J. Crop Product. Process. 2025, 15(1), 19-31; DOI: 10.47176/jcpp.15.1.37792

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

Application of Bentonite and Salicylic Acid Benefits Growth and Fruit Yield of Khatooni Melon under Drought Stress

Hossein Nastari Nasrabadi [1], Seyed Hossein Nemati *[2], Mohammad Kafi [3] and Hossein Aroiee [4]

1. Ph.D. Graduate student, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran and Assistant Professor, Department of Horticulture Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Animal Science, University of Torbat-e Jam, Torbat e Jam, Khorasan Razavi, Iran
2. and 4. Assistant Professor and Associate Professor, Respectively, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Extended Abstract

Introduction: Melon (*Cucumis melo* L.) is an annual plant from Cucurbitaceae family and has a very high diversity in Iran and the world. The Khatooni variety is a melon variety widely cultivated in Khorasan Razavi Province, north-east of Iran**.** The growth and yield of agricultural crops are affected by environmental stresses. Drought stress is one of the most critical environmental stresses that limit crop production, particularly in arid and semi-arid regions. Salicylic acid has diverse physiological roles in plants, including improving plant growth and photosynthesis. Some researches have indicated that watermelon growth and yield may increase by applying salicylic acid under drought stress conditions. Another criterion for improvement in using water resources is the use of superabsorbent polymers. Bentonite has the ability to absorb water and minerals and prevent the leaching of minerals in the soil. Therefore, the aim of this study was to evaluate the role of salicylic acid and bentonite and investigate their interaction in mitigating drought stress and increase the quality and yield of melon.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of bentonite superabsorbent and salicylic acid on Khatooni melon under drought stress conditions, a split factorial experiment based on a randomized complete block design with four replications was performed in two years. Irrigation factor was applied at 3 levels: 100, 80 or 60% of water requirement. Foliar spraying of salicylic acid was done at 70 or 100 ppm when the fruits had a diameter of 10 cm, and repeated after 20 days. Bentonite was applied at two levels (0 and 0.15% by weight per ha). Bentonite was mixed with the upper 30 cm of the soil depth. In each experimental unit, the distance between plants was 70 cm on each row and the rows distanced 3 m apart. In order to prevent water penetration between adjacent plots a 6 m distance was considered between experimental units, i.e. plots. Stem length, leaf area, chlorophyll content, relative water content, total soluble solids, and fruit yield were measured. Minitab software was used for statistical analysis. Comparison of means was performed using Duncan's multiple range test at a 5% probability level, and Excel software was used to draw the graphs.

Received: Aug. 16, 2024; Revised: Oct. 05, 2024; Accepted: Oct. 19, 2024; Published Online: Mar. 15, 2025.

* Corresponding Author: nemati@um.ac.ir

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Results and Discussion: A decreasing trend in stem length with increasing drought stress was observed in the studied treatments (Table 2). Mean comparison of triple interaction effects showed that the application of bentonite and salicylic acid in different irrigation treatments increased stem length (Table 2). The lowest stem length (194.36 cm) was obtained in the presence of 60% water requirement, absence of bentonite and salicylic acid, indicating a 31.2% decrease compared to the control (in the presence of 100% water requirement, absence of bentonite and salicylic acid). The highest stem length (346.89 cm) was recorded in the presence of 100% water requirement, bentonite application, and 100 ppm of salicylic acid, i.e. a 22.7% increase in stem length compared to the control. With increasing drought stress, leaf area decreased, so that in severe stress (60% water requirement) and moderate stress (80% water requirement) conditions, leaf area decreased by 28.47% and 23.76%, respectively, compared to the control. Results showed that with increasing drought stress, the content of chlorophyll a, b and total chlorophyll significantly decreased. The lowest amount of chlorophyll a, b and total chlorophyll was recorded in the presence of 60% water requirement and absence of salicylic acid, i.e. 26.0, 36.6 and 28.6% decreases, respectively, compared to the control (in the presence of 100% water requirement and absence of salicylic acid). With increasing drought stress, the relative leaf water content decreased significantly. In each irrigation treatment by bentonite application and salicylic acid, the relative leaf water content increased. The highest (88.19%) and the lowest (75.95%) relative leaf water content was recorded in the combined treatment of 100% water requirement, bentonite and 100 ppm of salicylic acid and the combined treatment of 60% water requirement, without bentonite and salicylic acid, respectively. With increasing drought stress, the amount of total soluble solids increased. No significant difference was observed between 80% and 60% water requirement treatments. However, the highest amount of total soluble solids was recorded when the melon plants were exposed to the 60% water requirement treatment. The results showed that with increasing drought stress, fruit yield decreased significantly. Under each of the irrigation treatments fruit yield increased significantly in the presence of bentonite and salicylic acid, particularly 100 ppm salicylic acid.

Conclusions: Based on the results of this research, it can be concluded that under water deficit conditions, using bentonite and salicylic acid are capable to mitigate the effects of drought stress on melon plants, mainly through reducing water consumption, leading to increased fruit yield and quality.

Keywords: Chlorophyll content, Stem length, Leaf area, Relative water content.

How to Cite: Nastari Nasrabadi H., Nemati S. H., Kafi M., Aroiee H. Application of bentonite and salicylic acid benefits growth and fruit yield of khatooni melon under drought Stress. *J. Crop Product. Process*. 2025, 15(1), 19-31 (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.15.1.37792

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۱، ص. ۳۱-۱۹، DOI: 10.47176/jcpp.15.1.37792

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

بهبود رشد و عملکرد خربزه خاتونی با کاربرد بنتونیت و سالیسیلیک‌اسید تحت تنش خشکی

حسین نستری نصرآبادی[۱]، سید حسین نعمتی*[۲]، محمد کافی[۳] و حسین آروئی[۴]

