Journal of Vegetables Sciences, Spring & Summer 2023, Vol 7, No 13(1), Pages 183-197

doi: 10.22034/IUVS.2022.553061.1203 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Evaluation of Glycine Amino Acid Application on Growth, Morphophysiological and Biochemical Characteristics of Cucumber under Deficit Irrigation Levels

Fateme Zargar Shooshtari[1], Mohammad Kazem Souri[2*], Mohammad Reza Hasandokht[3] and Sepideh Kalateh Jari[4]

1- Ph.D. Student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Sciences and Researches Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Crop sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources Unicersity, Sari, Iran

3- Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Alborz, Iran

4- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[*]**Corresponding author:** mk.souri@modares.ac.ir

(**Received:** 02 May 2022 **Revise:** 04 June 2022 **Accepted:** 18 June 2022)

Extended Abstract

1. **Introduction:** Water shortage is an integral part of our current agriculture, and water stress is one of the most destructive environmental factors which adversely affects agricultural production worldwide. According to several studies, water deficit causes reduction of vegetative growth, leaf area, plant height, dry weight, photosynthesis rate, chlorophyll content, stomatal conductance, enzymatic activities, protein biosynthesis and amino acids accumulation in horticultural plants. Increasing reactive oxygen species (ROS) rate and activity is the one of most damaging effects of drought stress. Cucumber is a tropical crop with high water requirement. Wide leaves and shallow roots have made it a drought-sensitive crop. Based on reports, water deficit and drought stress can seriously affect yield performance and qualitative characteristics of cucumber. Measurements are needed in different aspects to overcome challenges associated with water deficit and water stress in cropping systems. So, in this study glycine amino acid were applied for its possible role under mild water shortage effects on cucumber growth characteristics.
2. **Materials and Methods:** In order to investigate the influence of glycine amino acid application on alleviation of negative effects of deficit irrigation, a greenhouse experiment was conducted based on completely randomized design with four replications. Treatments were assessed at six levels including 60 % FC, 70 % FC, 80 % FC, 60 % FC + glycine 500 mg plant-1, 70 % FC + glycine 500 mg plant-1 and 80 % FC + glycine 500 mg plant-1. Some of most important morphophysiological and biochemical characteristics of cucumber plants such as stem length, stem dry weight, leaf number, leaf area, internode length, growth period duration, fruit number, fruit set, vitamin C, chlorophyll index, total antioxidant, proline, catalase, peroxidase and polyphenol oxidase enzymes content were evaluated.
3. **Results and Discussion:** Result showed that deficit irrigation and glycine amino acid application significantly influenced morphophysiological and biochemical characteristics of cucumber plant. It was observed that vegetative traits including leaf number, leaf area index, stem length and dry weight, length of internode, growth period duration, chlorophyll index, and fruit characteristics including vitamin C content and fruit set were significantly reduced by deficit irrigation levels particularly at 60 % FC. The highest fruit number (86.5) was recorded under 70 % FC and application of glycine. In contrast, antioxidant capacity, proline, catalase, polyphenol oxidase and peroxidase enzymes content increased under 60 % FC. Glycine application could properly alleviate the negative effects of deficit irrigation on plant growth and yield. Studies have shown that glycine application maintains chlorophyll content and photosynthesis rate of plants under stress condition, which is mostly related to increasing stomatal conductance and carboxylation efficiency. Generally, water deficit reduces the yield performance of crops. And, this reduction could be correlated with decreasing leaf area and disruption of nutrients absorption. According to results of this study, maintaining the photosynthetic pigments caused by glycine application resulted in enhanced photosynthesis rate leading to higher yield comparing to control under deficit irrigation conditions.
4. **Conclusion:** Generally, the results of the current study demonstrated that deficit irrigation at level of 60 % FC caused induction of drought stress conditions. Induction of water deficit and drought stress higher than 70 % FC led to sever physiological and biochemical changes in cucumber plants resulting in

considerable reduction of yield performance and qualitative characteristics. Water deficit increased proline content and antioxidant capacity (increasing the activity rate of antioxidant enzymes including catalase and peroxidase) of cucumber plants. Soil application of glycine amino acid alleviated the adverse effects of deficit irrigation. Because the highest fruit number was counted in 70 % FC + glycine 500 mg plant-1 treatment (with no significant difference with the control (80 % FC)), this treatment could be recommended to growers to save water consumption with no significant changes in yield performance comparing to control level.

Keywords: Antioxidant activity, Cucumber, Drought stress, Proline, Vegetables, Vitamin C

Citation: Zargar Shooshtari, F., Souri, M. K., Hasandokht, M. R. & Kalateh Jari, S. (2023). Evaluation of glycine amino acid application on growth, morphophysiological and biochemical characteristics of cucumber under deficit irrigation levels. *Journal of Vegetables Sciences*, 13(1), 183-197. doi: 10.22034/IUVS.2022.553061.1203

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال ۷، دوره ۱۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۲، صفحات (۱۹۷-۱۸۳)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/IUVS.2022.553061.1203

ارزیابی کاربرد اسیدآمینه گلایسین بر ویژگی‌های رشدی، مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی خیار تحت سطوح کم‌آبیاری

فاطمه زرگر شوشتری[۱]، محمدکاظم سوری[۲*]، محمدرضا حسندخت[۳] و سپیده کلاته جاری[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، البرز، ایران

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

*نویسنده مسئول: mk.souri@modares.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸)

