

تأثیر محرک‌های زیستی هیومی فورته و اسید آمینه ال-آرژنین بر صفات رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.) تحت تنش خشکی

مهسا رضاصفت عربانی^۱، سپیده کلاته‌جاری^{۲*}، فواد فاتحی^۳ و احمد خلیقی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳. استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران

۴. استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۱۶)

چکیده

به منظور بررسی اثر محرک زیستی هیومی فورته و اسید آمینه آرژنین بر خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گل جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L.) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. عامل اول هیومی فورته در سه سطح (۰، ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر)، عامل دوم اسید آمینه ال-آرژنین در سه سطح (۰، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) و عامل سوم تنش خشکی در سه سطح (۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) بودند. صفات تعداد گل، قطر گل، کلروفیل کل، کاروتنوئید، فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و مقدار عناصر پرمصرف (نیتروژن، پتاسیم و فسفر) در برگ اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر هیومی فورته و خشکی روی تعداد و قطر گل معنی‌دار شد ($P \leq 0/05$). تنش خشکی روی تمامی صفات مورد بررسی تأثیر معنی‌داری داشت به طوری که تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش تعداد و قطر گل، کلروفیل کل و عناصر پرمصرف شد، اما سبب افزایش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و کاروتنوئید گردید. نمونه‌های تیمار شده با هیومی فورته ۵ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تأثیر بر صفات آزمایشی داشتند. اثرات سه‌گانه هیومی فورته، ال-آرژنین و خشکی روی کلروفیل کل، فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، فسفر و پتاسیم معنی‌دار شد ($P \leq 0/05$). تیمار ترکیبی هیومی فورته ۵ میلی‌گرم در لیتر به علاوه ال-آرژنین ۳ میلی‌مولار مناسب‌ترین تیمار جهت کاهش آثار سوء ناشی از تنش به‌ویژه تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی روی گیاه جعفری آفریقایی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ال-آرژنین، تنش خشکی، جعفری آفریقایی، هیومی فورته.

The effect of humi-forthi and L-arginine amino acid on growth, physiological and biochemical characteristics of Marigold (*Tagetes erecta*) under drought stress

Mahsa Rezasefat Arbani¹, Sepideh Kalateh Jari^{2*}, Foad Fatehi³ and Ahmad Khalighi⁴

1, 2. M.Sc. Student and Assistant Professor, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industry, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

3. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Payame Noor university, Tehran, Iran

4. Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Sep. 11, 2018- Accepted: May 06, 2019)

ABSTRACT

In order to investigate effect of humi-forthi biostimulator and L-arginine amino acid on growth, physiological and biochemical characteristics of marigold (*Tagetes erecta*) under drought stress, a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications was carried out. The first factor was humi-forthi at three levels (0, 2.5 and 5 mg/l), the second factor was L-arginine at three levels (0, 1.5 and 3 mM), and the third factor was drought stress at three levels (100%, 70%, and 40% FC). Traits including the number of flowers, flower diameter, total chlorophyll content, SOD enzyme activities, and NPK concentrations were measured. The results indicated that drought stress, especially 40% FC, significantly influenced all morpho-physiological traits of marigold. There was observed a reduction flower diameter and number, chlorophyll content, and NPK under drought stress, whereas an increase was recorded for SOD activity and carotenoid. In most traits, 5 mg/l humi-forthi was more effective in respect to 2.5 mg/l and control. In addition, 3 mM L-arginine significantly had greater impact in respect to control and 1.5 mM. The interaction of humi-forthi, L-arginine and drought stress was significant on total chlorophyll, SOD activity, P and K ($P \leq 0.05$). The treatment of 5 mg/l humi-forthi + 3 mM L-arginine is the most effective treatment for alleviating the adverse effect of drought stress particularly 40% FC.

Keywords: Drought stress, humi-forthi, L-arginine, marigold.

* Corresponding author E-mail: kalatejari@yahoo.com

مقدمه

گیاه جعفری آفریقایی (*Tagetes spp.*) از گل‌های بهاره و تابستانه خانواده کاسنی (Asteraceae) است. این گیاه زینتی دارای گل‌های بزرگ، منفرد و چندتایی است که به رنگ زرد یا نارنجی می‌باشند و همچنین گل، برگ و بوته آن بوی تندی تولید می‌کند. جعفری آفریقایی به‌صورت تجاری برای استخراج رنگیزه‌های کاروتن و به‌ویژه گزانتوفیل پرورش داده می‌شود که در ترکیبات رنگ‌کننده مواد غذایی کاربرد دارند (Park et al., 2017). همچنین این گیاه می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای سموم نماتدکش در کاهش جمعیت نماتد عامل گال ریشه به‌کار رود (Bhattacharyya et al., 2017). جعفری آفریقایی از نظر زینتی از جمله گل‌های زیبا در محیط شهر می‌باشد که به دلایلی مقاومت به گرما و کم‌آبی نسبت به سایر گل‌های دیگر اهمیت ویژه‌ای دارد و بیشتر از آن به‌عنوان یک گیاه زینتی در پارک‌ها، چمن‌کاری‌ها، میادین و بلوارهای داخل شهر به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده می‌شود (Escalona et al., 2014).

خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و اثرات عمده‌ای بر تولیدات کشاورزی می‌گذارد. تنش خشکی متابولیسم مزوفیل را متأثر و از طریق کاهش سنتز آنزیم ریبولوز-بی‌فسفات و کاهش فعالیت روبیسکو و یا هر دوی آنها ظرفیت فتوسنتزی را کاهش می‌دهد. جلوگیری از رشد همراه با بسته شدن روزنه‌ها جزء اولین پاسخ‌های گیاهان به خشکی است (Shafiei et al., 2019). مکانیزم فتوسنتزی در کلروپلاست‌ها عمدتاً پیچیده است و در طی مراحل اولیه خشکی محدودیت عمده در فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه‌ها می‌باشد (Chaves et al., 2002). نقصان در فتوسنتز خالص در اثر تنش خشکی بیشتر به بسته‌بودن روزنه یا همان کاهش هدایت روزنه‌ای مربوط است. بنابراین تنش‌های خشکی دارای تأثیرات مخربی بر روی متابولیسم گیاه بوده که میزان رشد در مراحل مختلف و همچنین میزان فتوسنتز را تحت شعاع قرار می‌دهد. از طرفی در کشاورزی محصول خوب، مقاوم به شرایط محیطی و با کیفیت ما را به سمت و سوی سود آوری بالا هدایت

خواهد کرد. بنابراین برای دستیابی به محصول خوب و با کیفیت باید از جدیدترین و پیشرفته‌ترین تکنولوژی-های نوین کشاورزی استفاده نمود (Sauheitl et al., 2009). اثرات نامطلوب خشکی روی خصوصیات کمی و کیفی گیاهان زینتی توسط محققین مختلف گزارش شده است (Jafarzadeh et al., 2014; Amiri et al., 2015; Liu et al., 2013). که البته با توجه به نوع گیاه و شدت تنش تغییرات ایجاد شده متفاوت بوده است.

کاربرد کودهای بر پایه اسیدهای آمینه در گیاه از مهمترین راه‌های افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است (Zeier, 2013). در بسیاری از موارد تنش‌های محیطی مانند خشکی مانع از اثرگذاری آمینواسیدهای درون گیاه می‌شوند و اینجاست که نقش آمینواسیدهایی که به‌عنوان کود استفاده می‌شوند همچون نیرویی مضاعف، همراه با آب آبیاری یا محلول پاشی به کمک گیاه می‌آید. همچنین در شرایط سخت تنش‌های محیطی، می‌توان نقش آمینواسیدها در مقاومت به تنش‌ها را در صرفه‌جویی در مصرف انرژی برای گیاه خلاصه کرد (Cak Mak et al., 2010). انرژی کسب‌شده از این طریق می‌تواند صرف مقاومت به تنش‌های محیطی گیاه شود. از معروف‌ترین کودهای اسید آمینه می‌توان به هیومی فورته اشاره کرد که حاوی اسیدهای آمینه و الیگوپپتیدهای فعال بیولوژیکی است و برای تیمار گیاهان در زمان تنش کاربرد دارد و تامین‌کننده عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشد. آرژنین یکی از بیست اسید آمینه اصلی یاخته‌های زنده است که نیمه‌ضروری به حساب می‌آید. یک آلفا آمینو اسید با فرمول شیمیایی $C_6H_{14}N_4O_2$ است که در سال ۱۹۸۶ برای اولین بار توسط دانشمند سوئیسی Ernst Schultze از نهال *Lupinus* استخراج گردید. ال-آرژنین شکل طبیعی رایج این آمینو اسید می‌باشد که دارای توالی، CGC, CGA, CGG, AGA, و AGG است و به‌عنوان یک آمینو اسید نیمه ضروری (ضروری مشروط) در بدن پستان‌دارن طبقه‌بندی شده است (Nathan, 2011). این ماده همچنین در مقاومت به تنش به‌عنوان یک پیش‌ساز برای تشکیل پلی‌آمین‌ها به کار می‌رود (Winter et al., 2015). اسیدهای آمینه‌ها در

استفاده از رابطه‌های زیر کلروفیل کل و کاروتنوئید محاسبه شد.

$$= \text{میلی گرم کلروفیل کل در هر گرم برگ تر} \\ [(20.2 \times A645) + (8.02 \times A663)] \times V / 1000 \times W$$

$$= \text{میلی گرم کاروتنوئید در هر گرم گل تر} \\ 7.6 \times (A480) - 14.9 \times (A510) \times V / 1000 \times W$$

در رابطه‌های بالا، A میزان جذب در طول موج موردنظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد برحسب میلی‌لیتر و W اندازه گیاه تازه برحسب گرم است. اندازه‌گیری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز طبق روش Dhindsa & Matowe (1981) انجام شد. فعالیت این آنزیم به صورت فوتومتریک بررسی شد. فسفر با روش اولسن (Olsen, 1982)، پتاسیم با روش فلیمفتومتری (Chapman & Pratt, 1962) و نیتروژن با روش کج‌دال (Bremner, 1965) اندازه‌گیری شد.

