Plant Production Technology/ **Volume 23/ Issu 2/ Pages 29-37/ Autumn and Winter 2024**
https://doi.org/10.22084//PPT.2024.17359.1876

ORIGINAL RESEARCH SHORT PAPER

Effect of Salicylic Acid and Humic Acid Treatments on the Yield, Photosynthesis and Antioxidant Activity of Garlic

Mohammadi[1], M., Alavi Moghaddam[1], S. A. and Ghasemi[2*], K.

1 and 2. Former MSc Student and Associate Professor, Respectively, Department of Horticulture Science and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
⁎: Corresponding author Email: kamranghsemi63@gmail.com

Received: 2022/12/26 Accepted: 2024/03/05

Abstract

In this research, the effect of humic acid fertigation in two levels (0 and 20 kg.ha^{-1}) and salicylic acid spray in four levels (0, 0.5, 1 and 1.5 mM) on the yield, yield component, and antioxidant activity of garlic was evaluated. Based on obtained results, all salicylic acid treatments caused higher yield in comparison with control significantly, so that treatment of 1 mM salicylic acid elevated the yield more than 2 tons per hectare by comparison with control. Also humic acid led to yield increment of garlic around 5 tons per hectare by comparison with control. The highest weight of garlic was obtained in humic acid + salicylic acid 1 and 1.5 mM treatments which produced 105 and 106.66 g respectively, around 2.5 times more than control. Single treatment of salicylic acid in low and middle concentrations (0.5 and 1 mM), and high concentration of salicylic acid (1.5 mM) alongside with humic acid contributed to antioxidant capacity improvement around 20 percent more than control. Finally, it can be concluded that humic acid 20 kg.ha^{-1} + salicylic acid 1.5 mM for increasing garlic yield in the open field culture is recommended.

Keywords: Cloves, Free radicals, Phenol, Flavonoid

Introduction

Garlic (*Allium sativum* L.) is the second most important crop among Allium species. This plant has important medicinal properties such as lowering blood cholesterol, lowering blood pressure, preventing the formation of blood platelet masses, antimicrobial, antifungal, anticancer effects, stimulating the immune system, anti-inflammatory effects, and high antioxidant properties. Many efforts have been made to increase the quantitative and qualitative properties of garlic. Among the effective treatments on plants, the role of humic substances in increasing plant growth and plant biomass has been reported frequently. Although this positive impact can be affected by the concentration, source, plant species, plant age and cultivation conditions, the direct role of humic acid in increasing the photosynthesis rate and plant growth has been well documented. Also, many studies have reported the effect of humic acid on reducing the damage caused by environmental stress, but the exact mechanism of this effect is not yet known. On the other hand, salicylic acid is another substance which is a phenolic compound in plants and acts as a hormone. Salicylic acid plays an important role in regulating plant growth and development. Also, the role of salicylic acid in the absorption of nutrients, membrane stability, water relations, stomatal function, inhibition of ethylene synthesis, and growth enhancement has been reported. Considering the positive role of humic acid and salicylic acid on the performance and physiology of plants, in this work, the simultaneous application of these two substances was investigated in garlic.

Material and Methods

This research was carried out in factorial format based on randomized complete block design (RCBD) with two factors and three replications. The first factor was humic acid fertigation in two levels (0 and 20 kg.ha^{-1}) and the second factor was salicylic acid spray in four levels (0, 0.5, 1 and 1.5 mM). Each of the mentioned treatments were applied in four times in May when the bulbs were grown. Evaluated parameters included yield, yield component, and antioxidant activity. Traits related to yield and its components, including yield of the whole plant (edible part with aerial part), weight of single bulb, weight of clove, length and width of clove and number of cloves were calculated at the end of the experiment. Diphenylpicrylhydrazyl stable radical or DPPH was used to measure total antioxidant activity. Total phenol and total flavonoid contents were measured as antioxidant substances and dietary value properties. The comparison of means was done using Duncan's multiple range test at the probability level of one and five percent.

Results and Discussion

Based on obtained results, all salicylic acid treatments caused higher yield in comparison with control significantly, so that treatment of 1 mM salicylic acid elevated the yield more than 2 tons per hectare by comparison with control. Also, humic acid led to yield increment of garlic around 5 tons per hectare by comparison with control. The highest weight of garlic was obtained in humic acid + salicylic acid 1 and 1.5 mM treatments which produced 105 and 106.66 g respectively, around 2.5 times more than control. Single treatment of salicylic acid in low and middle concentrations (0.5 and 1 mM), and high concentration of salicylic acid (1.5 mM) alongside with humic acid contributed to antioxidant

capacity improvement around 20 percent more than control. In general, it can be concluded that the optimal doses of salicylic acid can have a positive effect on photosynthesis and ultimately on growth. Because of its water retention properties, humic acid can help the movement of elements in the soil, increase soil microbial population, release some nutrients, improve soil properties, increase soil organic matter, and can be used to increase crop yield. Because of this, the combination of these two factors (salicylic acid and humic acid) could lay positive effects on different aspects of garlic growth and development. It seems that the increase in antioxidant capacity following the treatment of high concentration of salicylic acid occurs when some substances, including nutritional elements, are also available, and the presence of humic acid can respond to this need.

