Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 12, Issue 2, 2024 p: 130-143 OPEN ACCESS

Research Paper

Effect of Humic Acid and Cattle Manure on Stomatal Conductance, Photosynthesis, and Growth Variables of White Mulberry Seedlings in the Nursery Condition

Davoud Kartoolinejad[1] and Iman Sahebalam[2]

1- Assistant Professor of Aridland Forestry, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran, (Corresponding author: Kartooli58@semnan.ac.ir)
2- M.Sc. Graduate of Forestry, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

Received: 17 March, 2024 Accepted: 19 June, 2024

Extended Abstract

Background: In contemporary times, the increasing population growth in large urban areas, industrial development in these cities, and the need for expanding urban green spaces and green belts have drawn the attention of managers to the use and cultivation of multipurpose tree species more than ever before. In many advanced countries, the use of chemical fertilizers has been discontinued in urban green spaces, parks, agriculture, and horticulture. The major reasons for this include undesirable environmental effects, disruption of soil chemical balance and structure, disruption of the ecology of plant and animal communities, and pollution of freshwater bodies. For this reason, the utilization of various organic fertilizers has been highlighted as one of the important strategies in improving horticultural and agricultural production and reducing the risk of environmental pollution, especially pollution of surface and groundwater resources. Humic acid (HA) is among the main types of organic fertilizers and a type of stabilized organic acid derived from the main compounds of humus, considered one of the most abundant organic compounds in nature. The use of HA for plants can directly and indirectly promote better plant growth, thereby increasing production levels and improving crop quality. Therefore, the present study aimed to assess the possibility of enhancing the growth and viability components of white mulberry seedlings as the most commonly used tree species for planting in the green belt of Mashhad using HA fertilizer and animal manure.

Methods: For this research, two-year-old and uniform-sized mulberry seedlings were prepared as bare-root. Then, they were transferred to prepared beds in the green belt nursery of Mashhad for planting in pits with planting distances of 1.5 × 1.5 m in a completely randomized design. In five separate experimental plots, the nursery soil was thoroughly and uniformly mixed with animal manure. Subsequently, HA fertilizer in liquid form (at 50 and 300 mg/l) was mixed with the soil in two plots in addition to the animal manure. In the other two plots, foliar spraying at 50 and 300 mg l^{-1} on the leaf surfaces of the seedlings was carried out at the beginning of the growing season. Only animal manure treatment was considered for the seedlings in the fifth plot. Ten seedlings were selected for each treatment as replicates for examination. The seedlings were irrigated uniformly throughout a six-month growing period for measurement purposes. The growth and physiological characteristics of the seedlings, including plant height, collar diameter, root length, leaf and branch numbers, dry weight of aerial and root parts, gas exchange rates, photosynthesis rate, and seedling survival, were measured and statistically compared after 6 months of applying the treatments. To measure biomass, the seedlings were carefully removed from the soil, and the soil was washed from around the roots, followed by counting the number of branches and leaves. Each seedling was then divided into two parts of roots and stems, which were dried at 70 °C for 48 h and weighed using a digital scale. Finally, the data were analyzed in a completely randomized design, and their means were statistically compared using Tukey's test. The gas exchange rates (stomatal conductance) and photosynthesis rate in outdoors and under natural conditions of temperature, light, and relative humidity were measured using a portable device for gas exchange measurements. For this purpose, 3-6 mature leaves were selected from

Copyright ©2024 Kartoolinejad and Sahebalam Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

each replicate. All measurements were conducted between 9 am and 12 pm on a sunny day with a light intensity of 1400 µmol m^{-2} s^{-1}.
Results: The HA treatment added to the soil at a concentration of 300 mg/l resulted in the highest average values of the variables, namely the highest values of radial growth (3.2 mm), sapling height growth (35.1 cm), number of leaves (45), number of branches (16), dry root weight (31.3 g), and shoot weight (38.1 g). A comparison of physiological variables, such as photosynthesis intensity (14.5 µmol m^{-2} s^{-1}) and stomatal conductance rate (0.23 mol m^{-2} s^{-1}), revealed that the treatment with 300 mg/l of HA added to the soil led to the highest values. Subsequently, the treatment of 50 mg l^{-1} of HA added to the soil and then foliar spraying with an HA solution of 300 mg l^{-1} showed better effects than the other treatments. Overall, increasing HA in the soil resulted in better performance than foliar spraying on the leaf surface of white mulberry seedlings. Animal manure created the lowest averages in all evaluated variables.
Conclusion: The positive effects of HA on plant growth and biomass are attributed to its ability to increase water and nutrient absorption by plants, as well as its pseudo-hormonal effects on plants. Based on the results of the present study, HA application positively influenced growth characteristics, photosynthesis intensity, and biomass increase (variables such as leaf number, branch number, sapling length growth, radial growth, root growth, and aerial parts growth). Therefore, adding HA fertilizers to the soil during mulberry planting is highly recommended in urban green spaces, horticulture, and urban green belts.