داده‌های به‌دست‌آمده به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با نرم افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل آماری شدند. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح معنی‌دار ۱ و ۵ درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن بررسی شد.

نتایج و بحث

تعداد و قطر گل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی هیومی فورته و خشکی روی تعداد گل و اثرات هیومی فورته، ال-آرژنین و خشکی روی قطر گل معنی‌دار است ($P \leq 0.05$) (جدول ۱). بیشترین تعداد و قطر گل در تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر هیومی فورته مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین قطر گل در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین مقدار آنها در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد، اما بیشترین و کمترین تعداد گل به ترتیب در ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی گزارش شد (جدول ۳). Ghazi-Manas *et al.* (2013) افزایش تعداد گل و ثابت ماندن قطر گل در گیاه بابونه آلمانی تحت تأثیر کودهای نیتروژن و ورمی کمپوست را گزارش کردند و بیان داشتند که کوددهی سبب افزایش تعداد گل می‌شود.

پژوهش‌های مختلف دارای اثرات متفاوتی بوده‌اند. برخی تحقیقات اثرات مفید کودهای حاوی اسیدهای آمینه را روی رشد و مقاومت گیاه در مقابل تنش بیان کرده‌اند (Pavlikova *et al.*, 2014; Shekari *et al.*, 2014; Naghdibadi *et al.*, 2014). بنابراین در این مطالعه اثر محرک زیستی هیومی فورته و اسید آمینه ال-آرژنین بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گل جعفری آفریقایی بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل با سه فاکتور؛ ۱- تیمارهای هیومی فورته در سه سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، ۲- اسید آمینه ال-آرژنین در سه سطح (۰، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) و ۳- تیمار خشکی در ۳ سطح (۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) با ۲۷ تیمار (ترکیب سطوح تیمارهای خشکی و محلول پاشی) و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳ تکرار صورت گرفت. برای این منظور، ابتدا نشاهای ۴ برگی از گیاه جعفری آفریقایی تهیه گردید و در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۷، قطر کف ۹ و ارتفاع ۱۸ سانتیمتر با ترکیب بستر کشت باغچه (لوم)، سبوس برنج، پوکه معدنی و ماسه شسته با نسبت حجمی (۵، ۱، ۱، ۱) کشت شدند. گیاهان دو هفته بعد از استقرار با هیومی فورته و ال-آرژنین (در مجموع ۵ مرتبه) محلول پاشی شدند. دو هفته بعد از محلول پاشی، تنش اعمال شد که به مدت یک ماه ادامه داشت. به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک از سیستم توزین گلدان‌ها استفاده و آبیاری بر اساس تغییر وزن خاک گلدان‌ها نسبت به ظرفیت‌های زراعی تعیین شده انجام گرفت. در نهایت وقتی گیاهان وارد مرحله زایشی شدند صفات تعداد گل، قطر گل، محتوای کلروفیل برگ، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برگ، نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ اندازه‌گیری شد. قطر گل‌ها با استفاده از کولیس دیجیتالی با مقیاس سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. همچنین تعداد کل گل‌ها در هر تکرار به‌صورت هفتگی شمارش و ثبت گردید. اندازه‌گیری میزان محتوای کلروفیل با روش Arnon (1949) انجام شد. از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160) برای اندازه‌گیری میزان جذب نمونه‌ها استفاده شد. با

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی ال-آرژنین و هیومی فورته و تنش خشکی بر برخی صفات جعفری آفریقایی
Table 1. Results of variance analysis of foliar application with L-arginine and humi-forthi and drought stress on some traits of African marigold

Source of variation	df	MS							
		Flower number	Flower diameter	Chlorophyll	Carotenoid	SOD	N	K	P
Humi-forthi	2	6.6**	8.7**	0.154**	0.029**	6.22**	11.5**	1.46**	0.009**
L-arginine	2	0.82 ^{ns}	4.33 ^{ns}	0.115**	0.037 ^{ns}	1.95**	0.59**	0.66**	0.003**
Drought stress	2	12.01**	43.5**	0.611**	0.123**	7.79**	25.6 ^{ns}	13.3**	0.004**
Humi-forthi × L-arginine	4	0.45 ^{ns}	1.2 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.50**	0.14 ^{ns}	0.18**	0.0001**
Humi-forthi × Drought stress	4	0.30 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.024	0.006 ^{ns}	0.38**	1.65**	0.27**	0.0002**
L-arginine × Drought stress	4	0.25 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.056**	0.014 ^{ns}	0.13**	2.7**	0.41**	0.0003**
Humi-forthi × L-arginine × Drought stress	8	0.13 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.057**	0.09 ^{ns}	0.08**	0.16 ^{ns}	0.13**	0.00008**
Error		0.43	0.56	0.45	0.023	0.008	0.08	0.001	0.004
CV		28.2	15.6	12.6	20.7	4.8	9.52	1.01	9.49