چکیده– به منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید (صفر، ۷۰ و ۱۰۰ پی پی ام) و بنتونیت (صفر و ۰/۱۵ ٪ وزنی) بر عملکرد، شاخص های رشد و مقاومت به خشکی در خربزه خاتونی، توده بومی استان خراسان رضوی، در سطوح مختلف آبیاری (۶۰ ٪،۸۰ ٪ و ۱۰۰ ٪ نیاز آبی) آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار و در دو سال متوالی به صورت تجزیه مرکب در شهرستان تربت جام اجرا شد. هنگامی که میوه ها به اندازه ۱۰ سانتی متر طول رسیدند محلولپاشی با سالیسیلیک اسید انجام شد و تکرار محلولپاشی با فاصله ۲۰ روز انجام شد. سوپر جاذب بنتونیت تا عمق ۳۰ سانتی متری با خاک مخلوط شد. نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی طول ساقه، سطح برگ، محتوای کلروفیل، محتوای رطوبت نسبی و عملکرد به طور معنی داری کاهش می یابد. کاربرد بنتونیت و مقدار ۱۰۰ پی پی ام سالیسیلیک اسید در شرایط تنش باعث بهبود صفات رویشی و کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش عملکرد شد. کمترین مقدار عملکرد (۱۴/۹ تن در هکتار) در شدیدترین تنش خشکی (۶۰ ٪ نیاز آبی) و عدم کاربرد بنتونیت و سالیسیلیک اسید ثبت شد که نسبت به شاهد (۱۰۰ ٪ نیاز آبی و بدون کاربرد بنتونیت و سالیسیلیک اسید) ۴۴/۲ ٪ کمتر بود با افزایش تنش خشکی میزان مواد جامد محلول کل افزایش یافت، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۸۰ و ۶۰ ٪ نیاز آبی مشاهده نشد ولی بهرحال بیشترین مقدار (۱۲/۲ ٪) مواد جامد محلول کل در تیمار ۶۰ ٪ نیاز آبی ثبت شد، که نسبت به شاهد (۱۰۰ ٪ نیاز آبی) ۱۱/۶۱ ٪ بیشتر بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با استفاده از سوپر جاذب طبیعی بنتونیت و سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک ماده ضد تنش، می‌توان اثرات تنش خشکی را کاهش داد و به عنوان یک راهکار در مناطق خشک و نیمه خشک تولید خربزه توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: سطح برگ، طول ساقه، محتوای رطوبت نسبی، محتوای کلروفیل.

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷، اولین انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

۱. دانش آموخته دکتری، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران و استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، خراسان رضوی، ایران

۲. و ۴. به‌ترتیب استادیار و دانشیار، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳. استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

*: نویسنده مسئول، رایانامه: nemati@um.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۴ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد حیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

خربزه (*Cucumis melo* L.) گیاه یکساله و یک پایه متعلق به خانواده کدوئیان و دارای تنوع بسیار بالایی در ایران و جهان است. رقم خاتونی، رقم معروف خربزه استان خراسان رضوی است که در سطح وسیع مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. خربزه یکی از مهمترین محصولات شهرستان تربت‌جام است که نقش بسیار مهمی در اقتصاد و اشتغالزایی منطقه دارد. رشد و عملکرد محصولات کشاورزی تحت تاثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد. کاهش منابع آب با کیفیت برای آبیاری یکی از بزرگترین تهدیدهای امنیت غذایی بشراست. زیرا منابع آب دنیا در حال محدود شدن است. درحالی‌که تقاضا برای غذا به سرعت در حال افزایش است. ایران و از جمله دشت تربت‌جام با دارا بودن ۹۷۸ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، به لحاظ منابع آب با بحران شدید مواجه است.

میرعابد و همکاران (۲۲) و کشاورزپور و رشیدی (۱۷) در مطالعات خود نشان دادند که تحت تنش خشکی عملکرد طالبی کاهش می‌یابد. همچنین نستری نصرآبادی و همکاران (۲٦) گزارش کردند عملکرد هندوانه تحت تنش خشکی کاهش می‌یابد.

آزمایشات مختلف، پتانسیل سالیسیلیک اسید را به‌عنوان یک محرک دفاعی گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی برجسته کرده است (۲٦ و ۳۰). سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک گروه از ترکیبات فنولی، دارای یک حلقه آروماتیک متصل به یک گروه هیدروکسیل بوده که به‌عنوان یک القاءکننده موثر در بیان ژن‌های مقاومت به تنش شناخته شده است (۱٦). سالیسیلیک اسید نقش‌های فیزیولوژیکی متنوعی در گیاه دارد که شامل بهبود رشد گیاه (۱۸)، القاء گلدهی، جذب مواد غذایی، بیوسنتز اتیلن، فتوسنتز و مقاومت به بیماری‌ها و تنش‌های غیر زنده است (۹ و ۱۵). گزارش شده در میان تنش‌های غیر زنده سالیسیلیک اسید برای مقابله با تنش فلزات سنگین (٦)، دمای پایین (۳٤)، دمای بالا (۱۳)، شوری (۲۵ و ۲۸) و تنش خشکی (۲۷ و ۳۰) موثر است. نستری نصرآبادی و همکاران (۲۹) گزارش کردند رشد و عملکرد هندوانه با استفاده از سالیسیلیک اسید تحت تنش خشکی بهبود یافت. همچنین گزارش شده است عملکرد خربزه تحت تنش خشکی با کاربرد سالیسیلیک اسید افزایش یافت (۲٤).

یکی دیگر از روش‌های استفاده بهینه از منابع آب استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب است. بنتونیت از جمله سوپر جاذب‌های طبیعی است که مخلوطی از کانی‌های رسی بوده ودارای چسبندگی زیادی است (۳۳). بنتونیت‌ها دارای بار منفی زیادی است در نتیجه با کاتیون‌هایی از قبیل منیزیم، پتاسیم، سدیم به حالت تعادل در می‌آیند. بنابراین به‌عنوان یک ماده خنثی با pH نرمال یا قلیایی ضعیف عمل می‌کنند. بنتونیت قابلیت جذب آب و مواد معدنی دارد و از شسته شدن مواد معدنی موجود در خاک جلوگیری می‌کند و درنتیجه باعث باعث حاصلخیزی خاک می‌شود (۲۳ و ۳۳).

بنابراین، هدف از این مطالعه، ارزیابی نقش سالیسیلیک اسید و بنتونیت به‌عنوان سوپرجاذب طبیعی و بررسی اثرات متقابل آنها برای کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش کیفیت و عملکرد خربزه بود.

مواد و روش‌ها

الف) طرح پژوهشی و تیمارها

به‌منظور بررسی اثر سوپرجاذب بنتونیت و سالیسیلیک اسید بر خربزه خاتونی در شرایط تنش خشکی آزمایشی به‌صورت تجزیه مرکب اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ٤ تکرار در دو سال اجرا شد. عامل آبیاری در ۳ سطح ۱۰۰، ۸۰ یا ٦۰ ٪ نیاز آبی اعمال شد، محلولپاشی با غلظت ۷۰ یا ۱۰۰ پی‌پی‌ام هنگامی که میوه‌ها به اندازه ۱۰ سانتی‌متر طول رسیدند انجام شد. محلولپاشی ۲۰ روز بعد تکرار شد. بنتونیت در دو سطح صفر یا ۰/۱۵ درصد وزنی در هکتار تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک در زمان آماده سازی بستر کاشت استفاده شد.