چکیده

خشکی از مهم‌ترین عوامل بازدارنده دستیابی به تولید بهینه محصولات کشاورزی بوده که نیاز به راهکارهایی جهت کاهش اثرات آن می‌باشد. در این راستا تأثیر کاربرد اسیدآمینه گلایسین به‌عنوان ماده محرک رشد و ضد تنش بر ویژگی‌های خیار تحت شرایط کم‌آبیاری و در قالب طرح کاملاً تصادفی و به‌صورت گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. تیمارها شامل ترکیبی از کاربرد یا عدم کاربرد خاکی ۵۰۰ میلی‌گرم گلایسین بر گیاه و سطوح آبیاری (شاهد (۸۰٪ ظرفیت زراعی)، کم‌آبیاری در سطح ۷۰٪ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی خاک) در چهار تکرار بود. نتایج نشان داد که کاربرد اسیدآمینه گلایسین مخصوصاً تحت شدیدترین سطح کم‌آبیاری (سطح ۶۰٪ ظرفیت زراعی) اثرات منفی ناشی از کمبود آب و احتمالاً تنش را کاهش داده و رشد گیاه را بهبود بخشید. خصوصیات رشدی شامل تعداد برگ در بوته، سطح برگ، طول و وزن خشک ساقه، طول میانگره و طول دوره رشد بوته خیار، شاخص کلروفیل، میزان ویتامین ث و نسبت به میوه رفتن با افزایش سطح کم‌آبیاری کاهش یافت. در تمامی صفات رشدی و عملکردی، تیمار کاربرد خاکی گلایسین تحت شرایط بدون کم‌آبیاری (شاهد) در رده نخست قرار گرفت. در میان سطوح کم‌آبیاری، بالاترین تعداد میوه (۸۶/۵ عدد) در سطح آبیاری ۷۰٪ ظرفیت زراعی و با کاربرد گلایسین تولید شد. میزان تولید آنتی‌اکسیدان کل، آنزیم کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز و پرولین میوه در اثر کم‌آبیاری افزایش یافت و بیشترین میزان این مواد در تیمار کم‌آبیاری ۶۰ ٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد. با در نظرگرفتن تأثیر متعادل‌کننده تیمار گلایسین بر اثرات کم‌آبیاری بویژه در هنگام بروز تنش ملایم، می‌توان به کاربرد تیمار مذکور با هدف کاهش اثرات تنش و کاهش مصرف آب آبیاری، مبادرت ورزید.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش خشکی، خیار، سبزی‌ها، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ویتامین ث

استناد: زرگر شوشتری، ف.، سوری، م. ک.، حسندخت، م. ر. و کلاته جاری، س. (۱۴۰۲). ارزیابی کاربرد اسیدآمینه گلایسین بر ویژگی‌های رشدی، مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی خیار تحت سطوح کم‌آبیاری. *علوم سبزی‌ها*، ۱۳(۱)، ۱۹۷-۱۸۳.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

خشکسالی و تنش خشکی در واقع عدم وجود رطوبت کافی در چرخه زندگی گیاه است که باعث اختلال در روند طبیعی رشد می‌گردد (Haden *et al*., 2012) و اغلب منجر به کاهش عملکرد محصول می‌شود. گیاهان در طول دوره رشد خود با تنش‌های محیطی زیادی مواجه می‌شوند که هر یک از این تنش‌ها می‌توانند با توجه به مرحله رشد و میزان حساسیت گونه گیاهی آثار متفاوتی بر رشد و نمو و عملکرد داشته باشند و سبب تغییرات مولکولی، بیوشیمیایی، متابولیکی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی متعددی شوند که این امر موجب اُفت شدید در رشد گیاه و در نتیجه کاهش محصول می‌شود (Bandurska, 2022). پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی متفاوت است و به نوع، شدت و مدت تنش، زمان وقوع، مرحله رشد و گونه گیاهی بستگی دارد (Wu *et al*., 2022). مطالعات نشان داده است که کمبود آب سبب کاهش رشد اندام‌های گیاه، سطح برگ، ارتفاع، وزن خشک، فتوسنتز و تعرق، محتوای کلروفیل، تبادلات گازی، فعالیت آنزیم‌ها، سنتز پروتئین‌ها و تجمع اسیدهای آمینه می‌شود (Li *et al*., 2014). تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن از اولین واکنش‌های گیاه در برابر بروز تنش می‌باشد (Ebrahimi *et al*., 2021). همچنین خشکی منجر به افزایش شوری خاک به‌عنوان تنش ثانویه می‌گردد (Alomran *et al*., 2013).

خیار از گیاهان بومی مناطق گرمسیر است و معمولاً مصرف آب بالایی دارد و با داشتن ریشه‌های کم عمق و برگ گسترده، به خشکی و شوری حساس است (Li *et al*., 2014) و اغلب کمیت و کیفیت محصول شدیداً تحت شرایط کم آبی آسیب می‌بینند (Souri *et al*., 2017; Farag *et al*., 2019). گیاهان برای کاهش اثر سوء کمبود آب و تنش خشکی از مکانیزم‌های متابولیسمی مختلفی استفاده می‌کنند. یکی از مکانیزم‌های گیاهان جهت تحمل تنش‌های زیستی و غیرزیستی، تغییر در غلظت محلول‌های سازگارکننده است. تجمع تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و محلول‌های سازگارکننده از طریق جلوگیری از پراُکسیداسیون چربی‌های غشاء و با کاهش اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن و نیز با حفاظت از پروتئین‌های غشاء، به سلامت و یکپارچگی غشاء کمک می‌کند و باعث افزایش تحمل به تنش می‌شود (Zhang *et al*., 2008). گلایسین یک اسیدآمینه کلیدی در گیاه است که در تعادل با یکی از مشتقات آن یعنی گلایسین بتائین می‌باشد (Souri & Hatamian, 2019). اخیراً اثرات مفید و محرک کاربرد خارجی اسیدهای آمینه گلایسین و گلوتامین در رشد گیاه به‌خوبی نشان داده شده است (Aghaye Noroozlo *et al*., 2019). گلایسین بتائین یکی از معمول و متداول‌ترین اسیدهای آمینه در گیاهان می‌باشند که از طریق تنظیم اُسمزی سلول، حفاظت از پروتئین‌ها و غشاهای سلولی در مقابل دماهای بالا، پایداری غشاء، خنثی‌سازی سمیت انواع گونه‌های اکسیژن فعال، کاهش آسیب سلولی و محافظت از آنزیم‌های مختلف، در شرایط تنش نقش تنظیم‌کننده اُسمزی را دارد و تحمل گیاهان را افزایش می‌دهد (Ahmed *et al*., 2019). برخی مطالعات نشان‌دهنده این مطلب است که کاربرد برگی گلایسین بتائین می‌تواند منجر به افزایش مقاومت به تنش های غیرزنده در گیاهان گردد. Moosavi-Nejhad و همکاران (۲۰۲۱) بیان داشتند که کاربرد اسیدآمینه گلایسین بتایین به‌عنوان ماده تنظیم‌کننده اُسمزی آلی می‌تواند در شرایط تنش، وزن خشک، سطح برگ، ترکیبات اُسمزی و مقاومت گیاه خیار را افزایش دهد. گزارش شده است که کاربرد گلایسین نیز می‌تواند مشابه گلایسین بتائین در بهبود رشد محصولات زراعی و تولید کمی و کیفی آن‌ها مؤثر باشد. این تأثیر مثبت در مورد خیار (Zargar Shooshtari *et al*., 2020)، گشنیز (Mohammadipour & Souri, 2019) و لوبیا (Souri & Aslani, 2018) نشان داده شده است.