Keywords: Biomass, Gas exchanges, Green belt, Humic acid, Seedling height increment, White mulberry

How to Cite This Article: Kartoolinejad, D., & Sahebalam, I. (2024). Effect of Humic Acid and Cattle Manure on Stomatal Conductance, Photosynthesis, and Growth Variables of White Mulberry Seedlings in the Nursery Condition. *Ecol Iran For,* 12(2), 130-143. DOI: 10.61186/ifej.12.2.130

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

اثر هیومیک اسید و کود حیوانی بر هدایت روزنه‌ای و متغیرهای رویشی نهال‌های توت سفید در بستر نهالستان

داود کرتولی نژاد[1] و ایمان صاحب علم[2]

۱- استادیار، گروه جنگلداری مناطق خشک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، (نویسنده مسوول: kartooli58@semnan.ac.ir)
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، رشته علوم جنگل، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۳۰
صفحه: ۱۳۰ تا ۱۴۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: امروزه رشد فزاینده جمعیت کلان‌شهرها، توسعه صنعتی در این شهرها و نیاز به گسترش فضاهای سبز شهری و کمربند سبز شهری، توجه مدیران را به استفاده و کاشت گونه‌های درختی چندمنظوره بیش از پیش جلب نموده است. در بسیاری از کشورهای پیشرفته، کاربرد کودهای شیمیایی در عرصه‌های فضای سبز، پارک‌ها، کشاورزی، باغداری و فضاهای سبز شهری منسوخ شده است. از مهم‌ترین دلایل این امر می‌توان به اثرات نامطلوب زیست‌محیطی، تخریب تعادل شیمیایی و بافت خاک، برهم‌زدن اکولوژی جوامع فون و فلور و آلودگی آب‌های شیرین اشاره کرد. به‌همین دلیل استفاده از انواع کودهای آلی به‌عنوان یکی از راهکارهای مهم در بهبود تولیدات باغی و زراعی و کاهش خطر بروز آلودگی‌های محیطی به‌ویژه آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی موردتوجه قرار گرفته است. هیومیک اسید یکی از مهم‌ترین انواع کودهای آلی است که نوعی اسید آلی تثبیت شده و از ترکیبات اصلی هوموس است که خود از فراوان‌ترین ترکیبات آلی در طبیعت محسوب می‌شود. استفاده از هیومیک اسید برای گیاهان می‌تواند به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم موجب رشد بهتر گیاهان شود و بدین‌صورت میزان تولید را افزایش داده و کیفیت محصول را نیز بهبود بخشد؛ بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور امکان‌سنجی تقویت مولفه‌های رویشی و زنده‌مانی نهال‌های توت سفید به‌عنوان پرکاربردترین گونه درختی جهت کاشت در کمربند سبز مشهد تحت تأثیر استفاده از کود هیومیک اسید و کود حیوانی صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها: برای انجام این تحقیق، نهال‌های دوساله و هم اندازه توت به‌صورت ریشه لخت تهیه گردید. سپس به بسترهای آماده شده در نهالستان کمربند سبز مشهد جهت کاشت به‌صورت گودالی و با فواصل کاشت ۱/۵×۱/۵ متر در قالب طرح کاملاً تصادفی منتقل گردیدند. در ۵ کرت آزمایشی مجزا، خاک نهالستان با کود حیوانی به‌طور کامل و یکنواخت مخلوط گردید. سپس در دو کرت علاوه بر کود حیوانی مزبور، کود هیومیک اسید به‌شکل محلول و به‌ترتیب با غلظت‌های۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به خاک اضافه و مخلوط شد. در دو کرت دیگر نیز، محلول‌پاشی بر سطوح برگ نهال‌ها با غلظت‌های ۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ابتدای فصل رویش انجام گرفت. برای نهال‌های کرت پنجم نیز فقط تیمار کود حیوانی در نظر گرفته شد. ۱۰ نهال به‌عنوان تکرار برای هر تیمار مورد بررسی قرار گرفت. نهال‌ها پس از کاشت و شماره‌گذاری در ابتدا و انتهای دوره به‌منظور محاسبه رویش اندازه‌گیری و در طی یک دوره رویشی ۶ ماهه به‌طور یکنواخت آبیاری شدند. پس از گذشت شش ماه از اعمال تیمارها، خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی نهال از جمله ارتفاع نهال، قطر یقه، طول ریشه، تعداد برگ و شاخه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، مقدار تبادلات گازی، شدت فتوسنتز و زنده‌مانی نهال‌ها اندازه‌گیری و مورد مقایسه آماری قرار گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری زی‌توده، نهال‌ها به‌دقت از خاک خارج شده و پس از شست‌وشوی خاک اطراف ریشه و شمارش تعداد شاخه و برگ، هر نهال به دو قسمت ریشه و ساقه تقسیم شد. سپس در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شده و با ترازوی دیجیتال توزین شدند. در نهایت، داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی آنالیز و میانگین آنها با استفاده از آزمون توکی مورد مقایسه آماری قرار گرفت. اندازه‌گیری میزان تبادلات گازی (هدایت روزنه‌ای) و نرخ فتوسنتز در هوای آزاد و تحت شرایط طبیعی دما، نور و رطوبت نسبی هوا با دستگاه قابل‌حمل اندازه‌گیری تبادلات گازی انجام گرفت. برای این منظور از هر تکرار ۶-۳ برگ بالغ انتخاب شد. تمام اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۹ تا ۱۲ صبح در یک روز آفتابی با شدت نور ۱۴۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد تیمار هیومیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اضافه شده به خاک باعث ایجاد بیشترین مقادیر میانگین متغیرها شده است؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار رویش قطری (۳/۲ mm)، رویش ارتفاعی نهال (۳۵/۱ cm)، تعداد برگ (۴۵)، تعداد شاخه (۱۶)، وزن خشک ریشه (۳۱/۳ g) و اندام‌های هوایی (۳۸/۱ g) در تیمار مزبور شده است. مقایسه میانگین متغیرهای فیزیولوژیک نظیر شدت فتوسنتز ($۱۴/۵ \mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)، نرخ هدایت روزنه‌ای ($۰/۲۳ mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) نیز نشان داد که تیمار هیومیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اضافه شده به خاک بیشترین مقدار را داشته است. پس از آن، تیمار هیومیک اسید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اضافه شده به خاک و سپس محلول پاشی با هیومیک اسید ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اثرات بهتری نسبت به سایر تیمارها نشان دادند. در کل افزایش هیومیک اسید در خاک عملکرد بهتری را نسبت به محلول‌پاشی بر سطح برگ نهال‌های توت سفید داشته است. در تمامی متغیرهای ارزیابی شده، کود حیوانی، کمترین میانگین را ایجاد نمود.

