجزیه پروتئین‌ها می‌شود (Aghaei et al., 2020). از سویی، تولید پرولین با تولید قندهای محلول ارتباط دارد؛ زیرا یکی از مسیرهای تولید پرولین، گلوتامات است و با افزایش تولید قندهای محلول، میزان تولید گلوتامات افزایش می‌یابد و سنتز پرولین تشدید می‌شود (Alikhani and Mahmudi zarandi, 2019).

محتوای قندهای محلول

محتوای قندهای محلول تحت تأثیر اثر ساده و متقابل تیمارهای آزمایش در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی بر میانگین قندهای محلول نشان می‌دهد که با افزایش سطوح آبیاری و

کمترین محتوای پرولین (۲/۰۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از عدم تلقیح کودهای زیستی و عدم کاربرد فسفر و سطح آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر (شاهد) و بیشترین محتوای پرولین (۴/۸۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از سطح آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و کاربرد کود فسفر و تیوباسیلوس + پسودوموناس به دست آمد که نسبت به شاهد ۵۷/۶ درصد مقدار محتوای پرولین افزایش یافته است.

از مهم‌ترین موادی که تجمع آن‌ها در سلول‌های گیاهی تحت تنش کم‌آبی افزایش می‌یابد اسیدآمینو پرولین است، این آمینواسید در شرایط تنش افزایش یافته و در حفظ پتانسیل اسمزی مؤثر است (Zafari et al., 2012; Per et al., 2017). در پژوهش حاضر نیز مشاهده می‌شود که با افزایش سطوح رژیم آبیاری محتوای پرولین گیاه افزایش یافته و گیاهانی که تحت تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند مقادیر فراوان از منابع نیتروژن و کربن گیاه را برای حفظ فشار تورژانس سلول‌های خود صرف تولید تنظیم‌کننده‌های اسمزی از جمله پرولین می‌کنند (Aranjuelo et al., 2011). تنش خشکی از دو راه باعث افزایش میزان پرولین در گیاهان می‌شود، اولین راه افزایش سنتز آنزیم‌هایی است که باعث تحریک تولید پرولین می‌شود و دومین راه ممانعت از عمل آنزیم‌هایی است که پرولین را تخریب می‌کند (Rontein et al., 2002). کاربرد سطح ۵۰ کیلوگرم در هکتار عنصر فسفر باعث افزایش پرولین نسبت به شرایط عدم کاربرد آن شد. فسفر به عنوان یک عنصر مهم و ضروری باعث افزایش رشد گیاه می‌شود، در نهایت پیش‌نیازهای پرولین بیش‌تر تولیدشده و در نتیجه مقدار بیش‌تری از این آمینواسید تولید می‌گردد

کاربرد کود فسفر و کودهای زیستی مقدار قندهای محلول افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار قندهای محلول (۱/۹۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و کاربرد کود فسفر و تلقیح تیوباسیلوس + پسودوموناس به دست آمد. کمترین مقدار آن ۰/۶۰۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر از کاربرد تیمار آبیاری سطح ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و عدم کاربرد کود فسفر و کودهای زیستی به دست آمد. علت افزایش قندهای محلول در پاسخ به تنش کم‌آبی می‌تواند به هیدرولیز نشاسته به قندهای ساده، افزایش میزان فعالیت آنزیم آمیلاز و کند شدن انتقال قندهای محلول از برگ به سایر بخش‌های گیاه ارتباط داشته باشد (Zhang et al., 2010). همچنین افزایش مقدار قندهای محلول با تحمل به تنش کم‌آبی در گیاهان مرتبط بوده چون از طرفی با کاهش پتانسیل اسمزی به تداوم جذب آب و حفظ تورژسانس کمک می‌کند و از طرف دیگر از غشاهای سلولی و پروتئین‌های سلول از طریق تشکیل پیوند هیدروژنی با دنباله‌های پلی پپتیدی، قطبی و گروه‌های سفات لیپید محافظت می‌کنند (Crowe et al., 1992).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده سطوح آبیاری، کود زیستی، فسفر، اثرات متقابل آن‌ها و همچنین اثرات سه‌جانبه آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان فعالیت این آنزیم معنی‌دار است. با توجه به جدول ۳، مقایسه میانگین نشان داد بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۱۱۴۷ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در کاربرد توأم تیوباسیلوس + پسودوموناس و کود فسفر در سطح آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و کمترین آن (۰/۰۷۱) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) از عدم کاربرد کود زیستی و فسفر و در سطح آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر حاصل شد. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با افزایش سطوح آبیاری و همچنین کاربرد کود فسفر و کودهای زیستی افزایش یافت. کاتالاز آنزیمی است که در اثر فعالیت آن پراکسید هیدروژن تولید شده در مسیرهای تنفس نوری داخل پراکسی زوم‌ها مهار می‌شود (Mittler, 2006). همچنین این آنزیم از دسته پروتئین‌های آهن‌دار و گروه آنزیم‌های اکسید و رداکتاز محسوب می‌شود و می‌تواند به‌طور مستقیم پراکسید هیدروژن را به اکسیژن و