*, **, ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

*, **, ns: Significant differences at 5 and 1%, of probability levels, and non-significantly difference, respectively.

گرفت به‌طوریکه بیشترین مقدار آن در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. همان طوری که در مورد کلروفیل اشاره شد تنش‌ها باعث کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان می‌شوند. افزایش میزان کاروتنوئید در شرایط تنش، می‌تواند ناشی از نقش حفاظتی این رنگیزه‌ها باشد. کاروتنوئیدها همچنین نور جذب‌شده را به کلروفیل‌ها منتقل کرده و باعث افزایش کارایی کلروفیل‌ها می‌گردند. این رنگیزه‌ها لازمه ساخت غشاهای تیلاکوئیدی هستند و با بسیاری از پروتئین‌هایی که در دستگاه فتوسنتز دخالت دارند، ارتباط تنگاتنگی دارند (Fox et al., 2017).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر هیومی فورته بر تعداد گل، قطر گل و کاروتنوئید گل جعفری آفریقایی

Table 2. Mean comparison effect of humi-forthi on flower number, flower diameter and carotenoid in African marigold

Humi-forthi	Flower number	Flower diameter	Carotenoid
Control	1.55b	4.3b	0.67b
2.5 mg/l	1.81 b	4.6b	0.68b
5 mg/l	2.48a	5.4a	0.86a

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.
Similar letters in each column show no significant difference.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر تعداد گل، قطر گل و کاروتنوئید گل جعفری آفریقایی

Table 3. Mean comparison effect drought stress on flower number, flower diameter and carotenoid in African marigold

Drought	Flower number	Flower diameter	Carotenoid
100% FC	2.25a	5.8a	0.68b
70% FC	2.4a	5.1b	0.72b
40% FC	1.18b	3.4c	0.81a

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.
Similar letters in each column show no significant difference.

همچنین افزایش معنی‌دار عملکرد گل در باپونه آلمانی توسط Mirseyedi et al. (2020) گزارش شد. تنش خشکی به‌طور معنی‌داری قطر گل‌ها را کاهش داد. تنش سبب کاهش انرژی گیاه جهت رشد اندام‌های زایشی می‌شود (Liao et al., 2017). در تحقیق حاضر هم قطر و هم تعداد گل در اثر ۴۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش یافت، اما تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی نتوانست تعداد گل را کاهش دهد. بنابراین با اعمال کم‌آبایی تا ۷۰ درصد ظرفیت زراعی می‌توان از تعداد گل برابری با زمانی که ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تامین شود، سود برد. Gaedi & Mousavinezhad (2015) نشان دادند که خشکی به‌طور معنی‌داری سبب کاهش قطر و تعداد گل باپونه آلمانی شد که با تحقیق حاضر همسو است.

کاروتنوئید

هیومی فورته و تنش خشکی باعث افزایش محتوای کاروتنوئید شد (جدول‌های ۲ و ۳). در کلروپلاست‌ها کاروتنوئیدها به‌عنوان رنگیزه کمکی فعالیت دارند، اما نقش آنتی‌اکسیدانی آن‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است (Bouvier et al., 2005). کاروتنوئیدها به کاروتن-های هیدروکربن مانند لیکوپن و بتاکاروتن یا گزانتوفیل‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند (Faraloni & Torzillo, 2017). کاروتنوئیدها انرژی زیاد طول‌موج‌های کوتاه را گرفته و اکسیژن یکتایی را به سه‌تایی تبدیل می‌کنند و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولیدشده، نقش آنتی‌اکسیدانی خود را بروز می‌دهند (Faraloni & Torzillo, 2017). در این تحقیق مقدار کاروتنوئید تحت تأثیر تنش خشکی قرار