ب) اجرای آزمایش

این پژوهش در زمینی به مساحت ۲۰۰۰ مترمربع به‌صورت زیر اجرا شد: در هر واحد آزمایشی فاصله بوته‌ها در ردیف ۷۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها ۳ متر بود و بین واحدهای آزمایشی نیز ٦ متر فاصله جهت جلوگیری از نفوذ آب و تاثیر عامل آبیاری در هر تیمار در نظر گرفته شد. نیاز آبی طبق نرم‌افزار بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی

مصرف آب کشاورزی (OPTIWAT) طراحی شده توسط علیزاده و کمالی (۱) به‌صورت روزانه بر اساس تاریخ کاشت در هر سال تعیین شد. دور آبیاری بر اساس عرف منطقه هفت روز انتخاب شد و میزان آب لازم بر اساس نیاز آبی در مدت ۷ روز جمع و مقدار آب مورد نیاز توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.

ج) صفات مورد مطالعه

در این آزمایش طول ساقه، سطح برگ، محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، مواد جامد محلول کل و عملکرد اندازه‌گیری شد. طول ساقه با متر و سطح برگ به وسیله دستگاه سطح سنج برگ اندازه‌گیری شد. در این آزمایش، محتوای نسبی آب برگ بر اساس رابطه (۱) به‌دست آمد.

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$ رابطه (۱)

در این رابطه FW وزن تر، DW وزن خشک و TW وزن اشباع است. وزن اشباع با قرارگرفتن نمونه‌ها در آب به مدت ٢٤ ساعت در شرایط تاریکی به‌دست آمد، سپس این نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت قرار گرفتند و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد (۱۲).

میزان کلروفیل بر اساس روش لیچتنتالر (۲۰) انجام شد. طبق این روش ۰/۲ گرم از بافت برگ وزن و در هاون چینی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ ٪ ساییده شد. سپس محتوای هاون چینی بر روی کاغذ صافی واتمن شماره ۱ که در قیف شیشه‌ای قرار داشت ریخته و صاف شد. دوباره محلول با افزودن استون ۸۰ ٪ به ۱۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس ۳ میلی‌لیتر از این محلول که حاوی کلروفیل a و b بود در کووت ریخته شد و شدت جذب آن در طول موج های ٦٦٣ نانومتر برای کلروفیل a و ٦٤٥ نانومتر برای کلروفیل b توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و پس از محاسبه کلروفیل a (رابطه ۲) و b (رابطه ۳) مجموع آنها به‌عنوان کلروفیل کل (رابطه ٤) لحاظ شد.

$$Chl.a(\frac{mg}{g} f.w) = [12.7(A663) - 2.69(A645)] \times \frac{V}{1000} \times W$$ رابطه۲

$$Chl.b(\frac{mg}{g} f.w) = [22.9(A645) - 4.68(A663)] \times \frac{V}{1000} \times W$$ رابطه۳

$$(\frac{mg}{g} f.w) = Chl.a + Chl.b$$ رابطه٤

در این رابطه‌ها V حجم نهایی عصاره بر حسب میلی‌لیتر، W وزن تر بافت گیاهی بر حسب گرم و A جذب نور در طول موج‌های مورد نظر هستند.

د) آنالیز داده‌ها

از نرم افزار Minintab برای تجزیه آماری استفاده شد. مقایسه میانگین صفات بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ ٪ انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

طول ساقه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه آبیاری، بنتونیت و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند (جدول ۱). روند کاهش طول ساقه با افزایش تنش خشکی در تیمارهای مورد مطالعه مشاهده شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه نشان داد با کاربرد بنتونیت و سالیسیلیک اسید در تیمارهای مختلف آبیاری طول ساقه افزایش یافت که این افزایش در تیمار ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید بیشتر بود و اختلاف معنی‌داری با عدم کاربرد بنتونیت و سالیسیلیک اسید در هر تیمار آبیاری داشت (جدول ۲). کمترین طول ساقه (۱۹٤ سانتی‌متر) در تیمار ترکیبی نیاز آبی ٦۰ ٪ ، بدون بنتونیت و سالیسیلیک اسید به‌دست آمد که نسبت به شاهد (۱۰۰ ٪ نیاز آبی، بدون بنتونیت و سالیسیلیک اسید) ۳۱/۲٪ کاهش نشان داد. بیشترین طول ساقه (۳٤٦ سانتی‌متر) در ترکیب تیمار نیاز آبی ۱۰۰ ٪ با کاربرد بنتونیت و ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک ثبت شد که باعث افزاش ۲۲/۷ ٪ طول ساقه نسبت به شاهد شد. تنش خشکی باعث کاهش طول گیاه در خربزه شد، به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش طول گیاه بیشتر کاهش یافت. کاهش محتوای آب سلول‌ها باعث افزایش غلظت شیره سلولی شده که فعالیت‌های آنزیمی و

جدول ١. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه گیاه خربزه با کاربرد بنتونیت و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف آبیاری.