آب تبدیل کند و سمی بودن این رادیکال آزاد اکسیژن را به‌صورت کامل حذف کند (Sarvajeet and Narendra, 2010; Nayyar and Gupta, 2006). نتایج این پژوهش در راستای افزایش فعالیت کاتالاز در شرایط تنش کم‌آبی با تحقیقات Sarvari و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. باکتری‌های محرک رشد از طریق افزایش فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کاهش آسیب‌های تنش اکسیداتیو و گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان تحت تنش مؤثر می‌باشند (Saravanakumar et al., 2010). می‌توان گفت تولید متابولیت‌ها توسط این باکتری‌ها از جمله هورمون‌های محرک رشد نقش مهمی در بیان و تحریک پروتئین‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بازی می‌کند. یکی از مهم‌ترین اثرهای نامطلوب انواع تنش بر گیاه و فرایندهای فیزیولوژیکی مهم گیاهی تنش اکسایشی ناشی از افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در سلول، است. با توجه به نقش کلیدی آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در حذف رادیکال سمی هیدروژن پراکسید در شرایط تنش، افزایش میزان فعالیت کاتالاز در اثر تلقیح باکتری، می‌تواند عاملی تأثیرگذار در حذف گونه‌های فعال اکسیژن و در نهایت افزایش مقاومت گیاهان به انواع تنش باشد. کاربرد باکتری‌های محرک رشد با پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث کاهش آسیب به آنزیم‌ها و اسیدهای چرب شده و اثر مخرب تنش را کاهش می‌دهند (Belimove et al., 2015). افزایش فعالیت کاتالاز در چغندر تلقیح شده با باکتری محرک رشد نسبت به گیاهان شاهد در شرایط تنش گزارش شده است (Gururani et al., 2012). در حالت کلی باکتری پسودوموناس به‌عنوان یک کاتابولیسیم عمل کرده، همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم‌هایی مانند کاتالاز و سوپر اکسیداز شده است (Bianco and Defez, 2009). تحقیقات رهبری و همکاران (Rahbari et al., 2020) نشان داد که تلقیح با باکتری پسودوموناس به‌ویژه سویه ۱۵۰ در گیاه شوید سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز شد.

سوپر اکسید دیسموتاز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و فسفر و اثر سه‌جانبه تیمارهای آزمایشی (در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار)، اثر ساده آبیاری و اثر متقابل کود زیستی و فسفر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار و اثر ساده فسفر غیر

پسودوموناس و کود فسفر در سطح آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و کمترین آن (۰/۰۷۲) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) از عدم کاربرد کود زیستی و فسفر و سطح آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر حاصل شد. میزان فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز با افزایش شدت تنش کم‌آبی و همچنین کاربرد کود فسفر و کودهای زیستی افزایش یافت. پراکسیداز یک آنزیم مهم در اکسیداسیون اکسید است و پراکسیدازها با تبدیل هیدروژن پراکسید به آب از گیاه حفاظت می‌کنند. این آنزیم حساس به نوسان‌های زیست‌محیطی بوده و به‌عنوان شاخص تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزنده در نظر گرفته می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش در فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌تواند دلیلی بر القای ترکیب‌های دفاعی توسط باکتری‌ها باشد که با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت دارد (Harish et al., 2008).

مالون دی‌آلدئید

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سطوح آبیاری، کود زیستی، اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و کود فسفر، اثر متقابل کود زیستی و کود فسفر و همچنین اثرات سه‌جانبه سطوح آبیاری، کود زیستی و کود فسفر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثرات تیمارهای آزمایشی بر مقدار مالون دی‌آلدئید نشان می‌دهد که غلظت مالون دی‌آلدئید با افزایش شدت تنش کم‌آبی افزایش معنی‌داری داشته است اما کاربرد کود فسفر و کودهای زیستی از مقادیر افزایش این ماده کاسته است. بیشترین مقدار مالون دی‌آلدئید (۵/۳۴۳ میکرومول بر گرم وزن‌تر) از تیمار آبیاری پس از سطح ۱۲۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشت تبخیر و عدم کاربرد کود فسفر و کودهای زیستی و کمترین آن (۳/۹۱۷ میکرومول بر گرم وزن‌تر) از تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشت تبخیر و کاربرد کود فسفر و تیوباسیلوس + پسودوموناس حاصل شد. نتیجه اثرات رادیکال‌های آزاد، پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌باشند که نشان‌دهنده خسارت تنش در سطح سلولی هستند؛ پس سطح مالون دی‌آلدئید (MDA) حاصله از پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، معمولاً به‌عنوان شاخص برای خسارت اکسیداتیو به کار می‌رود (Turkan et al., 2005; Antoniou et al., 2017). افزایش MDA نشان می‌دهد که تنش کم‌آبی باعث آسیب به ساختار غشا و منجر

معنی‌دار شد. بیشترین فعالیت این آنزیم (۰/۶۱۷۳) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در کاربرد توأم تیوباسیلوس + پسودوموناس و کود فسفر در سطح آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و کمترین آن (۰/۳۸۶) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) از عدم کاربرد کود زیستی و فسفر و سطح آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر حاصل شد. میزان فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز با افزایش سطوح آبیاری و همچنین کاربرد کود فسفر و کودهای زیستی افزایش یافت. اولین خط دفاعی علیه رادیکال‌های فعال اکسیژن را در سلول آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز تشکیل می‌دهند (Alscher et al., 2002) و همچنین احیای رادیکال اکسید سوپر را به هیدروژن پراکسید و اکسیژن مولکولی کاتالیز می‌کنند. هیدروژن پراکسید حاصله در مرحله بعد به‌وسیله آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز پاک‌سازی می‌شود (Zeid and Shedeed, 2006). در این بررسی فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در اثر تنش کم‌آبی افزایش پیدا کرد. نتایج مشابه به‌وسیله دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Mittler, 2002; Yang et al., 2006). افزایش میزان فعالیت این آنزیم با افزایش حفاظت از خسارات حاصل از انواع تنش‌های محیطی همبستگی دارد (Pang et al., 2005). در حالت کلی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش مهم و کلیدی در کنترل کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پراکسیدها در سطح سلولی دارند (Apel and Hirt, 2004). با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان بیان کرد، مصرف کود فسفر و استفاده از کودهای زیستی، تحت شرایط تنش کم‌آبی به‌ویژه در مراحل رشد رویشی و زایشی قادر است با افزایش میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز تا حدودی از آسیب ناشی از تنش در گیاه اسطوخودوس جلوگیری کند که با نتایج (Hashmsti et al., 2016) روی گلرنگ مطابقت دارد.