نتیجه‌گیری: قابل ذکر است که اثرات مثبت هیومیک اسید در رویش و زی‌توده گیاهان به افزایش قابلیت جذب آب و مواد غذایی توسط گیاه و از طرف دیگر اثرات شبه هورمونی آن برای گیاهان نسبت داده می‌شود. بر اساس نتایج تحقیق حاضر و با توجه به اثرات مثبت هیومیک اسید بر بهبود ویژگی‌های رویشی و نیز شدت فتوسنتز نهال‌های گونه توت و تأثیر معنی‌دار بر افزایش زیست‌توده (متغیرهایی نظیر تعداد برگ، تعداد شاخه، رشد طولی نهال، رشد قطری، رشد ریشه و اندام‌های هوایی)، افزودن کودهای هیومیک اسید به خاک در زمان نهال‌کاری با گونه توت سفید در فضاهای سبز شهری، باغداری و کمربندهای سبز شهرها بسیار توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تبادلات گازی، توت سفید، رویش ارتفاع نهال، زیست‌توده، کمربند سبز، هیومیک اسید

مقدمه

امروزه افزایش جمعیت و توسعه اراضی شهری، باعث شده تا سرعت تخریب منابع آب‌های شیرین، خاک‌های حاصلخیز، اکوسیستم‌های کشاورزی و منابع طبیعی جهان بیشتر شود. کاشت گونه‌های درختی چندمنظوره در توسعه فضاهای سبز شهری و کمربندهای سبز که هم به حفاظت خاک کمک نموده، هم سطح نواحی تفرجی را افزایش داده و هم تأمین میوه و مواد مغذی سالم برای مردم کلان‌شهرها را ایجاد نماید، به هدف اصلی برای مدیران شهرها بدل گردیده است (Dadashpoor *et al.*, 2015; Mahmoudkhani *et al.*, 2018;

Malakooti *et al*., 2019). متأسفانه، گونه‌های درختی و درختچه‌ای که با هدف تولید محصولات باغی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار می‌گیرند از تنوع بالایی برخوردار نیستند و بسیاری از آن‌ها به خشکی، شوری، سرما و گرما حساس بوده و در اغلب موارد نیز به آب بسیار زیادی نیاز دارند. از طرفی برای دستیابی به چنین توسعه‌ای، ناگزیر به کاشت این گونه‌های چندمنظوره در خاک‌های بسیار فقیر و سنگلاخی هستند که زنده‌مانی نهال‌های کاشته شده با مخاطره مواجه می‌شود (Karimi *et al*., 2019; Ahani and Abdollahi, 2023). رایج‌ترین و ارزان‌ترین راهکار برای تقویت نهال‌کاری‌ها در چنین مواقعی، استفاده از کودهای حیوانی و بعضاً شیمیایی است. اما کودهای حیوانی به‌تنهایی برای تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاهان در شرایط سخت طبیعت از راندمان بالایی برخوردار نیستند. از طرفی مصرف درازمدت و فراوان کودهای شیمیایی نیز، علاوه بر افزایش آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و صدمات زیست‌محیطی می‌تواند عواقب ناگواری در پی داشته باشند که از آن جمله می‌توان به برهم‌خوردن تعادل اسیدیته، تجمع نیترات و عناصر سنگین در خاک، کاهش حلالیت عناصر ریزمغذی و تخریب ساختمان خاک اشاره نمود (Khan *et al*., 2018; Aslani *et al*., 2019). در این راستا، استفاده از انواع کودهای آلی یکی از راهکارهای مهم بهبود تولیدات کشاورزی و کاهش خطر بروز آلودگی‌های محیطی موردتوجه قرار گرفته است. هوموس یکی از انواع کودهای آلی و نوعی ماده آلی تثبیت شده است که از اسید هیومیک، اسید فولویک و هیومین تشکیل شده است (Abdi, 2019; Hatami *et al*., 2020). مواد آلی از طریق عواملی نظیر بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک، بهبود نفوذپذیری آب، باعث کاهش رواناب و سهولت توسعه ریشه و همچنین افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شوند. مواد هیومیکی یک ترکیب شیمیایی آلی هستند که از تجزیه مواد آلی گیاهان و حیوانات حاصل می‌شوند. این مواد در تمام محیط‌های خاکی و آبی یافت می‌شوند و یکی از فراوان‌ترین مواد آلی در سطح زمین به‌حساب می‌آیند (MacCarthy, 2001; Hemati *et al*., 2022). هیومیک اسید یک ترکیب و اسید آلی است که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند به‌عنوان ترکیب شبه هورمونی اکسین باعث افزایش جذب عناصر غذایی خاک بشود. علاوه بر این استفاده از هیومیک اسید برای محصولات زراعی می‌تواند به رشد بهتر گیاهان کمک نماید و بدین‌صورت میزان تولید را افزایش داده و کیفیت محصول را نیز بهبود بخشد (Keshavarz *et al*., 2019). همچنین، نتایج بررسی‌ها نشان داده که مصرف هیومیک اسید در خاک موجب افزایش جذب عناصر غذایی مغذی از خاک و تنظیم pH خاک نیز می‌شوند (Bello *et al*., 2019).

