

Research Article

Plant Prod., 2021, 44(2), 195-210
<http://plantproduction.scu.ac.ir/>

ISSN (P): 2588-543X
ISSN (E): 2588-5979

Investigating the Effect of Mycorrhizal Arbuscular Fungus and Vermiculite Solubilizing on Morphological and Physiological Traits of *Gazania* under Drought Stress Conditions

Leila Moradi Dastjerdi¹, Sepideh Kalateh Jari^{2*} , Foad Fatehi³, Marzieh Ghanbari Jahromi⁴

- 1- M.Sc. Student of Horticultural Sciences, Department of Horticultural Sciences and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
- 2- ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (kalatejari@yahoo.com)
- 3- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
- 4- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Citation: Moradi Dastjerdi, L., Kalateh Jari, S., Fatehi, F., & Ghanbari Jahromi, M. (2021). Investigating the effect of Mycorrhizal arbuscular fungus and vermiculite solubilizing on morphological and physiological traits of *Gazania* under drought stress conditions. *Plant Productions*, 44(2), 195-210.

 10.22055/PPD.2020.29791.1773

Received: 1 June, 2019

Accepted: 30 May, 2020

Abstract

Introduction

Drought is one of the major environmental constraints that limits plant growth and productivity more than any other environmental factors. Recent *Mycorrhizal arbuscular* application to alleviate drought stress in many plants has been reported. Vermiwash can be used in two forms of foliar application or drench. It contains several enzymes, plant growth hormones, vitamins and macro and micro nutrients which can enhance plants tolerance to biotic and abiotic stress, as well as crop yield efficiency.

Materials and Methods

In order to investigate *Mycorrhizal arbuscular* fungi and Vermiwash foliar application on *Gazania* (*Gazania rigens* L.) growth and flowering characteristics under drought stress a greenhouse experiment with factorial design was conducted based on complete randomized blocks by considering three factors including MA fungi in two levels (incubation with MA and non- incubated plants), Vermiwash foliar application in four levels (0, 50, 100 and 200 ppm) and imposing drought stress in three levels (irrigation based on 40, 70 and 100% field capacity) with three replications in the greenhouse and laboratory of the Campus of Agriculture and Natural Resources of Tehran University in 2018. Studied traits involved plant height, number and leaf area, flower diameter and number, aerial fresh and dry weight, chlorophyll and carotenoid



amount, N, P and K quantity of leaves. Analysis of variance's results indicated that the influence of main effect of drought stress, MA and Vermiwash on the measured traits were considerably functional.

Results and Discussion

The maximum value of leaf's carbohydrate was achieved in drought stress with the high severity in 40% of FC with 32.46 mg/gr. MA caused elevation in macro elements amount of the leaves. Foliar application of Vermiwash increased flower number and dimension and macro elements amounts as well. Among the Vermiwash treatments, foliar application of 200 ppm treatment reduced the negative effects of drought stress on plants. Comparison of the mean of dual effect of vermicompost in drought stress showed that the highest plant height in 200 ppm Vermiwash was 100% irrigation and the lowest value was in 50 ppm Vermiwash in irrigation 40% of field capacity. The lowest amount of chlorophyll *a* was observed in 40% water capacity and no Mycorrhizal fungi application. The highest leaf carbohydrate content was observed in irrigation treatments with 40% and 200 ppm Vermiwash.

Conclusion

vegetative growth decreased with increasing drought stress intensity from optimal irrigation level to severe stress. The use of Mycorrhiza and Vermiwash was positive compared to the control (Non-use), consumption of 100 and 200 ppm Vermiwash has better performance than other levels. *Gazania* responds to intense stress with more intensity than mild stress. It is recommended to prevent severe stress during the plant growth period. In this regard, the use of symbiotic fungi as well as Vermiwash foliar application (100 and 200 ppm) can help maintain plant growth by increasing plant tolerance to increasing stress intensity.

Keywords: Stress, Leaf area, Chlorophyll, Minerals

بررسی اثر قارچ مایکوریزا آربسکولار و محلول پاشی ورمی‌واش بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه گازانیا (*Gazania rigens* L.) در شرایط تنش خشکی

لیلا مرادی دستجردی^۱، سپیده کلاته جاری^{۲*} , فواد فاتحی^۳، مرضیه جهرمی قنبری^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- *نویسنده مسئول: استادیار، گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (kalatejari@yahoo.com)

۳- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

چکیده

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل می‌باشد که رشد و بهره‌وری گیاه را بیشتر محدود می‌کند. به منظور بررسی اثر قارچ مایکوریزا آربسکولار و محلول پاشی ورمی‌واش بر گیاه گازانیا در شرایط تنش خشکی، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل؛ مایکوریزا آربسکولار در دو سطح (تلقیح با مایکوریزا و بدون تلقیح)، محلول پاشی ورمی‌واش در چهار سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم) و تنش خشکی در سه سطح رطوبتی (آبیاری بر اساس ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) در سه تکرار در گلخانه و آزمایشگاه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۷ انجام شد. متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق شامل ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ، قطر و تعداد گل، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، و مقدار عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر در برگ بود. تنش خشکی سبب افزایش کربوهیدرات برگ شد. مایکوریزا آربسکولار سبب افزایش تعداد و قطر گل و نیز تعداد و سطح برگ شد. محلول پاشی ورمی‌واش بر قطر گل و تعداد گل، عناصر پر مصرف گیاه تأثیر معنی‌داری داشت. در بین تیمارهای ورمی‌واش، تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم مناسب‌ترین تیمار جهت کاهش اثرات تنش خشکی بود. نتایج مقایسه میانگین اثر دوگانه ورمی‌واش در تنش خشکی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ورمی‌واش ۲۰۰ میلی‌گرم در آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین مقدار آن در تیمار ورمی‌واش ۵۰ میلی‌گرم تحت آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. کمترین مقدار کلروفیل a در تیمار آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد قارچ مایکوریزا محاسبه گردید و کمترین میزان کلروفیل b در تیمار آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و ورمی‌واش صفر (شاهد) گزارش شد. در تیمارهای آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۰۰ پی‌پی‌ام ورمی‌واش بیشترین میزان کربوهیدرات برگ مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: تنش، سطح برگ، کلروفیل، مواد معدنی و ورمی‌واش

مقدمه

مرحله رشدی گیاه، اثرات متفاوتی داشته باشد و منجر به کاهش رشد و تولید شود (Velázquez-Márquez et al., 2015). تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است

گیاهان در طول دوره رشد خود با تنش‌های محیطی متعددی روبه‌رو می‌شوند که می‌تواند با توجه به گونه و

که رشد و میزان محصول تجاری را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Chun et al., 2018) و منجر به بروز تغییرات بیوشیمیایی، متابولیسمی، فیزیولوژیکی و تنوع فنوتیپی در گونه‌های گیاهی می‌شود (Ashraf et al., 2011).

با کاهش نزولات آسمانی و قرار گرفتن مساحت عمده‌ای از کشور (۷۳ درصد) در منطقه خشک و نیمه خشک (Abdi and Pirzad, 2018)، لازم است تا با اعمال راهکارهایی، اثر تنش خشکی بر رشد گیاهان را تعدیل نمود. کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و ورمی‌واش در تعدیل اثرات منفی تنش خشکی مفید معرفی شده است. قارچ‌های مایکوریزا از طریق افزایش قابلیت جذب و انتقال آب، فراهمی مواد غذایی و نیز تقویت جامعه میکروبی خاک باعث بهبود رشد و نمو گیاه می‌شوند (Sheng et al., 2011). قارچ مایکوریزا تحمل گیاه در شرایط خشکی را نیز بهبود می‌بخشد (Abdel-salam et al., 2018). قارچ‌های مایکوریزا، باعث افزایش سطح جذب ریشه می‌شوند که به گیاه میزان کمک می‌کنند تا میزان آب بیشتری از خاک جذب نماید. همزیستی مایکوریزا اغلب منجر به تغییر سرعت حرکت آب در خارج و داخل گیاهان میزبان شده و روی آبگیری بافت و فیزیولوژی برگ تأثیر می‌گذارد (Auge et al., 2001).