پراکسیداز

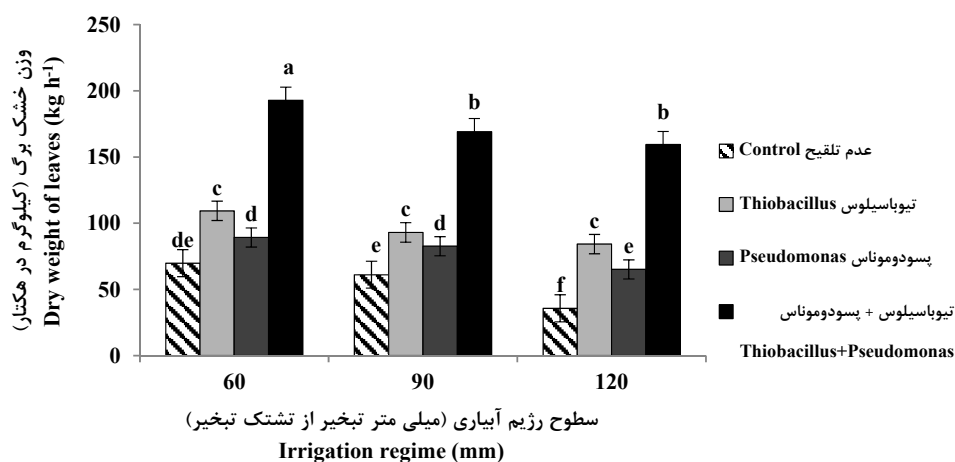
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و فسفر، اثر متقابل کود زیستی و فسفر و اثر سه‌جانبه تیمارهای آزمایشی (سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار)، اثر ساده فسفر (سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار) و اثر ساده آبیاری غیر معنی‌دار شد. بیشترین فعالیت این آنزیم (۰/۱۱۹۳) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در کاربرد توأم تیوباسیلوس +

شده است؛ پس می‌توان بیان کرد گیاهانی که با این کودها تیمار شده‌اند در مقایسه با شاهد از میزان تحمل بالاتری در برابر تنش کم‌آبی برخوردارند.

وزن خشک برگ

اثر متقابل آبیاری و کود زیستی برای صفت وزن خشک برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک برگ (۱۹۲/۸ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌لیتر تبخیر و کاربرد تیوباسیلوس + پسودوموناس و کمترین آن (۳۵/۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به شرایط تنش شدید (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌لیتر تبخیر) و عدم تلقیح با باکتری‌ها بود (شکل ۳).

به آزاد شدن لیپیدهای آن می‌شود. از طرفی با افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) در شرایط تنش، این لیپیدها پراکسیده شده و مالون دی‌آلدئید را تولید می‌کنند. وجود سیستم آنتی‌اکسیدان قوی باعث کاهش ROS شده و با این طریق می‌تواند منجر به کاهش پراکسیداسیون لیپیدی شود (Zafari et al., 2012). در این پژوهش نیز تجمع مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش کم‌آبی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. تحقیقات نشان داده است که در شرایط تنش رطوبتی، میزان پراکسیداسیون لیپیدها افزایش یافته و در نهایت مقدار مالون دی‌آلدئید در سلول‌ها افزایش می‌یابد (Gunes et al., 2006). پایین بودن مقدار مالون دی‌آلدئید در تیمارهای شامل کود فسفر و کود زیستی نشان می‌دهد که اعمال آن‌ها توان دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی گیاه را بالا برده و منجر به کاهش میزان آسیب اکسیداتیو غشاءهای زیستی



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری و کود زیستی بر میانگین وزن خشک برگ اسطوخودوس
Fig. 3. Comparison of the average effect of irrigation regime and biological fertilizer on average leaf dry weight *Lavandula officinalis*

تأمین آب کافی برای فعالیت باکتری‌ها است. در شرایط تیمار با باکتری‌ها با کاهش دسترسی به آب علیرغم تولید وزن خشک بالاتر برگ نسبت به عدم تلقیح با باکتری‌ها، شدت کاهش تولید نیز بالاتر می‌باشد. نتایج نشان داد در صورت تلقیح گیاه با باکتری‌ها و مصرف کود فسفره می‌توان به وزن خشک بالاتری حتی در شرایط تنش شدید بیشتر از شرایط عدم مصرف کود فسفره حتی با تلقیح باکتری‌ها و آبیاری مطلوب دست‌یافت (شکل ۱)؛ بنابراین اسطوخودوس گیاهی است که به مصرف فسفر در شرایط استفاده از باکتری‌ها به دنبال کاهش مصرف آب پاسخ مثبت داده است.