Conclusion

It can be concluded that humic acid 20 $kg.ha^{-1}$ + salicylic acid 1.5 mM for increasing garlic yield in the open field cultivation can be recommended. This combined treatment showed a high antioxidant activity as well, so humic acid 20 $kg.ha^{-1}$ + salicylic acid 1.5 mM was the best treatment both in quantitative and qualitative aspects.

Citations: Mohammadi, M., Alavi Moghaddam, S. A. & Ghasemi, K. (2024). Effect of Salicylic Acid and Humic Acid Treatments on the Yield, Photosynthesis and Antioxidant Activity of Garlic. *Plant Production Technology*, *23*(2), 29-37. https://doi.org/10.22084/PPT.2024.17359.1876

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Online ISSN: 2476-5651 **Print ISSN:** 2476-6321

فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیست و سوم/ شمارهٔ دوم/ صفحات ۲۹- ۳۷/ پاییز و زمستان ۱۴۰۲
https://doi.org/10.22084/PPT.2024.17359.1876

اثر سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید بر عملکرد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی سیر

Effect of Salicylic Acid and Humic Acid on the Yield and Antioxidant Activity of Garlic

مهدی محمدی ازنی[۱]، سیدعلیرضا علوی مقدم[۱] و کامران قاسمی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵
(مقاله کوتاه پژوهشی)

چکیده

در این پژوهش تأثیر کود آبیاری هیومیک اسید در دو سطح (صفر و ۲۰ کیلوگرم در هکتار) و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) بر عملکرد، اجزای عملکرد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی سیر موردبررسی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده تمامی تیمارهای سالیسیلیک اسید به‌طور معنی‌داری عملکرد بیشتری نسبت به شاهد نشان دادند، به‌طوری‌که تیمار ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید میزان عملکرد کل را نسبت به شاهد به اندازه دو تن در هکتار افزایش داد. هم‌چنین تیمار هیومیک اسید میزان عملکرد سیر را به اندازه پنج تن نسبت به شاهد افزایش داد. بیش‌ترین وزن تک سیر در تیمار هیومیک اسید به همراه غلظت ۱ و یا ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌ترتیب ۱۰۵ و ۱۰۶/۶۶ گرم به‌دست آمد، که ۲/۵ برابر شاهد بوده است. غلظت‌های کم (۰/۵ میلی‌مولار) و متوسط (۱ میلی‌مولار) سالیسیلیک اسید به تنهایی و غلظت بالای این ماده (۱/۵ میلی‌مولار) به همراه هیومیک اسید مهار رادیکال آزاد دی‌پی‌پی‌اچ موجب افزایش ۲۰ درصدی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه نسبت به شاهد شد. به‌طورکلی می‌توان گفت تیمار هیومیک اسید به همراه سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی‌مولار برای مزارع سیر جهت افزایش عملکرد قابل‌توصیه است.

واژه‌های کلیدی: سیرچه، رادیکال آزاد، فنل، فلاونوئید

ارجاع به مقاله: محمدی ازنی، م.، علوی مقدم، س. ع. و قاسمی، ک. (۱۴۰۲). اثر سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید بر عملکرد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی سیر، مجله فنآوری تولیدات گیاهی، ۲۳(۲)، ۲۹-۳۷. https://doi.org/10.22084//PPT.2024.17359.1876

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License Attribution (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

شاپا الکترونیکی: ۲۴۷۶-۵۶۵۱ **شاپا چاپی:** ۲۴۷۶-۶۳۲۱

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد و دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
*: نویسنده مسئول Email: kamranghsemi63@gmail.com

مقدمه

سیر (*Allium sativum* L.) پس از پیاز، دومین محصول مهم در بین گونه‌های جنس *Allium* می‌باشد. این گیاه خواص دارویی مهمی نظیر کاهش کلسترول خون، کاهش فشارخون، جلوگیری از تشکیل توده‌های پلاکتی خون، اثرات ضد میکروبی، ضد قارچی، اثرات ضد سرطانی، تحریک سیستم ایمنی و اثرات ضد التهابی و خواص آنتی‌اکسیدانی بالایی دارد (*مایوکس*[1] و همکاران، 1988).