از آنجا که کمبود آب از مهمترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد محصولات به‌شمار می‌آید، مطالعه مکانیزم‌های تحمل گیاهان به تنش ضروری می‌باشد. در این میان، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد

گیاهی و اسیدهای آمینه در بهبود و کاهش اثرات مضر تنش در گیاهان می‌تواند مؤثر و سودمند باشد. بنابراین، با توجه به ارزش غذایی میوه خیار و لزوم تأمین امنیت غذایی با افزایش عملکرد در واحد سطح، آزمایش حاضر با هدف بررسی تأثیر گلایسین بر خصوصیات آنتی-اکسیدانی و بیوشیمیایی این گیاه در شرایط کم‌آبیاری انجام شد.

مواد و روش ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد اسیدآمینه گلایسین بر تعدیل اثرات کم‌آبیاری و تنش خشکی در خیار، پژوهشی در قالب طرح کاملاً تصادفی و به‌صورت گلخانه‌ای در سازه‌ای پلاستیکی واقع در منطقه جنوب تهران در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. در این پژوهش، رشد و نمو و ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ و میوه در پاسخ به کاربرد اسیدآمینه گلایسین تحت شرایط سطوح مختلف کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش، ترکیبی از سطوح آبیاری و کاربرد و یا عدم کاربرد خاکی گلایسین به مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم بر بوته بود (بر اساس نتایج آزمایش اولیه) و شامل: شاهد (آبیاری در ظرفیت مزرعه‌ای بدون کاربرد گلایسین)، کم‌آبیاری سطح یک (۷۰ ٪ ظرفیت زراعی)، کم‌آبیاری سطح دو (۶۰ ٪ ظرفیت زراعی) و هر کدام با و یا بدون کاربرد تیمار گلایسین بود. نوع بافت خاک استفاده‌شده در آزمایش، لومی- شنی بود. نتایج تجزیه خاک، در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک مورداستفاده

Table 1- Physico-chemical characteristics of used soil

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS\ m^{-1}$)	درصد مواد خنثی‌شونده T.N.V	مواد آلی (٪) Organic matter (%)	نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) N ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K ($mg\ kg^{-1}$)
7.3	1.78	13.4	0.47	0.19	11	312

بذور خیار رقم "ناگین" (cv. 'Nagin') در بستری حاوی کوکوپیت، شن و پرلیت کشت شدند. قبل از تولید ۴ برگ حقیقی، تمامی نشاءها یک مرتبه با کود کامل ۲۰-۱۵-۲۰ کودآبیاری شدند. تا رسیدن نشاءها به مرحله چهار برگی تمامی گلدان‌ها با مقدار مساوی از آب، آبیاری شدند. نشاءها در مرحله ۴ برگی به شرایط آزمایشی منتقل شده و تیمارها بر روی آن‌ها اعمال گردید. گلدان‌های مورداستفاده دارای حجم ۱۲-۱۰ لیتر بوده که با حدود ۱۰ کیلوگرم خاک مورد نظر (با ثبت ویژگی‌های تیماری موردنظر روی آن) پر شدند. برای اعمال سطوح کم‌آبیاری، از روش وزنی استفاده شد (رابطه ۱). ابتدا به‌منظور تعیین ظرفیت نگهداری آب خاک، مقداری خاک توزین شد، سپس درون آون قرار داده شد و پس از ۴۸ ساعت، خاک مجدداً وزن شد و میزان آب موجود در خاک محاسبه گردید. در مرحله بعد، خاک خشک در گلدان ریخته شد و به‌آرامی و تا حد اشباع، آب به آن اضافه گردید و تا روز بعد رها شد. پس از آن، گلدان حاوی خاک اشباع وزن شد و مقدار آب نسبت به خاک خشک در حالت ظرفیت زراعی خاک بدست آمد و تیمارهای مختلف آبیاری بر این اساس محاسبه شدند (Darabi *et al.*, 2011).

رابطه ۱ $(A-B/B)\times100$ = میزان رطوبت وزنی برای وضعیت ظرفیت زراعی

A = وزن خاک مرطوب پس از خروج آب ثقلی

B = وزن خاک خشک‌شده در دمای ۱۰۵ درجه آون

طی دوره آزمایش توزین گلدان‌ها و جبران آب از دست‌رفته آن‌ها بصورت روزانه و معمولاً در زمان بعد ازظهر با آبیاری تا رسیدن به سطح تیمار مربوطه صورت پذیرفت.

اسیدآمینه گلایسین (ساخت کشور چین و شرکت شانگهای متکس) به‌صورت سه تقسیط مساوی و با

کاربرد نهایی ۵۰۰ میلی‌گرم بر بوته (هر بار کاربرد ۱۶۶/۷ میلی‌گرم) مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا مقادیر مورد نظر در مقداری آب (بسته به مرحله رشد و کاربرد حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر تا ۱ لیتر) حل شده و سپس، با توجه به تیمار مورد نظر و مقدار آب مورد نیاز آن، به پای بوته در گلدان ریخته شد. اولین کاربرد گلایسین دو هفته بعد از انتقال نشاء صورت گرفت و کاربردهای بعدی به‌فاصله ۵ و ۸ هفته بعد از انتقال نشاء انجام گردید. اعمال تیمارهای کم‌آبیاری نیز ۳ هفته بعد از انتقال نشاء شروع و تا زمان برداشت ادامه یافتند و تا قبل از شروع تیمارها همه گلدان‌ها بصورت یکنواخت و روزانه در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری می‌شدند.