ورمی‌واش شامل مجموعه‌ای از مواد ترشحی و فضولات کرم خاکی، عناصر ریزمغذی و مولکول‌های آلی مفید برای رشد گیاه می‌باشد. به صورت محلول‌پاشی برگ‌ی یا افزودن به بستر رشد گیاهان قابل استفاده است (Shamra et al., 2014). دارای چندین آنزیم، هورمون‌های رشد گیاهی، ویتامین‌ها و عناصر غذایی پر و کم مصرف است که ضمن افزایش تحمل گیاهان در برابر بیماری‌ها، راندمان تولید محصول را بهبود می‌بخشد (Kaur et al., 2015).

گازانیا (*Gazania rigens* L.) از خانواده کاسنی (Asteraceae)، گیاهی چندساله است که در مناطق معتدله به شکل گیاهی یک‌ساله مورد استفاده قرار می‌گیرد (Reddy et al., 2014). گیاهی کم نیاز است و شرایط

آفتابی و خاک‌های نسبتاً سبک را می‌پسندد (Hekmati, 2011).

پژوهش حاضر با بررسی اثر قارچ مایکوریزا آربسکولار و محلول‌پاشی ورمی‌واش در شرایط تنش خشکی بر گیاه گازانیا که یک گیاه پر کاربرد در طراحی فضای سبز است و از لحاظ زینتی ارزشمند و مهم می‌باشد لذا جهت افزایش عمر نگهداری آن و با هدف ارتقاء شاخص‌های زینتی با کمک بهبوددهنده‌ها؛ اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر قارچ مایکوریزا آربسکولار و محلول‌پاشی ورمی‌واش بر گیاه گازانیا (*Gazania rigens* L.) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در گلخانه و آزمایشگاه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تحت دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد روز و ۱۸ درجه سانتی‌گراد شب؛ رطوبت نسبی ۶۵ درصد و شرایط نوری ۱۲ ساعت روشنایی اجرا شد. تاریخ کاشت گیاه ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۷ و تاریخ برداشت آن ۲۷ تیر ۱۳۹۷ در بستر کشت شامل خاک مزرعه به همراه ماسه بود.

فاکتورهای آزمایش شامل سطوح تنش خشکی (آبیاری بر اساس ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، قارچ مایکوریزا *Glomus mosseae* که از شرکت زیست فن آور توران تهیه گردید (عدم تلقیح به عنوان شاهد و اضافه کردن قارچ مایکوریزا به میزان ۲۰ درصد ظرفیت حجمی هر گلدان و در اطراف ریشه گیاه استفاده شد) و محلول‌پاشی کود بیولوژیکی ورمی‌واش (از شرکت "به کشت" تهیه گردید) در غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بود. بذرها در سایه و به دور از تابش مستقیم خورشید کاشته شد و زمانی که نشاها به مرحله ۴ برگی رسیدند به گلدان ۴ لیتری انتقال داده شد. جهت تعیین ظرفیت زراعی خاک، ابتدا مقداری از آن وزن و سپس درون آن قرار داده شد؛ پس از ۴۸ ساعت، خاک مجدداً وزن شد و میزان آب در خاک مشخص گردید. بر اساس ظرفیت زراعی هر سه روز یکبار حجم آب موردنظر هر

Ganjeali and Sartarius مدل BP211D با دقت ۰/۰۰۱ (Kafi, 2007)، ارتفاع گیاه با استفاده از خط کش فلزی، اندازه گیری قطر گل ها با استفاده از کولیس دیجیتالی و شمارش تعداد کل گل ها و برگ ها، اندازه گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (Leaf Area Meter) (LiCor, Model Li-1300, USA)، اندازه گیری کربوهیدرات محلول برگ (Riazi et al., 1985)، اندازه گیری محتوای کلروفیل و کاروتنوئید با روش (Arnon (1949)، اندازه گیری پتاسیم برگ با دستگاه فلیم فتومتر (مدل PFP7 ساخت کمپانی JENWAY انگلستان) (Chapman and Pratt, 1962)، اندازه گیری نیتروژن برگ با روش کج لدا (Sparks et al., 1996)، اندازه گیری محتوای فسفر برگ با دستگاه اسپکتروفتومتر Unico ساخت کشور امریکا (Ryan et al., 2007) صورت گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری

داده های به دست آمده حاصل از سنجش متغیرها در تحقیق، با نرم افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین داده ها در سطح احتمال پنج درصد با آزمون چند دامنه ای دانکن بررسی شد. نمودارها و شکل ها در نرم افزار Excel تهیه شد.

نتایج و بحث

تعداد گل

اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی، ورمی واش و مایکوریزا و اثر متقابل دو گانه ورمی واش در تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر تعداد گل، معنی دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین در بین تیمارهای تنش خشکی، بیشترین تعداد گل با ۱۰/۰۸ در تیمار آبی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین مقدار هم در تیمار آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۳). تنش سبب کاهش انرژی گیاه جهت رشد اندام های زایشی می شود و در تحقیق حاضر نیز تعداد

تیمار به گلدان ها اضافه می شد. خاک خشک در گلدان ریخته شده و به آرامی و تا حد اشباع، آب به آن اضافه شد و تا روز بعد رها گردید (Shibairo et al., 1998). پس از آن گلدان چندین بار با فواصل زمانی تا رسیدن به وزن ثابت، توزین شد و مقدار آب نسبت به خاک خشک در حالت ظرفیت زراعی خاک به دست آمد و تیمارهای مختلف آبیاری بر این اساس محاسبه گردید.

رابطه ۱:

$$100 \times (A-B/B) = \text{میزان رطوبت وزنی برای وضعیت ظرفیت زراعی}$$

A: وزن خاک مرطوب پس از خروج آب ثقلی، B: وزن خاک خشک شده در دمای ۱۰۵ درجه آون

بعد از انتقال نشا به گلدان های آزمایشی گیاهان به مدت ۲ هفته در شرایط یکسان آبیاری شدند و سپس تنش خشکی اعمال گردید دلیل این که ۲ هفته بعد از انتقال به گلدان تنش اعمال گردید این است که گیاهان در محیط جدید سازگار شوند. طول دوره رشد گیاه سه ماه بود. طی دوره آزمایش، در صورت مشاهده کاهش محتوای آب گلدان، آبیاری تا رسیدن به سطح تیمار مربوطه صورت پذیرفت.

یک هفته پس از استقرار کامل گیاهچه ها و ۶ برگی شدن گیاه، محلول پاشی با کود بیولوژیکی ورمی واش انجام شد (جدول ۱). ورمی واش در فواصل زمانی یک هفته یکبار روی بوته ها محلول پاشی گردید. در تیمار شاهد (بدون محلول پاشی ورمی واش)، آب مقطر محلول پاشی شد. بعد از دوبار محلول پاشی، تنش ها به مدت ۶ هفته اعمال گردید و محلول پاشی نیز تا یک هفته قبل از پایان آزمایش ادامه یافت. اندازه گیری صفات در مرحله زایشی گیاه (۲ ماه بعد از کاشت) انجام شد.

اندازه گیری صفات مورد ارزیابی شامل اندازه گیری وزن تر و خشک اندام هوایی با ترازوی دقیق آزمایشگاهی

Table 1. Chemical analysis of Vermiwash compounds

Compounds	pH	EC mdS/m	Mn	Zn	Cu	Fe	P	K	N
			mg/kg						
Amount	7.9	2.6	420	145	93	6921	0.15	2.25	3.8

Table 2. Variance analysis of evaluated traits affected by different treatments on *Gazania*

S.O.V.	df	Number of flowers	Flower diameter	Number of leaves	Leaves surface	Wet weight of aerial parts	Dry weight of aerial parts	Plant height
Block	2	2.04 ^{ns}	1.39 ^{ns}	0.097 ^{ns}	1.41 ^{ns}	0.097 ^{ns}	0.003*	0.002*
Drought	2	205.87**	2267.5**	1100.05**	3569.07**	0.34**	0.081**	34.09**
Mycorrhiza	1	260.68**	138.8	88.8	758.5**	0.13 ^{ns}	0.01**	0.25**
Vermi wash	3	279.6**	734.4**	419.2**	1697.72**	1.99**	0.23**	0.05**
Vermi wash × Drought	6	8.91**	38.4**	15.09**	50.07**	0.04 ^{ns}	0.0037**	0.001*
Mycorrhiza × Drought	2	3.43 ^{ns}	33.72**	36.22**	265.72**	0.006 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.02**
Mycorrhiza × Vermi wash	3	1.68 ^{ns}	0.92 ^{ns}	2.03 ^{ns}	10.55 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Mycorrhiza × Vermi wash × Drought	6	0.43 ^{ns}	1.92 ^{ns}	0.92 ^{ns}	5.73 ^{ns}	0.0068 ^{ns}	0.00009 ^{ns}	0.001 ^{ns}
Error	46	1.79	1.35	1.48	3.86	0.046	0.0008	0.0006
Coefficient of variation	-	16.32	2.62	5.42	1.18	0.86	0.32	0.145

*, ** and ns indicate significantly differences at the 5% and 1% probability levels and non-significantly difference, respectively.