در سال‌های اخیر، رشد فزاینده جمعیت شهری در سطح استان خراسان (شهر مشهد) و توسعه صنعتی این شهر، نیاز به گسترش فضای سبز شهری و کمربند سبز بیشتر نموده است. براین‌اساس، استفاده از انواع گونه‌های درختی ارزشمند، چندمنظوره و پر کاربرد باغی و محصول ده نظیر توت، عناب، شاتوت، سنجد، سماق، زالزالک، گلابی وحشی، زرشک وحشی و ... در سال‌های اخیر بیشتر موردتوجه مدیران کمربند سبز و فضای سبز شهری قرار گرفته است (Ahani and Abdollahi, 2023). در واقع محصولات این گونه‌ها نیاز ساکنین اطراف مشهد را به‌صورت رایگان فراهم نموده و در زمان تولید میوه به یکی از کانون‌های تفرجی برای بسیاری از ساکنان این کلان‌شهر تبدیل شده است. ازآنجایی‌که خاک‌های محدوده کاشت نهال کمربند سبز اغلب سنگلاخی و فقیر هستند برای بهبود کیفیت رشد و زنده‌مانی نهال‌ها نیاز به کوددهی در زمان کاشت وجود دارد که اغلب از کود حیوان استفاده می‌شود. باتوجه به اهمیت کاربرد کودهای آلی در کشاورزی پایدار و جایگاه ویژه گونه توت در احداث کمربند سبز مشهد، مطالعه حاضر به‌منظور ارزیابی توان رویشی این گونه در پاسخ به سطوح مختلف کود آلی هیومیک اسید به‌شکل محلول‌پاشی و اضافه کردن به خاک با کود حیوانی رایج مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است؛ بنابراین فرضیه اصلی تحقیق حاضر این بود که کود آلی هیومیک اسید قابلیت بهبود فعالیت رویشی و زیست‌توده نهال‌های توت سفید را دارد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در یکی از نهالستان‌های مرکز تولید نهال کمربند سبز جنوبی مشهد واقع در پارک جنگلی کوهستان و چهل بوستان انجام شد. برای انجام این تحقیق، نهال‌های دوساله و هم اندازه توت به‌صورت ریشه لخت تهیه گردید. سپس به بسترهای آماده شده در نهالستان کمربند سبز مشهد جهت کاشت به‌صورت گودالی و با فواصل ۱/۵×۱/۵ متر منتقل گردیدند. تعداد ۵ کرت آزمایشی مجزا، برای اعمال تیمارها آماده‌سازی شد. در تمام این کرت‌ها خاک نهالستان با کود حیوانی به‌طور کامل و یکنواخت مخلوط گردید. ترکیبات شیمیایی کود گاوی مورد استفاده در تحقیق حاضر در جدول ۱ ارائه شده است. سپس در کرت اول و دوم علاوه بر کود حیوانی مزبور، کود هیومیک اسید به‌ترتیب با غلظت‌های۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در پای هر نهال با خاک گودال کاشت نهال، مخلوط گردید. در کرت‌های سوم و چهارم نیز، محلول‌پاشی بر سطوح برگ نهال‌ها به‌ترتیب با غلظت‌های ۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ابتدای فصل رویش انجام گرفت. برای نهال‌های کرت پنجم نیز فقط تیمار کود حیوانی رعایت شد و هیچ غلظتی از هیومیک اسید داده نشد؛ بنابراین در این پژوهش تعداد ۵ سطح مختلف از کود، با ۱۰ نهال به‌عنوان تکرار برای هر تیمار بررسی شدند. نهال‌ها پس از کاشت و شماره گذاری در ابتدا و انتهای دوره به‌منظور محاسبه رویش اندازه گیری و در طی یک دوره رویشی ۶ ماهه به طور یکنواخت آبیاری شدند.

پس از گذشت ۱۸۰ روز از اعمال سطوح مختلف تیمار کوددهی، خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی نهال از جمله ارتفاع نهال، قطر یقه، طول ریشه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه، مقدار تبادلات گازی (تعرق و هدایت روزنه‌ای)، شدت فتوسنتز و زنده‌مانی نهال‌های توت اندازه‌گیری و ثبت گردید. به‌منظور اندازه‌گیری زی‌توده، نهال‌ها به‌دقت از خاک خارج شده و پس از شست‌وشوی خاک اطراف ریشه و شمارش تعداد شاخه، هر نهال به دو قسمت ریشه و ساقه تقسیم شد. سپس در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت

خشک شده و با ترازوی دیجیتال توزین شدند. در پایان، نسبت وزن ساقه به ریشه محاسبه شد (Bahmani *et al*., 2016; Rahimi *et al*., 2016).

نرخ زنده‌مانی و رویش ارتفاعی از طریق فرمول‌های اشاره شده در روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند.