در طی فصل رشد مراقبت از گیاهان از جمله کنترل علف‌های هرز، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و تغذیه صورت گرفت. دمای گلخانه در طول مدت آزمایش بر روی ۲۶ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد در شب بود و رطوبت نسبی بر روی ۵۰ تا ۷۰ درصد تنظیم شد.

صفات مورد ارزیابی شامل طول و وزن خشک ساقه، تعداد برگ در بوته، سطح برگ، طول میانگره، طول دوره رشد بوته خیار، شاخص کلروفیل، میزان ویتامین ث، نسبت به میوه رفتن (تبدیل شکوفه به میوه)، میزان آنتی اکسیدان، محتوای پرولین و میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز بود.

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص کلروفیل، مقدار کلروفیل در دو مرحله شامل زمان رشد کامل برگ‌ها و رسیدن گیاه به مرحله گلدهی و همچنین در اواخر دوره رشد، اندازه‌گیری شد. از هر تکرار دو گیاه و از هر کدام ۱۰ برگ جوان بالغ کاملاً توسعه‌یافته انتخاب گردید و از قسمت‌های میانی پهنک نمونه‌برداری و قرائت انجام گرفت. میانگین داده‌ها در هر دوره محاسبه شده و در نهایت میانگین دو دوره به‌عنوان عدد مرتبط با نمونه کلروفیل یادداشت‌برداری شد (Zargar Shooshtari *et al.*, 2020). اندازه‌گیری ویتامین ث به‌روش تیتراسیون با محلول رنگی دی کلروفنول ایندوفنول انجام پذیرفت (Souri & Aslani, 2018).

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی، یک میلی‌لیتر از عصاره متانولی با یک میلی‌لیتر DPPH به غلظت ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط گردید. برای شاهد از متانول خالص استفاده شد. نمونه‌ها ۳۰ دقیقه در شرایط بدون نور نگهداری شدند و سپس قرائت در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. میزان آنزیم‌های کاتالاز و پلی‌فنول اکسیداز به‌روش Chance و Maehly (۱۹۹۵) و آنزیم پراکسیداز به‌روش Kar و Mishra (۱۹۷۶) اندازه‌گیری شد. میزان پرولین میوه به‌روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد.

داده‌های بدست آمده با نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم افزار EXCEL ترسیم شدند.

نتایج و بحث

بیشترین و کمترین طول دوره رشد به‌ترتیب مربوط به تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با مصرف گلایسین (۱۲۹/۲۵ روز) و تیمار آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بدون کاربرد گلایسین (۱۰۵/۵۰ روز) بود. کمترین میزان طول میانگره در تیمار ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد گلایسین حاصل شد که نسبت به شاهد ۱۹/۶۵ درصد کاهش نشان داد. بیشترین طول میانگره در شرایط ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد گلایسین بدست آمد که نسبت به شاهد ۷/۴۲ درصد افزایش داشت. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان شاخص سطح برگ در تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد گلایسین حاصل شد؛ اگر چه نسبت به تیمار شاهد (۸۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد اسید آمینه) افزایش کمی نشان داد اما تفاوت این دو معنی‌دار نبود. کمترین تعداد برگ در بوته‌های تحت کم‌آبیاری سطح ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تولید شد که نسبت به شاهد (۸۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد اسیدآمینه) ۱۰/۴۵ درصد کاهش نشان داد. بیشترین تعداد برگ در تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد

اسیدآمینه گلایسین بدست آمد. تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد اسیدآمینه گلایسین، بیشترین میزان وزن خشک ساقه حاصل شد که نسبت به شاهد (۸۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد اسیدآمینه) ۲۳/۲۷ درصد افزایش نشان داد. بیشترین طول ساقه به‌ترتیب در تیمارهای شاهد و کم‌آبیاری سطح یک توام با کاربرد اسیدآمینه گلایسین حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲).

در مطالعه Ghahremani و همکاران (۲۰۲۱) نیز کاهش رشد، تعداد برگ و عملکرد میوه خیار در اثر اعمال تنش خشکی گزارش شد. در این پژوهش بررسی مجموع ویژگی‌های گیاهی بیانگر وجود تنشی ملایم از خشکی در سطح کم‌آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود. وقوع خشکی و کمبود آب قابل دسترس تمام جنبه‌های عملکرد سلول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. صدمه به ریشه سبب کاهش جذب آب و مواد معدنی و در نتیجه اختلال در رشد گیاه می‌گردد. کاهش رشد ریشه و به‌دنبال آن اختلال در انتقال مواد، سبب بروز اثرهای ثانویه ناشی از کمبود مواد غذایی می‌شود (Osmolovskaya *et al.*, 2018). سنتز برخی از هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکینین و اکسین و بسیاری از اسیدهای آمینه در ریشه گیاه، در اثر خشکی دچار اختلال می‌شود که به کاهش رشد شاخساره گیاه می‌انجامد (Ulaha *et al.*, 2018). کمبود آب قابل دسترس، تولید و رشد برگ جدید را محدود می‌کند و از طرفی بر سرعت پیر شدن برگ‌ها می‌افزاید که این دو به کاهش تولید زیست‌توده و عملکرد منجر می‌گردد (Ebrahimi *et al.*, 2021). علت بهبود رشد گیاهان تحت بیشترین سطح کم‌آبیاری یا تنش در اثر کاربرد گلایسین ممکن است به توانایی تحریک رشد آن وابسته باشد که موجب رشد هیپوکوتیل، رشد و توسعه سلولی و نیز آزاد کردن پیوند آبی متصل به پروتئین می‌شود. این فرآیندها در مجموع سبب دسترسی ریشه‌چه و ساقه‌چه به آب، طویل شدن آن‌ها و افزایش ماده خشک می‌شوند (Mohanty *et al.*, 2006).