منابع تغییر	درجه آزادی	طول ساقه	سطح برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	محتوای نسبی آب برگ	مواد جامد محلول کل	عملکرد
سال	١	١٤١ ns	٠/٩١ ns	٠/٠٠٧ ns	٠/١٦ ns	٠/٢٣ ns	٧/٥٩ ns	٦/٧٦ ns	٦/٠٩ ns
بلوک	٣	١٨/٦ ns	٠/٠٤ ns	٠/٠٠٩ ns	٠/٠٧ ns	٠/٠٣ ns	٣/٥٩ ns	١/٠٩ ns	١/٧٣ ns
بلوک × سال (خطای a)	٣	٢٣/٥	٠/١٠	٠/٠٢٦	٠/٣٣	٠/١٣	٢٥/٩٠	١/١٠	٦/٦٥
آبیاری	٢	٧٤٢٢٣ **	١٨/٢ **	٢٠/٥ **	٤/٢٣ **	٤٢/٢ **	٢٣٦٥ **	٢٢/٤ **	١٥١٨/٦١ **
سال × آبیاری	٢	٢٣٩ ns	٠/١٥ ns	٠/٠٥ ns	٠/١٢ ns	١/٠٩ ns	١٠/٦ ns	٠/٧١ ns	٤/٠٢ ns
بلوک × آبیاری و سال (خطای b)	١٢	٢٠٥	٠/١٥	٠/٢٥	٠/١٦	٠/٤٧	١٧/٥	٠/٥٢	٢/٥٩
بنتونیت	١	٢٧٣٣٥**	٩/٧٧**	١٨/٥ **	٢/٣١ **	٣٣/٩ **	١٢٩٧**	٦/١٣ **	١١٤/٠٢ **
سالیسیلیک اسید	٢	٢٨٦٦١ **	٦/٧٩ **	١٢/٥ **	٢/٤٩ **	٢٥/٩ **	١١٦٢ **	٤/٢٥ **	١٠١/٨٠ **
سال × بنتونیت	١	٢٨٨ ns	٠/٠٠٢ ns	٠/٠٠٢ ns	٠/٠٠٢ ns	٠/٠١ ns	٣/٣٦ ns	٠/٠٤ ns	١/٥٧ ns
سال × سالیسیلیک اسید	٢	٨٨/٠ ns	٠/٠٢ ns	٠/٢٠ ns	٠/٠٠٤ ns	٠/٢٥ ns	٢٤/٧ ns	٠/٠١ ns	٠/٩٠ ns
آبیاری × بنتونیت	٢	٢٧٤ ns	٠/١٥ ns	٠/٢٧ ns	٠/٤٠ *	٠/٦٣ ns	١٧/١ ns	٠/١٥ ns	١٠/٠٢ *
آبیاری × سالیسیلیک اسید	٤	١١٣٨ **	٠/٠٤ ns	١/٠٢ **	٠/٣٠ *	٢/٠٣ **	٥٧/٣ **	٠/٠٩ **	٧/٣٥ **
بنتونیت × سالیسیلیک اسید	٢	١٨٠ ns	٠/٦٣ **	٠/٦٦ *	٠/٠٠٣ ns	٠/٧٥ ns	٦٢/٥ *	١/١١ ns	٢/٤٢ ns
سال × آبیاری × بنتونیت	٢	١٠٢ ns	٠/١٠ ns	٠/٥٣ ns	٠/٠٢ ns	٠/٦١ ns	٢/٦٦ ns	٠/٠٨ ns	٢/٤٤ ns
سال × آبیاری × سالیسیلیک اسید	٤	٦٥/٢ ns	٠/٠١ ns	٠/١٢ ns	٠/١٨ ns	٠/٤٤ ns	٢٤/٩ ns	٠/٠٧ ns	٤/١٤ ns
سال × بنتونیت × سالیسیلیک اسید	٢	١٤/٤ ns	٠/١٤ ns	٠/٣٤ ns	٠/٠٥ ns	٠/٥٨ ns	٣/١٧ ns	٠/٠٤ ns	٠/٤٩ ns
آبیاری × بنتونیت × سالیسیلیک اسید	٤	٤٢٨ **	٠/٠٨ ns	٠/٣٢ ns	٠/٠٥ ns	٠/٥٥ ns	٦٣/٧ **	٠/٢٠ ns	٥/٧١ *
سال × آبیاری × بنتونیت × سالیسیلیک اسید	٤	١٤٤ ns	٠/١٢ ns	٠/٤١ ns	٠/٠٣ ns	٠/٣٠ ns	٠/٧٩ ns	٠/٠٤ ns	٠/٦٥ ns
خطا	٩٠	١١٢	٠/٠٥	٠/١٨	٠/١١	٠/٢٨	١٤/٥	٠/٣١	٢/١٤
ضریب تغییرات (درصد)		٣/٩٢	٦/٨٨	٦/٩٠	١٧/٦	٦/٦٨	٥/٢٧	٤/٧٣	٦/٣٣

ns عدم تفاوت معنی‌داری و * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ٥ ٪ و ١ ٪ است.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری، بنتونیت و سالیسیلیک اسید بر طول ساقه، محتوای رطوبت نسبی برگ و عملکرد میوه خربزه.

آبیاری	بنتونیت	سالیسیلیک اسید	طول ساقه (سانتی‌متر)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	عملکرد (تن د هکتار)
۱۰۰ ٪ نیاز آبی	بدون بنتونیت	بدون سالیسیلیک اسید	۲۸۲ e ± ۳/۲۱	۷۵/۷ cd ± ۰/٦۷	٦۲/۹ bc ± ۰/۷۸
		سالیسیلیک اسید (۷۰ پی‌پی‌ام)	۳۰٤ cd ± ۷/۲۳	۷۷/۱ bc ± ۱/۱۹	۲۷/٤ bc ± ۰/۲۲
		سالیسیلیک اسید (۱۰۰ پی‌پی‌ام)	۳۱۷ b ٦±/۲۱	۷۹/۹ b ۲±/۲۱	۲۷/۸ b ۰±/٤۸
	کاربرد بنتونیت	بدون سالیسیلیک اسید	۳۰٥ c ± ۳/۲۸	۷۸/۷ bc ± ۰/۲۸	۲۷/٤ bc ± ۰/۱۳
		سالیسیلیک اسید (۷۰ پی‌پی‌ام)	۳۱۸ b ± ۷/۰۱	۷۹/۷ bc ± ۱/۰۱	۲۸/۳ ab ± ۰/۱۱
		سالیسیلیک اسید (۱۰۰ پی‌پی‌ام)	۳٤٦ a ± ٦/٥۹	۸۸/۲ a ± ۲/٤۷	۲۹/٥ a ± ۰/۲۲
۸۰ ٪ نیاز آبی	بدون بنتونیت	بدون سالیسیلیک اسید	۲۱۸ g ۱±/٤۲	٦۲/۸ gh ۱±/۱۲	۲۱/۳ ef ۰±/۲۷
		سالیسیلیک اسید (۷۰ پی‌پی‌ام)	۲٥۳ f ± ۷/٤۱	٦۸/۳ ef ± ۱/۱۰	۲۲/۲ e ± ۰/۲٤
		سالیسیلیک اسید (۱۰۰ پی‌پی‌ام)	۲۷۹ e ± ٥/۰۲	۷۲/٤ de ± ۱/۹٥	۲٥/۸ c ± ۰/۱٥
	کاربرد بنتونیت	بدون سالیسیلیک اسید	۲٥۳ f ± ٤/۸٥	٦۷/۹ f ± ۰/۸۳	۲۳/۸ d ± ۰/۱٤
		سالیسیلیک اسید (۷۰ پی‌پی‌ام)	۲٥۹ cd ٦±/۰۱	۷۰/٥ ef ۰±/۷۰	۲٦/۱ c ۰±/۲۱
		سالیسیلیک اسید (۱۰۰ پی‌پی‌ام)	۲۹۳ d ± ٦/٥٤	۸٥/٦ a ± ۱/٤٥	۲۷/۸ b ± ۰/۱۲
٦۰ ٪ نیاز آبی	بدون بنتونیت	بدون سالیسیلیک اسید	۱۹٤ i ± ۸/٥۹	٥۷/۹ i ± ۱/۲۳	۱٥/۰ h ± ۰/۱۸
		سالیسیلیک اسید (۷۰ پی‌پی‌ام)	۲۰۸ h ± ٦/۸۳	٦۱/۹ h ± ۱/٤۱	۱٦/٦ g ± ۰/۱٥
		سالیسیلیک اسید (۱۰۰ پی‌پی‌ام)	۲٥٤ f ۷±/٤٦	٦۸/٤ ef ۱±/۸۲	۱٦/۹ g ۰±/۱۷
	کاربرد بنتونیت	بدون سالیسیلیک اسید	۲۲٥ g ± ۳/۲۷	٦٦/۲ fg ± ۱/۳۷	۱٦/۰ gh ± ۰/۲٦
		سالیسیلیک اسید (۷۰ پی‌پی‌ام)	۲٤٤ f ± ٥/۲۱	٦۹/۱ ef ± ۱/٤۸	۱٦/۹ g ± ۰/۱۷
		سالیسیلیک اسید (۱۰۰ پی‌پی‌ام)	۲۷۸ e ± ٤/۳۸	۷۲/٤ de ± ۱/۳٤	۲۰/۰ f ± ۰/۱٥