رابطه ۱ $\text{درصد زنده‌مانی} = \frac{n}{N} \times 100$

رابطه ۲ $\text{رویش ارتفاعی} = H_2 - H_1$

n = تعداد نهال زنده مانده در پایان دوره

N = تعداد کل نهال‌ها

H_1 = ارتفاع اولیه (cm)

H_2 = ارتفاع ثانویه (cm)

اندازه‌گیری میزان تبادلات گازی (هدایت روزنه‌ای) و نرخ فتوسنتز در هوای آزاد و تحت شرایط طبیعی دما، نور و رطوبت نسبی هوا با دستگاه قابل‌حمل اندازه‌گیری تبادلات گازی LI-6400 (LiCor Inc., Lincoln, USA) انجام گرفت. دستگاه LI-600N از یک اندازه‌گیری اختلاف جریان گاز و بخار عبوری از روزنه‌های برگ برای اندازه‌گیری تعرق (E) و هدایت روزنه‌ای در اطراف برگ گیاه استفاده می‌کند. ابتدا، میزان E با اندازه‌گیری نرخ جریان و غلظت مولی بخار آب هوا که از حفره روزنه وارد و خارج می‌شود، اندازه گرفته می‌شود. در همین حال، هدایت کل بخار آب (gtw) به‌عنوان یک تابع از E و فشار بخار در برگ و محفظه شیشه‌ای دستگاه محاسبه می‌شود. در نهایت، هدایت آب روزنه‌ای (gsw) به‌عنوان یک تابع از gtw محاسبه می‌شود. برای این‌منظور از هر تکرار ۳-۶ برگ بالغ انتخاب شد. اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۹ تا ۱۲ صبح در یک روز آفتابی با شدت نور ۱۴۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه انجام شد (Pour and Nejad, 2017).

محاسبات آماری

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با یک فاکتور کوددهی در قالب ۵ سطح و در ۱۰ تکرار نهال انجام شد. پس از برداشت داده‌ها آزمون نرمالیته، همگنی واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به‌ترتیب توسط آزمون کولموگروف اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov)، لِوِن (Levene) و توکی (Tukey) انجام گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ و رسم جداول از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی درصد زنده‌مانی نهال‌های توت حاکی از آن بود که همگی نهال‌ها فارغ از هرگونه تیمار کود، زنده باقی ماندند (زنده‌مانی در تمامی تیمارها ۱۰۰٪). نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات تیمارهای کود بر متغیرهای رویشی و فیزیولوژیک در نهال‌های گونه توت بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار آماری در بین تیمارهای مورد آزمون است (جدول ۲).

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی کود گاوی مورد استفاده در بسترهای کاشت در تحقیق حاضر

Table 1. Chemical compounds of cow manure used in planting beds in this research

	ازت N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	سدیم Na	گوگرد S	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	آهن Fe	ماده آلی Or	هدایت الکتریکی EC
مقدار Amount	2.49	0.56	3.12	1.23	0.39	0.18	0.36	221.4	43.7	198.9	1657.3	83.4	18.68
واحد Unit	%	%	%	%	%	%	%	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	dS/m

جدول ۲- تجزیه واریانس یک طرفه برای بررسی تأثیر تیمارهای مختلف کود بر رویش و متغیرهای فیزیولوژیکی گونه توت

Table 2. One-way ANOVA for investigation the effect of fertilizer treatments on growth and physiological variables of mulberry species

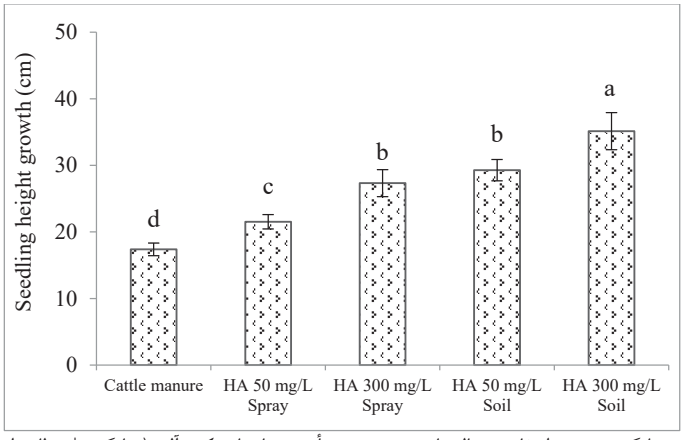
Variables متغیرها	Source of variances منابع تغییرات	SS مجموع مربعات	df درجه آزادی	MS میانگین مربعات	F
Seedling height growth	Between groups	8019.07	4	2004.77	104.78**
رویش ارتفاعی نهال	Witin groups	191.33	10	19.13	
Collar diameter growth	Between groups	13.63	4	3.41	104.37**
رویش قطر یقه نهال	Witin groups	0.33	10	0.03	
Number of leaves	Between groups	2093.07	4	523.27	92.34**
تعداد برگ	Witin groups	56.67	10	5.67	
Number of twigs	Between groups	146.27	4	36.57	34.28**
تعداد شاخه	Witin groups	10.67	10	1.07	
Shoot dry weight	Between groups	437.29	4	109.32	52.63**
وزن خشک اندام‌های هوایی	Witin groups	10.43	10	1.04	
Root dry weight	Between groups	269.96	4	67.49	42.17**
وزن خشک ریشه	Witin groups	6.44	10	0.64	
Shoot/Root weight ratio	Between groups	0.006	4	0.002	13.78**
نسبت وزن خشک شاخه به ریشه	Witin groups	0.017	10	0.002	
Leaf transpiration	Between groups	1.703	4	0.426	27.84**
تعرق برگ	Witin groups	0.153	10	0.015	
Stomatal conductance	Between groups	0.015	4	0.004	67.77**
هدایت روزنه‌ای	Witin groups	0.001	10	0.00	
Photsynthesis rate	Between groups	9.593	4	2.398	24.25**
نرخ فتوسنتز	Witin groups	0.989	10	0.099	

