Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2026, Vol 9, No 18(2), Pages 139-156

doi:10.22034/iuvs.2024.2019057.1342 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

The effect of GABA and LAB treatment on yield and biochemical properties of tomato under irrigation deficit stress

Ali Sobhanizadeh[1], Mousa Torabi Giglou[2*], Rasoul Heydarnajad Giglou[1], Sara Ghaharamanzadeh[3], Zahra Ghaneh[4], Asghar Estaji[2]

[1] PhD, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

[2]Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

[3] PhD Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

[4] MSc Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

[*]**Corresponding author:** mtorabi@uma.ac.ir

(**Received:** 29 December 2023 **Revised:** 26 February 2024 **Accepted:** 26 February 2024)

Extended Abstract

1. **Introduction:** One of the main symptoms of sensitivity to environmental stress is the decrease in plant performance. Tomato, with the scientific name (*Solanum lycopersicum L*) from the Solanaceae family, is one of the valuable plants from an economic and nutritional point of view. Drought has been one of the main factors limiting agriculture in recent years, especially in Iran, which is located in an arid and semi-arid region, and it has become more visible and effective in recent years. In 2017, the Food and Agriculture Organization reported its global production as 182.3 million tons, and Iran, with the production of 6.17 million tons and 3.4% of the world's production, occupies sixth place in the world's tomato production. Studies have shown that this plant is a rich source of minerals and vitamins, and its distinct nutritional properties play an important role in reducing the risk of diseases because they contain high amounts of antioxidants such as carotenoids, polyphenols, ascorbic acid, and many others. To reduce and moderate the harmful effects of environmental stress, the new combinations of LAB and GABA have been used less often, while the use of these two together is very beneficial.
2. **Materials and Methods:** To reduce the effects of experimental irrigation stress, the present research was conducted in the research farm of the Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, as a factorial experiment in the form of a completely randomized design. In this experiment, to apply low irrigation stress, irrigation at two levels of soil moisture (full irrigation 90% of field capacity moisture, 50% of field soil capacity moisture) as the first factor and GABA foliar spraying treatments in concentrations 1 and 2 mg/liter along with LAB in two concentrations of 5 and 10% and a control treatment was considered as the second factor. To obtain the field capacity of the soil (the amount of moisture that remains in the soil after the release of gravity water) and the percentage of moisture in the field soil, a field of one square meter was irrigated until saturation and covered with plastic. After stopping irrigation and water drainage, soil moisture was measured at six-hour intervals at the root growth depth (20 cm) with a hygrometer. This process continued until the moisture content was approximately equal in several consecutive measurements. This percentage of humidity is considered equal to the humidity of the field's capacity, and irrigation treatments are considered based on a percentage of this amount of soil moisture. The seeds of Chef tomato plants were planted in 12 x 12 trays to produce seedlings and kept in the greenhouse. After the production of seedlings, the plants were transferred to the main farm. 20 days after transferring to the mainland and establishing the plants, irrigation stress was applied along with spraying the plants with GABA and LAB. Two weeks after the last spraying, the fruits were harvested, and the fruit weight and yield of a plant, along with stomatal conductance, ion leakage, and relative water content, were investigated.
3. **Results and Discussion:** The results showed that foliar spraying of GABA and LAB affected the performance of tomato plants, especially in drought stress conditions, and partially compensated for the negative effects of drought stress. Application of GABA and LAB increased the yield in tomato. The highest fruit weight (2.44 kg) per plant was obtained under full irrigation conditions and when GABA was used at a concentration of 2 mg/liter. Our results showed that the plants treated with GABA at a

concentration of 2 mg/liter had a higher efficiency than the plants treated with LAB and the control. With the increase of irrigation stress, the rate of ion leakage increased, and the relative water content of leaves decreased. Despite the positive effect of LAB at a concentration of 10% in reducing ion leakage during irrigation stress, the use of GABA at a concentration of 2 mg, in addition to reducing the amount of ion leakage, increased the relative water content and stomatal conductance in tomato leaves in this experiment. In addition, the results showed us that with increasing drought stress, stomatal conductivity decreases. Stomatal closure is the first response to drought stress in most plants, and stomatal closure prevents water loss from transpiration pathways. Also, the concentration of 2 mg/L GABA in normal irrigation conditions has increased stomatal conductance, and in Irrigation stress, in field capacity humidity of 50% has prevented the reduction of stomatal conductance to a large extent. According to the results of the present study, during irrigation at 50% humidity of the field capacity, the use of GABA at a concentration of 2 mg/liter and LAB at a concentration of 10% had an acceptable effect on reducing the effects of irrigation stress on tomatoes.

5. **Conclusion:** In this study, foliar spraying of GABA and LAB affected the performance of tomato plants, especially under drought stress conditions, and partially compensated for the negative effects of low irrigation stress. Application of GABA and LAB increased the yield in tomato. Therefore, it seems that in order to achieve the goals of sustainable agriculture, it is recommended to use LAB and GABA in different concentrations instead of chemical fertilizers to increase the efficiency and performance of plants during irrigation stress.

***Keywords*:** Drought stress, Ion leakage, Relative water content, Stomatal conductance, Tomato.

Citation: Sobhanizadeh, A., Torabi Giglou, M., Heydarnajad Giglou, R., Ghaharamanzadeh, S., Ghaneh, Z & Estaji, A. (2026). The yield and biochemical properties of tomatoes under low irrigation stress can be affected by spraying GABA and LAB. seedling. *Journal of Vegetables Sciences*, 18(2), 139-156. doi:10.22034/iuvs.2024.2019057.1342

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 ۹ ، دوره ۱۸، شماره۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، صفحات (۱۵۶-۱۳۹)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2024.2019057.1342

اثر تیمار GABA و LAB بر عملکرد و خواص بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی تحت تنش کم آبیاری

علی سبحانی زاده [۱]، موسی ترابی گیگلو [۲*]، رسول حیدرنژاد گیگلو [۱]، سارا قهرمان زاده [۳]، زهرا قانع [۴]، اصغر استاجی [۲]

۱- دانش آموخته دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

٤- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

*نویسنده مسئول: mtorabi@uma.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۷)

چکیده

یکی از علائم اصلی حساسیت به تنش‌های محیطی، کاهش عملکرد گیاه است. برای کاهش و تعدیل اثرات مضر تنش محیطی، ترکیبات جدید Lactic Acid Bactria (LAB) و GABA (γ-aminobutyric acid) کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند در حالی‌که استفاده همزمان این دو بسیار مفید است. پژوهش حاضر به منظور کاهش اثرات تنش آبیاری آزمایشی به طور طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل طراحی و اجرا شد. در این آزمایش برای اعمال تنش کم آبیاری، آبیاری در دو سطح رطوبت خاک (آبیاری کامل ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای خاک) به عنوان فاکتور اول و تیمارهای محلول‌پاشی GABA در غلظت ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر همراه با LAB در دو غلظت ۵ و ۱۰ درصد و یک تیمار شاهد به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد. بذور گیاهان گوجه فرنگی رقم Chef برای تولید نشا در سینی‌ها ۱۲×۱۲ کشت شد و در گلخانه نگه‌داری شد. پس از تولید نشاء گیاهان به مزرعه اصلی منتقل شد. ۲۰ روز بعد از انتقال به زمین اصلی و استقرار گیاهان اعمال تنش‌های آبیاری همراه با محلول‌پاشی گیاهان با GABA و LAB انجام شد. دو هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی میوه‌ها برداشت و میزان وزن میوه و عملکرد یک بوته همراه با صفات هدایت روزنه‌ای، نشت یونی و محتوای نسبی آب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که محلول‌پاشی GABA و LAB بر عملکرد گیاهان گوجه‌فرنگی به‌ویژه در شرایط تنش خشکی تأثیر گذاشته و تا حدی اثرات منفی تنش خشکی را جبران کرده است. استفاده از GABA و LAB میزان عملکرد را در گوجه‌فرنگی افزایش داد. بیشترین وزن میوه (۲/۴۴ کیلوگرم) در بوته طی شرایط آبیاری کامل و در زمان استفاده از GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر طی آبیاری در ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای استفاده از GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر LAB با غلظت ۱۰ درصدی تاثیر قابل قبولی را کاهش اثرات تنش آبیاری در گوجه‌فرنگی داشته است.