امروزه روش‌های مختلف به‌زراعی و به‌نژادی جهت افزایش عملکرد و ترکیبات ثانویه در گیاهان قویاً موردمطالعه قرار دارند. در این میان نقش مواد هیومیکی در افزایش رشد گیاه و تولید زیست‌توده گیاهی بارها گزارش شده است. هرچند این اثرات می‌تواند تحت‌تأثیر غلظت، نوع منبع، گونه گیاهی، سن گیاه و هم‌چنین شرایط کاشت قرار گیرد، ولی نقش مستقیم هیومیک اسید در افزایش میزان فتوسنتز و تنفس، افزایش سنتز پروتئین و فعالیت شبه هورمونی این مواد معمولاً موردتوجه پژوهشگران بوده است (*ساروهان*[2] و همکاران، 2011). هیومیک اسید با تأثیر بر غشاهای زیستی موجب افزایش انتقال عناصر غذایی، افزایش سنتز پروتئین و میزان فتوسنتز، کاهش سطح فعالیت عناصر سمی، بالا رفتن جمعیت میکروبی خاک، بهبود ساختار خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و نگهداری آب می‌گردد (*گدالهاک*[3] و همکاران، 2012). هم‌چنین پژوهش‌های زیادی اثر هیومیک اسید بر کاهش خسارت ناشی از تنش‌های محیطی را گزارش کرده‌اند، ولی هنوز مکانیسم دقیق این اثر شناخته نشده است (*آیدین*[4] و همکاران، 2012). ازنظر برخی پژوهشگران علت ایجاد مقاومت در برابر تنش‌ها با نقش تنظیم‌کنندگی سطح هورمون‌ها توسط هیومیک اسید مرتبط دانسته شده است (*پیکولو*[5] و همکاران، 1992). بررسی تأثیر هیومیک اسید روی نخود نیز گویای این مطلب بود که محلول‌پاشی به غلظت یک گرم در لیتر موجب تولید غلاف‌هایی با کیفیت بالاتر و محصول دانه بیش‌تر می‌گردد (*گدالهاک* و همکاران، 2012). براساس نتایج منتشر شده تأثیر هیومیک اسید به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار توانست بسیاری از شاخص‌های مهم مانند عملکرد، اجزای عملکرد و خواص آنتی‌اکسیدانی را در گیاه سیر به‌طور معنی‌داری بهبود بخشد (*قاسمی*[6] و همکاران، 2015).

سالیسیلیک اسید یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید (SA) از ترکیبات فنلی در گیاهان است و به‌عنوان ماده‌ای هورمونی که نقش مهمی در تنظیم رشد و نمو گیاه دارد شناخته می‌شود. این ماده به میزان کم در گیاهان وجود داشته و به دلیل نقش آنتی‌اکسیدانی که دارد موجب حذف رادیکال‌های آزاد در گیاهان می‌شود (*خالد*[7] و همکاران، 2007). سالیسیلیک اسید در تعدادی از فرآیندهای فیزیولوژیکی نظیر کنترل تنفس، بسته شدن روزنه‌ها، جوانه‌زنی بذر، رسیدن میوه، گل‌دهی و تولید گرما در گیاهان نقش دارد (*چین*[8] و همکاران، 2007). هم‌چنین نقش سالیسیلیک اسید در جذب عناصر غذایی، پایداری غشا، روابط آبی، عملکرد روزنه‌ها، بازدارندگی سنتز اتیلن و افزایش رشد گزارش شده است (*اسریواستاوا* و *دویودی*[9]، 2000). سالیسیلیک اسید اثرات ناشی از تنش‌های مختلف را از طریق آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز، پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز کاهش می‌دهد (*السترنر*[10] و همکاران، 1976). نتایج یک پژوهش در خصوص ارزیابی سطوح مختلف سالیسیلیک اسید تحت تنش خشکی نشان داد که غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید باعث بهبود رشد و عملکرد سیر شد (*بیدشکی* و *آروین*[11]، 2010).

با توجه به اثرات مثبت هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید بر عملکرد و فیزیولوژی گیاهان در این آزمایش اثر تیمار هم‌زمان این دو ماده را بر خصوصیات مختلف رشدی و بیوشیمیایی سیر موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

با مساعد شدن هوا کشت سیر رقم مازند در اواخر آبان ۱۳۹۶ در منطقه طبقده شهرستان ساری انجام شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. فاصله کاشت بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و اندازه هر کرت آزمایشی ۴ مترمربع بود. برداشت محصول نیز هم‌زمان با خشک شدن اندام‌های هوایی در تاریخ ۶ خرداد ۱۳۹۷ صورت گرفت.