کلروفیل کل

فورته روی سوپراکسید دیسموتاز معنی دار شد (جدول ۱). بیشترین مقدار این صفت در تیمار خشکی ۷۰+ ال-آرژنین ۱/۵+ هیومی فورته ۵ و کمترین مقدار آن در تیمار خشکی ۱۰۰+ ال-آرژنین شاهد+ هیومی فورته شاهد مشاهده شد (جدول ۵). تنش خشکی سبب افزایش ROS در گیاه می شود و سوپراکسید دیسموتاز به عنوان اولین خط دفاعی سیستم آنتی اکسیدانی در مقابل ROS فعال و باعث تبدیل رادیکال O_2^0 به H_2O_2 می شود، در ادامه H_2O_2 ایجاد شده به مولکول آب و اکسیژن تجزیه می شود که این عمل توسط آنزیم کاتالاز انجام می گیرد (Gratao *et al.*, 2005). آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اولین آنزیمی است که در چرخه آنتی اکسیدانی فعال می شود که در شرایط تنش افزایش می یابد (Chakraborty & Pradhan, 2011). افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تحت تنش خشکی در گیاهان مختلف گزارش شده است (Jiang & Huang, 2001; Porcel & Ruiz-Lozano, 2004; Pan *et al.*, 2006). این که مقدار این آنزیم تحت تأثیر هیومی فورته و ال-آرژنین افزایش یافته است، می تواند به این دلیل باشد که این آنزیم خود نوعی پروتئین است و هیومی فورته و ال-آرژنین محرک های پروتئین سازی در گیاه هستند (Guerra-Guimarães *et al.*, 2016).

عناصر پرمصرف (NPK)

اثر ال-آرژنین × خشکی روی نیتروژن معنی دار شد. بیشترین مقدار نیتروژن در تیمار ال-آرژنین ۱/۵ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (۴/۴ درصد) و کمترین مقدار آن در تیمار ال-آرژنین شاهد و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (۱/۷ درصد) مشاهده شد (شکل ۱).

طبق تجزیه واریانس، اثر خشکی × ال-آرژنین × هیومی فورته بر کلروفیل کل معنی دار شد (جدول ۱). بیشترین مقدار کلروفیل کل در تیمار خشکی ۷۰+ ال-آرژنین ۱/۵+ هیومی فورته ۵ و کمترین مقدار آن در تیمار خشکی ۴۰+ ال-آرژنین شاهد+ هیومی فورته شاهد به دست آمد (جدول ۴). Ahmadi & Baker (2001) بیان کردند که محدودکننده اصلی فتوسنتز در گیاه در شرایط تنش خشکی هدایت مزوفیلی است. اما در کل می توان نتیجه گرفت که کاهش فتوسنتز در اثر کمبود آب تحت تأثیر موازی هدایت روزنه ای و مزوفیلی است (Yamori & Shikanai, 2016). محتوای کلروفیل برگ به عنوان یک عامل مهم در تعیین ظرفیت فتوسنتزی برگ محسوب می شود و کاهش محتوای کلروفیل به عنوان یک عامل غیر روزنه ای می تواند منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ شود (Hossain *et al.*, 2003). در زمان بروز تنش خشکی انتقال الکترون از فتوسیستم دو به فتوسیستم یک گیرنده اصلی الکترون ($NADP^+$) مختل شده و الکترون به مولکول اکسیژن منتقل می شود و در این زمان بالا بودن میزان کلروفیل باعث افزایش تولید میزان ROS می شود که اثرات تخریبی فراوانی بر کلروپلاست و سلول دارد و یکی از راهکارهای گیاهان برای کاهش تولید ROS، افزایش فعالیت آنزیمی به نام کلروفیلاز می باشد که باعث تجزیه کلروفیل می شود اما از طرفی توانایی حفظ کلروفیل توسط گیاه تحت تنش می تواند سبب بهبود وضعیت رویش گیاهچه شود (Ahmadi & Baker, 2004).

آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)

طبق تجزیه واریانس، اثر خشکی × ال-آرژنین × هیومی

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی، ال-آرژنین و هیومی فورته بر کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر) جعفری آفریقایی
Table 4. Mean comparison interaction effect of humi-forthi, L-arginine and drought stress on total chlorophyll in African marigold

		Drought (%FC)								
		100%			70%			40%		
		L-arginine (mM)			L-arginine (mM)			L-arginine (mM)		
	Control	1.5	3	Control	1.5	3	Control	1.5	3	
Humi-forthi	Control	0.93	0.99	0.92	1.02	1	1.05	0.7	0.86	0.8
	2.5 mg/l	def	cde	def	cde	cde	cde	f	ef	ef
	5 mg/l	1.38	1.18	1.02	0.86	1.28	1.17	0.82	0.88	0.87
		a	abc	cde	ef	ab	abcd	ef	ef	ef
		0.98	1.28	1.18	0.9	1.35	1.21	0.9	0.86	0.81
		cde	ab	abc	ef	a	abc	ef	ef	ef

Similar letters in each column show no significant difference.