***واژه‌های کلیدی:* تنش خشکی، هدایت روزنه ای، محتوای نسبی آب، نشت یونی، گوجه فرنگی.**

استناد: سبحانی زاده، ع.، ترابی گیگلو ، م.، حیدرنژاد گیگلو ر.، قهرمان زاده ، س.، قانع، ز. و استاجی، ا. (۱۴۰۴). اثر تیمار GABA و LAB بر عملکرد و خواص بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی حت تنش کم آبیاری. علوم سبزی‌ها، *علوم سبزی‌ها*، ۱۸(۲)، ۱۵۶-۱۳۹.

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

گوجه‌فرنگی با نام علمی (*Solanum lycopersicum* L) از خانواده سولاناسه، از گیاهان با ارزش از نظر اقتصادی و تغذیه‌ای می‌باشد (Adigun *et al.,* 2018 و Causse., *et al*., 2020). منشاء گوجه‌فرنگی غرب آمریکای جنوبی و آمریکای مرکزی از مکزیک تا پرو است و پس از اهلی‌سازی به طور وسیعی در جهان کشت می‌شود (Bauchet and Causse, 2012) و در سرتاسر جهان، بیش از هزار رقم گوجه‌فرنگی بر اساس اندازه میوه، شکل و الگوی رشد در محیط‌های مختلف کشت می‌شود (Gerszberg *et al*., 2015).

گوجه‌فرنگی بدون شک یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین محصول باغی در سراسر جهان است (Gerszberg *et al*., 2015) و دومین صیفی و سبزی مهم در جهان پس از سیب زمینی شناخته می‌شود (Maerere *et al*., 2006) و به طور گسترده‌ای به صورت تازه و فرآوری شده مصرف می‌شود (Van Dam et al., 2005)، به‌طوری‌که سازمان خوار و بار جهانی در سال ۲۰۱۷، تولید جهانی آن را ۱۸۲/۳ میلیون تن گزارش کرده است و ایران با تولید ۶/۱۷ میلیون تن و ۳/۴ درصد از تولید جهانی، جایگاه ششم تولید گوجه‌فرنگی دنیا را به خود اختصاص داده است (FAO, 2018). از نظر اقتصادی با اهمیت است و بیش از ۸۰ درصد از این گیاه به محصولاتی مانند آب میوه، سس و کنسرو، رنگ خوراکی، رب و سوپ‌ها تبدیل می‌شوند (Viskelis *et al*., 2015; Naika *et al*., 2005; Krishnaa *et al*., 2021). این گیاه منبع غنی از مواد معدنی و ویتامین‌ها است، خواص تغذیه‌ای متمایز آن نقش مهمی در کاهش خطر بیماری‌های قلبی عروقی و بیماری ایفا می‌کند (Dias, 2012). لیکوپن یکی از قوی‌ترین آنتی‌اکسیدان‌هایی است که به‌عنوان یک ضد سرطان عمل می‌کند زیرا حاوی مقادیر بالایی از آنتی‌اکسیدان‌ها مانند کاروتنوئیدها، پلی فنول‌ها، اسید اسکوربیک و بسیاری دیگر هستند (Perveen *et al*., 2015; Burton Freeman and Reimers, 2011; Sestito *et al*., 2019). میوه‌های آن منبع برجسته اسید آسکوربیک هستند و منبع اصلی ویتامین C ، A، E در کنار مرکبات و سرشار از پتاسیم، فیبر غذایی، کاروتن و لیکوپن هستند (Rao and Rao, 2007; Di Matteo *et al*., 2010; Sestito *et al*., 2019).

تولید محصولات کشاورزی ارگانیک از طریق حفظ حاصلخیزی خاک و استفاده بهینه از منابع، به نوعی احترام به محیط زیست محسوب می‌شود. مواد آلی به عنوان یکی از عوامل مهم باروری خاک به حساب می‌آیند و بسیاری از نظام‌های کشاورزی پایدار از کودهای آلی و عصاره‌های آن‌ها استفاده می‌کنند (Sihag and Singh, 1997). سرم Lactic Acid Bactria (LAB) جزء بسیار مهمی از میکروبیوم‌های گیاهی هستند، اما اطلاعات عملکردی در مورد تعامل بین LAB و میزبان آنها وجود ندارد. علاوه بر این، ریزوباکترهای مرتبط با ریشه گیاه در خاک فراوان هستند، در حالی که LAB در خاک کشاورزی ارگانیک حداقل است و غالب نیست (Duar *et al*., 2017). این ترکیبات، از تجزیه مواد گیاهی، سبزیجات، میوه‌ها، محصولات لبنی، مواد غذایی تخمیری، نوشیدنی‌های تخمیری، سیلوها، آب میوه‌ها، دستگاه گوارش انسان و حیوانات جدا می‌شوند (Sathe *et al*., 2017). LAB جوانه‌زنی بذر، حاصلخیزی خاک، هوادهی و حلالیت را افزایش می‌دهد، تنش‌های غیرزیستی مختلف و گازهای سمی را کاهش می‌دهد. همچنین برای مصرف انسان و حیوان بی‌خطراند و برای توسعه تجاری ایده آل هستند (Sadiq *et al*.,2019; Chen *et al*., 2021). گونه‌های LAB در بسیاری از صنایع غذایی و خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرند و این صنایع به طور مداوم به دنبال سویه‌های بالقوه برای افزایش کیفیت محصول هستند. همچنین LAB نقش چندوجهی در بخش های غذا، کشاورزی و دارو ایفا می‌کند و دارای وضعیت GRAS (به طور کلی ایمن) توسط سازمان غذا و دارو شناخته می‌شود (Bintsis, 2018).

گابا یا GABA (۴-aminobutyric acid یا γ-aminobutyric acid)، یک آمینواسید غیر پروتئینی

چهار کربنه است که در یوکاریوت‌ها و پروکاریوت‌ها یافت می‌شود و یک جزء مهم از منابع اسید آمینه می‌باشد (Ramos et al.,2018). در سال ۱۹۴۹، گزارشی در Science بیان کرد که گابا در بافت گیاهان و در غده‌های سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) یافت می‌شود (Steward *et al*., 1949). از این پس نقش فیزیولوژیکی آن و تطبیق پذیری عملکردی آن شامل پاسخ به عوامل تنش غیرزیستی و زیستی با سیگنال مولکولی، حفظ تعادل کربن/ نیتروژن (C/N) و تنظیم رشد گیاه مورد مطالعه قرار گرفت (Fromm, 2020; Gramazio *et al*., 2020).

تنش خشکی یکی از عوامل محدودکننده برای تولید محصول است و سبب پژمردگی بوته می‌شود از طرفی محتوای گابا در پاسخ به تنش افزایش می‌یابد و باعث تنظیم دهانه روزنه برای جلوگیری از اتلاف آب می‌شود (Mekonnen *et al*., 2016) بطوریکه در برگ‌های شلغم (*Brassica rapa subsp. rapa*) (Thompson *et al*., 1996)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) (Raggi, 1994)، سویا (*Glycine max*) (Serraj *et al*., 1998)، کنجد (*Sesamum indicum*) (Bor *et al*., 2009)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) (Pal *et al*., 2016) و گونه آمله (*Phyllanthus emblica L*) (Filho *et al*., 2018) تحت تنش خشکی سطح GABA آنها افزایش یافت. کاربرد گابا، تحمل به خشکی گیاه را از طریق افزایش پلی‌آمین‌ها، پرولین و متابولیسم بهبود بخشید (Yong *et al*., 2017). همچنین محتوای کلروفیل، تنظیم اسمزی و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی را در زیره سیاه، افزایش داد (Rezaei *et al*., 2017)، و در گراس خزنده (*Agropyron repens*) با حفاظت از فتوسیستم II، سبب کاهش طویل شدن سلولی، بیوسنتز موم و اسیدهای چرب غیر اشباع شد (Li *et al*., 2019).