بررسی روند تغییرات وزن خشک گل نشان داد با افزایش شدت تنش کم‌آبی وزن خشک برگ کاهش یافت. در تمام سطوح تنش کم‌آبی وزن خشک برگ تولیدی در شرایط تلقیح باکتریایی مخصوصاً تلفیق با دو باکتری و مصرف کود فسفره بیشتر از عدم مصرف کودها بود. شدت کاهش وزن خشک برگ در شرایط مصرف کود فسفره در کلیه تیمارهای کود زیستی بیشتر از شرایط عدم مصرف فسفر بود. به همین ترتیب بیشترین میزان افت وزن خشک برگ در تیمار تلقیح بوته‌ها با تلفیق باکتری‌های پسودوموناس و تیوباسیلوس حاصل شده است این امر بیانگر تولید بالاتر این گیاه در شرایط

متقابل کود زیستی و فسفر و اثرات سه‌جانبه تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن خشک گل معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین وزن خشک گل (۷۰ کیلوگرم در هکتار) در سطح آبیاری ۶۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر و کاربرد ۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و کاربرد تلفیقی باکتری‌های تیوباسیلوس + پseudوموناس و کمترین وزن خشک گل (۱/۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به شرایط تنش شدید (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌لیتر تبخیر) و عدم تلقیح با باکتری‌ها حاصل شد. بررسی روند تغییرات وزن خشک گل در اسطوخودوس تحت تأثیر سطوح آبیاری نشان داد با افزایش شدت تنش کم‌آبی از وزن خشک گل در تمامی سطوح باکتریایی کاسته شد. کمترین شدت کاهش در اثر تیمار با باکتری تیوباسیلوس و بیشترین شدت کاهش در شرایط عدم مصرف باکتری به دست آمد. نتایج نشان داد میزان وزن خشک گل تولیدی در صورت تلقیح با هر دو باکتری به‌طور معنی‌داری بیشتر از شرایط عدم مصرف باکتری بود (جدول ۴).

بر اساس گزارش پژوهشگران بر گیاهان مختلف، تأثیر منفی کمبود آب در بسیاری از شاخص‌های رشدی مانند طول بوته، تعداد و سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، ریشه و ساقه گزارش شده است (Toumi et al., 2008)؛ که منطبق بر نتایج این پژوهش بود. احتمالاً کاهش صفات رشدی به علت کاهش محتوای نسبی آب و در نتیجه کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی، کوچک شدن اندازه سلول‌ها و در نتیجه توقف تولید برگ، کند شدن رشد برگ، تسریع پیری و بالاخره ریزش برگ‌ها است (Osugwu et al., 2010). کاربرد توأم و تلفیقی باکتری‌های مورد بررسی در این تحقیق به علت تولید مواد محرک رشد می‌تواند بر توزیع مواد فتوسنتزی و تسهیم ماده خشک مؤثر باشد (Seyed Sharifi and Haidari, 2015).

وزن خشک گل

اثر ساده سطوح آبیاری و کود زیستی در سطح احتمال ۵ درصد و اثر ساده فسفر، اثر متقابل آبیاری و کود زیستی، اثر

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر سه‌جانبه آبیاری، کودهای زیستی و فسفر بر صفات مورد بررسی در اسطوخودوس

Table 4. Comparison of the mean of the tripartite effect of irrigation, biofertilizers and phosphorus on the studied traits in lavender

رژیم آبیاری Irrigation Regime	کود زیستی Bio-fertilizer	کود فسفر Phosphorus fertilizer	وزن خشک گل Dry weight of flowers	قندهای محلول Soluble sugars	پرولین Proline
			kg ha ⁻¹	mg g ⁻¹ FW	
۶۰ میلی‌متر تبخیر 60mm evaporation	عدم تلقیح Lack of insemination	0	16 ^{c-f}	0.6063 ^q	2.047 ^o
	تیوباسیلوس Thiobacillus	50	27 ^{bc}	0.6573 ^p	2.161 ^h
	پseudوموناس Pseudomonas	0	24.2 ^{b-d}	0.6207 ^q	2.193 ^{mn}
	تیوباسیلوس + پseudوموناس T+P	50	42.9 ^{ab}	0.825 ⁿ	2.251 ^{lm}
	تیوباسیلوس + پseudوموناس T+P	50	25.5 ^{b-d}	0.7254 ^o	2.203 ^{mn}
	تیوباسیلوس + پseudوموناس T+P	50	46.8 ^{ab}	0.8673 ^m	2.562 ^j
۹۰ میلی‌متر تبخیر 90mm evaporation	عدم تلقیح Lack of insemination	0	12.4 ^{d-g}	0.6671 ^p	2.076 ^o
	تیوباسیلوس Thiobacillus	50	14.3 ^{c-g}	0.8743 ^m	2.41 ^k
	پseudوموناس Pseudomonas	0	17.5 ^{c-f}	0.811 ⁿ	2.483 ^k
	تیوباسیلوس + پseudوموناس T+P	50	42.2 ^{ab}	0.922 ^l	2.724 ^h
	پseudوموناس Pseudomonas	0	17.7 ^{c-f}	0.821 ⁿ	2.603 ^j
	تیوباسیلوس + پseudوموناس T+P	50	29.3 ^{bc}	0.9817 ^k	2.874 ^{fg}
۱۲۰ میلی‌متر تبخیر 120mm evaporation	عدم تلقیح Lack of insemination	0	7.1 ^g	1.102 ⁱ	3.02 ^{de}
	تیوباسیلوس Thiobacillus	50	8 ^{fg}	1.53 ^f	3.38 ^{bc}
	پseudوموناس Pseudomonas	0	8.7 ^{fg}	1.272 ^h	3.027 ^d
	تیوباسیلوس + پseudوموناس T+P	50	10.4 ^{e-g}	1.847 ^{bc}	3.187 ^c
	پseudوموناس Pseudomonas	0	10.8 ^{e-g}	1.291 ^h	3.028 ^d
	تیوباسیلوس + پseudوموناس T+P	50	12.4 ^{d-g}	1.86 ^b	3.267 ^c
		0	14.3 ^{c-g}	1.378 ^g	3.935 ^b
		50	22.3 ^{b-e}	1.936 ^a	4.828 ^a