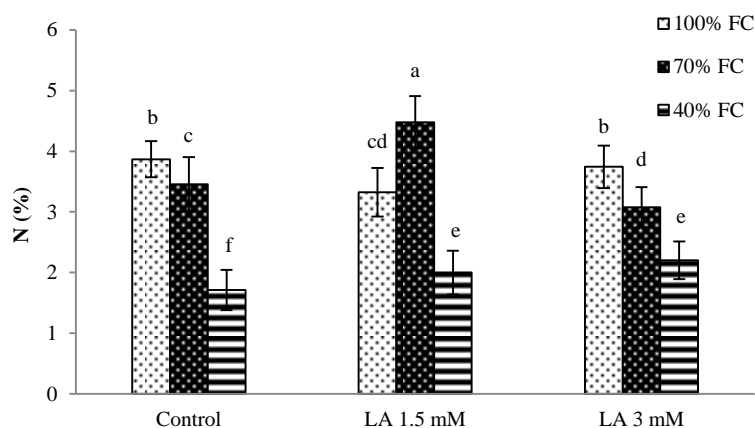
حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نبود تفاوت معنی دار می باشد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی، ال-آرژنین و هیومی فورته بر فعالیت آنزیم SOD در جعفری آفریقایی
Table 5. Mean comparison interaction effect of humi-forthi, L-arginine and drought stress on SOD activity in African marigold

		Drought (%FC)								
		100%			70%			40%		
		L-arginine (mM)			L-arginine (mM)			L-arginine (mM)		
		Control	1.5	3	Control	1.5	3	Control	1.5	3
Humi-forthi	Control	0.67 m	1.11 k	1.07 k	0.91 l	2.21 e	1.57 h	1.02 jk	2.03 f	1.63 gh
	2.5 mg/l	1.29 i	1.76 g	1.24 ij	2.4 d	2.84 b	2.47 d	2.2 e	2.32 de	1.78 g
	5 mg/l	1.53 h	1.77 g	1.25 ij	2.73 bc	3.12 a	2.86 b	2.62 d	2.73 c	2.03 f

Similar letters in each column show no significant difference.

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نبود تفاوت معنی‌دار می باشد.

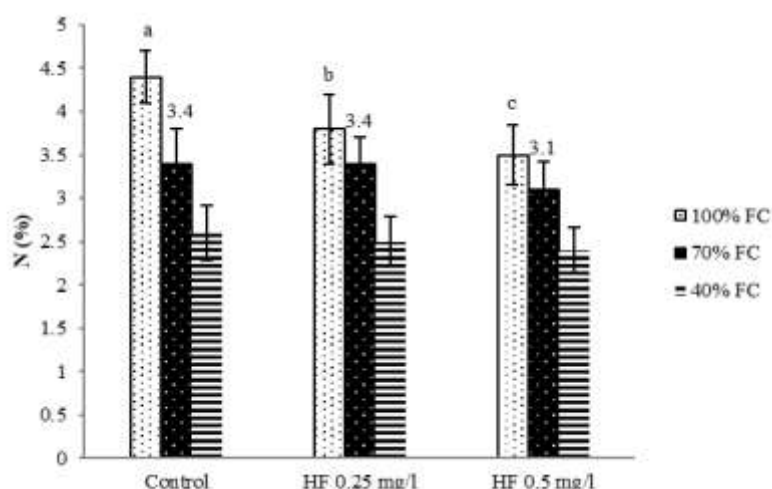


شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل ال-آرژنین (LA) و تنش خشکی بر نیتروژن برگ جعفری آفریقایی.

Figure 1. Mean comparison interaction effect of L-arginine (LA) and drought stress on leaf N in African marigold

شاهدگزارش شد (جدول‌های ۶ و ۷). بنابر این تنش خشکی عاملی مهم در کاهش فسفر و پتاسیم برگ گیاه جعفری آفریقایی است. Ramroodi *et al.* (2017) نشان دادند که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ گیاه کاسنی شده است که با نتایج تحقیق حاضر همسوست. Hussain *et al.* (2002) افزایش پتاسیم و کاهش نیتروژن را تحت تأثیر تیمارهای اسید آمینه گزارش کردند. برخی از اثرات آرژنین مشابه ترکیبات حاصل از متابولیسم آن است. به‌طور مثال نیتریک اسید (NO) یکی از ترکیبات حاصل از متابولیسم آرژنین می‌باشد. گزارش شده است که NO در گیاه *Populus euphratica* از طریق افزایش نسبت پتاسیم به سدیم سبب افزایش مقاومت گیاه به شوری شده است. بنابراین آرژنین نقش مهمی در افزایش پتاسیم برگ و ریشه دارد (Alcázar *et al.*, 2010) که چنین روندی نیز در پژوهش حاضر مشاهده شد.