Table 3. The main effects of treatments on measured traits of *Gazania*

Treatments	Number of flowers	Flower diameter (mm)	Number of leaves	Leaves surface (cm ²)	Fresh weight of aerial parts (g)	Dry weight of aerial parts (g)	Plant height (cm)
Drought	40	4.83 ^b	33.16 ^b	14.66 ^c	152.5 ^b	24.80 ^b	8.68 ^b
(Field capacity)	70	9.70 ^a	49.83 ^a	26.00 ^b	173.4 ^a	24.98 ^a	8.78 ^a
	100	10.08 ^a	50.16 ^a	26.75 ^a	173.8 ^a	25.03 ^a	8.78 ^a
Mycorrhiza	Control	6.30 ^b	43.00 ^b	21.36 ^b	163.3 ^b	24.90 ^a	8.73 ^b
	Treatment	10.11 ^a	45.77 ^a	23.58 ^a	169.82 ^a	24.98 ^a	8.78 ^a
	0	2.50 ^c	35.44 ^d	15.72 ^c	15	24.54 ^c	8.58 ^d
				2.66 ^c			
Vermiwash	50	8.72 ^b	44.16 ^c	22.27 ^b	167.16 ^b	24.79 ^b	8.78 ^c
	100	10.44 ^a	48.55 ^b	25.66 ^a	172.87 ^a	25.21 ^a	8.80 ^b
	200	11.16 ^a	49.38 ^a	26.22 ^a	173.6 ^a	25.21 ^a	8.82 ^a

The common letters in each column indicate that there is no significant difference based on Duncan's test at the level of five percent probability.

بیشترین تعداد گل ۱۰/۱۱ در تیمار تلقیح با قارچ مایکوریزا مشاهده شد (جدول ۳). پژوهشگران در تحقیقات خود نشان دادند که همزیستی قارچ با ریشه گیاه دارویی *Coleus forskohlii* منجر به تعداد گل بیشتر شد (Aparajita et al., 2012). در تیمار ورمی‌واش بیشترین و کمترین تعداد گل به ترتیب در تیمار ورمی‌واش ۲۰۰ میلی‌گرم و تیمار شاهد مشاهده شد. نتایج نشان داد که بین تیمار ورمی‌واش ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم از نظر تعداد گل اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه ورمی‌واش در تنش خشکی نشان داد که بیشترین تعداد گل به ترتیب در

گل را کاهش داد. البته تعداد گل‌ها در تیمار آبی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بنابراین با اعمال تیمار کم‌آب‌یاری تا ۷۰ درصد ظرفیت زراعی می‌توان از تعداد گل برابری با آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی سود برد. تنش خشکی ضمن کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان، باعث محدود شدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی در آن‌ها می‌گردد (French and Turner, 1991). مایکوریزا تمام پارامترهای رشد رویشی و زایشی گیاه آهار را نسبت به شاهد افزایش داد و این موضوع زمانی اهمیت پیدا می‌کند که این افزایش‌ها در گیاهان تحت تنش نیز مشاهده گردید (Bagheri et al., 2019).

مایکوریزا بیشترین قطر گل مشاهده شد (جدول ۳). پژوهشگران در تحقیقات خود نشان دادند که همزیستی قارچ با ریشه گیاه دارویی *Coleus forskohlii* منجر به تولید گل های بزرگتر شد (Aparajita et al., 2012). بیشترین قطر گل در تیمار ورمی واش ۲۰۰ پی پی ام مشاهده شد (جدول ۳).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر دو گانه قارچ مایکوریزا در تنش خشکی؛ در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با مصرف قارچ مایکوریزا و آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی با مایکوریزا بیشترین قطر گل مشاهده شد (شکل ۲).

تعداد و سطح برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی تنش خشکی، مایکوریزا و ورمی واش و اثر دو گانه مایکوریزا در تنش خشکی و ورمی واش در تنش خشکی بر تعداد و سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۲).

تیمار آبی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ورمی واش ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی گرم، تیمار آبی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و ورمی واش ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی گرم مشاهده شد (شکل ۱). با توجه به ماهیت ترکیبات بیولوژیک استفاده شده، اثر همسویی نداشته اند که می تواند به مکانیسم پاسخ گیاه به استفاده همزمان از ترکیبات باشد.

قطر گل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، قطر گل در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمارهای مختلف خشکی، ورمی واش و مایکوریزا قرار گرفت، همچنین اثر دو گانه ورمی واش در تنش خشکی و مایکوریزا در تنش خشکی؛ در سطح احتمال یک درصد بر قطر گل معنی دار شد (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین، بیشترین قطر گل با ۵۰/۱۶ میلی متر در تیمار آبی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۳). اثر مایکوریزا آربسکولار نیز بر قطر گل معنی دار بود به طوری که در تیمار تلقیح با قارچ

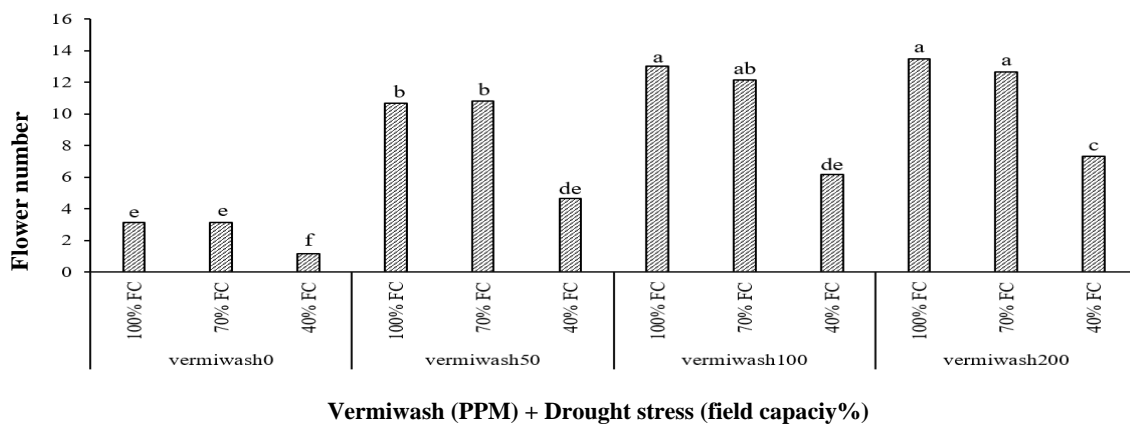


Figure 1. Interaction effect of vermi wash × drought stress on flower number of Gazania

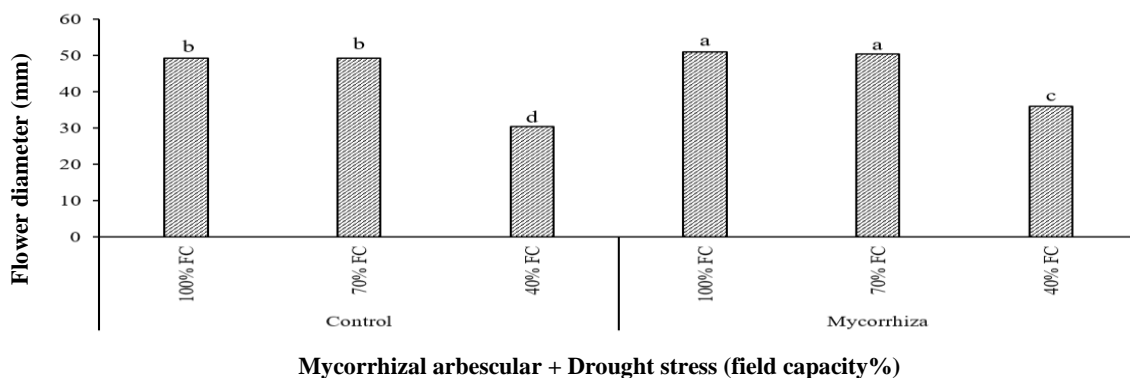


Figure 2. Interaction effect of mycorrhiza × drought stress on the diameter of the gazania flower

در بین سطوح مختلف تنش خشکی، بیشترین تعداد برگ با ۲۶/۷۵ در تیمار آبی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن با ۱۴/۶۶ در تیمار آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد و بیشترین سطح برگ (۱۷۳/۸۲ سانتی متر مربع) در تیمار آبی ۱۰۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن (۱۵۲/۵ سانتی متر مربع) در تیمار آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید (جدول ۳). با افزایش تنش، کاهش شدیدی در طول و عرض برگ و به موجب آن کاهش سطح برگ و در نتیجه وزن برگ ایجاد می شود، زیرا سطح تعرق کندگی گیاه کم شده و ماده تولیدی کاهش یافته و فستونتر گیاه کم می شود. کاهش آب منجر به کاهش جذب عناصر و از این طریق نیز رشد برگها کاهش می یابد. کاهش سطح برگ، کاهش جذب نور خورشید و به دنبال آن سطح فستونتری گیاه کاهش و نهایتاً منجر به کاهش تولید ماده خشک و عملکرد گیاه می گردد (Hong-Bo et al., 2008).