تغییر اقلیم و تنش‌های خشکی ناشی از آن، بزرگترین چالش حال حاضر و آینده کشاورزی محسوب می‌شود. بنابراین یکی از راه‌های جلوگیری از تنش خشکی داشتن سیستم ریشه گسترده و کنترل تبخیر و تعرق در شرایط تنش است (Adam, 2005). لذا هدف از این آزمایش تعیین غلظت‌های مناسب تیمارهای مورد استفاده (سرم LAB و GABA) و اثرات آن‌ها در کاهش اثرات تنش خشکی بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی، شاخص‌های رویشی و عملکرد گوجه‌فرنگی بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. در این آزمایش برای اعمال تنش کم آبیاری، آبیاری در دو سطح رطوبت خاک (آبیاری کامل ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای خاک، ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای خاک) به عنوان فاکتور اول و تیمارهای محلول‌پاشی GABA در غلظت ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر همراه با LAB در دو غلظت ۵ و ۱۰ درصد و یک تیمار شاهد به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد. برای به دست آوردن ظرفیت مزرعه‌ای خاک (میزان رطوبتی که پس از آزاد شدن آب ثقلی در خاک باقی می‌ماند) درصد رطوبت در خاک مزرعه، زمینی به مساحت یک متر مربع تا حد اشباع آبیاری و با پلاستیک پوشانده شد. پس از قطع آبیاری و زهکشی آب، رطوبت خاک در فواصل شش ساعته در عمق رشد ریشه (۲۰ سانتی‌متر) با رطوبت سنج اندازه‌گیری شد. این عمل تا جایی ادامه یافت که مقدار رطوبت در چندین اندازه‌گیری متوالی تقریباً برابر شد. این درصد رطوبت برابر با رطوبت ظرفیت مزرعه در نظر گرفته می‌شود و تیمارهای آبیاری بر اساس درصدی از این میزان رطوبت خاک در نظر گرفته می‌شود. برای انجام آزمایش بذور گیاهان گوجه فرنگی رقم Chef برای تولید نشاء در سینی‌ها ۱۲×۱۲ در بستر کوکوپیت و پیت ماس، کشت شد و در گلخانه نگهداری شد. پس از تولید نشا گیاهان در مرحله‌ی ۴-۶ برگی در مزرعه اصلی

به فواصل ۳۵× ۸۵ سانتی‌متر منتقل شد. ۲۰ روز بعد از انتقال به زمین اصلی و استقرار گیاهان اعمال تنش‌های آبیاری همراه با محلول‌پاشی گیاهان با GABA و LAB در یک دوره ۳۰ روزه انجام شد. دو هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی در مرحله‌ی رنگ‌گیری کامل میوه‌ها برداشت و میزان وزن میوه و عملکرد یک بوته همراه با صفات زیر مورد بررسی قرار گرفت.

سفتی بافت

اندازه‌گیری سفتی بافت میوه توسط دستگاه سفتی سنج (Penetrometer) مدل با نوک ۳ میلی‌متری صورت گرفت. میزان فشار دستگاه برحسب کیلوگرم از روی صفحه دستگاه قرائت و برحسب نیوتن محاسبه شد.

مواد جامد محلول کل

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول کل از دستگاه رفراکتومتر دستی (Refractometer) (مدل K-0032 ساخت ژاپن) استفاده شد و مقدار مواد جامد محلول برحسب درجه بریکس ثبت شد (Heydarnazhad *et al*., 2019).

اسید قابل تیتراسیون

برای اندازه‌گیری اسید قابل تیتراسیون از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال استفاده شد و اسید قابل تیتراسیون برحسب گرم در ۱۰۰میلی‌لیتر اسید سیتریک بیان شد. برای این منظور ۱۰ میلی‌لیتر آب‌میوه با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و سپس تیتر شد و با استفاده از رابطهٔ زیر، میزان اسید قابل تیتراسیون به دست آمد (Ayala-Zavala *et al*., 2004).

$$A=(S\times N\times E/C)\times 100 \qquad \text{رابطه ۱}$$

A: مقدار اسیدهای آلی موجود در عصاره میوه (g/100 ml)، S: مقدار NaOH مصرف‌شده (ml)، N: نرمالیته NaOH، F: فاکتور یا ضریب نرمال که برای NaOH برابر با ۱ است، C: مقدار عصاره میوه (mL)، E: اکی والان اسید موردنظر (اسید سیتریک). اسیدیته میوه با استفاده از دستگاه pH متر و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید (Hernandez *et al*., 2012).

شاخص طعم میوه یا نسبت قند به اسید که تعیین‌کننده طعم و مزه میوه‌ها است، از طریق نسبت مواد جامد محلول کلبه اسید قابل تیتراسیون، ارزیابی شد(Dissa *et al*., 2008). برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل از دستگاه SPAD 502 Plus استفاده شد.

هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای با (Meter Group, Inc. Washington, USA) Prometer SC-1 اندازه‌گیری شد. برای این منظور از هر تیمار ۵ بوته به طور تصادفی انتخاب و از هر گیاه یک برگ سالم و کاملاً توسعه یافته برای اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای استفاده شد به طوری که ۳۰ ثانیه پس از قرار گرفتن برگ گیاه بین گیره‌های دستگاه، رسانایی دیافراگم تعیین شد. خواندن مقادیر به طور معمول بین ۰۸:۳۰ و ۱۰:۳۰ ساعت ثبت شد.

هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ

میزان هدایت روزنه‌ای با استفاده از روش (1996) Shiferaw and Bakerو محتوای نسبی آب با استفاده از روش (2001) Sairam and Srivastava اندازه‌گیری شد.

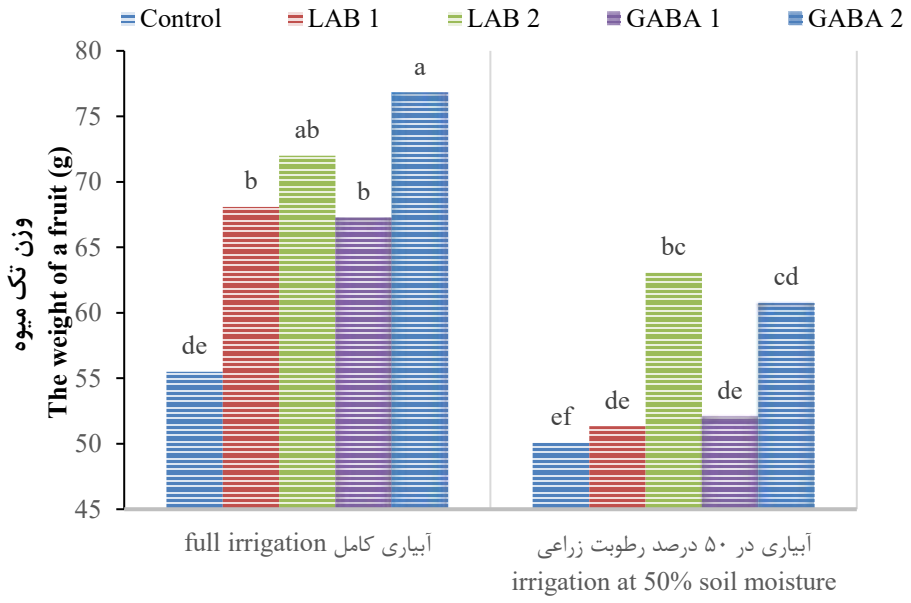
داده‌های حاصل از آزمایش فاکتوریل بر اساس طرح بلوک کامل تصادفی با استفاده از آنالیز ANOVA و آزمون‌های چند دامنه‌ای دانکن ($P < ۰/۰۵$) با نرم افزار SAS 9.1 (SAS Institute Inc. Carolina. USA) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

وزن میوه‌ها

پژوهش حاضر تاثیر مثبت GABA و LAB بر میزان وزن تک میوه و وزن میوه در گیاه را تحت شرایط تنش کم آبیاری (۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای) را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه میزان وزن تک میوه تحت شرایط تنش کم آبیاری کاهش یافته است. محلول‌پاشی گیاهان با GABA و LAB سبب افزایش میزان وزن تک میوه در شرایط آبیاری کامل و جلوگیری از کاهش وزن تک میوه در شرایط تنش کم آبیاری شد. بیشترین میزان وزن تک میوه در گیاهان رشد یافته در شرایط

آبیاری کامل و طی محلول‌پاشی GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد (شکل ۱). همچنین نتایج نشان داد که میزان بیشترین وزن میوه (۲/۴۴ کیلوگرم) در بوته طی شرایط آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۱). در بررسی اثرات ساده محلول‌پاشی GABA و LAB در غلظت‌های مختلف بر میزان وزن میوه در بوته بیشترین میزان این شاخص در گیاهان تیمار شده با GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد (جدول ۱).