** وجود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۱٪

** significant difference at p≤0.01

اثر کود بر متغیرهای رویشی نهال‌های توت

نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه (جداول ۲) نشان می‌دهد که اثر تیمارهای مختلف کود بر ارتفاع نهال توت معنی‌دار است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع مربوط به نهال‌های تیمار شده با هیومیک اسید در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم اضافه شده به خاک و کمترین ارتفاع مربوط به نهال‌های تیمار شده با کود حیوانی بود (شکل ۱).



شکل ۱- میانگین رویش ارتفاعی نهال‌های توت تحت تأثیر تیمارهای کود آلی (میانگین±خطای استاندارد)

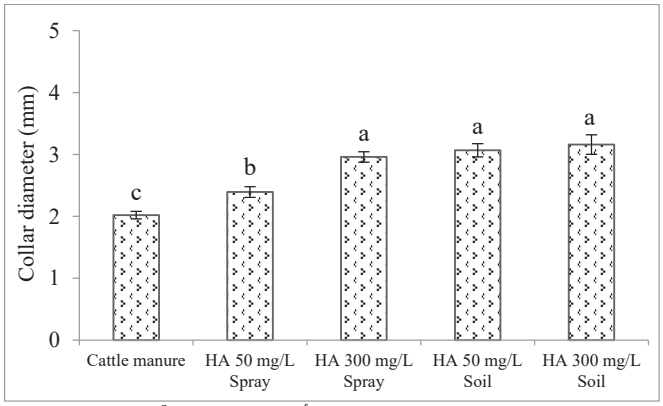
Figure 1. Mean of organic fertilizer treatments for height growth of mulberry seedlings (mean±standard error)

همچنین مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار قطر یقه در نهال‌های تیمار شده با هیومیک اسید در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم اضافه شده به خاک مشاهده شده و کمترین قطر یقه نیز مربوط تیمار کود حیوانی بود (شکل ۲).

نتایج مقایسه میانگین مربوط به متغیر تعداد برگ نیز مشابه متغیرهای قبلی بوده و نهال‌های تیمار شده با کود هیومیک اسید در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم که به خاک اضافه شده است اولاً در مقایسه با محلول‌پاشی نتایج بهتری را ایجاد نموده و دوما اینکه کمترین مقدار نیز مربوط به نهال‌های تیمار شده با کود حیوانی بوده است (شکل ۳).

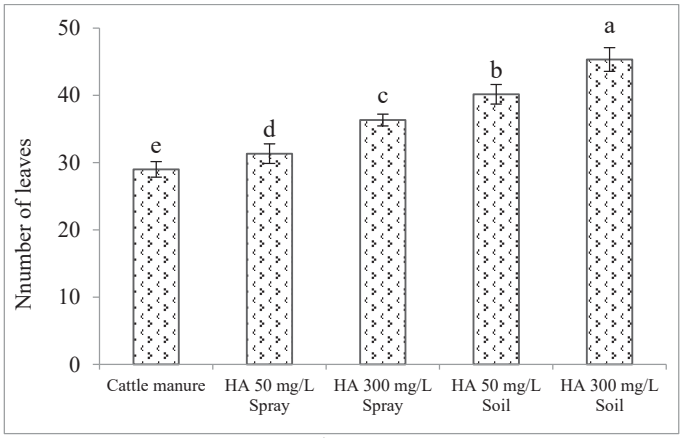
مقایسه میانگین تعداد شاخه در هر نهال نیز مانند نتایج متغیرهای قبلی بود که نتایج آن در شکل ۴ ارائه شده است.

میانگین وزن خشک ساقه و وزن خشک ریشه به‌ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ مقایسه شده است. نهال‌های توت تیمار کود هیومیک اسید در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم که به خاک اضافه شده است بیشترین و تیمار کود حیوانی کمترین مقادیر را ایجاد نمود.

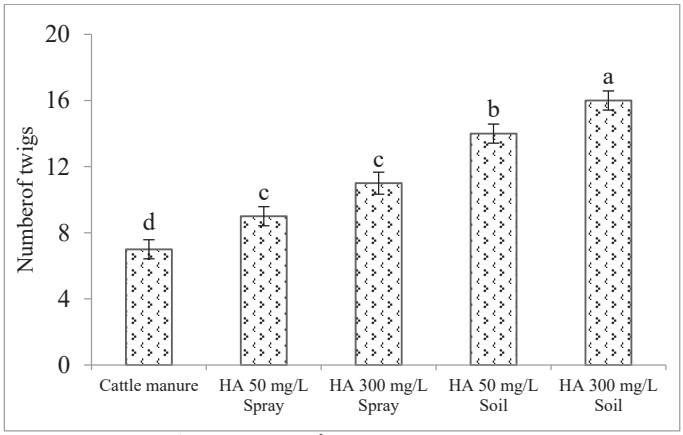


شکل ۲- میانگین رویش قطر یقه نهال‌های توت تحت تأثیر تیمارهای کود آلی (میانگین±خطای استاندارد)