در بین تیمارهای مایکوریزا نیز بیشترین تعداد و سطح برگ در تیمار تلقیح با قارچ مایکوریزا حاصل شد، در بین تیمارهای مختلف ورمی واش، تیمار ۲۰۰ پی پی ام بیشترین تعداد و سطح برگ را تولید نمود که با ورمی واش ۱۰۰ میلی گرم اختلاف بسیار کمی داشت (جدول ۳). افزایش تعداد برگ و سطح برگ تحت همزیستی با قارچهای میکوریز در ریحان گزارش شد (Amerian et al., 2006).

محققان با بررسی تأثیر سطوح مختلف محلول پاشی با ورمی واش بر صفات مورفولوژیک ریحان نشان دادند که تیمار ورمی واش سبب افزایش معنی دار تعداد برگ شد

نتایج مقایسه میانگین اثر دو گانه مایکوریزا در تنش خشکی نشان داد که بیشترین سطح برگ با ۱۷/۹۹ سانتی متر مربع در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با مایکوریزا و آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی با مایکوریزا مشاهده شد (شکل ۴).

وزن تر و خشک اندام هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی تیمارهای مختلف خشکی و ورمی واش بر وزن تر و اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی، مایکوریزا، ورمی واش و ورمی واش در تنش خشکی بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. نتایج تجزیه واریانس اثرات دو گانه مایکوریزا در تنش خشکی و مایکوریزا و ورمی واش و اثرات سه گانه تیمارهای مختلف بر وزن خشک اندام هوایی معنی دار نشد (جدول ۲).

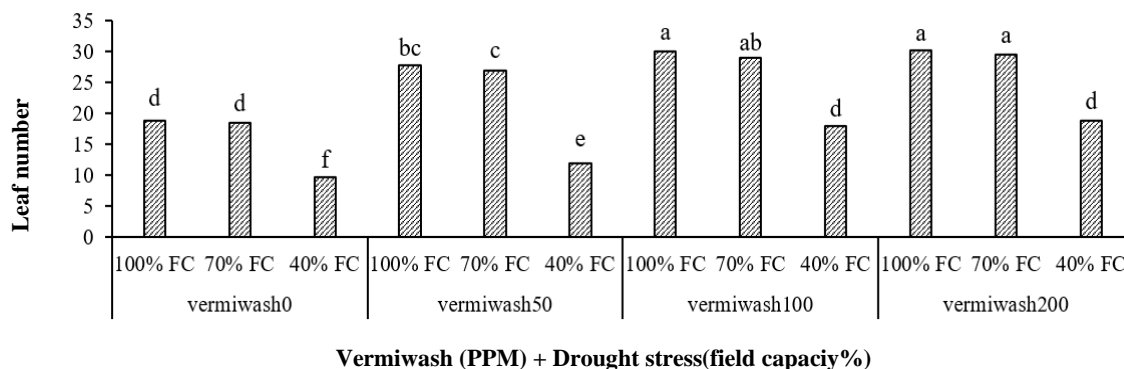


Figure 3. Interaction effects of vermiwash × drought stress on leaf number of Gazania

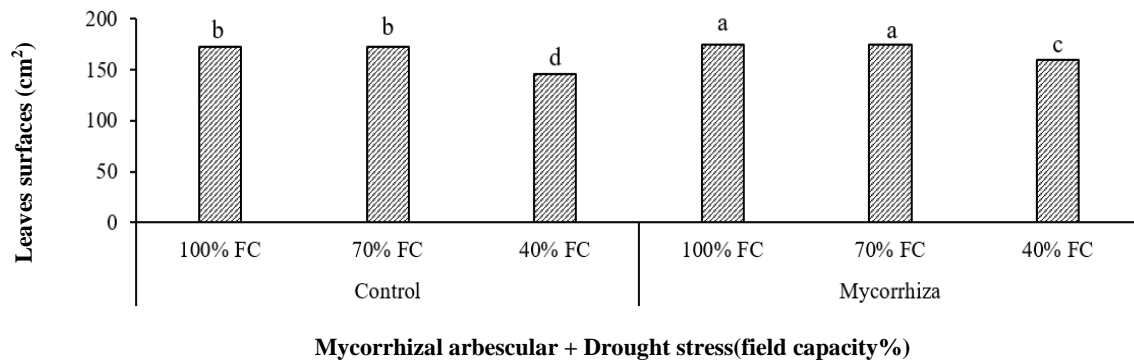


Figure 4. Interaction effects of mycorrhiza × drought stress on leaves surface of *Gazania*

میزان فتوسنتز، میزان ماده خشک بیشتر شده و وزن خشک گیاه نیز افزایش خواهد یافت (Ansari, 2008). طبق نتایج مقایسه میانگین اثرات دو گانه، بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای ورمی‌واش ۲۰۰ میلی گرم در تیمار آبی ۱۰۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (شکل ۵). وجود شبکه گسترده هیف‌های خارجی قارچ مایکوریزا به عنوان ادامه‌ی سیستم ریشه گیاه میزبان قادر است آب و عناصر غذایی را از منافذ دور از دسترس گیاه جذب و به گیاه انتقال می‌دهد و باعث افزایش وزن تر و خشک شاخساره گیاه همزیست می‌شود (Nadiyan, 2011).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس ارتفاع بوته نشان داد که اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی، مایکوریزا و ورمی‌واش و اثر دو گانه تیمار مایکوریزا در تنش خشکی بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ایجاد نمود؛ اثر دو گانه تیمار ورمی‌واش در تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته اثر معنی‌دار داشت (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین با افزایش سطح تنش خشکی، ارتفاع بوته کاهش پیدا کرد به طوری که کمترین میزان آن در تیمار آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۳). علت کاهش ارتفاع، کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلولی در شرایط تنش خشکی می‌باشد. از آنجا که تقسیم و افزایش اندازه سلول به تنش خشکی بسیار حساس است، به نظر می‌رسد که در تیمارهای تحت تنش آبی، افزایش

نتایج مقایسه میانگین حاکی از اثر منفی تیمار آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بر میزان وزن تر و خشک اندام هوایی بود (جدول ۳). تأثیر نامطلوب رایج تنش خشکی، کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه است. کاهش زی‌توده تحت تأثیر تنش خشکی در اکثر ژنوتیپ‌های گیاه آفتاب‌گردان گزارش شده است (Tahir and Mehid, 2001).

با کاربرد قارچ مایکوریزا میزان وزن خشک اندام هوایی (۸/۷۸ گرم) ۰/۵۷ درصد بیش از شرایط عدم کاربرد قارچ مایکوریزا بوده است (جدول ۳). همزیستی گیاهان با قارچ‌های مایکوریزایی باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه از جمله توسعه بخش‌های رویشی و افزایش وزن تر و خشک بافت‌های گیاهی می‌شود. استفاده از قارچ‌های مایکوریزا سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص بیوماس بین ریشه و ساقه آن‌ها و همچنین طول ریشه اثر می‌گذارد (Fan et al., 2011).