1. Mayeux
2. Saruhan
3. Gad El-Hak
4. Aydin
5. Piccolo
6. Ghasemi
7. Khaled
8. Chen
9. Srivastava and Dwivedi.
10. Elstner
11. Bideshki and Arvin

جدول ۱: تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک بستر مورد آزمایش

Table 1: Physicochemical analysis of soil in experimental site

شن (درصد) Sand (%)	لای (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	بافت خاک Soil texture	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	پی‌اچ pH	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) Electrical Conductivity (µS.cm) (%)	مواد خنثی شونده کل (درصد) Total neutralizing value (%)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) Phosphorous ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) Potassium ($mg.kg^{-1}$)
12	70	18	لوم - سیلت Silt - Loam	1.52	7.5	0.92	2	0.15	10.1	287

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول هیومیک اسید در دو سطح (صفر و ۲۰ کیلوگرم در هکتار) اعمال گردید، بدین صورت که ابتدا هیومیک اسید در آب حل شده و سپس به‌صورت دستی پای بوته‌ها ریخته شد (*قاسمی* و همکاران، 2015) و فاکتور دوم سالیسیلیک اسید در چهار سطح به‌صورت محلول‌پاشی (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) (*بیدشکی*[1] و همکاران، 2013) مورداستفاده قرار گرفت. هر یک از تیمارهای مذکور در چهار نوبت و به فاصله سه روز در اردیبهشت‌ماه اعمال شدند. هیومیک اسید مورداستفاده به شکل پودری جامد بوده، حاوی ۹۵ درصد هیومیک اسید (0-0-12+95% Humic acid)، محصول شرکت Diamond Grow آمریکا مشتق شده از زغال بتومینه بود.

صفات مربوط به عملکرد و اجزای آن شامل عملکرد کل بوته (قسمت خوراکی به همراه بخش هوایی)، وزن سوخ تک بوته، وزن سوخیزه، طول و عرض سوخ و تعداد سوخیزه در انتهای آزمایش موردمحاسبه قرار گرفتند. به‌منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد، بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، پنج بوته از وسط کرت اتخاب شده و ابتدا سوخ آن‌ها وزن شد و در نهایت میانگین وزن آن‌ها به‌عنوان وزن تک سوخ گزارش گردید. در ادامه طول و عرض سوخ، تعداد سوخیزه و وزن سوخیزه اندازه‌گیری شد. از طریق تقسیم وزن کل سوخیزه به تعداد سوخیزه، وزن یک سوخیزه به‌دست آمد.

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل از رادیکال پایدار دی فنیل پیکریل هیدرازیل یا DPPH استفاده شد. به مقدار و غلظت مشخصی از عصاره متانولی، DPPH اضافه کرده و بعد از آماده شدن لوله‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در محیط تاریک قرار داده و درنهایت جذب ترکیب فوق‌الذکر در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل (UV-1800 PC) خوانده شد (*ابراهیم‌زاده*[2] و همکاران، 2008). اندازه‌گیری فنل کل به روش فولین سیوکالتیو انجام شد. بدین منظور ابتدا ۲۰ میکرولیتر از عصاره متانولی (۰/۵ گرم در ۵ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد) با ۱۰۰ میکرولیتر فولین سیوکالتیو و ۱/۱۶ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شده و پس از ۵ الی ۸ دقیقه استراحت، ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم یک مولار به آن افزوده شد. محلول فوق به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و حمام بخار ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. درنهایت نمونه‌ها در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شدند. در نمونه شاهد نیز به‌جای عصاره، از متانول ۸۰ درصد استفاده شد (*اسلینکارد*[3] و همکاران، 1977). سنجش فلاونوئید کل به روش آلومینیوم کلراید انجام شد. ابتدا ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی تهیه شده با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد در اتانول، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم یک مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. در نمونه شاهد به‌جای عصاره متانولی، از متانول خالص استفاده شد. مخلوط نیم ساعت در تاریکی قرار داده شد. سپس بلافاصله در طول‌موج ۴۱۵ نانومتر عدد جذب قرائت شد (*چانگ*[4] و همکاران، 2002).