Table 4. Continued

جدول ۴. ادامه

رژیم آبیاری Irrigation Regime	کود زیستی Bio-fertilizer	کود فسفر (کیلوگرم در هکتار) Phosphorus fertilizer	کاتالاز (تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) Catalase	سوپر اکسید دیسموتاز (تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) SOD	مالون دی‌آلدئید (میکرومول بر گرم وزن تر) MDA	پراکسیداز (تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) H ₂ O ₂
۶۰ میلی‌متر تبخیر 60mm evaporation	عدم تلقیح	0	0.071 ⁱ	0.386 ⁱ	4.297 ^f	0.072 ^l
	Lack of insemination	50	0.07367 ^{hi}	0.4157 ^{g-i}	4.09 ^g	0.081 ^k
	تیوباسیلوس	0	0.07433 ^{g-i}	0.414 ^{hi}	4.113 ^g	0.08067 ^k
	Thiobacillus	50	0.076 ^{g-i}	0.419 ^{g-i}	4.147 ^g	0.08467 ^{lk}
	پسودوموناس	0	0.07433 ^{g-i}	0.451 ^{f-i}	4.087 ^g	0.08367 ^{lk}
	Pseudomonas	50	0.08167 ^{f-i}	0.4967 ^{c-g}	3.917 ^{hi}	0.084 ^{lk}
۹۰ میلی‌متر تبخیر 90mm evaporation	تیوباسیلوس+پسودوموناس	0	0.08267 ^{e-i}	0.4467 ^{f-i}	3.84 ⁱ	0.08633 ^{lj}
	T+P	50	0.08433 ^{d-i}	0.488 ^{d-h}	3.917 ^{hi}	0.08967 ^{g-i}
	عدم تلقیح	0	0.081 ^{f-i}	0.4683 ^{e-h}	4.4 ^f	0.08933 ^{hi}
	Lack of insemination	50	0.08633 ^{c-i}	0.4713 ^{d-h}	4.07 ^g	0.09067 ^{f-h}
	تیوباسیلوس	0	0.0885 ^{c-i}	0.5017 ^{b-f}	4.347 ^f	0.09167 ^{e-h}
	Thiobacillus	50	0.08933 ^{b-h}	0.537 ^{a-e}	4.303 ^f	0.092 ^{e-h}
۱۲۰ میلی‌متر تبخیر 120mm evaporation	پسودوموناس	0	0.08633 ^{c-i}	0.503 ^{b-f}	4.323 ^f	0.09167 ^{e-h}
	Pseudomonas	50	0.09067 ^{b-h}	0.5447 ^{a-e}	4.42 ^f	0.09333 ^{d-h}
	تیوباسیلوس+پسودوموناس	0	0.09067 ^{b-h}	0.553 ^{a-d}	3.917 ^h	0.094 ^{d-g}
	T+P	50	0.1003 ^{a-e}	0.6047 ^a	4.383 ^f	0.096 ^{de}
	عدم تلقیح	0	0.09167 ^{b-h}	0.505 ^{b-f}	5.343 ^a	0.09433 ^{d-f}
	Lack of insemination	50	0.1023 ^{abcd}	0.5123 ^{b-f}	5.127 ^b	0.09533 ^{de}
۱۲۰ میلی‌متر تبخیر 120mm evaporation	تیوباسیلوس	0	0.092 ^{b-g}	0.522 ^{b-f}	5.157 ^b	0.097 ^d
	Thiobacillus	50	0.103 ^{a-c}	0.581 ^{ab}	5.023 ^c	0.1027 ^c
	پسودوموناس	0	0.09433 ^{b-f}	0.552 ^{a-e}	4.923 ^{cd}	0.09533 ^{de}
	Pseudomonas	50	0.1067 ^{ab}	0.6133 ^a	4.827 ^{de}	0.1093 ^b
	تیوباسیلوس+پسودوموناس	0	0.09733 ^{a-f}	0.5733 ^{a-c}	4.813 ^e	0.1043 ^c
	T+P	50	0.1147 ^a	0.6173 ^a	4.407 ^f	0.1193 ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشابه در سطح احتمال خطای ۵٪ اختلاف معنی‌دار آماری با هم ندارند.

Means within the same column followed by the same letters are not significantly different ($p < 0.05$).

۱۹۹۶). نتایج بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که مصرف کود فسفر در گیاهانی که گل جز عملکرد اقتصادی آن‌ها است، بسیار حائز اهمیت بوده و در تداوم گلدهی، عملکرد وزن تر و خشک گل و همچنین عملکرد اسانس اثرات مستقیم دارد.

نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس نتایج حاصله از این آزمایش می‌توان بیان کرد که در شرایط تنش کم‌آبی استفاده از کودهای زیستی توأم با مصرف کود فسفر می‌تواند تا حد زیادی از بروز اثرات سوء تغذیه‌ای در گیاه دارویی اسطوخودوس بکاهد. تجمع میزان قندهای محلول، پروتئین و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در این گیاه، در مواجهه با تنش کم‌آبی می‌توان از مکانیسم‌های تحمل به خشکی محسوب نمود. کاربرد تلفیقی

تنش کم‌آبی باعث کاهش وزن خشک گل در گیاه اسطوخودوس شد. می‌توان بیان کرد کاهش مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش انتقال مواد آسمیلاتی به سمت گل‌ها و کاهش سطح برگ، سبب کاهش عملکرد و وزن آن‌ها شده است (Shubhra et al., 2004). این مسئله می‌تواند به علت فراهم بودن مواد غذایی برای همه بوته‌ها و در نتیجه کاهش رقابت بین بوته‌ای برای جذب مواد غذایی باشد که نهایتاً باعث افزایش عملکرد در واحد سطح می‌شود. فسفر برای رشد طبیعی گیاهان دارویی و به‌ویژه در اندام‌زایی ضروری بوده و از عناصر اصلی تشکیل‌دهنده پروتئین در گیاه است (Seyyedi et al., 2015). در شرایط کمبود عنصر فسفر اختصاص کربوهیدرات‌ها به ریشه افزایش یافته که این افزایش هم‌زمان با تمایز ریشه‌های جانبی بوده و منجر به تشکیل ظریف سیستم ریشه‌ای می‌گردد (Lopes,