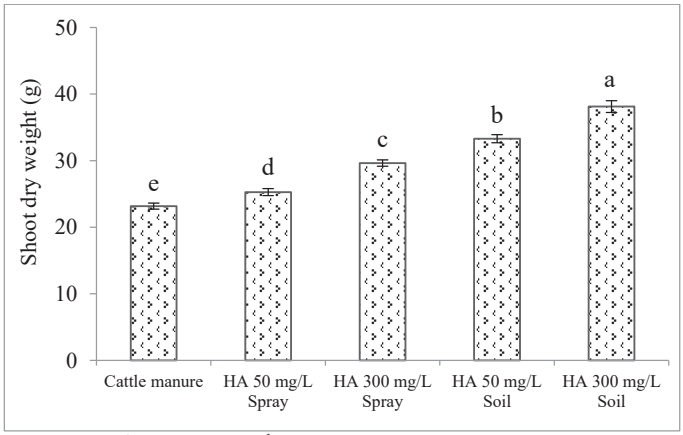
Figure 2. Mean of organic fertilizer treatments for collar diameter growth of mulberry seedlings (mean ± standard error)



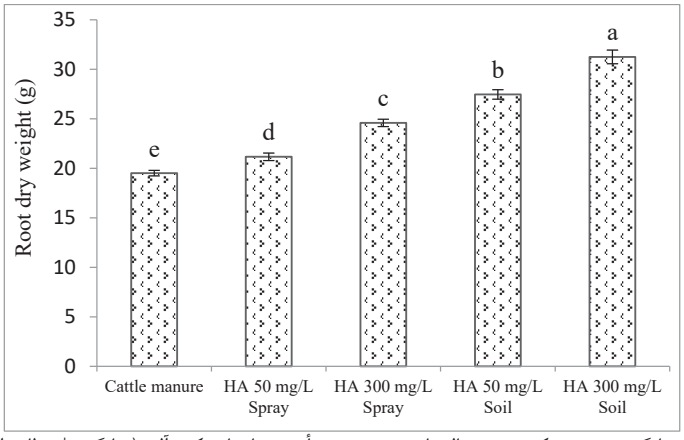
شکل ۳- میانگین تعداد برگ در نهال‌های توت تحت تأثیر تیمارهای کود آلی (میانگین±خطای استاندارد)
Figure 3. Mean of organic fertilizer treatments for number of leaves of mulberry seedlings (mean ± standard error)



شکل ۴- میانگین تعداد شاخه در نهال‌های توت تحت تأثیر تیمارهای کود آلی (میانگین±خطای استاندارد)
Figure 4. Mean of organic fertilizer treatments for number of twigs of mulberry seedlings (mean ± standard error)



شکل ۵- میانگین وزن خشک اندام‌های هوایی نهال‌های توت تحت تأثیر تیمارهای کود آلی (میانگین±خطای استاندارد)
Figure 5. Mean of organic fertilizer treatments for shoot dry weight of mulberry seedlings (mean ± standard error)

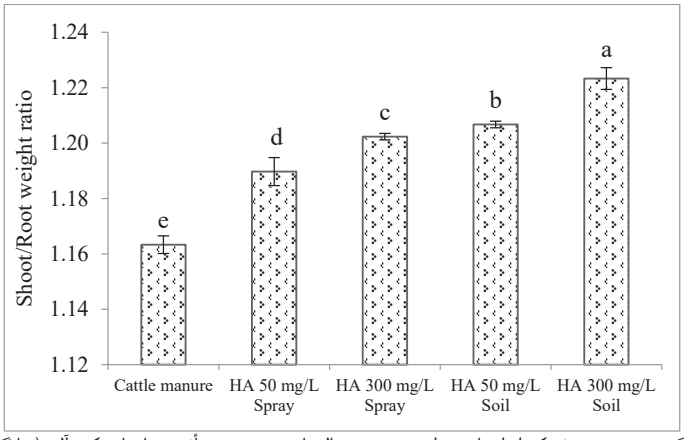


شکل ۶- میانگین وزن خشک ریشه نهال‌های توت تحت تأثیر تیمارهای کود آلی (میانگین±خطای استاندارد)
Figure 6. Mean of organic fertilizer treatments for root dry weight of mulberry seedlings (mean ± standard error)

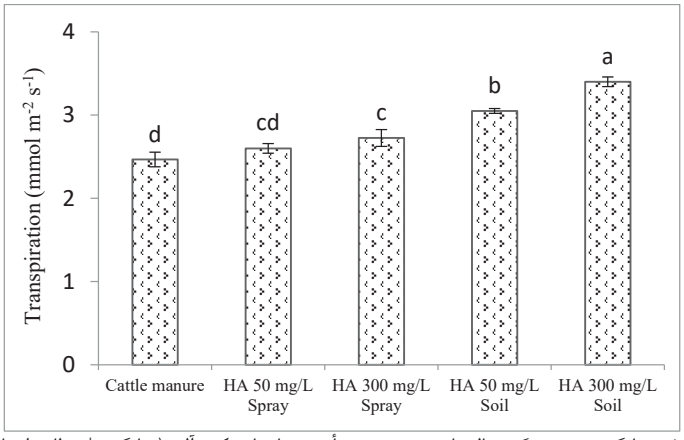
مقایسه میانگین نسبت وزن خشک ساقه به ریشه نهال در شکل‌های ۷ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود همچنان نهال‌های تیمار شده با هیومیک اسید ۳۰۰ میلی‌گرم که به خاک اضافه شده است بیشترین مقادیر و نهال‌های تیمار شده با کود حیوانی کمترین مقادیر را داشتند.