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ورژن ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج

عملکرد و اجزای عملکرد

براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش اثر ساده تیمار سالیسیلیک اسید بر عملکرد معنی‌دار شد، به‌طوری‌که عملکرد شاهد کم‌ترین مقدار را داشته و تمامی تیمارهای سالیسیلیک

1. Bideshki

2. Ebrahimzadeh
3. Slinkard
4. Chang

اسید به‌طور معنی‌داری عملکرد بیش‌تری نسبت به شاهد نشان دادند (جدول ۲). این در حالی است، که اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف سالیسیلیک اسید از نظر عملکرد دیده نشد (جدول ۲). هم‌چنین اثر ساده هیومیک اسید بر میزان عملکرد سوخ نشان از برتری معنی‌دار تیمار هیومیک اسید در این صفت بوده است (جدول ۳).

جدول ۲: تأثیر سالیسیلیک اسید بر عملکرد و تعداد سوخیزه سیر

Table 2: Effect of salicylic acid on garlic yield and clove number

تیمار Treatment	عملکرد (تن در هکتار) Yield (ton.ha^{-1})	تعداد سوخیزه سیر Clove number
سالیسیلیک اسید ۰ Salicylic acid 0	21.75^{b}	12.00^{c}
سالیسیلیک اسید ۰/۵ Salicylic acid 0.5	29.12^{a}	12.83^{c}
سالیسیلیک اسید ۱ Salicylic acid 1	32.55^{a}	15.33^{a}
سالیسیلیک اسید ۱/۵ Salicylic acid 1.5	30.81^{a}	14.16^{b}

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.01) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.01)

جدول ۳: تأثیر هیومیک اسید بر عملکرد سیر

Table 3: Effect of humic acid on garlic yield

تیمار Treatment	عملکرد تن در هکتار Yield (ton.ha^{-1})
هیومیک اسید ۰ Humic acid 0	26.20^{b}
هیومیک اسید ۲۰ Humic acid 20	36.06^{a}

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.01) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.01)

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد سیر

Table 4: Mean comparison of salicylic acid and humic acid effects on yield and yield components

تیمار Treatment	عملکرد کل بوته (تن در هکتار) Total yield^{ns} (ton/ha)	وزن سوخ تک بوته (گرم) Garlic weight**(g)	طول سوخ (سانتی‌متر) Garlic length**(cm)	عرض سوخ (سانتی‌متر) Garlic width**(cm)	وزن سوخیزه (گرم) Clove weight**(g)
هیومیک اسید ۰+ سالیسیلیک اسید ۰ Humic acid 0+ Salicylic acid 0	17.963^{a}	41.66^{e}	4.66^{d}	4.50^{b}	4.00^{f}
هیومیک اسید ۰+ سالیسیلیک اسید ۰/۵ Humic acid 0 + Salicylic acid 0.5	28.238^{a}	87.00^{c}	6.83^{b}	6.06^{a}	11.33^{b}
هیومیک اسید ۰+ سالیسیلیک اسید ۱ Humic acid 0 + Salicylic acid 1	28.763^{a}	86.33^{c}	7.06^{ab}	5.83^{a}	11.00^{bc}
هیومیک اسید ۰+ سالیسیلیک اسید ۱/۵ Humic acid 0 + Salicylic acid 1.5	29.850^{a}	89.16^{c}	6.66^{b}	6.00^{a}	9.66^{d}
هیومیک اسید ۲۰ + سالیسیلیک اسید ۰ Humic acid 20 + Salicylic acid 0	25.538^{a}	76.66^{d}	5.93^{c}	6.06^{a}	8.66^{e}
هیومیک اسید ۲۰ + سالیسیلیک اسید ۰/۵ Humic acid 20 + Salicylic acid 0.5	29.997^{a}	99.33^{b}	6.76^{b}	6.00^{a}	10.66^{bc}
هیومیک اسید ۲۰ + سالیسیلیک اسید ۱ Humic acid 20 + Salicylic acid 1	36.938^{a}	105.00^{a}	6.80^{b}	6.16^{a}	10.33^{cd}
هیومیک اسید ۲۰ + سالیسیلیک اسید ۱/۵ Humic acid 20 + Salicylic acid 1.5	31.763^{a}	106.60^{a}	7.33^{a}	5.83^{a}	13.66^{a}

ns و **: به‌ترتیب بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد. اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.01) نمی‌باشند

ns and ** indicate statistical non-significant, significance at 1% level of confidence, respectively. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.01)

اثر متقابل دو تیمار سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید بر صفت تعداد سوخیزه در سیر معنی‌دار نبوده است، ولی اثر ساده سالیسیلیک اسید بر این صفت معنی‌دار بوده؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد سوخیزه در سیر مربوط به تیمار سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار بود که به‌صورت معنی‌داری بیش‌تر از سایر تیمارها بود (جدول ۲).