بیشترین میزان شاخص کلروفیل برگ (۴۳) تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و مصرف اسیدآمینه گلایسین حاصل شد. کمترین میزان آن (۳۷/۵۰) در تیمار کم‌آبیاری سطح دو (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده گردید. بیشترین میزان ویتامین ث در شرایط ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد اسیدآمینه گلایسین (۱/۱۲ میلی‌گرم در صد گرم وزن تر) تولید شد که نسبت به شاهد ۲۷/۲۷ درصد افزایش نشان داد. براساس نتایج، در تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد اسید-آمینه بوته‌های بیشتری به میوه رفتند (۹۴ درصد)، اگرچه این تیمار با شرایط شاهد (۹۲/۲۵ درصد) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین بوته‌هایی که به میوه‌دهی رسیدند (۷۸/۵۰ درصد) در تیمار کم‌آبیاری سطح دو یعنی ۶۰٪ ظرفیت زراعی خاک مشاهده شدند. بیشترین تعداد میوه در شرایط ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد اسیدآمینه گلایسین (۸۸/۷۵ عدد) با تفاوت غیرمعنی‌دار با شرایط شاهد (۸۷/۵۰ عدد) و تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد اسید آمینه (۸۶/۵۰ عدد) حاصل شد (جدول ۳).

در بسیاری از گیاهان کمبود ملایم آب می‌تواند ابتدا منجر به افزایش سبزینگی برگ گردد (Ebrahimi *et al.*, 2021)، ولی اغلب با افزایش کمبود آب و تنش، سنتز کلروفیل در برگ گیاهان متوقف می‌گردد و رنگ برگ‌ها زرد می‌شود که بیانگر کمبود کلروفیل است (Shin *et al.*, 2021). نشان داده شده است که کاربرد گلایسین همواره منجر به افزایش کلروفیل برگ و فتوسنتز گیاه، مخصوصاً در شرایط تنش خشکی می-گردد که بیشتر به‌علت افزایش هدایت روزنه‌ای و کارایی کربوکسیلاسیون در جذب دی اکسید کربن است (Ulaha *et al.*, 2018; Aghaye Noroozlo *et al.*, 2019). معمولاً با افزایش سطح تنش و یا شدت کمبود آب در محیط ریشه گیاهان، عملکرد آن‌ها بیشتر کاهش می‌یابد. دلیل کاهش عملکرد تحت این شرایط به کاهش شاخص سطح برگ و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی مرتبط است که در نهایت منجر به کاهش تولید مواد پرورده و عملکرد می‌شود

(Ebrahimi *et al.*, 2021). در مطالعه حاضر، تیمار گلایسین سبب حفظ رنگیزه‌های فتوسنتزی مخصوصاً تحت شرایط تنشی شد و ممکن است یکی از دلایل حفظ رشد و کاهش آسیب تنش خشکی به گیاهچه‌های خیار در این شرایط باشد. با توجه به اینکه احتمالاً اولین مکان دریافت تنش، فتوسیستم II است، بنابراین تنش سبب کاهش فلورسانس این فتوسیستم و توقف فعالیت‌های فتوسنتزی می‌شود. در برخی مطالعات بهبود فتوسنتز در اثر کاربرد گلایسین در گیاهان تحت شرایط کمبود آب، به تأثیر مثبت این اسیدآمینه بر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II ارتباط داده شد (Ahmed *et al.*, 2019). نشان داده شده است که کاربرد اسیدهای آمینه و مخصوصاً گلایسین در سبزی‌های مختلف منجر به افزایش تحمل آن‌ها به خشکی و شوری می‌گردد (Thakur & Rai, 1982; Abdul-Qados, 2009).

کمترین مقدار آنزیم پلی‌فنول اکسیداز تحت تیمار شاهد و کاربرد گلایسین و بیشترین مقدار آن تحت شرایط کم‌آبیاری سطح دو (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) حاصل شد. تیمار شاهد همراه با کاربرد گلایسین منجر به کمترین مقدار آنزیم پراکسیداز گردید؛ در حالیکه بیشترین میزان این آنزیم در کم‌آبیاری سطح دو (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد. بیشترین آنزیم کاتالاز تولیدشده تحت شرایط تنش آبی سطح دو (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد همراه با کاربرد گلایسین مشاهده گردید (جدول ۴).

مواد محرک رشد مانند اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی و دیگر مواد اغلب از طریق افزایش و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه منجر به بهبود تحمل گیاهان به شرایط تنشی می‌شوند (Souri & Hatamian, 2019). در خیار (Kim *et al.*, 2019) و کدو (Biareh *et al*, 2022) گزارش شده است که با تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش، میزان تولید آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش می‌یابد. گونه‌های واکنشگر اکسیژن دو وظیفه اصلی بر عهده دارند. در شرایط تنش و در غلظت‌های کم در انتقال سیگنال دفاعی نقش دارند، سبب بهبود فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و حذف رادیکال‌های اضافه از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شوند و نیز تحمل گیاه به تنش را افزایش می‌دهند. اما، در غلظت‌های بالا، مرگ سلول را در پی دارند (Korkmaz *et al.*, 2012; Dong *et al.*, 2013). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداسیونی ایجادشده، دارای سیستم دفاعی با کارایی بالایی هستند که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین برده و یا خنثی کنند. این سیستم دفاعی شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز و گایاکول پراکسیداز) می‌باشد. با به‌هم خوردن تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه، تنش اکسیداتیو روی می‌دهد (Sharma & Dubey, 2005). هنگام بروز تنش خشکی، با کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز و دیگر آنزیم‌ها، میزان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش می‌یابد. بنابراین، افزایش مقدار تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به‌عنوان راهکاری برای افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی است (Dong et al., 2013). به‌طور مشابهی در ریشه نشاءهای خیار در هنگام مواجه با تنش خشکی مقدار تولید آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت (Fan *et al.*, 2014).