شکل ۱- تغییرات میزان وزن تک میوه در گیاهان گوجه‌فرنگی طی محلول‌پاشی با GABA و LAB در غلظت‌های مختلف تحت شرایط کم آبیاری. (غلظت LAB 1 و LAB 2 به ترتیب برابر ۵ و ۱۰ درصد، GABA 1 و GABA 2 به ترتیب برابر ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد)

Figure 1- Changes in the weight of a fruit in tomato plants during foliar spraying with GABA and LAB in different concentrations under low irrigation conditions. (The concentration of LAB 1 and LAB 2 is to 5 and 10%, respectively, GABA 1 and GABA 2 are to 1 and 2 mg.L^{-1})

سفتی بافت میوه

تنش کم آبیاری باعث افزایش میزان سفتی بافت در میوه‌های گوجه‌فرنگی شده است. بیشترین میزان سفتی بافت در میوه‌های رشد یافته در شرایط آبیاری در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ۵۰ درصد به دست آمد. بررسی اثرات محلول‌پاشی گیاهان گوجه‌فرنگی با GABA و LAB نشان می‌دهد که استفاده از این دو تیمار تاثیر مثبتی بر افزایش میزان سفتی بافت نسبت به شرایط کنترل داشته است. به طوری که بیشترین میزان سفتی بافت در گیاهان تیمار شده با LAB در غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. کمترین میزان سفتی بافت در گیاهان فاقد تیمار محلول‌پاشی با GABA و LAB مشاهده شد. این درحالی بود که میزان سفتی بافت میوه در گیاهان تیمار شده با LAB در غلظت ۵ درصد، ۱۹/۱ درصد بیشتر از میزان آن در شرایط کنترل بود (جدول ۱).

جدول ۱- تغییرات وزن میوه در بوته و سفتی بافت تحت تأثیر با تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با GABA و LAB.

Table 1- Changes in the weight of the fruit in the plant and the firmness of the tissue affected by the stress of low irrigation and foliar spraying with GABA and LAB.

تنش Stress	تیمارها Treatments	میوه در بوته وزن Fruit weight per plant (kg)	سفتی بافت Tissue stiffness (N m^{-2})
آبیاری کامل Full Irrigation	-	2.44 ^{a}	10.64 ^{b}
آبیاری در ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای Irrigation at 50% soil moisture	-	1.86 ^{b}	11.86 ^{a}
-	Control	1.71 ^{c}	10.25 ^{c}
-	LAB (5%)	1.91 ^{bc}	12.67 ^{a}
	LAB (10%)	2.15 ^{ab}	12.58 ^{ab}
	GABA 1 $mg.L^{-1}$	2.14 ^{ab}	11.89 ^{bc}
	GABA 2 $mg.L^{-1}$	2.37 ^{a}	11.43 ^{bc}
ANOVA	-		
بلوک Block	-	ns	ns
تنش Stress	-	**	*
تیمار treat	-	**	**
تیمار×تنش Treat ×stress		ns	ns

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* Significant at 5% level, ** Significant at 1% probability level, and ns No significant difference.

مواد جامد محلول (TSS)، اسید قابل تیتراسیون (TA) و TSS/TA

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان دهنده کاهش میزان TA و افزایش میزان TSS و TSS/TA در میوه‌های گوجه‌فرنگی تحت شرایط تنش کم آبیاری شده است (جدول ۲). بیشترین میزان TA میوه در گیاهان رشد یافته در شرایط آبیاری کامل و بیشترین میزان TSS و TSS/TA میوه در گیاهان رشد یافته در شرایط آبیاری در ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای مشاهده شد. میزان TA در شرایط آبیاری کامل ۷/۳۸ درصد بیشتر از میزان آن در شرایط آبیاری در ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای بود (جدول ۲). همچنین میزان TSS و TSS/TA در شرایط آبیاری در ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای به ترتیب ۳۵/۳۳ و ۲۷/۵۶ درصد بیشتر از شرایط آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- تغییرات اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول و ویتامین ث تحت تاثیر با تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با GABA و LAB.

Table 2- Changes of Total soluble solids, Titratable acidity, and vitamin C under the influence of low irrigation stress and foliar spraying with GABA and LAB.

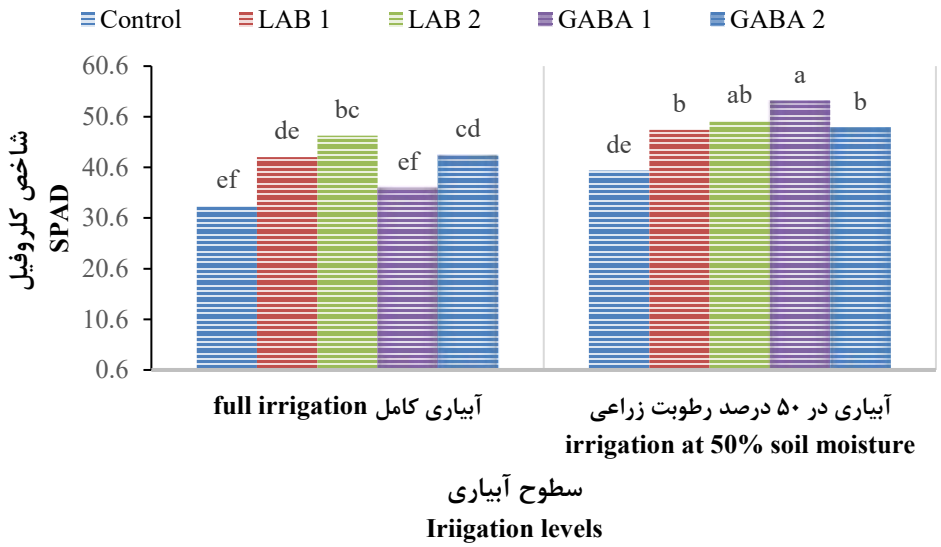
تنش Stress	تیمارها Treatments	مواد جامد محلول Total soluble solids (%)	اسیدیته قابل تیتراسیون Titratable acidity (%)	شاخص طعم Flavor Index (TSS/T)	ویتامین ث Vitamin C ($mg.g^{-1}$)
آبیاری کامل Full Irrigation	-	4.19 b	0.352 a	15.66 b	7.89 b
آبیاری در ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای Irrigation at 50% soil moisture	-	6.48 a	0.326 b	21.62 a	9.16 a
-	Control	6.73 ab	0.33 bc	21.09 ab	6.83 c
-	LAB (5%)	7.93 a	0.307 bc	26.76 a	8.92 ab
-	LAB (10%)	5.01 bc	0.241 c	24.17 ab	9.92 a
-	GABA 1 $mg.L^{-1}$	4.68 bc	0.405 b	9.82 c	8.22 b
-	GABA 2 $mg.L^{-1}$	4.11 c	0.46 a	11.80 bc	8.75 ab
ANOVA	-				
بلوک Block	-	ns	ns	ns	**
تنش Stress		**	*	*	**
تیمارها treats		**	**	**	ns
تیمارها×تنش Treats ×stress	-	ns	ns	ns	

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* Significant at 5% level, ** Significant at 1% probability level, and ns No significant difference.

شاخص کلروفیل (SPAD)

میزان شاخص کلروفیل تحت شرایط تنش کم آبیاری با افزایش همراه بود و محلول‌پاشی با GABA و LAB در هر دو شرایط آبیاری باعث افزایش میزان شاخص کلروفیل نسبت به گیاهان رشد یافته در شرایط کنترل شد. بیشترین میزان شاخص کلروفیل (۵۳/۷۶۶) در گیاهان تیمار شده با GABA در غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میزان شاخص کلروفیل (۳۲/۹۶) در گیاهان رشد یافته در شرایط آبیاری کامل و فاقد محلول‌پاشی با GABA و LAB به دست آمد (شکل ۲). میزان شاخص کلروفیل در گیاهان محلول‌پاشی شده با GABA در غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر ۳۸/۶۹ درصد بیشتر از میزان آن در گیاهان شاهد در شرایط آبیاری کامل بود (شکل ۲).