بیش‌ترین وزن سوخ تک بونه زمانی به‌دست آمد که تیمار هیومیک اسید به همراه غلظت ۱ و یا ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مصرف شد که به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارهای مورداستفاده بیش‌تر بوده است (جدول ۴). ازنظر طول سوخ نیز هیومیک اسید به همراه غلظت بالای سالیسیلیک اسید برتری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها داشت هرچند اختلافش با تیمار سالیسیلیک اسید غلظت ۱ معنی‌دار نبود (جدول ۴). صفت عرض سوخ در گیاهان شاهد حداقل بوده است ولی تمامی تیمارهای مورداستفاده بدون اختلاف معنی‌دار باهم، نسبت به شاهد در این صفت برتری داشتند (جدول ۴). وزن سوخیزه نیز در تیمار هیومیک اسید به همراه سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی‌مولار بیش‌ترین مقدار را نشان داد که به‌طور معنی‌داری نسبت به تمامی تیمارهای دیگر بیش‌تر بود (جدول ۴).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که غلظت‌های کم و متوسط سالیسیلیک اسید موجب افزایش ظرفیت آنتی‌کسیدانی گیاه شده است این در حالی است که در غلظت بالای این ماده (۱/۵ میلی‌مولار) تنها درصورتی که به همراه هیومیک اسید باشد میزان آنتی‌اکسیدان افزایش داشته است. فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل در تیمارهای سالیسیلیک اسید ۰/۵ و ۱ و تیمار هیومیک اسید به همراه سالیسیلیک اسید ۰/۵ و ۱/۵ به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تیمارها بوده است (جدول ۵). بیش‌ترین میزان فنل کل در شاهد و تیمار سالیسیلیک اسید ۱ دیده شده است که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تیمارهای این آزمایش بود (جدول ۵). حداکثر مقدار فلاونوئید ثبت شده در این آزمایش متعلق به تیمار هیومیک اسید به همراه سالیسیلیک اسید ۰/۵ بوده است (جدول ۵).

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی سیر

Table 5: Mean comparison of salicylic acid and humic acid effects on antioxidant activity

تیمار Treatment	فلاونوئید کل (میلی‌گرم کوئرستین در هر گرم ماده خشک) Total flavonoids (mg quercetin equivalent/g DM)**	فنل کل (میلی‌گرم گالیک اسید در هر گرم ماده خشک) Total phenol (mg gallic acid equivalent/g DM)**	آنتی‌اکسیدان (درصد مهار رادیکال‌های آزاد دی‌پی‌پی‌اچ) Antioxidant activity (percentage of DPPH radicals inhibited)**
هیومیک اسید ۰ + سالیسیلیک اسید ۰ Humic acid 0 + Salicylic acid 0	150.01^{b}	6.669^{a}	43.926^{b}
هیومیک اسید ۰+ سالیسیلیک اسید ۰/۵ Humic acid 0+ Salicylic acid 0.5	52.93^{c}	4.914^{bc}	61.441^{a}
هیومیک اسید ۰+ سالیسیلیک اسید ۱ Humic acid 0 + Salicylic acid 1	55.95^{c}	6.231^{a}	61.015^{a}
هیومیک اسید ۰+ سالیسیلیک اسید ۱/۵ Humic acid 0+ Salicylic acid 1.5	36.26^{c}	4.334^{c}	29.848^{d}
هیومیک اسید ۲۰ + سالیسیلیک اسید ۰ Humic acid 20 + Salicylic acid 0	132.61^{b}	4.564^{bc}	31.410^{cd}
هیومیک اسید ۲۰ + سالیسیلیک اسید ۰/۵ Humic acid 20 + Salicylic acid 0.5	451.9^{a}	4.791^{bc}	60.448^{a}
هیومیک اسید ۲۰ + سالیسیلیک اسید ۱ Humic acid 20 + Salicylic acid 1	47.12^{c}	4.655^{bc}	37.992^{bc}
هیومیک اسید ۲۰ + سالیسیلیک اسید ۱/۵ Humic acid 20 + Salicylic acid 1.5	99.27^{bc}	5.333^{b}	62.375^{a}

**: بیانگر عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد. اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.01) نمی‌باشند

**: Indicate significance at 1% level of confidence. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.01)

بحث

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که جهت دست‌یابی به عملکرد بالا و تعداد سوخیزه زیاد، می‌توان تیمار سالیسیلیک اسید به غلظت ۱ میلی‌مولار را توصیه نمود. طی پژوهشی مشخص شده است که تیمار سیر با سالیسیلیک اسید چه در شرایط شوری و چه در شرایط نرمال می‌تواند رشد و عملکرد سیر را افزایش دهد (بیدشکی و همکاران، 2013). از آن‌جایی که سالیسیلیک اسید نقش مهمی در کاهش تأثیر تنش‌های