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال ٥ ٪ بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

اندامک‌های درون سلولی را تحت تاثیر قرار می‌دهد، با افزایش تنش آب و کاهش فشار تورژسانس سلول‌های محافظ روزنه، هدایت روزنه‌ها کاهش و به تبع آن فتوسنتز کمتر شده و در نهایت طول گیاه کاهش می‌یابد (٥). برزگر و همکاران (٤) نیز در مطالعه اثر تنش کم آبی بر روی خربزه گزارش کردند که طول ساقه با افزایش تنش خشکی کاهش یافت. در شرایط تنش خشکی حفظ آب خاک برای رشد گیاه از اهمیت بالایی برخوردار است. با کاربرد مواد نگهدارنده رطوبت در شرایط تنش می‌توان خسارت خشکی را کاهش داد. بنتونیت با دارا بودن ظرفیت بالای نگهداری آب وقتی با خاک مخلوط می‌شود، آب قابل دسترس ریشه و همچنین جذب مواد غذایی را بهبود می‌بخشد (۱۸). با کاربرد سالیسیلیک اسید طول ساقه افزایش یافت، که این افزایش احتمالا به‌دلیل افزایش پتانسیل اسمزی و حفظ فشار تورگور در سلول‌های گیاه است. همچنین احتمال داده می‌شود که سالیسیلیک اسید بتواند سبب بهبود جذب عناصر غذایی شود که این خود می‌تواند افزایش رشد را به همراه داشته باشد. از طرفی، به‌نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید با افزایش میزان کلروفیل، خصوصا در برگ‌هایی که در آغاز پیری هستند می‌تواند سبب افزایش فتوسنتز و درنتیجه افزایش رشد شود (۸).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات ساده آبیاری بر سطح برگ و مواد جامد محلول کل میوه خربزه.

آبیاری	سطح برگ (متر مربع)	مواد جامد محلول کل (درصد)
۱۰۰ درصد نیاز آبی	٤/٠٤ ^{a} ± ٠/٥٠	١٠/٩٤ ^{b} ± ٠/٦٦
۸۰ درصد نیاز آبی	٣/٠٨ ^{b} ± ٠/٤٥	١٢/٠٢ ^{a} ± ٠/٧٨
٦٠ درصد نیاز آبی	٢/٨٩ ^{c} ± ٠/٥٣	١٢/٢١ ^{a} ± ٠/٦٢

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ٤. مقایسه میانگین اثرات متقابل بنتونیت و سالیسیلیک اسید بر سطح برگ، کلروفیل a و مواد جامد محلول کل میوه در گیاه خربزه

بنتونیت	سالیسیلیک اسید	سطح برگ (مترمربع)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	مواد جامد محلول کل (٪)
بدون بنتونیت	بدون سالیسیلیک اسید	٢/٦٦ ^{e} ± ٠/٣٨	٥/٣١ ^{d} ± ٠/٤٧	١١/٥٢ ^{c} ± ٠/٤٤
	سالیسیلیک اسید (۷۰ پی‌پی‌ام)	٢/٩٨ ^{d} ± ٠/٣٥	٥/٥٣ ^{b} ± ٠/٥٥	١١/٨٨ ^{b} ± ٠/٧٠
	سالیسیلیک اسید (۱۰۰ پی‌پی‌ام)	٣/٦٠ ^{b} ٠±/٤١	٦/٣٧ ^{b} ٠±/٥٣	١٢/٤٠ ^{a} ٠±/٨١
کاربرد بنتونیت	بدون سالیسیلیک اسید	٣/٣٠ ^{c} ± ٠/٢٥	٥/٩٤ ^{c} ± ٠/٦٩	١١/٣٢ ^{c} ± ٠/٦٣
	سالیسیلیک اسید (۷۰ پی‌پی‌ام)	٣/٦٨ ^{b} ± ٠/٤٨	٦/٥٢ ^{b} ± ٠/٥٠	١١/٥٩ ^{bc} ± ٠/٦٢
	سالیسیلیک اسید (۱۰۰ پی‌پی‌ام)	٣/٨٦ ^{a} ± ٠/٣٩	٦/٩١ ^{a} ± ٠/٣٤	١١/٦٤ ^{bc} ± ٠/٥٥

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ ٪ بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

سطح برگ

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس مشخص شد اثر متقابل دو گانه بنتونیت و سالیسیلیک اسید و اثرات ساده تیمارها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌داری شدند (جدول ۱). با افزایش تنش خشکی میزان سطح برگ کاهش یافت به‌طوریکه در تنش شدید (٦٠ ٪ نیاز آبی) و متوسط (۸۰ ٪ نیاز آبی) سطح برگ نسبت به شاهد به ترتیب ٢٨٪/٤ و ٢٣/٧٪ کاهش یافت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل بنتونیت و سالیسیلیک اسید (جدول ٤) نشان داد که کاربرد تیمار تلفیقی بنتونیت و سالیسیلیک اسید سطح برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. بیشترین سطح برگ (٣/٨٦ مترمربع) مربوط به تیمار تلفیقی بنتونیت و سالیسیلیک اسید ۱۰۰ پی‌پی‌ام (٤٥/١ ٪ بیشتر از عدم کاربرد بنتونیت و سالیسیک اسید) بود. تنش آب زمانی در یک گیاه افزایش می‌یابد که شدت تعرق در آن از میزان جذب آب تجاوز کند، لذا کاهش سطح برگ می‌تواند از اولین پاسخ‌های مرفولوژیک در برابر تنش خشکی در گیاهان باشد. در این تحقیق نتایج به خوبی نشان می‌دهد که پایین‌ترین سطح رطوبتی موجود در آزمایش باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ شده است. می‌توان گفت کاهش سطح برگ یکی از واکنش‌های تحمل به خشکی در خربزه است. نتایج به‌دست آمده با مطالعات محققین دیگر یکسان است. قادری و همکاران (۱۱) در بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر روی توت فرنگی تحت تنش خشکی گزارش کردند با کاربرد ۰/۱ میلی‌مول سالیسیلیک اسید، سطح برگ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین سیاری و همکاران (۲۹) در بررسی غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر روی کاهو تحت تنش آب گزارش کردند که با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید سطح برگ نیز افزایش می‌یابد. محمدی فرد و مقدم (۲۳) در بررسی تأثیر بنتونیت بر صفات