شدت تنش کم آبی در این گیاه زیاد نباشد، می توان با کاربرد کودهای زیستی و کود فسفره از اثرات تنش کم آبی کاست. باکتری های تیوباسیلوس و پseudomonas نتایج بهتری از کاربرد این باکتری ها به تنهایی بود؛ بنابراین در صورتی که

منابع

- Aebi, H., 1984. Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-126. [http://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](http://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3)
- Aghaei, F., Seyed Sharifi, R., Narimani, H., 2020. Effects of uniconazole, mycorrhiza and pseudomonas on activity of some antioxidant enzymes and compatible osmolites of wheat (*Triticum aestivum* L.) under soil salinity conditions, *Iranian Journal of Plant Biology*, 12, 87-104. [In Persian]. <http://doi.org/10.22108/IJPB.2020.118656.1169>
- Ahmad, P., Prasad, M.N.V., 2012. *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability*. Springer, New York Dordrecht Heidelberg London.
- Alikhani, S., Mahmudi zarandi, M., 2019. Effect of coinoculation with endomycorrhiza, *Pseudomonas aeruginosa* and *Rhizobium meliloti* on *Medicago sativa* under water stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 32(1), 75-85 [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1398.32.1.7.0>
- Alscher, R.G., Erturk, A.N.D. and Heath, L. S., 2002. Role of superoxide (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany*. 372, 1331- 1341. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1331>
- Antoniou, C., Chatzimichail, G., Xenofontos, R., Pavlou, J.J., Panagiotou, E., Christou, A., Fotopoulos, V., 2017. Melatonin systemically ameliorates drought stress induced damage in *Medicago sativa* plants by modulating nitro oxidative homeostasis and proline metabolism. *Journal of Pineal Research*, 62(4), 53-68. <https://doi.org/10.1111/jpi.12401>
- Apel, K., Hirt, H., 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*. 55, 373-399. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>.
- Aranjuelo, I., Molero, G., Erice, G., Christophe Avice, J., Nogues, S., 2011. Plant physiology and proteomics reveals the leaf response to drought in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *The Journal of Experimental Botany*, 62, 111-123. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq249>.
- Ashraf, M. and Ali, Q., 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 63, 266-273. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.008>.
- Bates, L.S., Waldren, S.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207.
- Belimove, A.A., Puhalsky, I.V., Safronova, V.I., Shaposhnikov, A.I., Vishnyakova, M.A., Semenova, E.V., 2015. Role of plant genotype and soil conditions in symbiotic plant-microbe interactions for adaptation of plants to cadmium polluted soils. *Water and Air and Soil Pollution*, 226(264), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2537-9>
- Besharaty, H., Khavazi, K., Saleh-Rastin, N., 2001. Evaluation of some carriers for thiobacillus inoculants used along with sulphur to increase uptake of some nutrients by corn and improve its performance. *Plant Nutrition*, 672-673. <https://doi.org/10.22067/JSW.V29I6.41985>
- Bhatt, R.M., Roa, N.K., 2005. Influence of pod load on response of okra to water stress. *Indian Journal of Plant Physiology* 10, 54 – 59.
- Bianco, C., Defez, R., 2009. *Medicago truncatula* improves salt tolerance when nodulated by an indole3-acetic acidoverproducing *Sinorhizobium meliloti* strain. *Journal of Experimental Botany*, 60, 3097-3107. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp140>
- Chen, J. H., 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taiwan, R.O.C. 11 pp.
- Chghazrdi, H.R., Mohammadi, G.H., Beheshti Agha. A., 2013. Evaluation of the effect of