بیشترین مقدار وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار ورمی‌واش ۲۰۰ میلی گرم مشاهده شد (جدول ۳). روش تغذیه برگ‌ها به نوبه خود در افزایش عملکرد گیاه مفید است. در این روش سرعت انتقال عناصر غذایی از سطح برگ‌ها به اندام‌های مختلف گیاه زیاد و بیشترین تأثیر آن زمانی است که برگ‌ها به حداکثر سطح خود رسیده‌اند. عناصر غذایی مستقیماً وارد اندام هوایی می‌شود و مشکل رسوب در خاک و کم شدن قابلیت استفاده از آن وجود ندارد؛ ورمی‌کمپوست به دلیل داشتن ظرفیت بالای نگهداری آب و مواد غذایی کافی باعث افزایش سطح برگ‌ها و میزان کلروفیل می‌شود و در نتیجه با افزایش

زراعی مشاهده شد (شکل ۶).

رنگیزه‌های گیاهی

بر اساس نتایج اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی، مایکوریزا و ورمی‌واش و اثرات دو گانه تیمارهای ورمی‌واش در تنش خشکی و مایکوریزا در تنش خشکی بر میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. سایر تیمارها بر میزان کلروفیل a تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۴).

بر اساس نتایج، بیشترین مقدار کلروفیل a تحت تیمار آبی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با اختلاف اندکی نسبت به تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (جدول ۵)؛ گیاهان تیمار شده با قارچ مایکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح نشده کلروفیل a بیشتری تولید نمودند (جدول ۶)، میزان کلروفیل a در تیمارهای ورمی‌واش ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم مشابه و بیشترین مقدار در گروه خود بوده است (جدول ۷). کمترین مقدار کلروفیل a در تیمار آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد قارچ مایکوریزا مشاهده شد (شکل ۷).

اندازه سلول تحت تأثیر قرار گرفته و با ممانعت از رشد طولی ساقه سبب کاهش ارتفاع گیاه گردد (Gholami and Gholami, 2019).

ارتفاع بوته در تیمار کاربرد قارچ مایکوریزا ۰/۷۰ درصد نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود (جدول ۳). نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققان همسو بود قارچ مایکوریزا آربسکولار سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته در گیاه همیشه‌بهار شد، محرک‌های زیستی از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز می‌شوند که این امر سبب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Zlatev and Lidon, 2012).

بیشترین مقدار ارتفاع بوته در تیمار ورمی‌واش ۲۰۰ پی‌پی‌ام مشاهده شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر دو گانه ورمی‌واش و تنش خشکی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ورمی‌واش ۲۰۰ میلی‌گرم در آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین مقدار آن در تیمار ورمی‌واش ۵۰ میلی‌گرم تحت آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت

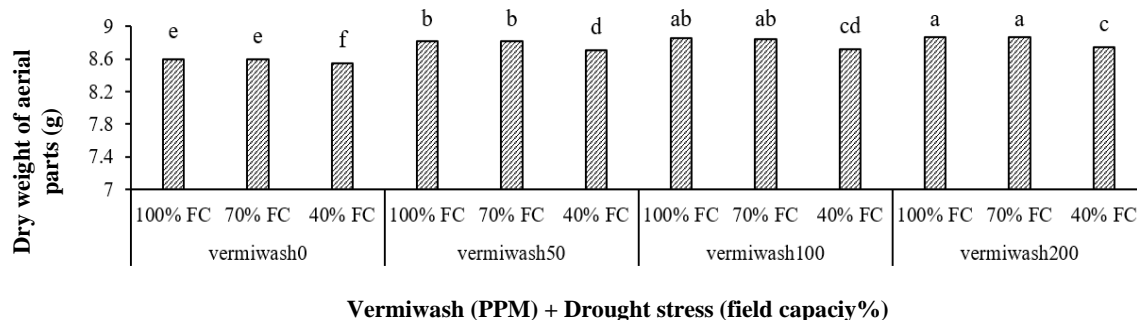


Figure 5. Interaction effects of vermiwash × drought stress on dry weight of *Gazania*

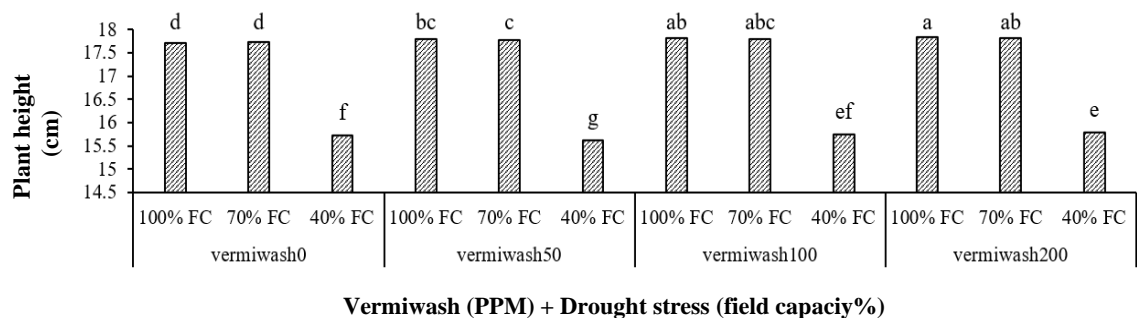


Figure 6. Interaction effects of vermiwash × drought stress on plant height of *Gazania*

Table 4. Variance analysis of evaluated traits affected by different treatments on *Gazania*

S.O.V.	df	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoids	Leaf carbohydrate	N	P	K
Block	2	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0003 [*]	0.0014 [*]	0.007 [*]	0.00002 ^{**}	0.015 ^{**}
Drought	2	0.217 ^{**}	0.1122 ^{**}	0.017 ^{**}	697.13 ^{**}	9.73 [*]	0.00007 ^{**}	0.89 ^{**}
Mycorrhiza	1	0.0055 ^{**}	0.012 ^{**}	0.006 ^{**}	131.76 ^{**}	0.25 ^{**}	0.00001 ^{**}	0.19 ^{**}
Vermi wash	3	0.09 ^{**}	0.389 ^{**}	0.029 ^{**}	119.77	0.22 ^{**}	0.00002 ^{**}	0.074 ^{**}
Vermi wash × drought	6	0.0014 ^{**}	0.002 ^{**}	0.0006 ^{ns}	13.06 [*]	0.004 [*]	0.000001 ^{ns}	0.001 ^{ns}
Mycorrhiza × drought	2	0.0042 ^{**}	0.0008 ^{ns}	0.000004 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0059 [*]
Mycorrhiza × vermi wash	3	0.0006 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.084 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Mycorrhiza × vermi wash × drought	6	0.0005 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.00012 ^{ns}	1.27 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0002 ^{ns}
Error	46	0.0004	0.0006	0.00079	4.33	0.0015	0.000001	0.012
Coefficient of variation	-	2.43	1.38	3.84	5.19	0.95	14.65	1.05

*, ** and ns indicate significantly differences at the 5% and 1% probability levels and non-significantly difference, respectively.

Table 5. The main effects of drought stress on the chlorophyll pigments and mineral content of *Gazania*

Treatments		Chlorophyll a (mg/g fwt)	Chlorophyll b (mg/g fwt)	Carotenoids (mg/g fwt)	Leaf carbohydrates (mg/g dwt)	N (%)	P (%)	K (%)
Drought	40	0.74 ^b	0.71 ^b	0.67 ^b	46.32 ^a	3.43 ^c	0.0054 ^b	3.11 ^c
(Field capacity)	70	0.90 ^a	0.78 ^a	0.75 ^a	37.47 ^b	4.52 ^b	0.0084 ^a	3.44 ^b
	100	0.91 ^a	0.79 ^a	0.76 ^a	36.57 ^b	4.54 ^a	0.0087 ^a	3.46 ^a

The common letters in each column indicate that there is no significant difference based on Duncan's test at the level of five percent probability.

Table 6. The main effects of Mycorrhiza on the chlorophyll pigments and mineral content of *Gazania*

Treatments		Chlorophyll a (mg/g fwt)	Chlorophyll b (mg/g fwt)	Carotenoids (mg/g fwt)	Leaf carbohydrates (mg/g dwt)	N (%)	P (%)	K (%)
Mycorrhiza	Control	0.84 ^b	0.75 ^b	0.72 ^b	41.48 ^a	4.10 ^b	0.0071 ^b	3.29 ^b
	Treatment	0.86 ^a	0.78 ^a	0.74 ^a	38.77 ^b	4.22 ^a	0.0079 ^a	3.39 ^a

The common letters in each column indicate that there is no significant difference based on Duncan's test at the level of five percent probability.