زنده و غیرزنده ایفا می‌کند (*شاکیروا*[1] و همکاران، 2003)، لذا احتمالاً برخی تنش‌های طبیعی، که در کشت مزرعه‌ای اجتناب‌ناپذیر است، بدین طریق کاهش یافته و درنتیجه افزایش عملکرد در گیاهان تیمارشده با سالیسیلیک اسید به‌وجود می‌آید. هم‌چنین سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک مولکول که نقش سیگنالی در بیان ژن دارد می‌تواند فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز[2] را افزایش دهد و افزایش فعالیت این آنزیم نیز همبستگی بسیار قوی با نرخ فتوسنتز خالص دارد (*حیات*[3] و همکاران، 2000). گزارش شده است که اضافه کردن سالیسیلیک اسید به غلظت ۰/۱ میلی‌مولار به محلول غذایی گوجه فرنگی به مدت سه هفته موجب احیای فعالیت فتوسنتزی گردید (*هوروات*[4] و همکاران، 2015). در مجموع می‌توان به این جمع‌بندی رسید که دزهای بهینه سالیسیلیک اسید می‌تواند بر فتوسنتز و درنهایت بر رشد و عملکرد تأثیر مثبت بگذارد.

از دیگر سو هیومیک اسید می‌تواند به دلیل خاصیت نگهدارنگی آب، کمک به حرکت عناصر در خاک، افزایش جمعیت میکروبی خاک، آزادسازی برخی عناصر غذایی، بهبود خواص فیزیکی خاک، تأمین ظرفیت تبادلی بالا و افزایش ماده آلی خاک در افزایش عملکرد محصول مؤثر باشد (*پنامندز*[5] و همکاران، 2005). طی پژوهشی بیان شده است که هیومیک اسید به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار توانست عملکرد پیاز را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (*سانگیتا*[6] و همکاران، 2006). تأثیر مثبت هیومیک اسید بر افزایش عملکرد سیر خوراکی توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است (*عبدالرزاق و الشرکاوی*[7]، 2013؛ *قاسمی* و همکاران، 2015).

به نظر می‌رسد افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در پی تیمار غلظت بالای سالیسیلیک اسید، زمانی رخ می‌دهد که برخی مواد ازجمله عناصر غذایی نیز در دسترس باشند و وجود هیومیک اسید می‌تواند به این نیاز پاسخ گوید. در این خصوص گزارش شده است که تیمار هیومیک اسید موجب افزایش معنی‌دار جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم، گوگرد، منگنز و مس می‌شود (*سیمرین*[8] و همکاران، 2010). در پژوهشی که از هیومیک اسید در پرورش سیر استفاده شد، مشخص گردید که مصرف ۲۰ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید موجب افزایش معنی‌دار میزان آلیسین و گوگرد شد، ولی میزان آنتی‌اکسیدان کل در تیمار هیومیک اسید ۱۰ کیلوگرم در هکتار بالاتر بود (*قاسمی* و همکاران، 2015). از آن‌جایی که هم میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و هم میزان فنل کل در تیمار سالیسیلیک اسید ۱ بالا بوده است، لذا احتمالاً بتوان دلیل بالا بودن فعالیت آنتی‌اکسیدانی در این تیمار را به بالا بودن فنل آن نسبت داد. عدم هم‌راستا بودن تغییرات فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان نیز بیانگر آن است که دیگر اجزای آنتی‌اکسیدانی به غیر از فلاونوئید نظیر توکوفرول، کارتنوئیدها و ... نقش بیش‌تری در تغییرات آنتی‌اکسیدانی سیر داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

با ارزیابی صفات مرتبط با عملکرد و اجزای عملکرد می‌توان به این جمع‌بندی رسید که هیومیک اسید به همراه سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار می‌تواند، اثر مطلوبی بر سیر خوراکی داشته باشد.

منابع

Abdel-Razzak, H. S. and El-Sharkawy, G. A. 2013. Effect of biofertilizer and humic acid applications on growth, yield, quality and storability of two garlic (*Allium sativum*) cultivars. Asian Journal of Crop Science, 5 (1): 48-64.

Aydin, A., Kant, C. and Turan. M. 2012. Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane Leakage. African Journal of Agricultural Research, 7 (7): 1073-1086.