- sulfur and animal manure on the growth characteristics of maize plants (single cross 704) and soil acidity. *Iranian Journal of Crop Research*. 1(11), 162-170. <https://doi.org/10.22067/GSC.V11I11.24125>
- Chrysargyris, A., Mikallou, M., Petropoulos, S. A., Tzortzakakis, N., 2020. Profiling of essential oils components and polyphenols for their antioxidant activity of medicinal and aromatic plants grown in different environmental conditions. *Agronomy*, 10(5), 1-28. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050727>.
- Crowe, J. H., Hoekstra, F. A., Crowe, L. M., 1992. Anhydrobiosis. *Annual Review of Plant Biology* 54, 579- 599.
- Davey, M., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J., Swennen, R., 2005. High throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. *Analytical Biochemistry*, 347(2): 201-207. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2005.09.041>
- Demissie, Z.A., Sarker, L.S., Mahmoud, S.S., 2011. Cloning and functional characterization of β -phellandrene synthase from *Lavandula angustifolia*. *Planta*. 233, 685–696.
- Ezhilmathi, K., Singh, V.P., Arora, A., Sairam, R.K., 2007. Effect of 5-sulfosalicylic acid on antioxidant activity in relation to vase life of *Gladiolus* cut flowers. *Plant Growth Regul.* 51, 99-108. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9142-2>
- Farhoudi, R., Tafti, M.M., 2011. Effect of salt stress on seedlings growth and ions homeostasis of soybean (*Glysin max*) cultivars. *International Journal of Biology* 11, 25-32. <https://www.researchgate.net/publication/286962277>.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185– 212.
- Fazeli Rostampour, M., Yarnia, M. Rahimzadeh Khoei, F. Seghatoleslami, M.J, Moosavi, G.R., 2013. Physiological response of forage sorghum to polymer under water deficit conditions. *Agronomy Journal*. 105(4), 951-959. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0071>
- Ghonjalipour Goshki, M., Abdollahi, F., Sadeghi Lari, A. 2021. Effect of mycorrhiza fertilizer on physiological traits and economical yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water stress conditions. *Journal of Vegetables Sciences*. 5(1), 157-173. [in Persian]. <https://doi.org/10.22034/IUVS.2021.531386.1164>
- Giannopolitis, C.N., Ries, S.K., 1977. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*. 59, 309-314.
- Gilik, B.R., Penrose, D., Wenbo, M., 2001. Bacterial promotion of plant growth. *Biotechnology Advances* 19: 135 – 138.
- Gonzalez-Coloma, A., Delgado, F., Rodilla, J.M., Silva, L., Sanz, J., Burillo, J., 2011. Chemical and biological profiles of *Lavandula luisieri* essential oil from western Iberia Peninsula populations. *Biochemical Systematics and Ecology*, 39, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2010.08.010>
- Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri E., Guzelordu, T., 2006. Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. *Journal of Plant Soil Environment*, 52, 868-876.
- Gururani, M.A., Upadhyaya, C.P., Baskar, V., Nookaraju, A., Venkatesh, J., Park, S.W., 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in *Solanum tuberosum* through inducing changes in the expression of ROSscavenging enzymes and improved photosynthetic performance. *Journal of Plant Growth Regulator*, 32, 245-258. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9292-6>.
- Harish, S., Kavino, M., Kumar, N., Saravana Kumar, D., Soorianathasundaram, K., Samiyappan, R., 2008. Bio hardening with plant growth promoting rhizosphere and endophytic bacteria induces systemic resistance against banana bunchy top virus. *Applied Soil Ecology* 39, 187-200. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.12.006>
- Heshmati, S., Amini Dehghi, M., Fathi Amirkhair, K., 2016. The effect of chemical fertilizer and biophosphorus on the activity of antioxidant enzymes and some biochemical traits of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water stress. *Production and processing of agricultural and horticultural products*. 6 (19), 213-203. [In Persian].
- Hritcu, L., Cioanca, O., Hancianu, M., 2012. Effects of lavender oil inhalation on improving scopolamine-induced spatial memory impairment in laboratory rats.

- Phytomed 19, 529–534. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2012.02.002>
- Jabbari, F., Ahmadi, A., Pustini, K., Alizadeh, H., 2006. The relationship between the activity of some antioxidant enzymes and cell membrane and chlorophyll stability in bread wheat cultivars resistant to drought stress. Iranian Agricultural Sciences. 2 (37), 316-307. [In Persian].
- Khorasani, R., 2010. Phosphorus absorption efficiency in corn, sugar beet and peanut, Water and Soil. 24(1), 188-180. [In Persian].
- Levit, J., 1980. Responses of Plants to Environmental Stress. vol. 2. 2nd edition. Academic Press. Pp: 225- 228.
- Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S.K., Becker, D.F., 2013. Proline mechanisms of stress survival. Antioxid redox signal, 19(9), 998–1011. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.5074>
- Lopes, A.S., 1996. Soils under Cerrado: a Success Story in Soil management. Better Crops International, 10(2), 9-15.
- Lu, Z.X., Villareal, S., Yu, X.P., Heong, K.L., Hu, C. 2004. Effect of nitrogen on water content, sap flow and tolerance of rice plants to brown planthopper. Rice Science. 11, 129–134.
- Mambri, A.P.S., Andriolo, J.L., Manfron, M.P., Pinheiro, M.G.S., Cardoso, L.F., Neves, G.M., 2018. Yield and composition of lavender essential oil grown in substrate Horticulture Brasileira 36: 259-264. <https://www.researchgate.net/publication/326660876>
- Marulanda Aguirre, A., Azcon, R., Manuel Ruiz Lozano, J., Aroca, R., 2008 Differential effects of a bacillus megaterium strain on *Lactuca sativa* plant growth depending on the origin of the arbuscular mycorrhizal fungus coinoculated: physiologic and biochemical traits. Journal of Plant Growth Regulation 27 (1), 10-18. <https://www.researchgate.net/publication/226654866>
- Meftahizade, H., Moradkhani, H., Barjin, A.F., Naseri, B., 2011. Application of *Lavandula officinalis* L. antioxidant of essential oils in shelf life of confectionary. African Journal of Biotechnology, 10(2), 196-200. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1394>
- Mirzaee, M., Moieni, A., Ghanati, F., 2013. Effects of drought stress on the lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in two canola (*Brassica napus* L.) cultivar. Journal of Agricultural Science and Technology, 15, 593-602.
- Mittler, R., 2006. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science 7, 405-410. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9)
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment 25, 239-250. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>
- Nayyar, H., Gupta, D., 2006. Differential sensitivity of C₃ and C₄ plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. Environmental and Experimental Botany 58, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06.021>
- Niliwajski, M., Sklodowska, M. 2021. The relationship between the antioxidant system and proline metabolism in the leaves of cucumber plants acclimated to salt stress. Cells. 10, 609. <https://doi.org/10.3390/cells10030609>
- Omokolo, N.D., Tsala, N.G., Djocgoue, P.F., 1996. Changes in carbohydrate, amino acid and phenol content in cocoa pods from three clones after infection with *Phytophthora megakarya* Bra and Grif. Annual Botany –London. 77, 153-158. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0017>
- Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldan, A., Azcon, R., 2015. Contribution of *Arbuscular mycorrhizal* fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: Effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. Journal of Plant Physiology. 174, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.08.019>
- Osmolovskaya, N., Shumilina, J., Kim, A., Didio, A., Grishina, T., Bilova, T., Keltsieva, O.A., Zhukov, V., Tikhonovich, I., Tarakhovskaya, E., 2018. Methodology of drought stress research: Experimental setup and physiological characterization. International Journal of Molecular Sciences, 19: 4089-4096. <https://doi.org/10.3390/ijms19124089>
- Osuagwu, G.G.E., Edeoga, H.O., Osuagwu, A.N., 2010. The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves *Ocimum gratissimum* L. Recent Research in Science and Technology, 2: 27-33. <https://www.researchgate.net/publication/216658201>