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و سالیسیلیک اسید بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل گیاه خربزه

آبیاری	سالیسیلیک اسید	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
۱۰۰ درصد نیاز آبی	بدون سالیسیلیک اسید	٦/٦٥ bc ± ۰/۳۰	۲/۱۰ ab ± ۰/۱۲	۸/۷۵ b ± ۰/۳۵
	سالیسیلیک اسید (۷۰ پی‌پی‌ام)	٦/۷۵ b ± ۰/۵۲	۲/۱۵ ab ± ۰/۲٦	۸/۹۱ b ± ۰/٤٤
	سالیسیلیک اسید (۱۰۰ پی‌پی‌ام)	۷/۱۳ a ±۰/۲۹	۲/۲۸ a ±۰/۲۸	۹/٤۱ a ±۰/٤۹
۸۰ درصد نیاز آبی	بدون سالیسیلیک اسید	۵/۳۰ c ± ۰/۱٦	۱/٤۸ dc ± ۰/۱٦	٦/۷۸ c ± ۰/۳۱
	سالیسیلیک اسید (۷۰ پی‌پی‌ام)	۵/٦٦ d ± ۰/۲٦	۱/۹۵ bc ± ۰/۲۳	۷/٦۰ d ± ۰/۳۸
	سالیسیلیک اسید (۱۰۰ پی‌پی‌ام)	٦/٤٤ bc ± ۰/۲۰	۲/۱۵ ab ± ۰/۱۸	۸/۵۹ b ± ۰/۳۲
٦۰ درصد نیاز آبی	بدون سالیسیلیک اسید	٤/۹۲ f ± ۰/۱۸	۱/۳۳ c ± ۰/۲٤	٦/۲۵ f ± ۰/۲۳
	سالیسیلیک اسید (۷۰ پی‌پی‌ام)	۵/٦٦ d ± ۰/۲۲	۱/۵۸ d ± ۰/۲۷	۷/۲٤ d ± ۰/۲۹
	سالیسیلیک اسید (۱۰۰ پی‌پی‌ام)	٦/۳۵ c ±۰/۲۵	۱/۸٤ c ±۰/۱۹	۸/۱۹ c ±۰/۱۸

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ ٪ بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

بیوشیمیایی و محتوای رطوبت نسبی مرزه تحت تنش خشکی گزارش کرد که سطوح مختلف بنتونیت باعث افزایش معنی‌داری زیست توده تر و خشک اندام هوایی در شرایط خشکی می‌شود.

محتوای کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل دوگانه آبیاری و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱٪ بر مقدار کلروفیل a و کل و در سطح احتمال ۵٪ بر مقدار کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین اثر متقابل بنتونیت و سالیسیلیک اسید بر محتوای کلروفیل a در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد و اثر متقابل آبیاری و بنتونیت در سطح احتمال ۵٪ بر محتوای کلروفیل b معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد با افزایش تنش خشکی محتوای کلروفیل a، b و کل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین مقدار کلروفیل a، b و کل در تیمار ترکیبی ٦۰ درصد نیاز آبی و بدون سالیسیلک اسید ثبت شد که نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی و بدون سالیسیلیک اسید) به‌ترتیب ۲٦/۰، ۳٦/٦ و ۲۸/٦٪ کاهش نشان داد. در هر تیمار آبیاری کاربرد سالیسیلیک اسید مخصوصا غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام محتوای کلروفیل a، b و کل را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۵). با کاربرد بنتونیت و سالیسیلیک اسید مقدار کلروفیل a به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ٤). بیشترین مقدار کلروفیل a (٦/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار ترکیبی بنتونیت و ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید بود و نسبت به شاهد (بدون بنتونیت و سالیسیلیک اسید) ۳۰/۱ ٪ افزایش داشت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، کمترین مقدار کلروفیل b در تیمار تلفیقی ٦۰ ٪ نیاز آبی و بدون بنتونیت ثبت شد که نسبت به شاهد (۱۰۰ ٪ نیاز آبی و بدون بنتونیت) ٦۳/۸٪ کاهش نشان داد (جدول ٦). با کاربرد بنتونیت میزان کلروفیل کل نسبت به عدم کاربرد بنتونیت ۱۳/۱٪ افزایش یافت (جدول ٦). کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی در مطالعات مختلفی نشان داده شده است (۷ و ۲٦). گزارش شده است با کاربرد سالیسیلیک اسید میزان کلروفیل کل در هندوانه تحت تنش خشکی افزایش یافت (۲٦) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. احتمالا سالیسیلیک اسید از طریق

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و بنتونیت بر محتوای کلروفیل b و مقایسه میانگین اثرات ساده بنتونیت بر محتوای کلروفیل کل گیاه خربزه

تیمار		کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
۱۰۰ درصد نیاز آبی	بدون بنتونیت	۲/۱۳ ab ± ۰/۱۹
	کاربرد بنتونیت	۲/۲۳ a ± ۰/۱۵
۸۰ درصد نیاز آبی	بدون بنتونیت	۱/۷۵ d ۰±/۱٤
	کاربرد بنتونیت	۱/۹٦ bc ± ۰/۱۸
٦۰ درصد نیاز آبی	بدون بنتونیت	۱/۳٦ c ± ۰/۱٤
	کاربرد بنتونیت	۱/۸۱ cd ± ۰/۱۰
تیمار		کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
بدون بنتونیت		۷/٤۸ b ± ۰/۲۹
کاربرد بنتونیت		۸/٤٦ a ± ۰/۲۱

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ ٪ بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

بازدارندگی سنتز اتیلن در سنتز کلروفیل کمک می‌کند (۳۲). برزگر هفشجانی و همکاران (۳) نیز بیان کردند با کاربرد بنتونیت در بستر کشت فلفل دلمه‌ای گلخانه‌ای محتوای کلروفیل افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد بنتونیت با افزایش ظرفیت زراعی مزرعه و حفظ آب خاک باعث کاهش اثرات مخرب تنش خشکی شده و محتوای کلروفیل افزایش می‌یابد.