همچنین اثر هیومی فورته × خشکی نیز معنی‌دار شد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن در تیمار هیومی فورته ۱۰۰×۵ درصد ظرفیت زراعی و کمترین مقدار آن در تیمار هیومی فورته شاهد × ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۲). بنابراین تیمارهای ال-آرژنین ۱/۵ و هیومی فورته ۵ به‌عنوان تیمارهای مهم جهت افزایش نیتروژن برگ و تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی دارای بالاترین پتانسیل جهت کاهش نیتروژن برگ می‌باشد. روند تغییرات تیمارها نشان داد که محرک‌های رشد ال-آرژنین و هیومی فورته سبب تعدیل تنش می‌شود اما شدت تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بیشتر از مقادیر اعمال شده ال-آرژنین و هیومی فورته می‌باشد. اثر خشکی × ال-آرژنین × هیومی فورته روی فسفر و پتاسیم برگ معنی‌دار شد. بیشترین مقدار پتاسیم و فسفر در تیمار خشکی ۱۰۰ + ال-آرژنین ۳ + هیومی فورته ۵ و کمترین مقدار آن در تیمار خشکی ۴۰ + ال-آرژنین شاهد + هیومی فورته



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل هیومی فورته (HF) و تنش خشکی بر نیتروژن برگ گیاه جعفری آفریقایی
Figure 2. Mean comparison interaction effect of humi-forthi (HF) and drought stress on leaf N in African marigold

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل هیومی فورته، ال-آرژنین و تنش خشکی بر پتاسیم (درصد) برگ جعفری آفریقایی
Table 6. Mean comparison interaction effect of humi-forthi (HF), L-arginine (LA) and drought stress on leaf K in African marigold

		Drought (%FC)								
		100%			70%			40%		
		L-arginine (mM)			L-arginine (mM)			L-arginine (mM)		
		Control	1.5	3	Control	1.5	3	Control	1.5	3
Humi-forthi	Control	3.47 i	3.57 fg	3.61 ef	3.02 m	3.3 l	3.25 l	2.42 r	2.44 qr	2.42 r
	2.5 mg/l	3.55 g	3.93 d	4.2 c	3.4 jk	3.43 ij	3.37 k	2.55 p	2.56 p	2.48 q
	5 mg/l	3.65 e	4.3 b	5.26 a	3.34 ij	3.49 hi	3.53 gh	2.6 p	2.66 o	2.77 n

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نبود تفاوت معنی دار می باشد. Similar letters in each column show no significant difference.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل هیومی فورته، ال-آرژنین و تنش خشکی بر فسفر (درصد) برگ جعفری آفریقایی
Table 7. Mean comparison interaction effect of humi-forthi (HF), L-arginine (LA) and drought stress on leaf P in African marigold

		Drought (%FC)								
		100%			70%			40%		
		L-arginine (mM)			L-arginine (mM)			L-arginine (mM)		
		Control	1.5	3	Control	1.5	3	Control	1.5	3
Humi-forthi	Control	0.019 lm	0.037 fg	0.032 hi	0.011 po	0.03 hij	0.024 jk	0.007 p	0.017 lmn	0.013 no
	2.5 mg/l	0.026 kj	0.05 d	0.067 b	0.016 mno	0.04 fe	0.025 jk	0.012 o	0.021 kl	0.027 kji
	5 mg/l	0.035 gh	0.062 c	0.072 a	0.022 lm	0.044 e	0.032 hi	0.014 mno	0.027 kji	0.035 gh

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نبود تفاوت معنی دار می باشد. Similar letters in each column show no significant difference.

نتیجه گیری کلی

۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده نشد. پس می توان تا ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، مصرف آب را کاهش داد. همچنین هیومی فورته ۵ میلی گرم در لیتر دارای بیشترین تأثیر مثبت در تعدیل آثار سوء ناشی از تنش خشکی بود. ال-آرژنین ۳ میلی مولار بیشترین تأثیر و شاهد کمترین تأثیر را بر صفات مورد بررسی داشتند.

در این تحقیق گل جعفری آفریقایی به دلیل اهمیت زیاد در فضای سبز از جنبه تنش خشکی و محرک های زیستی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین تأثیر نامطلوب بر صفات رشد، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه جعفری آفریقایی داشت. در اکثر صفات تفاوت معنی داری بین