مقایسه میانگین نتایج اثر تیمارها نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین میزان پرولین به‌ترتیب تحت تیمار شاهد همراه با کاربرد گلایسین (۱/۵۳ میکرومول بر گرم وزن تر) و تیمار کم‌آبیاری سطح دو (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (۳/۳۳ میکرومول بر گرم وزن تر)، تولید شد (جدول ۴). نتایج مشابهی در افزایش تولید پرولین در خیار تحت تنش خشکی گزارش شده است (Li *et al.*, 2019). محققان با کاربرد اسیدهای آمینه بر روی گیاهچه‌های فلفل و ذرت تحت تنش شوری و خشکی به نتایج مشابهی دست یافتند (Thakur & Rai, 1982; Korkmaz *et al.*, 2012). پرولین یکی از محافظت‌کننده‌های اسمزی است و با تأثیر بر فعالیت

آنتی‌اکسیدانی گیاه و از بین بردن رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل، ممکن است یکی از دلایل افزایش تحمل تنش سرمایی در گیاهچه‌های خیار در اثر کاربرد گلایسین بتائین باشد (Ashraf & Foolad, 2007). بررسی میزان تولید پرولین به‌عنوان شاخص مقاومتی گیاه در ارزیابی‌ها استفاده می‌شود. پرولین به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای نیتروژن در شرایط تنش خشکی در گیاه افزایش پیدا کرده و با کاهش پتانسیل اسمزی و حفظ فشار آماس سبب افزایش تحمل گیاه به تنش می‌گردد. افزایش میزان پرولین در اثر تنش خشکی در گوجه‌فرنگی (Jurekova *et al*., 2011)، نخودفرنگی (Shinde & Thakur, 2015)، لوبیا چشم‌بلبلی (Ardabili *et al*., 2013)، پیاز (Amiri Forotaghe *et al*., 2022) و فلفل (Ahmadi & Souri, 2019) گزارش شده است. افزایش تجمع پرولین در اندام‌های گیاهی مخصوصاً برگ‌ها سازوکاری برای تعدیل اسمزی تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد (Ashraf & Foolad, 2007). در مطالعات، افزایش میزان سنتز پرولین تحت شرایط تنشی و با کاربرد مواد محرک رشد مانند اسیدهای آمینه به‌خوبی نشان داده شده است (Souri & Hatamian, 2019). درباره افزایش تولید پرولین در گیاه، در اثر مصرف اسیدآمینه گلایسین می‌توان به این نکته اشاره کرد که سنتز آمینواسیدهایی نظیر پرولین در داخل سلول‌های گیاهی از طریق گلوکز شروع می‌شود که گلایسین در اولین مسیر چرخه از طریق glycerate-p-3 و سرین به وجود آمده؛ در حالی که سنتز پرولین در مراحل پایانی چرخه سنتز آمینواسیدها قرار دارد. کاربرد برگی گلایسین و یا گلایسین بتائین و جذب سلولی آن موجب می‌شود که مسیر سنتز آمینواسیدها به‌جای سنتز گلایسین به سمت تولید پرولین و دیگر آمینواسیدها حرکت کند. بررسی‌های مختلف نشان‌دهنده این مطلب است که تمامی گیاهان توانایی تجمع اسمولیت‌های آلی برای کاهش آثار زیانبار تنش‌های غیرزنده محیطی را ندارند. البته امکان القای اسمولیت‌های آلی مختلف از جمله گلایسین بتائین به این گیاهان وجود داشته و از این طریق می‌توان اثرات زیانبار تنش‌های محیطی را بر گیاهان مذکور کاهش داد (Korkmaz *et al*., 2012). براساس نتایج، کمترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار کم‌آبیاری سطح دو (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) با کاربرد گلایسین (۷/۳۸ درصد) حاصل شد که نسبت به تیمارکم‌آبیاری سطح دو (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (۹/۰۷ درصد) با بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی، ۲۴ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد تیمار گلایسین قادر است با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه در مقایسه با گیاهان شاهد، به‌نحو مؤثرتری رادیکال‌های آزاد و از جمله پراکسید هیدروژن را خنثی کند و پایداری غشای پلاسمایی را سبب شود که با نتایج کاربرد گلایسین در گیاه فلفل تطابق دارد (Korkmaz *et al*., 2012).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات کاربرد اسیدآمینه گلایسین بر صفات رشدی خیار تحت سطوح کم‌آبیاری

Table 2- Mean comparison of effects of glycine amino acid application on growth traits of cucumber under deficit irrigation levels

تیمار Treatment	طول دوره رشد (روز) Growth period duration (d)	طول میانگره (سانتی‌متر) Internode length (cm)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf area (cm^2)	تعداد برگ Leaf number	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (g)	طول ساقه (سانتی‌متر) Stem length (cm)
شاهد (۸۰ درصد ظرفیت زراعی) Control (80 % FC)	126.75^{ab}	8.09^{ab}	3846.75^{a}	50.25^{b}	42.25^{ab}	372.50^{ab}
کم‌آبیاری سطح یک (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) First level of deficit irrigation (70 % FC)	118.75^{bc}	7.13^{cd}	3695.25^{bc}	49.25^{b}	40.188^{b}	370.00^{ab}
کم‌آبیاری سطح دو (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) Second level of deficit irrigation (60 % FC)	105.50^{d}	6.50^{d}	3568.25^{c}	45.00^{d}	36.10^{c}	347.00^{c}
شاهد + گلایسین Control + glycine	129.25^{a}	8.69^{a}	3930.50^{a}	52.25^{a}	44.50^{a}	381.75^{a}
کم‌آبیاری سطح یک + گلایسین First level of deficit irrigation + glycine	124.50^{abc}	7.83^{abc}	3712.75^{b}	50.25^{b}	42.40^{ab}	374.75^{a}
کم‌آبیاری سطح دو + گلایسین Second level of deficit irrigation + glycine	116.75^{c}	7.58^{bc}	3701.50^{bc}	47.25^{c}	39.78^{b}	362.00^{b}

وجود حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار تیمارها در صفت مورد نظر می‌باشد (آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد)

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD test at 5 % probability level)

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات رشدی، میوه‌دهی و خصوصیات کیفی خیار تحت تیمار گلایسین و سطوح کم‌آبیاری

Table 3- Mean comparison of growth, fruiting and qualitative characteristics of cucumber under glycine treatment and deficit irrigation levels