محتوای نسبی آب برگ

اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، بنتونیت و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱٪ بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (جدول ۲) با افزایش تنش خشکی میزان نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در هر تیمار آبیاری با کاربرد بنتونیت و سالیسیلیک اسید محتوای نسبی آب برگ افزایش نشان داد. بیشترین (۸۸/۲ ٪) و کمترین (۷۵/۹۵ ٪) مقدار محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب در تیمار ترکیبی ۱۰۰ ٪ نیاز آبی، بنتونیت و ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید و تیمار ترکیبی ٦۰ ٪ نیاز آبی، بدون بنتونیت و سالیسیلیک اسید ثبت شد، که نسبت به شاهد (۱۰۰ ٪ نیاز آبی، بدون کاربرد بنتونیت و سالیسیلیک اسید) به‌ترتیب باعث افزایش ۵/۳۲٪ و کاهش ۲۳/۵٪ محتوای نسبی آب برگ شدند. قادری و همکاران (۱۱) گزارش کردند که با کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش و غیر تنش موجب افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ در توت فرنگی شده است. همچنین سیاری و همکاران (۲۹) در بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر روی کاهو تحت تنش خشکی گزارش کردند که سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای رطوبت نسبی در برگ‌ها می‌شود ولی از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند. در این رابطه گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید با افزایش تجمع گونه‌های واکنشگر اکسیژن و غیر فعالسازی کانال یون پتاسیم سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شوند (۱۹). بنابراین به‌نظر می‌رسد که استفاده از تیمارسالیسیلیک اسید با تأثیر بر حرکات روزنه‌ای منجر به کاهش اتلاف آب و بهبود وضعیت آب گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود. ولی زاده قلعه بیگ و همکاران (۳۳) گزارش نمود که، کاربرد بنتونیت و سوپر جاذب A200 تحت تنش خشکی موجب افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ در کاهو می‌شود. می‌توان گفت تیمار بنتونیت به‌عنوان یک سوپرجاذب باعث افزایش مقدار رطوبت

خاک و افزایش ظرفیت زراعی مزرعه می‌شود که باعث جذب بهتر آب توسط ریشه و افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ می‌شود.

مواد جامد محلول کل

اثر ساده تیمارها در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل دوگانه بنتونیت و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شدند (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۲) نشان داد با افزایش تنش خشکی میزان مواد جامد محلول کل افزایش یافت، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۸۰ و ٦۰ ٪ نیاز آبی مشاهده نشد ولی بهرحال بیشترین مقدار مواد جامد محلول کل در تیمار ٦۰ ٪ نیاز آبی ثبت شد، که نسبت به شاهد (۱۰۰ ٪ نیاز آبی) ۱۱/٦ ٪ افزایش داشت. در بررسی اثرات متقابل بنتونیت و سالیسیلیک اسید (جدول ٤) مشخص شد بیشترین مقدار مواد جامد محلول کل در تیمار ترکیبی بدون بنتونیت و ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلک اسید به‌دست آمد و کمترین مقدار مواد جامد محلول کل در تیمار تلفیقی کاربرد بنتونیت و سالیسیلیک اسید ثبت شد. میرعابد و همکاران (۲۲) در بررسی اثر خشکی بر روی طالبی نیز گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی میزان قند میوه افزایش می‌یابد. همچنین نتایج محققین دیگر نشان می‌دهد که محتوای قند به‌طور مثبت با تنش خشکی همبستگی دارد (۹ و ۲۱). این گزارش‌ها با نتایج این تحقیق یکسان است. در مورد تاثیر سالیسیلیک اسید بر افزایش مواد جامد محلول باید گفته شود که سالیسیلیک اسید به‌دلیل افزایش نفوذپذیری غشاء، میزان جذب و مصرف مواد معدنی را افزایش می‌دهد و درنتیجه سبب افزایش وزن و همچنین مواد جامد محلول می‌شود (۱٤). همچنین می‌توان گفت که سالیسیلیک اسید با افزایش سطح برگ، میزان کلروفیل کل و فتوسنتز باعث افزایش میزان تولید کربوهیدرات‌ها می‌شود و گزارش شده است که سالیسیلیک اسید در تنظیم انتقال قند از محل تولید و یا برگ به محل مصرف یا میوه موثر است (۳٤). ولی زاده قلعه بیگ و همکاران (۳۳) نیز گزارش کردند با استفاده از بنتونیت، مقدار مواد جامد محلول کل در کاهو کاهش یافت.

عملکرد

اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، بنتونیت و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج نشان داد (جدول ۲) با افزایش تنش خشکی عملکرد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، در هر تیمار آبیاری عملکرد با ترکیب بنتونیت و سالیسیلیک اسید خصوصا ۱۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کمترین مقدار عملکرد (۱٤/۵ تن در هکتار) در شدیدترین تنش خشکی (٦۰ ٪ نیاز آبی) و عدم کاربرد بنتونیت و سالیسیلیک اسید ثبت شد که نسبت به شاهد (۱۰۰ ٪ نیاز آبی و بدون کاربرد بنتونیت و سالیسیلیک اسید) ٤٤/۲٪ کاهش نشان داد. برزگر و همکاران (٤) در بررسی اثر تنش کم آبی بر رشد و عملکرد دو رقم خربزه ایرانی (سوسکی سبز و زرد جلالی) گزارش کردند که با کاهش آب قابل دسترس عملکرد به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش می‌یابد. کشاورزپور و رشیدی (۱۷) نیز در بررسی کاهش آب قابل‌دسترس به‌میزان ۱۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ بر عملکرد طالبی گزارش کردند که بیشترین عملکرد طالبی (۲۹/۱ تن بر هکتار) در شرایط ۱۰٪ کاهش آب قابل‌دسترس و کمترین مقدار آن (۱۷/۲ تن بر هکتار) در تیمار ۷۰٪ کاهش آب به‌دست آمد. کاهش رطوبت خاک باعث اختلال در جذب عناصر توسط گیاه می‌شود و سطوح عناصر معدنی را در اندام‌های گیاهان کاهش می‌دهد (۲). تنش خشکی با کاهش محتوای آب برگ‌ها در فرآیندهای فیزیولوژیکی متعددی تاثیر می‌گذارد. کاهش در میزان فتوسنتز با کاهش سطح برگ و فعالیت آنزیم ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات به‌علت کاهش تبادل CO_2 در اثر بسته شدن روزنه‌ها تفسیر می‌شود (۲۸). تأثیر مثبت سالیسیلیک اسید در افزایش رشد و عملکرد می‌تواند به‌دلیل تأثیر آن بر فعالیت هورمون‌های گیاه باشد، سالیسیلیک اسید با تغییر تعادل هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و اسید آبسیزیک سبب افزایش رشد و عملکرد می‌شود (۳۱). همچنین افزایش عملکرد درنتیجه محلولپاشی برگی با سالیسیلیک اسید ممکن است به‌دلیل تأثیرگذاری آن بر فتوسنتز باشد. سالیسیلیک اسید موجب افزایش

سرعت فتوسنتز، افزایش غلظت CO_2 و افزایش کارآیی مصرف آب و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود (۱۰).