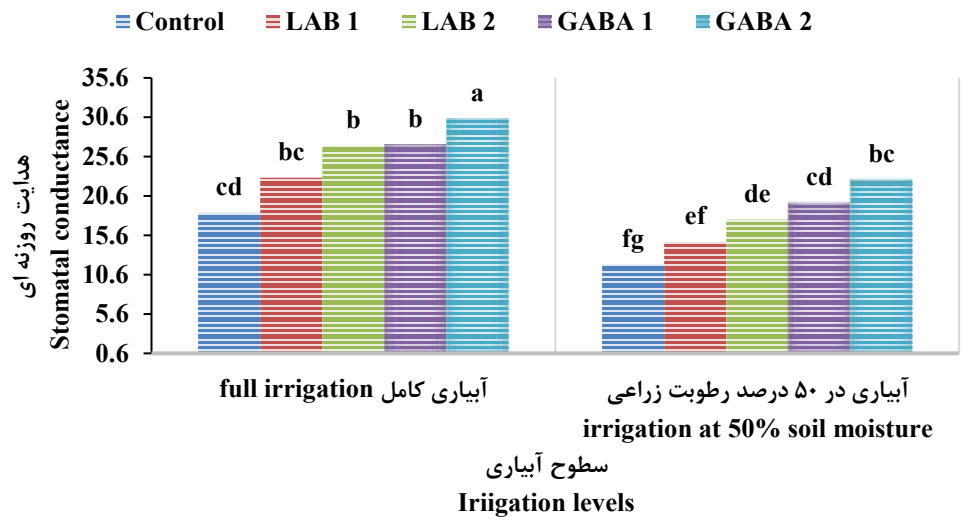
شکل ۲- تغییرات شاخص کلروفیل برگ در گیاهان گوجه‌فرنگی طی محلول‌پاشی با GABA و LAB در غلظت‌های مختلف تحت شرایط کم آبیاری، (غلظت LAB 1 و LAB 2 به ترتیب برابر ۵ و ۱۰ درصد، GABA 1 و GABA 2 به ترتیب برابر ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد).

Figure 2- Changes in leaf chlorophyll index in tomato plants during foliar spraying with GABA and LAB in different concentrations under low irrigation conditions, (The concentration of LAB 1 and LAB 2 is to 5 and 10%, respectively, GABA 1 and GABA 2 are to 1 and 2 mg.L^{-1}).

هدایت روزنه‌ای

میزان هدایت روزنه‌ای در گیاهان رشد یافته در شرایط آبیاری در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ۵۰ درصد نسبت به شرایط آبیاری کامل روندی کاهشی داشت. استفاده GABA و LAB در شرایط آبیاری کامل باعث افزایش هدایت روزنه‌ای شده و در شرایط آبیاری در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ۵۰ درصد از کاهش میزان هدایت روزنه‌ای نسبت به شرایط کنترل شد (شکل ۳).

بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای طی محلول‌پاشی گیاهان با GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم و در شرایط آبیاری کامل به دست آمد که این میزان به ترتیب ۳۹/۴۳ و ۶۰/۸۹ درصد از گیاهان رشد یافته در گیاهان عدم محلول‌پاشی شده GABA و LAB تحت شرایط آبیاری کامل و آبیاری در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ۵۰ درصد بود (شکل ۳).



شکل ۳- تغییرات میزان هدایت روزنه‌ای برگ در گیاهان گوجه‌فرنگی طی محلول‌پاشی با GABA و LAB در غلظت‌های مختلف تحت شرایط کم آبیاری. (غلظت LAB 1 و LAB 2 به ترتیب برابر ۵ و ۱۰ درصد، GABA 1 و GABA 2 به ترتیب برابر ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد)

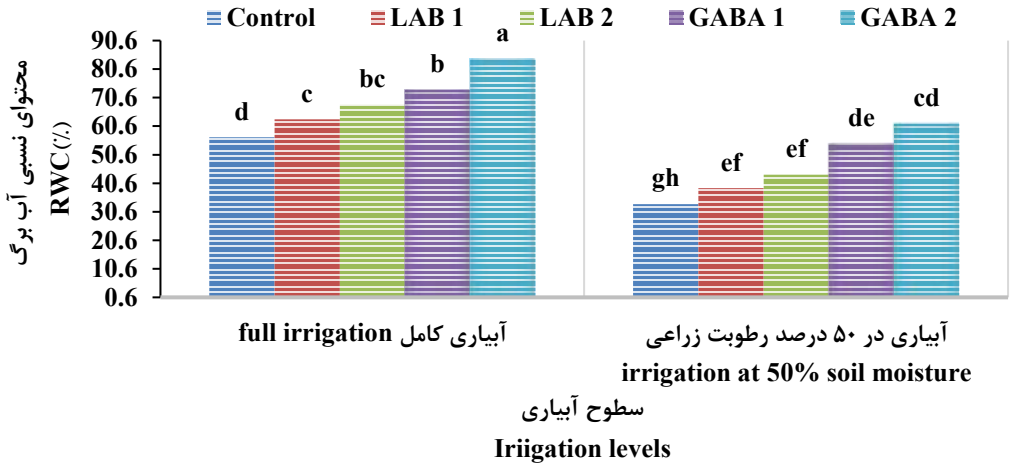
Figure 3- Changes in leaf stomatal conductance in tomato plants during foliar spraying with GABA and LAB in different concentrations under low irrigation conditions. (The concentration of LAB 1 and LAB 2 is to 5 and 10%, respectively, GABA 1 and GABA 2 are to 1 and 2 mg.L^{-1})

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

محلول‌پاشی گیاهان با GABA و LAB در هر دو شرایط آبیاری تاثیر مثبتی در میزان محتوای نسبی آب برگ در گیاهان گوجه‌فرنگی نسبت به گیاهان شاهد داشت. افزایش غلظت محلول‌پاشی GABA و LAB در گیاهان علاوه بر افزایش محتوای نسبی آب برگ در شرایط آبیاری کامل، از کاهش میزان محتوای نسبی آب در شرایط آبیاری در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ۵۰ درصد شد. بیشترین میزان محتوای نسبی آب (۸۴/۱۴۴ درصد) مربوط به گیاهان تیمار شده با GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر در شرایط آبیاری کامل شد. که این میزان ۳۲/۵۵ درصد بیشتر از میزان محتوای نسبی آب در گیاهان شاهد رشد یافته در شرایط آبیاری کامل است. همچنین در بررسی محتوای رطوبت نسبی آب تحت شرایط آبیاری در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ۵۰ درصد میزان این شاخص در گیاهان تیمار شده با GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر ۴۵/۷۸ درصد بیشتر از میزان آن در شرایط کنترل به دست آمد (شکل ۴).

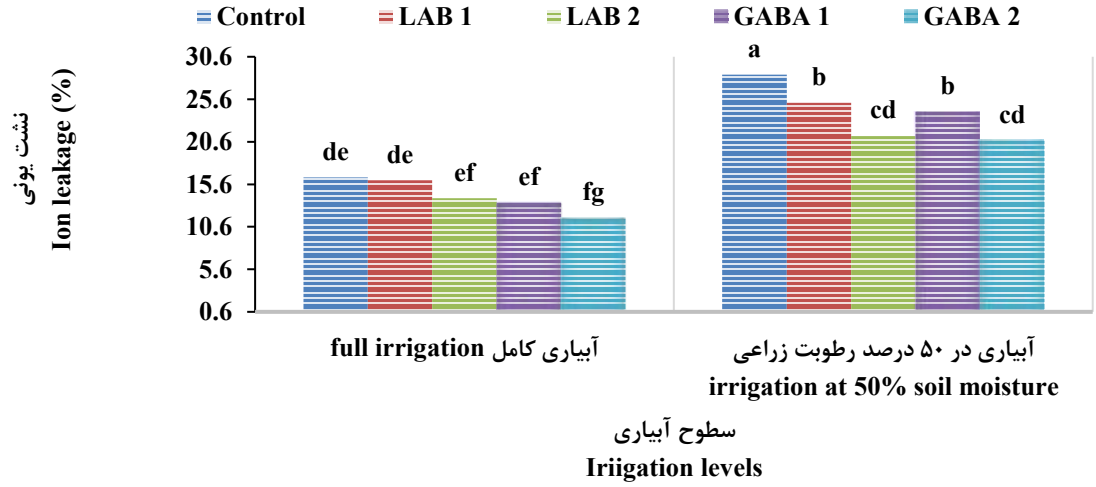
نشت یونی

میزان نشت یونی با افزایش سطح تنش آبیاری با کاهش همراه بود استفاده از محلول‌پاشی GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر و LAB در غلظت ۱۰ درصدی تاثیر بهتری در کاهش میزان نشت یونی در برگ‌های گیاهان گوجه‌فرنگی نسبت سایر غلظت‌های GABA و LAB داشت. بیشترین میزان نشت یونی در گیاهان شاهد طی شرایط آبیاری در ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای مشاهده شد. در شرایط آبیاری در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ۵۰ درصد استفاده از GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم و LAB در غلظت ۱۰ درصد به ترتیب ۲۶/۹۸ و ۲۵/۲۹ درصد میزان نشت یونی را نسبت گیاهان شاهد کاهش داد (شکل ۵).