- Pang, C.H., Zhang, S.J., Gong, Z.Z., Wang, B.S., 2005. NaCl treatment markedly enhances H₂O-scavenging system in leaves of halophyte *Suaeda salsa*. *Physiologia Plantarum* 125, 490-499. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00585.x>
- Per, T.S., Khan, N.A., Reddy, P.S., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, M. I. R., Anjum, N.A., 2017. Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 126-140. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.03.018>
- Rahbari, A., Fatemi, H., Ismailpour, B., 2020. The effect of different strains of *Pseudomonas fluorescens* on morphological, biochemical factors and antioxidant enzymes of dill (*Anethum graveolens* L.) under lead stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 36 (2), 244-227. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.128076.2656>
- Rontein, D., Basset, G., Hanson, A.D., 2002. Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. *Metabolism Engineer*, 4, 49-56. <https://doi.org/10.1006/mben.2001.0208>
- Ruiz-Lozano, J.M., 2003. *Arbuscular mycorrhizal* symbiosis and alleviation of osmotic stress, new perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza*. 13, 309-317. <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0237-6>
- Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A., Romero, L., Ruiz, J. M., 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Journal of Plant Science*, 178(1), 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.10.001>
- Saravankumar, A., Aslam, A., Shajahan, A., 2012. Developmant and optimaization of hairy root cultur systems in *Withania somnifera* (L.) Dunal for withaferin-A production. *African Journal of Biotechnology*, 11(89), 16412-16420. <https://doi.org/10.5897/AJB11.3867>
- Sarvajeet, S.G., Narendra, T., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in a biotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 3, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Sarvari, M., Darvishzadeh, R., Najafzadeh, R., Hatami Maleki, H., 2017. Physio-biochemical and enzymatic responses of sunflower to drought stress. *Journal of Plant Physiology and Breeding* 7(1), 105-119.
- Seyed Sharifi, R., Seyed Sharifi, R., 2019. The effect of biofertilizer application on yield, oil content and activity of antioxidant enzymes of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in irrigation cut-off treatments. *Plant Process and Function*, 8(29), 107-97. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.29.9.1>
- Seyed Sharifi, R.V., Haidari Siah Khlki M.S., 2015. The effect of biological fertilizers on growth indices and the share of dry matter remobilization process in wheat grain yield. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 28 (2): 343-326. [In Persian]. 28211
- Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C.L., Munjal., R., 2004. Effects of water-deficit on oil of *Calendula* aerial parts. *Biologia Plantarum*. 48, 445-448.
- Seyyedi, S. M., Khajeh Hosseini, M., Rezvani Moghadam, P., Shahandeh, H., 2015. The relationship between soil phosphorus solubility and nitrogen uptake and its effect on black phosphorus harvest index, *Iranian Crop Science*, 25, 36 -1. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2015.54043>
- Silva, S.M., Luz, J. M. Q., Nogueira, P. A. M., Blank, A.F.; Sampaio, T.S.; Pinto, J.A. O., Junior, A.W., 2017. Organo-mineral fertilization effects on biomass and essential oil of lavender (*Lavandula dentata* L.). *Industrial Crops and Products*, 103, 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.004>
- Smith F.W. 2002. The phosphate uptake mechanism. *Plant and Soil*, 245, 105-114.
- Steven, H., Sidney, M.H., 1987. Lipid peroxidase in samples as measured by liquid chromatography. Separeathion or malondialdehyde tiobarbituric acid. *Elin. Chem.* 32, 214-220.
- Touati, B., Chograni, H., Hassen, I., Boussaid, M., Toumi, L., Brahim, N.B., 2011. Chemical composition of the leaf and flower of essential oils of tunisian *Lavandula dentata* L. (Lamiaceae). *Chem. Biodiverse.* 8, 1560-1570. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201000357>
- Toumi, I., Gargouri, M., Nouairi, I., Moschou, P.N., Salem-Fnayou, A.B., Mliki, A., 2008. Water stress induced changes in the leaf lipid

- composition of four grapevine genotypes with different drought tolerance. *Biologia Plantarum*. 52, 161-164. <https://www.researchgate.net/publication/226322683>
- Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F. and Koca, H., 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*, 168(1), 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.07.032>
- Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y.Z., Yao, X.Q., Yin, H.J., 2007. Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. *Photosynthetica* 45: 613- 619. <https://doi.org/10.1007/s11099-007-0106-1>
- Yong, T. L., Zongsuo, S., Hongbo Feng, D., 2006. Effect of water deficits on the activity of anti-oxidative enzymes and osmoregulation among three different genotypes of *Radix astragali* at seeding stage. *Colloid. Surf. B: Biointerf.* 49, 60-65. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2006.02.014>
- Zafari, S., Niknam, V., Musetti, R., Noorbakhsh, S.N., 2012. Effect of phytoplasma infection on metabolite content and antioxidant enzyme activity in lime (*Citrus aurantifolia*). *Acta Physiologiae Plantarum*, 34(2), 561-568. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0855-0>
- Zeid, I.M., Shedeed, Z.A., 2006. Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biologia Plantarum* 50 (4): 635-640. <https://doi.org/10.1007/s10535-006-0099-9>
- Zhang, K. M., Yu, H.J., Shi, K., Zhou, Y.H., Yu, J.Q., Xia, X.J., 2010. Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. *Plant Science*. 179(3), 202-208. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.05.006>