Bideshki, A., Arvin, M. J. and Darini, M. 2013. Interactive effects of Indole- 3-butyric acid (IBA) and salicylic acid (SA) on growth parameters, bulb yield and allicin contents of garlic (*Allium sativum*) under drought stress in field. International Journal of Agronomy and Plant Production, 4 (2): 271-279.

Bideshki, A. and Arvin, M. J. 2010. Effect of salicylic acid (SA) and drought stress on growth, bulb yield and allicin content of Garlic (*Allium sativum*) in field. Plant Ecophysiology, 2: 73-79.

Chang, C., Yang, M., Wen, H. and Chern, J. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food Drug Anal, 10: 178-182.

Chen, J., Cheng, Z. and Zhong, S. 2007. Effect of exogenous salicylic acid on growth and H_2O_2- Metabolizing enzymes in rice seedlings lead stress. Journal of Environmental Sciences, 19: 44-49.

1. Shakirova
2. Carbonic Anhydrase
3. Hayat
4. Horvath
5. Peña-Méndez
6. Sangeetha
7. Abdel-Razzak, and El-Sharkawy
8. Cimrin

Cimrin, K. M., Türkmen, O., Turan, M. and Tuncer, B. 2010. Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. African Journal of Biotechnology, 9 (36): 5845-5851.

Ebrahimzadeh, M. A., Nabavi, S. F., Nabavi, S. M. and Eslami, B. 2010. Antihemolytic and antioxidant activities of *Allium paradoxum*. Central European Journal of Biology, 5: 338-345.

Elstner, E. F., Konse, J. R., Selman, B. R. and Stoffer, C. 1976. Ethylene formation in sugar beet leaves. Plant Physiology, 58: 215-225.

Gad El-Hak, S. H., Ahmed, A. M. and Moustafa, Y. M. M. 2012. Effect of foliar application with two antioxidants and humic acid on growth, yield and yield components of peas (*Pisum sativum*). Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants, 4 (3): 318-328.

Ghasemi, K., Bolandnazar, S., Tabatabaei, S. J., Pirdashti, H., Arzanlou, M., Ebrahimzadeh, M. A. and Fathi, H. 2015. Antioxidant properties of garlic as affected by selenium and humic acid treatments. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 43(3): 173-181.

Hayat, S., Ahmad, A., Mobin, M., Hussain, A. and Fariduddin, Q. 2000. Photosynthetic rate, growth and yield of mustard plants sprayed with 28-homobrassinolide. Photosynthetica, 38: 469-471.

Horvath, E., Csiszar, J., Galle, A., Poor, P., Szepesi, A. and Tari, I. 2015. Hardening with salicylic acid induces concentration-dependent changes in abscisic acid biosynthesis of tomato under salt stress. Journal of Plant Physiology, 183: 54-63.

Khaled, T., Feras, Q. A., Mohammad, Gh., Mohammad, M. and Tamam, El-E. 2007. Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. Food Chemistry, 104: 1372-1378.

Liu, C., Cooper, R. J. and Bowman, D. C. 1998. Humic acid application affects photosynthesis, root development and nutrient content of creeping bentgrass. Hortscience, 33 (6): 1023-1025.

Mayeux, P. R., Agrawal, K. C., Tou, J. S., King, B. T., Lippton, H. L., Hyman, A. L., Kadowitz, P. J. and McNamara, D. B. 1988. The pharmacological effects of allicin a constituent of garlic oil. Agents and Actions, 25 (1-2): 182-190.

Peña-Méndez, E. M., Havel, J. and Patočka, J. 2005. Humic substances- compounds of still unknown structure: applications in agriculture, industry, environment, and biomedicine. Journal of Applied Biomedicine, 3: 13-24.

Piccolo, A., Nardi, S. and Concheri, G. 1992. Structural characteristics of humic substance as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. Soil Biology and Biochemistry, 24: 373-380.

Sangeetha, M., Singaram, P. and Devi, R. U. 2006. Effect of lignite humic acid and fertilizers on the yield of onion and nutrient availability. The 18th World Congress of Soil Science. Pennsylvania, USA. 163: 4.

Saruhan, V., Kusvuran, A. and Babat. S. 2011. The effect of different humic acid fertilization on yield and yield components performances of common millet (*Panicum miliaceum*). Scientific Research and Essays, 6 (3): 663-669.

Shakirova, M. F., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. 2003. Change in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. Plant Science, 164 (3): 317-322.

Slinkard, K. and Singleton, V. L. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture, 28: 49-55.

Srivastava, M. K. and Dwivedi, U. N. 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. Plant Science, 158 (1): 87-96.