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان گفت با استفاده از بنتونیت و همچنین سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک ماده تنظیم‌کننده رشد گیاهی در شرایط کمبود آب و خشکسالی می‌توان اثرات تنش خشکی را در گیاه خربزه کاهش داد و با صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی نیز از عملکرد و کیفیت خوبی نیز برخوردار شد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از نتایج پایان نامه اجرا شده از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد (کد طرح: ۳/۲۸۹۶۸، تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۰۱/۲۶) می‌باشد که بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. and G. Kamali. 2007. Water Requirement of Plants in Iran. Publications of Imam Reza University of Mashhad, Mashhad. (In Farsi).
2. Baligar, V. C., N. K. Fageria and Z. L. He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 32: 921-950.
3. Barzegar Hafshejani, Z., M. Mobli, A. H. Khoshgoftarmanesh , J. Abedi-Koupai. 2015. The effects of adding pumice and bentonite to sawdust substrate on growth and productivity of greenhouse-grown bell pepper. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 6: 77-85. (In Farsi).
4. Barzegar, T., M. Delshad, A. Majdabadi, A. Kashi and J. Ghashghaei. Effects of water stress on yield, growth and some physiological parameters in Iranian melon. 2012. *Iranian Journal of Horticultural Science* 42: 357-363. (In Farsi).
5. Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential- are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agriculture* 56: 1159-1168.
6. Choudhury, S. and S. K. Panda. 2004. Role of salicylic acid in regulating cadmium induced oxidative stress in *Oryza sativa* L. roots. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 30: 95-110.
7. Enjili, M., B. Esmaielpour, H. Fatemi and P. Jalilvand. 2018. Effects of mycorrhizal fungi on growth and yield of sweet pepper (*Caspicum annuum* L.) under drought stress conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 9: 39-53. (In Farsi).
8. Eraslan, F., A. Inal, A. Gunes and M. Alpaslan. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae* 113: 120- 128.
9. Fabeiro, C., F. M. S. Olalla and J. A. D. Juan. 2002. Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management* 54: 93-105.
10. Fariduddin, Q., S. Hayat and A. Ahmad. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brssica juncea*. *Photosynthetica* 41: 281-284.
11. Ghaderi, N., S. Normohammadi and T. Javadi. 2015. Morpho-physiological responses of strawberry (fragaria×ananassa) to exogenous salicylic acid application under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17: 167-178.
12. Hanson, A. D. and W. D. Hitz. 1982. Metabolic responses of mesophytes toplant water deficits. *Annual Review of Plant Biology* 33: 163-203.
13. He, Y., Y. Liu, W. Cao, M. Huai, B. Xu and B. Huang. 2005. Effect of salicylic acid on heat tolerance associated with antioxidant metabolism in Kentucky Blue grass. *Crop Science* 45: 988 -995.
14. Javaheri, M., K. Mashayekhi, A. Dadkhah and F. Zaker Tavallaee. 2012. Effects of salicylic acid on yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *International Journal of Agriculture and crop Sciences* 4 (16): 1184-1187.

15. Khan, W., B. Prithiviraj and D. L. Smith. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology* 160: 485-492.
16. Khavari-nejad, R. and A. Asad. 2006. The Effect of salicylic acid on some of the secondary metabolites (Saponins and Anthocynins) and induction of antimicrobial resistance in the medicinal plant *Bellis perennis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 21: 553-586. (In Farsi).
17. Keshavarzpour, F. and M. Rashidi. 2011. Response of crop yield and yield components of cantaloupe to drought stress. *World Applied Sciences Journal* 15: 382-385.
18. Kojic, D., S. Pajevic, A. Jovanovic-Galovic, J. Purac, E. Pamer, S. Skondric, S. Milovac, Z. Popovic and G. Grubor-Lajsic. 2012. Efficacy of natural aluminosilicates in moderating drought effects on the morphological and physiological parameters of maize plants (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12: 113-123.
19. Khokon, M. A. R., E. I. J. I. Okuma, M. A. Hossain, S. Munemasa, M. Uraji, Y. Nakamura and Y. Murata. 2011. Involvement of extracellular oxidative burst in salicylic acid induced stomatal closure in Arabidopsis. *Plant, Cell and Environment* 34: 434-443.
20. Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods of Enzymology* 148: 350-380.
21. Mani, F. 2014. Evaluation of drought stress on yield and physiological attributes in cantaloupe crop (*Cucumis melo* L.). *Indian Journal of Applied Research* 4: 6-10.
22. Mirabad, A. A., M. Lotfi and M. R. Roozban. 2013. Impact of water – deficit stress on growth, yield and sugar content of cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5: 2778-2782.
23. Mohammadifard, F. and M. Moghaddam. 2021. Effect of bentonite on biochemical traits and relative water content of summer savory (*satureja hortensis*) under different soil moisture levels. *Water Management in Agriculture* 8: 77-88. (In Farsi).
24. Nastari Nasrabadi, H., H. Nemati, M. Kafi and H. Arouei. 2015. Effect of foliar application with salicylic acid on two Iranian melons (*Cucumis melo* L.) under water deficit. *African Journal of Agricultural Research* 10: 3305-3309.
25. Nastari Nasrabadi, H. and S. F. Saberali. 2020. Effect of bio-fertilizer and salicylic acid on some physiological traits of melon under salinity stress. *Journal of Horticultural Science* 34: 131-144. (In Farsi).
26. Nastari Nasrabadi, H., S. F. Saberali and Z. Shirmohammadi Aliakbarkhani. 2023. Improving growth and fruit yield of watermelon using mycorrhizal fungi and salicylic acid under different irrigation regimes. *Journal of Crop Production and Processing* 13: 109-124. (In Farsi).
27. Porcel, R., J. M. Barea and J. M. Rui-Lozano. 2003. Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule senescence. *New Phytologist* 157: 135-143.
28. Sarker, B. C., M. Hara and M. Uemura. 2004. Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Scientia Horticulturae* 103: 387-402.
29. Sayyari, M., M. Ghavami, F. Ghanbari and S. Kordi. 2013. Assessment of salicylic acid impacts on growth rate and some physiological parameters of lettuce plants under drought stress conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5: 1957-2013.
30. Senaratna, T., O. Touchell, E. Bunn and K. Dixon. 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation* 30: 157-161.
31. Shakirova, F. M., A. R. Shakhabutdinova, M. V. Brzukova, R. A. Fatkhutdinova and D. R. Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal statas of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science* 164: 317-322.
32. Shoaa, M. and H. R. Miri. 2012. Reducing detrimantal effects of salt stress on morphophysiological characteristics of wheat by application of salicylic acid. *Crop Production* 5: 71-88.
33. Valizadeh Ghale Beig, A., S. H. Neamati, A. Tehranifar and H. Emami. 2015. Effects of A200 superabsorbent, bentonite and water stress on physiological traits and vitamin C of lettuce under greenhouse cultivation. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 6: 157-168.
34. Wang, L., S. H. Chen, W. Kong, S. H. Li and D. Archbold. 2006. Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and affects the antioxidant system and heat shoch proteins of peaches during cold storage. *Journal of Postharvest Biology* 41: 244-251.