Table 7. The main effects of Vermiwash on the chlorophyll pigments and mineral content of *Gazania*

Treatments		Chlorophyll a (mg/g fwt)	Chlorophyll b (mg/g fwt)	Carotenoids (mg/g fwt)	Leaf carbohydrates (mg/g dwt)	N (%)	P (%)	K (%)
Vermiwash	0	0.75 ^c	0.67 ^c	0.68 ^c	42.68 ^a	4.01 ^d	0.0063 ^c	3.25 ^c
	50	0.87 ^b	0.78 ^b	0.70 ^b	41.65 ^a	4.15 ^c	0.0071 ^b	3.34 ^b
	100	0.90 ^a	0.80 ^a	0.75 ^a	39.26 ^b	4.23 ^b	0.0082 ^a	3.38 ^a
	200	0.90 ^a	0.81 ^a	0.77 ^a	36.91 ^c	4.27 ^a	0.0084 ^a	3.39 ^a

The common letters in each column indicate that there is no significant difference based on Duncan's test at the level of five percent probability.

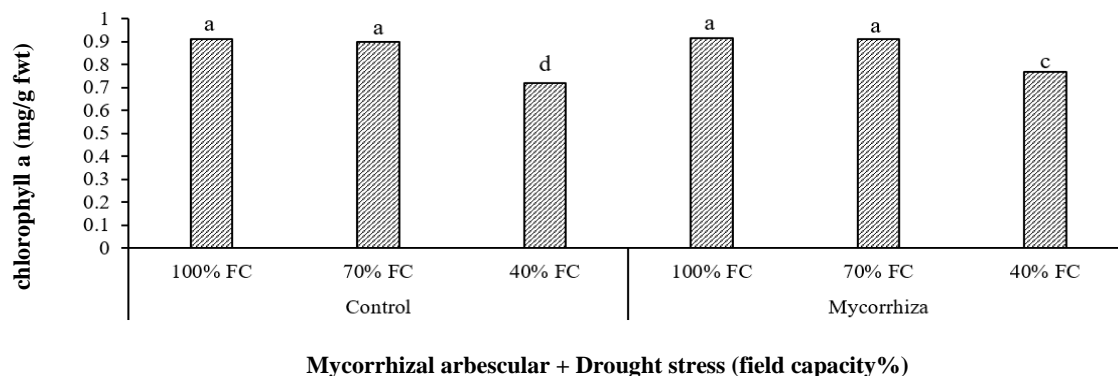


Figure 7. Interaction effects of mycorrhiza × drought stress on chlorophyll a content

در تنش خشکی بر میزان کلروفیل b؛ در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). بیشترین میزان کلروفیل b

نتایج بیانگر اثر معنی دار اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی، میکوریزا و ورمی واش و اثر دوگانه ورمی واش

ظرفیت زراعی میزان کربوهیدرات بیشتری در گیاه تجمع یافت (جدول ۵)؛ گیاهانی که با قارچ تلقیح نشدند نیز نسبت به گیاهان تلقیح شده کربوهیدرات بیشتری انباشته نمودند (جدول ۶) و تحت تیمار شاهد ورمی واش (عدم مصرف ورمی واش)، کربوهیدرات تجمع یافته در بافت های گیاه افزایش یافت (جدول ۷). کمتر بودن میزان کربوهیدرات برگ در شرایط عدم تنش تا حد زیادی به تداوم داشتن مصرف کربوهیدرات های تولیدی در نقاط رشدی گیاه ربط دارد (Sharma and Kuhad, 2006). نتایج نشان داد که در تیمارهای آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و ورمی واش بیشترین میزان کربوهیدرات برگ مشاهده شد (شکل ۹).

عناصر پر مصرف

نتایج تجزیه واریانس عناصر برگ نشان داد که اثر اصلی تیمار تنش خشکی و اثر دوگانه ورمی واش در تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد و اثرات اصلی تیمارهای قارچ مایکوریزا و ورمی واش در سطح احتمال یک درصد بر میزان نیتروژن معنی دار شد. اثر دوگانه مایکوریزا در ورمی واش و مایکوریزا در تنش خشکی و اثر سه گانه تیمارها بر نیتروژن تفاوت معنی دار ایجاد نکرد (جدول ۴). با توجه به نتایج، با افزایش سطح تنش خشکی، میزان نیتروژن کاهش پیدا کرد (جدول ۵). در تیمار تلقیح با مایکوریزا آربسکولار (جدول ۶) و نیز افزایش سطح محلول پاشی ورمی واش (جدول ۷)؛ میزان نیتروژن افزایش یافت. مایکوریزا و ورمی واش سبب تعدیل اثر تنش خشکی بر عناصر پر مصرف شد. بروز تنش خشکی باعث بالا رفتن غلظت املاح محلول در محیط ریشه و افزایش پتانسیل

تحت تیمار آبی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تولید شد که با تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت قابل توجهی نداشته است (جدول ۵)، تلقیح گیاهان با قارچ مایکوریزا موجب تولید کلروفیل b بیشتر نسبت به گیاهان تلقیح نشده گردید (جدول ۶)؛ در تیمارهای ورمی واش بیشترین میزان کلروفیل b تحت تیمارهای ورمی واش ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی گرم تولید شد (جدول ۷). کمترین میزان کلروفیل b در تیمار آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و ورمی واش صفر (شاهد) مشاهده شد (شکل ۸).

با محدود شدن فرآورده های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و نهایتاً عملکرد آن دچار نقصان می شود (Pavlovic et al., 2014). کاهش در رنگدانه های فتوسنتزی تحت تأثیر تنش خشکی به کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئینی رنگدانه ها و صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست، رنگدانه ها و پروتئین ها نسبت داده شده است. افزایش سطح تنش خشکی منجر به کاهش مقدار کلروفیل در کاهو شد (Badavi et al., 2015).

کربوهیدرات محلول برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی، مایکوریزا و ورمی واش بر کربوهیدرات برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اثر دوگانه ورمی واش در تنش خشکی بر کربوهیدرات برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود؛ سایر تیمارها بر میزان کربوهیدرات برگ گیاه گزاینه تفاوت معنی دار ایجاد نکرد (جدول ۴). در شرایط ۴۰ درصد

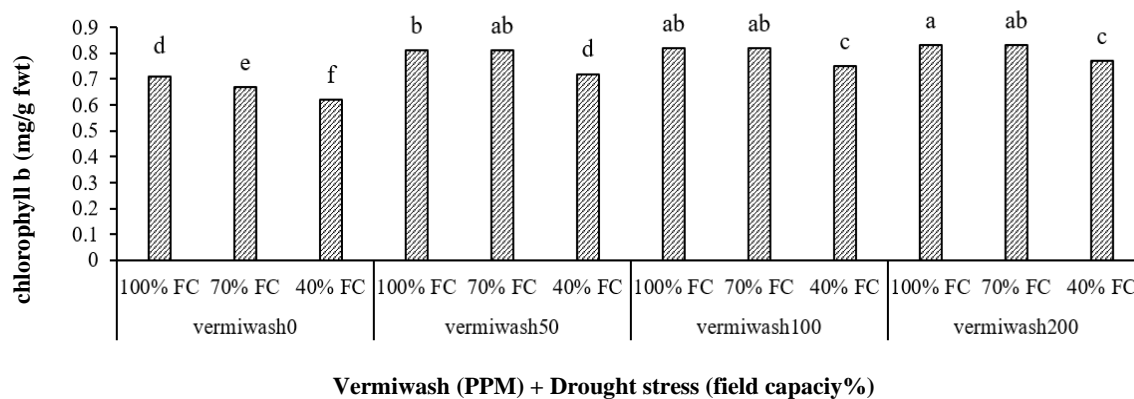


Figure 8. Interaction effects of vermiwash × drought stress on chlorophyll b content