شکل ۴- تغییرات میزان محتوای نسبی آب برگ گیاهان گوجه‌فرنگی طی محلول‌پاشی با GABA و LAB در غلظت‌های مختلف تحت شرایط کم آبیاری، (غلظت LAB 1 و LAB 2 به ترتیب برابر ۵ و ۱۰ درصد، GABA 1 و GABA 2 به ترتیب برابر ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد).

Figure 4- Changes in relative water content in tomato plants during foliar spraying with GABA and LAB in different concentrations under low irrigation conditions, (The concentration of LAB 1 and LAB 2 is to 5 and 10%, respectively, GABA 1 and GABA 2 are to 1 and 2 mg.L^{-1}).



شکل ۵- تغییرات میزان نشت یونی در برگ گیاهان گوجه‌فرنگی طی محلول‌پاشی با GABA و LAB در غلظت‌های مختلف تحت شرایط کم آبیاری. (غلظت LAB 1 و LAB 2 به ترتیب برابر ۵ و ۱۰ درصد، GABA 1 و GABA 2 به ترتیب برابر ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد)

Figure 5- Changes in the amount of ion leakage in the leaves of tomato plants during foliar spraying with GABA and LAB in different concentrations under low irrigation conditions. (The concentration of LAB 1 and LAB 2 is to 5 and 10%, respectively, GABA 1 and GABA 2 are to 1 and 2 mg.L^{-1})

بحث

تنش‌های غیرزیستی مانند تنش خشکی رشد گیاه را مهار می‌کند. یکی از نشانه‌های کمبود آب کاهش فشار تورژسانس سلولی و در نتیجه کاهش رشد و نمو سلولی به ویژه در ساقه و برگ است. به عبارت دیگر کاهش مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش سطح برگ و انتقال مواد جذب شده به اندام‌های زایشی در اثر تنش خشکی باعث

کاهش عملکرد شاخه‌های گلدار می‌شود. به همین دلیل، تأثیر تنش خشکی بر گیاهان را می‌توان از اندازه کوچکتر برگ‌ها و ارتفاع کمتر گیاهان تشخیص داد (Giglou *et al*., 2022, Torabi Giglou, 2024). رشد برگ با کاهش سطح برگ محدود می‌شود، جذب نور نیز کاهش می‌یابد و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد (Giglou *et al*., 2023). استفاده از LAB و GABA یکی از روش‌های کاهش اثرات تنش‌ها در گیاهان است. در پژوهش حاضر میزان وزن تک میوه و عملکرد بوته‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش کم آبیاری با کاهش همراه بود. استفاده از GABA و LAB در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر میزان این دو شاخص را در زمان استفاده از آبیاری کامل افزایش داد. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ۵۰ درصد از کاهش عملکرد در بوته‌های گوجه‌فرنگی جلوگیری کرده است (شکل ۱ و ۲). شواهد قوی‌ای وجود دارد مبنی بر اینکه GABA در تحمل نسبت به انواع تنش‌های محیطی مانند نور کم، شوری، کمبود نیتروژن، خشکی یا دما، نقش مهمی دارد (Damadi *et al*., 2024; Kinnersley and Turano, 2000). از طرف دیگر سطوح مختلف GABA با کاهش اثرات تنش‌ها را از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و تنظیم‌کننده‌های رشدی باعث رشد گیاه می‌شود (Yang *et al*., 2011; Jalil *et al*., 2017). با توجه به افزایش میزان شاخص کلروفیل طی استفاده از GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر در آزمایش حاضر به نظر می‌رسد که GABA با افزایش میزان رشد رویشی سبب افزایش سبزینگی در برگ‌های گوجه‌فرنگی نیز شده است. همسو با پژوهش حاضر، نشان داده شده است که GABA در بازیافت و تخصیص مجدد نیتروژن در طول برگ‌زایی ناشی از استرس غیرزیستی نقش داشته و باعث افزایش میزان شاخص کلروفیل برگ در گیاهان شده است (Jalil *et al*., 2017).

Yang و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تیمار GABA اثرات تنش در میوه‌های هلو را کاهش می‌دهد. تیمار میوه هلو با GABA علاوه بر بتاخیر انداختن کاهش ATP و ADP و افزایش AMP در طول تنش که موجب می‌گردد میوه‌های هلو دارای سطوح بالای انرژی باشند، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را نیز افزایش می‌دهد. همچنین نشان داده شده است که کاهش اثرات تنش در میوه می‌تواند در اثر افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی به همراه حفظ سطوح انرژی سلول باشد که موجب حفظ انسجام غشای سلولی در دمای سرمازدگی می‌گردد. بنابراین، حفظ انسجام غشای سلولی در گیاهان گوجه فرنگی تیمار شده با GABA را که با کاهش نشت یونی و افزایش محتوای نسبی برگ آب همراه می‌باشد، می‌توان به افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی و یا حفظ سطوح انرژی سلول نسبت داد (Vijayakumari and Puthur, 2015).

نتایج ما نشان داد که با افزایش تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد. بسته شدن روزنه اولین واکنش به تنش خشکی در اکثر گیاهان است. بسته شدن روزنه از هدر رفتن آب از مسیرهای تعرق جلوگیری می‌کند. بسته شدن روزنه بیشتر با رطوبت خاک مرتبط است تا وضعیت آب برگ، و عمدتاً توسط سیگنال‌های شیمیایی مانند تولید اسید آبسیزیک (ABA) در ریشه‌های خشک شده کنترل می‌شود. به نظر می‌رسد که این فرآیند بیشتر توسط محتوای ABA در گیاهان تنظیم می‌شود. این امر با تنظیم یک آبشار پیچیده از رویدادهای بیوشیمیایی که شامل تشکیل کمپلکس ABA است، به وجود می‌آید. و همچنین ABA، سایر مولکول‌های سیگنالینگ و عناصر مهم در تغییر وضعیت روزنه دخالت دارند. مقدار کمتر نیتروژن باعث افزایش حساسیت روزنه‌ها به خشکی می‌شود (Pirasteh-Anosheh *et al*., 2016). پژوهش حاضر نشان دهنده میزان هدایت روزنه‌ای بااستفاده از GABA و LAB در برگ‌های گوجه‌فرنگی است این در حالی است استفاده

از GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم بیشترین تاثیر را در افزایش هدایت روزنه‌ای داشته است (شکل ۳). غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر GABA در شرایط آبیاری معمولی باعث افزایش هدایت روزنه‌ای شده است و در شرایط تنش آبیاری در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ۵۰ درصد از کاهش هدایت روزنه‌ای به مقدار زیادی جلوگیری کرده است. همسو با پژوهش حاضر نشان داده شده است که استفاده از GABA سبب افزایش میزان هدایت روزنه‌ای در گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) شده است (Xu *et al.*, 2021).

در پژوهش حاضر در بررسی میزان TA و TSS در گوجه‌فرنگی مشاهده شد که میزان این دو شاخص طی تنش آبیاری رابطه عکس با یکدیگر داشته اند. به‌طوری که با افزایش تنش آبیاری میزان TSS افزایش و میزان TA روندی کاهشی داشت. گزارش‌های مختلفی در مورد تأثیر تنش خشکی بر TA توسط محققان ارائه شده است. برخی از محققین توصیف کردند که TA تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت (Goldani *et al.*, 2022; Köksal *et al.*, 1999) در حالی که برخی دیگر نشان دادند که TA توسط تنش خشکی کاهش یافت (Ucar *et al.*, 2016). افزایش محتوای TSS میوه ها در شرایط تنش خشکی در گونه‌های مختلف میوه از جمله توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa*) (Farahi *et al.*, 2013)، انگور (*Vitis vinifera*) (Ferrara *et al.*, 2010) گزارش شده است. همچنین نتایج ما نشان می‌دهد استفاده از LAB در غلظت ۵ درصد سبب افزایش در میزان TSS در گوجه‌فرنگی شده است که با نتایج حاصل از پژوهش Lee *et al.*, (2022). بود. این درحالی است که میزان TA در زمان استفاده از GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر بیشترین میزان را نسبت به گیاهان شاهد داشته است. همسو با پژوهش ما نشان داده شده است که استفاده از GABA در غلظت‌های مختلف سبب کاهش میزان TSS و افزایش TA در گوجه‌فرنگی شده است (Tilahun *et al.*, 2021).