تیمار Treatment	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	ویتامین ث (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) Vitamin C (mg 100 g^{-1} FW)	نسبت تبدیل به میوه (٪) Fruit set (%)	تعداد میوه Fruit Number
شاهد (۸۰ درصد ظرفیت زراعی) Control (80 % FC)	41.50^{b}	0.91^{ab}	92.25^{a}	87.50^{a}
کم‌آبیاری سطح یک (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) First level of deficit irrigation (70 % FC)	40.50^{b}	0.88^{b}	87.75^{bc}	85.00^{ab}
کم‌آبیاری سطح دو (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) Second level of deficit irrigation (60 % FC)	37.50^{c}	0.85^{b}	78.50^{d}	78.50^{c}
شاهد + گلایسین Control + glycine	43.00^{a}	1.12^{a}	94.00^{a}	88.75^{a}
کم‌آبیاری سطح یک + گلایسین First level of deficit irrigation + glycine	41.50^{b}	0.97^{ab}	91.25^{ab}	86.50^{a}
کم‌آبیاری سطح دو + گلایسین Second level of deficit irrigation + glycine	40.00^{b}	0.95^{ab}	84.50^{c}	85.00^{ab}

وجود حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار تیمارها در صفت مورد نظر می‌باشد (آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد)

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD test at 5 % probability level)

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات فیتوشیمیایی خیار تحت کاربرد اسید آمینه گلایسین و سطوح کم‌آبیاری

Table 4- Mean comparisons of some of cucumber phytochemical traits under glycine and deficit irrigation levels

تیمار Treatment	پلی‌فنول اکسیداز (میلی‌گرم پروتئین بر گرم وزن تر) Polyphenol oxidase (mg Protein g^{-1} FW)	پراکسیداز (میلی‌گرم پروتئین بر گرم وزن تر) Peroxidase (mg Protein g^{-1} FW)	کاتالاز (میلی‌گرم پروتئین بر گرم ورن تر) Catalase (mg Protein g^{-1} FW)	پرولین (میکرو مول بر گرم وزن تر) Proline (µm g^{-1} FW)	آنتی‌اکسیدان کل (٪) Total antioxidant (%)
شاهد (۸۰ درصد ظرفیت زراعی) Control (80 % FC)	0.18^{bc}	0.68^{cd}	0.46^{bc}	2.05^{cd}	7.78^{bc}
کم‌آبیاری سطح یک (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) First level of deficit irrigation (70 % FC)	0.17^{bcd}	0.75^{ab}	0.50^{ab}	2.43^{bc}	8.32^{bs}
کم‌آبیاری سطح دو (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) Second level of deficit irrigation (60 % FC)	0.23^{a}	0.80^{a}	0.54^{a}	$۳/۳۳^{a}$	9.07^{a}
شاهد + گلایسین Control + glycine	014^{d}	0.60^{e}	0.38^{c}	1.53^{e}	7.28^{c}
کم‌آبیاری سطح یک + گلایسین First level of deficit irrigation + glycine	0.15^{cd}	0.65^{de}	0.42^{bc}	1.88^{de}	8.15^{b}
کم‌آبیاری سطح دو + گلایسین Second level of deficit irrigation + glycine	0.19^{b}	0.73^{bc}	0.47^{ab}	2.60^{d}	8.38^{b}

وجود حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار تیمارها در صفت مورد نظر می‌باشد (آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد)

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD test at 5 % probability level)

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که کم‌آبیاری در سطح دوم (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) منجر به اعمال شرایط تنش خشکی بر گیاهان خیار گردید. با افزایش سطح کم‌آبیاری از ۷۰ به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، صفات رشدی و میوه‌دهی و خصوصیات کیفی کاهش یافتند. در مقابل، میزان پرولین، کاتالاز، پلی‌فنل اکسیداز، پراکسیداز و آنتی‌اکسیدان کل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد خاکی اسیدآمینه گلایسین اثرات منفی ناشی از کمبود آب را کاهش داده و رشد گیاه خیار را بهبود بخشید. نتایج حاکی از تأثیر مثبت کاربرد خاکی گلایسین در کاهش اثرات سوء تنش و بهبود رشد خیار در شرایط تنش خشکی بود. از آنجا که بالاترین تعداد میوه به‌عنوان صفت موثر در عملکرد محصول، در تیمار کم‌آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و با کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم اسیدآمینه گلایسین تولید شد و این تفاوت قابل ملاحظه‌ای با تیمار بدون تنش نداشت، می‌توان این تیمار را جهت کاهش مصرف آب بدون تآثیر منفی بر مقدار عملکرد در سطوح تجاری توصیه نمود.

References

- Abdul-Qados, A. M. S. (2009). Effect of arginine on growth, yield and chemical constituents of wheat grown under salinity condition. *Academic Journal of Plant Sciences* 2, 267-78.
- Ahmadi, M. & Souri, M. K. (2019). Nutrient uptake, proline content and antioxidant enzymes activity of pepper (*Capsicum annuum* L.) under higher electrical conductivity of nutrient solution created by nitrate or chloride salts of potassium and calcium. *Acta Scientiarum Polonorum-HORTORUM CULTUS* 18(5), 113-122.
- Ahmed, N., Zhang, Y., Li, K., Zhou, Y., Zhang, M. Li, Z. (2019). Exogenous application of glycine betaine improved water use efficiency in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) via modulating photosynthetic efficiency and antioxidative capacity under conventional and limited irrigation conditions. *The Crop Journal* 7, 635-650.
- Alomran A.M., Louki, I., Aly, A. A., Nadeem, M. E. (2013). Impact of deficit irrigation on soil salinity and cucumber yield under greenhouse condition in an arid environment. *Journal of Agricultural Science and Technology* 15, 1247-1259.
- Amiri Forotaghe, Z., Souri, M. K., Ghanbari Jahromi, M., Mohammadi Torkashvand, A. (2021). Influence of humic acid application on onion growth characteristics under water deficit conditions. *Journal of Plant Nutrition* 45(7), 1030-1040.
- Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59, 206-216.
- Bandurska, H. (2022). Drought stress responses: Coping strategy and resistance. *Plants*, 11, 922.
- Bates, L.S., Waldren, R. P., Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39(1), 205-207.
- Biareh, V., Shekari, F., Sayfzadeh, S., Zakerin, H., Hadidi, E., Beltrão, J. G. T., Mastinu, A. (2022). Physiological and qualitative response of *Cucurbita pepo* L. to salicylic acid under controlled water stress conditions. *Horticulturae* 8, 79.
- Chance, B. & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidase.