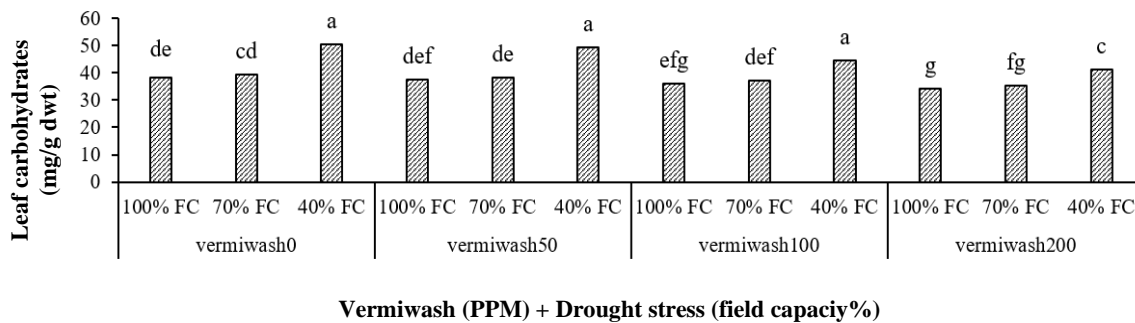


Figure 9. Interaction effects of vermiwash × drought stress on leaf carbohydrates content

(جدول ۶). تیمار محلول پاشی ورمی واش ۲۰۰ میلی گرم موجب افزایش شدت انباشت میزان پتاسیم در بافت‌های گیاه شد (جدول ۷). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین و کمترین مقدار پتاسیم برگ به ترتیب در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در مایکوریزا و آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف قارچ مایکوریزا مشاهده شد، به عبارتی در شرایط ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون کاربرد قارچ مایکوریزا میزان انباشت پتاسیم ۱۲/۵ درصد کمتر از تیمار عدم تنش خشکی و مصرف قارچ مایکوریزا گزارش شده است (شکل ۱۱). با افزایش رطوبت در خاک، نیتروژن بیشتری به وسیله گیاه جذب می‌شود. کاهش در میزان محتوای پتاسیم با اعمال تنش خشکی در این آزمایش در تطابق آزمایش محققان بر سیاه‌دانه است (Heidari and Rezapour, 2011). پژوهشگران در مرزه تلقیح شده با قارچ مایکوریزا تحت شرایط تنش خشکی، افزایش مقدار جذب فسفر و پتاسیم را نسبت به گیاه بدون همزیستی و سطح تنش مشابه، مشاهده کردند (Esmail pour et al., 2013).

کاربرد قارچ مایکوریزا سبب افزایش عملکرد و مقدار فسفر اندام هوایی و وزن هزار دانه گشیز گردید که دلیل این امر به مکانیزم عمل قارچ مایکوریزا در جذب فسفر ارتباط داده شده است. بنابراین با کاربرد قارچ مایکوریزا می‌توان در مصرف کودهای فسفره و آب، بدون آن که عملکرد کمی و کیفی گیاه کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا کند، صرفه‌جویی کرد (Ali Abadi-Farahani and Valad Abadi, 2009).

اسمزی خاک می‌شود که سبب کاهش جذب عناصر غذایی می‌شود (Grattan and Grieve, 1999). در تیمار تنش خشکی شدید و شرایط شاهد (عدم کاربرد ورمی واش) کمترین و در تیمارهای حاوی ورمی واش ۲۰۰ بیشترین مقدار نیتروژن مشاهده شد (شکل ۱۰).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر اثر معنی‌دار تیمارهای تنش خشکی، مایکوریزا و ورمی واش در سطح احتمال یک درصد بر میزان فسفر بوده است، اثرات دو و سه گانه تیمارها بر میزان فسفر تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۴). در تیمار آبی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین میزان فسفر حاصل شد که با تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی در یک رده بوده است (جدول ۵). با تلقیح گیاهان به وسیله قارچ مایکوریزا میزان فسفر گیاه افزایش یافت (جدول ۶). ورمی واش ۲۰۰ با اختلاف اندکی نسبت به محلول پاشی ورمی واش ۱۰۰ موجب انباشت مقدار بیشتری فسفر در بافت‌های گیاه شده است (جدول ۷). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از اثر معنی‌دار تیمارهای تنش خشکی، مایکوریزا و ورمی واش در سطح احتمال یک درصد بر میزان پتاسیم بوده است. اثر دوگانه تیمارهای مایکوریزا در تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، سایر تیمارها بر میزان تجمع پتاسیم در گیاه تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرده است (جدول ۴). با افزایش شدت تنش خشکی میزان انباشت پتاسیم کاهش یافت، در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی کمترین مقدار پتاسیم اندازه‌گیری شده است (جدول ۵). گیاهانی که تحت تیمار قارچ مایکوریزا قرار نگرفتند پتاسیم کمتری را در بافت‌های خود تجمع دادند

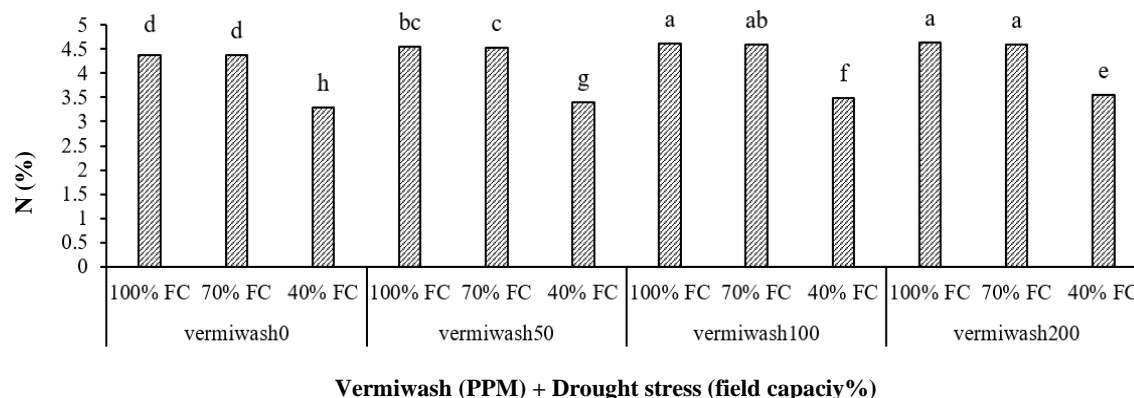


Figure 10. Interaction effects of Vermiwash × drought stress on leaf nitrogen content

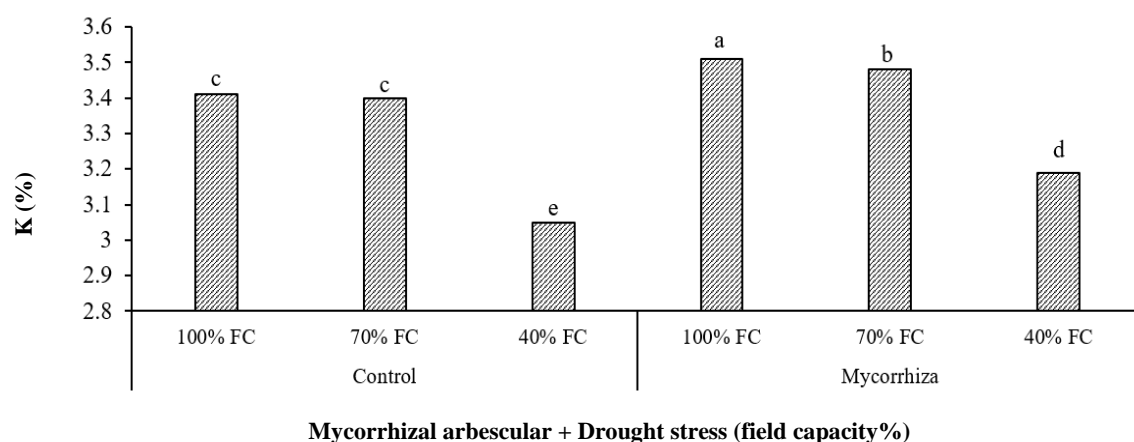


Figure 11. Interaction effects of mycorrhiza × drought stress on leaf potassium content

کم آبی اعمال شده می توان گفت که این گیاه به تنش های شدید با شدت بیشتری از تنش ملایم، واکنش نشان می دهد و این سطح از تنش نسبت به شاهد منجر به کاهش صفات عملکردی می گردد. توصیه می شود از بروز تنش شدید طی دوره رشد گیاه ممانعت شود. در این راستا، کاربرد قارچ های همزیست و نیز محلول پاشی ورمی واش (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم) می تواند با افزایش بردباری گیاه در برابر افزایش شدت تنش به حفظ رشد گیاه کمک کند.