نتیجه گیری کلی

در این مطالعه محلول‌پاشی GABA و LAB بر عملکرد گیاهان گوجه‌فرنگی به‌ویژه در شرایط تنش خشکی تأثیر گذاشته و تا حدی اثرات منفی تنش کم آبیاری را جبران کرده است. استفاده از GABA و LAB میزان عملکرد را در گوجه‌فرنگی افزایش داد. نتایج ما نشان داد که گیاهان تیمار شده با GABA در غلظت ۲میلی‌گرم در لیتر کارایی بالاتری نسبت به گیاهان تیمار شده با LAB و شاهد داشت. با افزایش تنش آبیاری میزان نشت یونی روندی افزایش و محتوای نسبی آب برگ روندی کاهشی داشت. با وجود تاثیر مثبت LAB در غلظت ۱۰ درصد در کاهش نشت یونی طی تنش آبیاری استفاده از GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم علاوه بر کاهش میزان نشت یونی سبب افزایش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای در برگ‌های گوجه‌فرنگی طی آزمایش حاضر شد. به طور کلی با توجه به نتایج پژوهش حاضر طی آبیاری در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای ۵۰ درصد استفاده از GABA در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر و LAB با غلظت ۱۰ درصدی تاثیر قابل قبولی را کاهش اثرات تنش آبیاری در گوجه‌فرنگی داشته است. بنابراین به نظر می‌رسد برای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار می‌توان استفاده از LAB و GABA در غلظت‌های مختلف به جای کودهای شیمیایی برای افزایش کارایی و عملکرد گیاهان طی تنش آبیاری را توصیه کرد.

سپاسگزاری

با تشکر از گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی برای همکاری و پشتیبانی از این تحقیق.

Reference

Adigun, J., Daramola, O., Adeyemi, O., Olorunmaiye, P., & Osipitan, O. (2018). Nitrogen and weed management in transplanted tomato in the Nigerian forest-savanna transition zone. Annals of Agrarian Science, 16(3), 281-285. https://doi.org/10.1016/j.aasci.2018.04.001

Ayala-Zavala, J. F., Wang, S. Y., Wang, C. Y., & González-Aguilar, G. A. (2004). Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. LWT-Food Science and Technology, 37(7), 687-695. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.02.008

Bauchet, G., & Causse, M. (2012). Genetic diversity in tomato (*Solanum lycopersicum*) and its wild relatives. Genetic Diversity in Plants, 8, 134-162. https://doi.org/10.5772/33086

Bintsis, T. (2018). Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics. AIMS Microbiology, 4(4), 665. https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.4.665

Bor, M., Seckin, B., Ozgur, R., Yılmaz, O., Ozdemir, F., & Turkan, I. (2009). Comparative effects of drought, salt, heavy metal and heat stresses on gamma-aminobutryric acid levels of sesame (*Sesamum indicum* L.). Acta Physiologiae Plantarum, 31, 655-659. https://doi.org/10.1007/s11738-008-0255-2

Burton-Freeman, B., & Reimers, K. (2011). Tomato consumption and health: emerging benefits. American Journal of Lifestyle Medicine, 5(2), 182-191. https://doi.org/10.1177/1559827610387488

Causse, M., Zhao, J., Diouf, I., Wang, J., Lefebvre, V., Caromel, B., ... & Barone, A. (2020). Genomic designing for climate-smart tomato. Genomic Designing of Climate-Smart Vegetable Crops, 47-159. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97415-6_2

Chen, H., Yan, X., Du, G., Guo, Q., Shi, Y., Chang, J., ... & Yue, T. (2023). Recent developments in antifungal lactic acid bacteria: application, screening methods, separation, purification of antifungal compounds and antifungal mechanisms. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63(15), 2544-2558. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1977613

Damadi, A. A., Rasoli, F., Aazami, M. A., Hassanpouraghdam, M. B., Vojoudi Mehrabani, L., Ferdowsi Qebchaq, P., & PanahiTajaragh, R. (2024). Evaluation of Mycorrhiza and Seaweed Extract Application on Some Morphological and Physiological Traits and Nutrients of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Transplant. Journal of Vegetables Sciences, 8(16), 85-104. (In Persian) https://doi.org/10.22034/iuvs.2023.2006338.1299

Di Matteo, A., Sacco, A., Anacleria, M., Pezzotti, M., Delledonne, M., Ferrarini, A., ... & Barone, A. (2010). The ascorbic acid content of tomato fruits is associated with the expression of genes involved in pectin degradation. BMC Plant Biology, 10(1), 1-11. https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-236

Dissa, A., Desmorieux, H., Bathiebo, J., & Koulidiati, J. (2008). Convective drying characteristics of Amelie mango (*Mangifera Indica* L. cv.'Amelie') with correction for shrinkage. Journal of Food Engineering, 88(4), 429-437. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.007

Duar, R. M., Lin, X. B., Zheng, J., Martino, M. E., Grenier, T., Pérez-Muñoz, M. E., ... & Walter, J. (2017). Lifestyles in transition: evolution and natural history of the genus Lactobacillus. FEMS Microbiology Reviews, 41(Supp_1), S27-S48. https://doi.org/10.1093/femsre/fux030

Farahi, M. H., Aboutalebi, A., Eshghi, S., Dastyaran, M., & Yosefi, F. (2013). Foliar application of humic acid on quantitative and qualitative characteristics of 'Aromas' strawberry in soilless culture. Agricultural Communications, 1(1), 13-16. (In Persian)

Ferrara, G., & Brunetti, G. (2010). Effects of the times of application of a soil humic acid on berry quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) cv Italia. Spanish Journal of Agricultural Research, 8(3), 817-822. https://doi.org/10.5424/sjar/2010083-1362

Filho, E. G. A., Braga, L. N., Silva, L. M. A., Miranda, F. R., Silva, E. O., Canuto, K. M., ... & Zocolo, G. J. (2018). Physiological changes for drought resistance in different species of Phyllanthus. Scientific Reports, 8(1), 15141. https://doi.org/10.1038/s41598-018-33425-8

Fromm, H. (2020). GABA signaling in plants: targeting the missing pieces of the puzzle. Journal of Experimental Botany, 71(20), 6238-6245. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa358

Gerszberg, A., & Kononowicz, A. K. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 120, 881-902. https://doi.org/10.1007/s11240-015-0724-4

Giglou, M. T., Giglou, R. H., Esmaeilpour, B., Azarmi, R., Padash, A., Falakian, M., ... & Lajayer, H. M. (2022). A new method in mitigation of drought stress by chitosan-coated iron oxide nanoparticles and growth stimulant in peppermint. Industrial Crops and Products, 187, 115286. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115286

Goldani, M., Fazeli Kakhki, S. F., & Beikzadeh, N. (2022). The Effect of Application Method and Biofertilizer Type on Some Morphophysiological, Biochemical, and Yield Components Traits of Tomato Plant (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Vegetables Sciences, 5(10), 5371. (In Persian). https://doi.org/10.22034/iuvs.2021.531030.1162

Gramazio, P., Takayama, M., & Ezura, H. (2020). Challenges and prospects of new plant breeding techniques for GABA improvement in crops: tomato as an example. Frontiers in Plant Science, 11, 577980. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.577980

Hernandez, N. (2012). Information and statistics of agricultural and animal products. Ministry of Agricultural, 9(1), 39-45.

Heydarnazhad, R., Ghahremani, Z., Barzegar, T., & Rabiei, V. (2019). The effects of harvesting stage and chitosan coating on quality and shelf-life of Physalis angulata L. Iranian Journal of Horticultural Science, 50(1), 173-186. (In Persian) https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.250863.1389

Jalil, S. U., Ahmad, I., & Ansari, M. I. (2017). Functional loss of GABA transaminase (GABA-T) expressed early leaf senescence under various stress conditions in Arabidopsis thaliana. Current Plant Biology, 9, 11-22. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2017.04.001

Kinnersley, A. M., & Turano, F. J. (2000). Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. Critical Reviews in Plant Sciences, 19(6), 479-509. https://doi.org/10.1080/07352680091139277

Köksal, A. İ., Yildirim, O., Dumanoğlu, H., Güneş, N. T., & Kadayifçi, A. (1999). Effects of different irrigation methods and regimes on vegetative growth, fruit yield and quality of apple trees. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23(10), 909-920.