Journal of Methods Enzymol 2, 764-775.
- Darabi, M., Dashti, F., Gholami, M., Mosadeghi, M., Mirfattah, S.M. (2011). Effects of drought stress on yield and some morphological and physiological characteristics of Tareh Irani (*Allium ampeloperasum* Tareh Group) (2011). *Iranian Journal of Horticultural Science* 42(1), 95-103.
- Dong, X., Bi, H., Wu, G., Ai, X. (2014). Drought-induced chilling tolerance in cucumber involves membrane stabilization improved by antioxidant system. *International Journal of Plant Production* 7 (1), 67-79.
- Fan, H., Ding, L., Du, Ch., We, X. (2014). Effect of short-term water deficit stress on antioxidative systems in cucumber seedling roots. *Botanical Studies* 55(1), 46.
- Farag, M. A., Behera, T. K., Munshi, A. D., Bharadwaj, Ch., Jat, G. S., Khanna, M., Chinnusamy, V. (2019). Physiological analysis of drought tolerance of cucumber (*Cucumis sativus*) genotypes. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 89(9), 1445-1450.
- Ghahremani, Z., Mikaealzadeh, M., Barzegar, T., Ranjbar, M. E. (2021). Foliar application of ascorbic acid and gamma aminobutyric acid can improve important properties of deficit irrigated cucumber plants (*Cucumis sativus* cv. Us). *Gesunde Pflanzen* 73, 77-84.
- Haden, V. R., Niles, M. T., Lubell, M., Perlman, J., Jackson, L. E. (2012). Global and local concerns: what attitudes and beliefs motivate farmers to mitigate and adapt to climate change? *PLoS ONE*, 7, e52882.
- Jurekova, Z., Németh-Molnár, K., Paganová, V. (2011). Physiological responses of six tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars to water stress. *Journal of Horticulture and Forestry* 3, 294-300.
- Kar, M. & D, Mishra. (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Journal of Plant Physiology* 57(2), 315-319.
- Kim, T.K., Lee, S., Ku, H., Lee, S. (2019). Enhancement of drought tolerance in cucumber plants by natural carbon materials. *Plants*, 8, 446.
- Korkmaz, A., Rauf, S., Irikc, I., Kocac, F., Degera, O., Demirkırı, A. R. (2012). Alleviation of salt induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycinebetaine. *Scientia Horticulturea* 148(4), 197-205.
- Li, J., Nishimura, Y., Zhao, X., Fukumoto, Y. (2014). Effects of drought stress on the metabolic properties of active oxygen species, nitrogen and photosynthesis in cucumber 'Jinchun No. 5'seedlings. *Japan Agricultural Research Quarterly* 48, 175-181.
- Li, Y., Shi, H., Zhang, H., Chen, S. (2019). Amelioration of drought effects in wheat and cucumber by the combined application of super absorbent polymer and potential bio-fertilizer. *Peer J* 7, e6073.
- Mohammadipour, N. & Souri M. K. (2019). Effects of different levels of glycine in the nutrient solution on the growth, nutrient composition and antioxidant activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Acta Agrobotanica* 72(1), 1-9.
- Mohanty, S., Grimm, B. & Tripathy, B.C. (2006). Light and dark modulation of chlorophyll biosynthetic genes in response to temperature. *Planta*, 224(3), 692-699.
- Moosavi-Nejhad, M., Estaji, A., Karimi, H. R., Roosta, H. R. (2021). Glycine betaine induced changes on

morphological traits and osmolyte compounds in cucumber under salinity stress. *Acta Horticulture* 1315, 413-418.
- 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.
- Sharma, P. & Dubey, R. S. (2005). Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation* 46, 209-221.
- Shin, Y. K., Bhandari, S. R., Jo, J. S., Song, J. W., Lee, J. G. (2021). Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, phytochemical contents, and antioxidant activities in lettuce seedlings. *Horticulturae*, 7, 238.
- Souri, M. K. & Aslani, M. (2018). Beneficial effects of foliar application of organic chelate fertilizers on French bean production under field conditions in a calcareous soil. *Advanced in Horticultural Science* 32(2), 265-272.
- Souri, M. K., Sooraki, F. Y., Moghadamyar, M. (2017). Growth and quality of cucumber, tomato, and green bean under foliar and soil applications of an aminochelate fertilizer. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 58(6), 530-536.
- Souri, M. K. & Hatamian, M. (2019). Aminochelates in plant nutrition; a review. *Journal of Plant Nutrition* 42(1), 67-78.
- Thakur, P. S. & Rai, V. K. (1982). Dynamics of amino acid accumulation in two differentially drought resistant zea mays cultivar in response to osmotic stress. *Environmental and Experimental Botany* 22 (2), 221-6.
- Ulaha, A., Manghwar, H., Shaban, M., Khan, A. H., Akbar, A., Ali, U., Ali, E., Fahad, S. (2018). Phytohormones enhanced drought tolerance in plants: a coping strategy. *Environmental Science and Pollution Research* 25(33), 33103-33118.
- Wu, J., Wang, J., Hui, W., Zhao, F., Wang, P., Su, C., Gong, W. (2022). Physiology of plant responses to water stress and related genes: A review. *Forests* 13, 324.
- Zargar Shooshtari, F., Souri, M. K., Hasandokht, M. R., Kalate Jari, S. (2020). Glycine mitigates fertilizer requirements of agricultural crops: case study with cucumber as a high fertilizer demanding crop. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 7(1), 1-10.
- Zhang, Y. Y., Li, Y., GAO, T., Zhu, H., Wang, D. J., Zhang, H. W., Ning, Y. S., Liu, L. J., Wu, Y. R., Chu, C. C. (2008). Arabidopsis SDIR1 enhances drought tolerance in crop plants. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 72, 2251-2254.