سپاس گزاری

بخشی از این پژوهش با مساعدت های پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد که بدینوسیله نویسندگان از آن مجموعه کمال تشکر را دارند.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، با افزایش شدت تنش خشکی از سطح مطلوب آبیاری تا تنش شدید، رشد رویشی کاهش یافت. استفاده از قارچ مایکوریزا و ورمی واش نسبت به شاهد (عدم کاربرد آنها) مثبت ارزیابی شد هر چند که مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم ورمی واش از عملکرد بهتری نسبت به سایر سطوح آن برخوردار بوده است. گزاینی می تواند شرایط کاهش آب قابل دسترس در محیط ریشه را تا حدی تحمل کند. با مدیریت مصرف آب و سیستم های مختلف تغذیه ای می توان شرایط را به گونه ای فراهم نمود که گیاه تحت آن شرایط، به پتانسیل بالقوه خود نزدیک تر شده و حداکثر عملکرد کمی و کیفی را تولید کند. با در نظر گرفتن واکنش گیاه به سطوح تنش

References

- Abdel-salam, M., Alatar, A., & Alshaikh, M. (2018). Inoculation with arbuscular Mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. *Saudi Journal of Biological Science*, 25(8), 1772-1780.
- Abdi, S., & Pirzad, A. (2018). Mycorrhizal sainfoin (*Onobrychis sativa* L.) plant responses to water deficit stress. *International Journal of Plant Biology & Research*, 6(4), 1096.
- Ali Abadi-Farahani, H., & Valad Abadi, S. A. R. (2009). The role of arbuscular Mycorrhizal fungus on coriander (*Coriandrum sativum* L.) in drought stress conditions. *Journal of Soil Science (Soil and Water Science)*, 24(1), 69-80.
- Amerian, M. R., Stevart, W. S., & Griffiths, H. (2006). Effect of two species of arbuscular Mycorrhizal fungi on growth, assimilation and leaf water relation in maize (*Zea mays*). *Aspect of Applied Biology*, 63, 1-6.
- Ansari, A. A. (2008). Effect of vermicompost and Vermiwash on the productivity of spinach (*Spinacia oleracea*), onion (*Allium cepa*) and potato (*Solanum tuberosum*). *World Journal of Gricultural Sciences*, 4(5), 554-557.
- Aparajita, D., Shwet, K., Najam, A. S., Irena, S., Ralf, O., Meenakshi, D., Narendra, T., Atul Kumar, J., & Ajit, V. (2012). The root endophyte fungus Piriformospora indica leads to early flowering, higher biomass and altered secondary metabolites of the medicinal plant, *Coleus forskohlii*. *Plant Signaling and Behavior*, 7(1), 1-10.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, 24(1), 1-15.
- Ashraf, M., Akram N. A., Al-Qurainy, F., & Foolad, M. R. (2011). Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators and mineral nutrients. *Advances in Agronomy*, 111, 249-296.
- Aslani, Z., Hasani, A., Rasouli Sedghiani, M. H., Sefidkon, F., & Berin, M. (2011). Effect of two species of arbuscular Mycorrhizal on growth, chlorophyll content and phosphorus absorption in basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Herbal Medicines and Herbs Research*, 27(3), 471-486. [In Farsi]
- Auge, R. M., Stodola, A. J. W., Tims, J. E., & Saxton, A. M. (2001). Moisture retention properties of a Mycorrhizal soil. *Plant and Soil*. 230, 87-97.
- Badvi, H., Alamzadeh Ansari, N., Mahmoudi Surestani, M., & Eskandari, F. (2015). Effect of drought stress and mycorrhizal fungus on some morphophysiological characteristics of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Plant Productions*, 3(3), 27-39. [In Farsi]
- Bagheri, V., Shamshiri, M. H., Alaei, H., & Salehi, H. (2019). Effect of three species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrients uptake in *Zinnia* plant under drought stress conditions. *Plant Productions*, 41(4), 83-96. [In Farsi]
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1962). Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science*, 93(1), 68-69.
- Chun, S. C., Paramasivan, M., Chandrasekaran, M. (2018). Proline accumulation influenced by osmotic stress in arbuscular mycorrhizal symbiotic plants. *Frontiers in Microbiology*. 9, 2525.
- Esmail pour, B., Jalilvand, P., & Hadian, J. (2013). The effect of drought stress and micorrhizal fungi on some morphophysiological characteristics and yield of sovary (*Satureja hortensis* L.). *Agroecology*, 5(2), 169-177. [In Farsi]
- Fan, L., Dalpe, Y., Fang, Ch., Dube, C., & Khanizadeh, Sh. (2011). Influence of arbuscular Mycorrhizale on biomass and root morphology of selected strawberry cultivars under salt stress. *Botany*, 89(6), 397-403.
- French, R. J., & Turner, N. C. (1991). Water deficit change dry matter partitioning and seed yield in narrow leafed lupines (*Lupinus angustifolius* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*, 42(3), 471-484.
- Ganjeali, A., & Kafi, M. (2007). Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot

- characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 39(5), 1523-1531.
- Gholami, R., & Gholami, H. (2019). The effect of drought stress on some vegetative and physiological characteristics of superior local olive genotypes (*Olea europaea* L.) in Pot Conditions. *Plant Productions*, 41(4), 15-28. [In Farsi]
- Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1999). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae (Netherlands)*, 78(1-4), 127-157.
- Heidari, M., & Rezapour, A.R. (2011). Effect of drought stress and sulfur fertilizer on grain yield, chlorophyll content and mineral content in black currant (*Nigella sativa* L.). *Production and Processing of Crops and Gardens*, 1(1), 81-90.
- Hekmati, J. (2011). *The seasonal flowers*. Tehran: Publication of Agriculture Iran.
- Hong-Bo Sh., Li-Ye, Ch., Cheruth, A.J., & Chang-Xing, Z. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Current Research in Biologies*, 331(3), 215-225.
- Kaur, P., Bhardwaj, M., & Babbar, I. (2015). Effect of Vermicompost and Vermiwash on Growth of Vegetables. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 3(4), 9-12.
- Nadiyan, H. (2011). Effect of drought stress and Mycorrhizal symbiosis on phosphorus growth and absorption by two different sorghum cultivars in root morphology. *Journal of Agricultural Science and Technology, Water and Soil Science*, 15(57), 127-140.
- Pavlovic, D., Nikolic, D., Durovic, S., Waisi, H., Anelkovic, A., & Marisavljevic, D. (2014). Chlorophyll as a measure of plant health: Agroecological aspects. *Pesticidi I Fitomedicina, (Belgrade)*, 29(1), 21-34.
- Reddy, K. D., Reddy, K. H., Brenda, M., Koorbanally, N. A., & Patrick, G. (2014). Bio evaluation of different fractions of gazania rigens. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 8(6), 1-3.
- Riazi, A., Matsuda, K., & Arslan, A. (1985). Water-stress induced changes in concentrations of proline and other solutes in growing regions of young barely leave. *Journal of Experimental Botany*, 36(172), 1716-1725.
- Ryan, J., Estefan, G., & Rashid, A. (2007). Soil and plant analysis laboratory manual. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo.
- Shamra, D. P., Parjapati, J. L., & Tiwari, A. (2014). Effect on NPK, vermicompost and vermiwash on growth and yield of okra. *International Journal of Basic and Applied Agricultural Research*, 12(1), 4-8.
- Sharma, K. D., & Kuhad, M. S. (2006). Influence of Potassium level and soil moisture regime on biochemical metabolites of brassica species. *Brassica Journal*. 8, 71-74.
- Sheng, M., Tang, M., Zhang, F. F., & Huang, Y. H. (2011). Influence of arbuscular Mycorrhizal on organic solutes in maize leaves under salt stress. *Mycorrhiza*, 21(5), 423-430.
- Shibairo, S. I., Upadhyaya, M. K., & Toivonen, P. M. A. (1998). Influence of preharvest water stress on postharvest moisture loss of carrot (*Daucus carota* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73(3), 347-352.
- Sparks, D. L., Page, A., Helmke, P., Loeppert, R., Soltanpour, P., Tabatabai, M., Johnston, C., & Sumner, M. (1996). *Methods of soil analysis: Part 3-chemical methods*. USA: Soil Science Society of America Inc.
- Velázquez-Márquez, S., Conde-Martínez, V., Trejo, C., Delgado-Alvarado, A., Carballo, A., Suarez, R., Mascorro, J. O., & Trujillo, A. R. (2015). Effects of water deficit on radicle apex implications for breeding aimed at improving drought tolerance. *Plant physiology and biochemistry*, 96, 29-37.
- Zlatev, Z., & Lidon, F. C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(1), 57-72.