REFERENCES

- Alcázar, R., Planas, J., Saxena, T., Zarza, X., Bortolotti, C., Cuevas, J. & Altabella, T. (2010). Putrescine accumulation confers drought tolerance in transgenic Arabidopsis plants over-expressing the homologous Arginine decarboxylase 2 gene. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(7), 547-552.
- Amiri, R., Nikbakht, A. & Etemadi, N. (2015). Alleviation of drought stress on rose geranium [*Pelargonium graveolens* (L.) Herit.] in terms of antioxidant activity and secondary metabolites by mycorrhizal inoculation. *Scientia Horticulturae*, 197, 373-380.
- Bhattacharyya, M. (2017). Use of marigold (*Tagetes* sp.) for the successful control of nematodes in agriculture. *The Pharma Innovation*, 6(11, Part A), 1.
- Bouvier, F., Isner, J. C., Dogbo, O. & Camara, B. (2005). Oxidative tailoring of carotenoids: a prospect towards novel functions in plants. *Trends in Plant Science*, 10(4), 187-194.
- Cak Mak, I., Wolfgang, H.P. & Bonnie, M.C. (2010). Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry*, 87(1), 10-20.
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L. & Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(7), 907-916.
- Escalona, A., Salas-Sanjuán, M. C., Santos, C. D. & Guzmán, M. (2014). The effect of water salinity on growth and ionic concentration and relation in plant tissues in *Zinnia elegans* and *Tagetes erecta* for use in urban landscaping. *ITEA*, 110(4), 325-334.
- Faraloni, C. & Torzillo, G. (2017). Synthesis of antioxidant carotenoids in microalgae in response to physiological stress. *Carotenoids. InTechOpen*, 143-157.
- Fox, K. F., Balevičius, V., Chmeliov, J., Valkunas, L., Ruban, A. V. & Duffy, C. D. (2017). The carotenoid pathway: what is important for excitation quenching in plant antenna complexes?. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19(34), 22957-22968.
- Guerra-Guimarães, L., Pinheiro, C., Chaves, I., Barros, D. R. & Ricardo, C. P. (2016). Protein dynamics in the plant extracellular space. *Proteomes*, 4(3), 22.
- Hussain, M. I., Shah, S. H., Hussain, S. A. J. J. A. D. & Iqbal, K. H. A. L. I. D. (2002). Growth, yield and quality response of three wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties to different levels of N, P and K. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4(3), 362-364.
- Jiang, Y. & Huang, B. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41(2), 436-442.
- Liao, P., Liu, D., Xu, T. R., Yang, Y. & Cui, X. (2017). Soil water stress attenuate the growth and development but enhance the saponin synthesis of *Panax notogesis* during flowering stage. *Industrial Crops and Products*, 108, 95-105.
- Liu, F., Xing, S., Ma, H., Du, Z. & Ma, B. (2013). Cytokinin-producing, plant growth-promoting rhizobacteria that confer resistance to drought stress in *Platycladus orientalis* container seedlings. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(20), 9155-9164.
- Mirseyedi, S. K., Nasiri, Y., Morshedloo, M. R. & Khalili, M. (2020). Evaluation of organic, chemical, biological and amino acids application on quantitative and qualitative characteristics of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different harvesting. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 50(4), 755-767. (in Farsi)
- Naghdibadi, H. A., Labafi, M. R., Ghavami, N., Ghaderi, A., Abdosi, V. & Mehrafrin, A. (2015). Phytochemical and morphological responses of *Thymus vulgaris* L. for biomimetic sprays based on amino acids and methanol. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants*. 14(54), 146-158. (in Farsi)
- Nathan L. J. (2011). *Arginine Amino Acid*, Nova Science Publishers, 267 p.
- Pan, Y., Wu, L. J. & Yu, Z. L. (2006). Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Plant Growth Regulation*, 49(2-3), 157-165.
- Park, Y. J., Park, S. Y., Valan Arasu, M., Al-Dhabi, N. A., Ahn, H. G., Kim, J. K. & Park, S. U. (2017). Accumulation of carotenoids and metabolic profiling in different cultivars of tagetes flowers. *Molecules*, 22(2), 313.
- Porcel, R. & Ruiz-Lozano, J. M. (2004). Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany*, 55(403), 1743-1750.
- Ramroodi, M., Rezaieenia, N., Gloeie, M. & Frozandeh, M. (2017). The effect of biological fertilizers on physiological properties and nutrients uptake of *Cichorium intibus* under drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(4), 25-32. (in Farsi)
- Sauheitl, L., Glaser, B. & Weigelt, A. (2009). Advantages of compound-specific stable isotope measurements over bulk measurements in studies on plant uptake of intact amino acids. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 23(20), 3333-3342.

23. Shafiei, N., Khaleghi, E. & Moallemi, N. (2019). Effect of salicylic acid on some morphological and physiological characteristics of olive cv. 'Konservalia' under water deficit condition. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 49(4), 881-890. (in Farsi)
24. Shekari, F., Mehrafarin, A., Naghdibadi, H.A. & Hajiaghaie, R. (2014). Foliar application of biotic stimulators on yield and yield components of *Plantago psyllium* L. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants*, 30(5), 811-820. (in Farsi)
25. Winter, G., Todd, C.D., Trovato, M., Forlani, G. & Funck, D. (2015). Physiological implications of arginine metabolism in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6, 223-231.
26. Yamori, W. & Shikanai, T. (2016). Physiological functions of cyclic electron transport around photosystem I in sustaining photosynthesis and plant growth. *Annual Review of Plant Biology*, 67, 81-106.
27. Zeier, J. (2013). New insights into the regulation of plant immunity by amino acid metabolic pathways. *Plant, Cell & Environment*, 36(12), 2085-2103.