Krishna, R., Ansari, W. A., Jaiswal, D. K., Singh, A. K., Prasad, R., Verma, J. P., & Singh, M. (2021). Overexpression of AtDREB1 and BcZAT12 genes confers drought tolerance by reducing oxidative stress in double transgenic tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Plant Cell Reports, 40(11), 2173-2190. https://doi.org/10.1007/s00299-021-02778-2

Krishna, R., Ansari, W. A., Soumia, P., Yadav, A., Jaiswal, D. K., Kumar, S., ... & Verma, J. P. (2022). Biotechnological Interventions in Tomato (*Solanum lycopersicum*) for Drought Stress Tolerance: Achievements and Future Prospects. BioTech, 11(4), 48. https://doi.org/10.3390/biotech11040048

Lee, X., Tan, J., & Cheng, L. (2023). Gamma aminobutyric acid (GABA) enrichment in plant-based food–A mini review. Food Reviews International, 39(8), 5864-5885. https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2097257

Li, Z., Huang, T., Tang, M., Cheng, B., Peng, Y., & Zhang, X. (2019). iTRAQ-based proteomics reveals key role of γ-aminobutyric acid (GABA) in regulating drought tolerance in perennial creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*). Plant Physiology and Biochemistry, 145, 216-226. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.10.038

Maerere, A., Sibuga, K., Mwajombe, K., Kovach, J., & Erbaugh, M. (2006). Baseline survey report of tomato production in Mvomero district-Morogoro region, Tanzania. Sokoine University of Agriculture.

Mekonnen, D. W., Flügge, U.-I., & Ludewig, F. (2016). Gamma-aminobutyric acid depletion affects stomata closure and drought tolerance of Arabidopsis thaliana. Plant Science, 245, 25-34. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.01.005

Naika, S., Hilmi, M., & Van Dam, B. (2005). Cultivation of tomato: Production, processing and marketing. Agromisa.

Pal, S., Zhao, J., Khan, A., Yadav, N. S., Batushansky, A., Barak, S., ... & Rachmilevitch, S. (2016). Paclobutrazol induces tolerance in tomato to deficit irrigation through diversified effects on plant morphology, physiology and metabolism. Scientific Reports, 6(1), 39321. https://doi.org/10.1038/srep39321

Perveen, R., Suleria, H. A. R., Anjum, F. M., Butt, M. S., Pasha, I., & Ahmad, S. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids and lycopenes chemistry; metabolism, absorption, nutrition, and allied health claims—A comprehensive review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 55(7), 919-929. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.657809

Pietro, R., Kashima, S., Sato, D., Januario, A., & Franca, S. (2000). In vitro antimycobacterial activities of *Physalis angulata* L. Phytomedicine, 7(4), 335-338.

https://doi.org/10.1016/S0944-7113(00)80054-8

Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., & Pessarakli, M. (2016). Stomatal responses to drought stress. Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach, 1, 24-40. https://doi.org/10.1002/9781119054450.ch3

Raggi, V. (1994). Changes in free amino acids and osmotic adjustment in leaves of water-stressed bean. Physiologia Plantarum, 91(3), 427-434. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb02970.x

Ramos-Ruiz, R., Poirot, E., & Flores-Mosquera, M. (2018). GABA, a non-protein amino acid ubiquitous in food matrices. Cogent Food & Agriculture, 4(1), 1534323. https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1534323

Rao, A. V., & Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. Pharmacological Research, 55(3), 207-216. https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.012

Rezaei-Chiyaneh, E., Seyyedi, S. M., Ebrahimian, E., Moghaddam, S. S., & Damalas, C. A. (2018). Exogenous application of gamma-aminobutyric acid (GABA) alleviates the effect of water deficit stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). Industrial Crops and Products, 112, 741-748. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.074

Sadiq, F. A., Yan, B., Tian, F., Zhao, J., Zhang, H., & Chen, W. (2019). Lactic acid bacteria as antifungal and anti-mycotoxigenic agents: a comprehensive review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18(5), 1403-1436. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12481

Sairam, R., & Srivastava, G. (2001). Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. Journal of Agronomy and Crop Science, 186(1), 63-70. https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00461.x

Sathe, S., Nawani, N., Dhakephalkar, P., & Kapadnis, B. (2007). Antifungal lactic acid bacteria with potential to prolong shelf-life of fresh vegetables. Journal of Applied Microbiology, 103(6), 2622-2628. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03525.x

Serraj, R., Shelp, B. J., & Sinclair, T. R. (1998). Accumulation of γ-aminobutyric acid in nodulated soybean in response to drought stress. Physiologia Plantarum, 102(1), 79-86. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1020111.x

Shiferaw, B., & Baker, D. A. (1996). An evaluation of drought screening techniques for Eragrostis tef. Tropical Science (United Kingdom).

Sihag, D., & Singh, J. (1997). Effect of Organic Materials on Ammonhl Volatilization Losses from Urea under Submerged Condition. Journal of the Indian Society of Soil Science, 45(4), 822-825.

Steward, F. (1949). γ-Aminobutyric acid: a constituent of potato tubers? Science, 110, 439-440. https://doi.org/10.1126/science.110.2862.439

Thompson, J. F., Stewart, C. R., & Morris, C. J. (1966). Changes in amino acid content of excised leaves during incubation I. The effect of water content of leaves and atmospheric oxygen level. Plant Physiology, 41(10), 1578-1584. https://doi.org/10.1104/pp.41.10.1578

Tilahun, S., Choi, H.-R., Baek, M.-W., Cheol, L.-H., Kwak, K.-W., Park, D.-S., ... & Jeong, C.-S. (2021). Antioxidant properties, γ-aminobutyric acid (GABA) content, and physicochemical characteristics of tomato cultivars. Agronomy, 11(6), 1204. https://doi.org/10.3390/agronomy11061204

Torabi Giglou, M., Elhami, R., Heydarnajad Giglou, R., Mahdavikia, H., & Ghahramanzadeh, S. (2024). Investigating the effects of GABA on the growth and quantitative and qualitative yield of fenugreek under water stress conditions. Journal of Environmental Science Studies, 9(2), 8503-8515. (In Persian). https://doi.org/10.22034/jess.2023.416320.2127

Torabi Giglou, M., Heydarnajad Giglou, R., Azarmi, R., Salimi, G., Maleki Lajayer, H., Mokhtari, A. M., & Bagherian, M. (2023). Effects of Kitoplus® and Chitosan-coated Iron Nano-oxide on morpho-physiological properties of peppermint under drought stress. Journal of Vegetables Sciences, 6(12), 135-146. (In Persian) https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.5468961196

Ucar, Y., Kadayıfcı, A., Aşkın, M., Kankaya, A., Şenyiğit, U., & Yıldırım, F. (2016). Effects of Irrigation Frequency on Yield and Quality Parameters in Apple cv'Gala, Galaxy'. Erwerbs-Obstbau, 58(3), 193-198. https://doi.org/10.1007/s10341-016-0287-5

Vijayakumari, K., & Puthur, J. (2015). γ-Aminobutyric acid (GABA) priming enhances the osmotic stress tolerance in Piper nigrum Linn. plants subjected to PEG-induced stress.

Plant Growth Regulation, 76, 1-11. https://doi.org/10.1007/s10725-014-0012-z

Viskelis, P., Radzevicius, A., Urbonaviciene, D., Viskelis, J., Karkleliene, R., & Bobinas, C. (2015). Biochemical parameters in tomato fruits from different cultivars as functional foods for agricultural, industrial, and pharmaceutical uses. Plants for the Future, 11, 45.

Xu, B., Long, Y., Feng, X., Zhu, X., Sai, N., Chirkova, L., ... & Okamoto, M. (2021). GABA signalling modulates stomatal opening to enhance plant water use efficiency and drought resilience. Nature Communications, 12(1), 1952. https://doi.org/10.1038/s41467-021-21694-3

Yang, A., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y., & Zheng, Y. (2011). γ-Aminobutyric acid treatment reduces chilling injury and activates the defence response of peach fruit. Food Chemistry, 129(4), 1619-1622. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.06.018

Yong, B., Xie, H., Li, Z., Li, Y.-P., Zhang, Y., Nie, G., ... & Yan, Y.-H. (2017). Exogenous application of GABA improves PEG-induced drought tolerance positively associated with GABA-shunt, polyamines, and proline metabolism in white clover. Frontiers in Physiology, 8, 1107. https://doi.org/10.3389/fphys.2017.01107