نتایج مقایسه میانگین میزان تعرق برگ در نهال‌های گونه توت (شکل ۸) نشان داد که تیمار هیومیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بیشترین میزان تعرق اندازه‌گیری شده را دارد. کمترین میزان تعرق برگ نیز در تیمار کود حیوانی مشاهده شد.

بیشترین و کمترین میزان هدایت روزنه‌ای در نهال‌های گونه توت نیز به ترتیب مربوط به نهال‌های تیمار شده با هیومیک اسید در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در خاک و نهال‌های تیمار شده با کود حیوانی بود (شکل ۹).

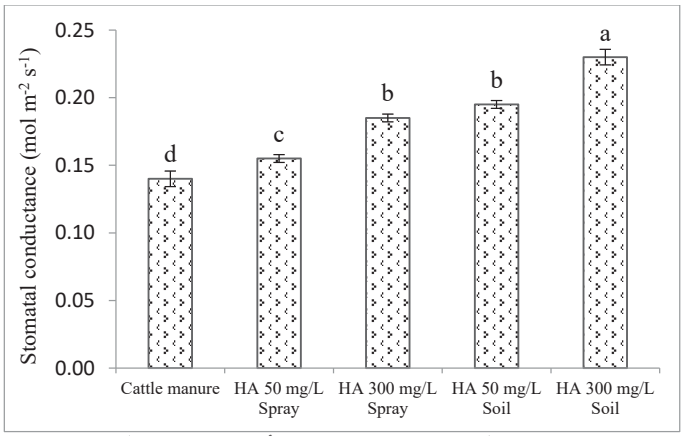


شکل ۷- مقایسه میانگین نسبت وزن خشک اندام‌های هوایی به ریشه نهال‌های توت تحت تأثیر تیمارهای کود آلی (میانگین±خطای استاندارد)
Figure 7. Mean comparison of organic fertilizer treatments for shoot/root weight ratio of mulberry seedlings (mean ± standard error)



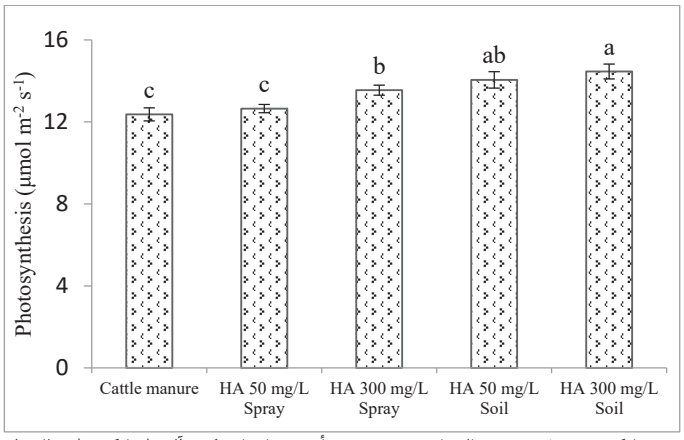
شکل ۸- میانگین تعرق برگ نهال‌های توت تحت تأثیر تیمارهای کود آلی (میانگین±خطای استاندارد)

Figure 8. Mean of organic fertilizer treatments for leaf transpiration of mulberry seedlings (mean ± standard error)



شکل ۹- میانگین هدایت روزنه‌ای بخار آب در نهال‌های توت تحت تأثیر تیمارهای کود آلی (میانگین±خطای استاندارد)

Figure 9. Mean of organic fertilizer treatments for stomatal conductance of water vapour in mulberry seedlings (mean ± standard error)



شکل ۱۰- میانگین نرخ فتوسنتز نهال‌های توت تحت تأثیر تیمارهای کود آلی (میانگین±خطای استاندارد)

Figure 10. Mean of organic fertilizer treatments for photosynthesis rate of mulberry seedlings (mean ± standard error)

بیشترین میانگین شدت فتوسنتز (شکل ۱۰) در نهال‌های توت نیز مربوط به نهال‌های تیمار شده با هیومیک اسید اضافه شده به خاک با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بود و کمترین آن نیز مجدداً در تیمار کود حیوانی بوده است.

نتایج تحقیقات انجام شده توسط افرادی همچون شوآ داود لی و مطلبی (Shoa Davoud Li and Motalebi, 2020) بر روی گیاه ماگونیا، حاتمی و همکاران (Hatami *et al*., 2020) بر پایه‌های درخت بادام خوراکی، چمنی و همکاران (Chamani *et al*., 2016) بر گیاه زینتی دارویی پروانش و همچنین شن و همکاران (Shen *et al*., 2020) بر روی گیاه ارزن نشان داد که استفاده از کود هیومیک اسید باعث بهبود و افزایش شدت فتوسنتز می‌شود که کاملاً هم‌سو با نتایج مطالعه حاضر است. نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن است که بیشترین شدت فتوسنتز مربوط به تیمار هیومیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم است و کمترین میزان فتوسنتز در نهال‌های تیمار شده با کود حیوانی بوده است.

فتوسنتز فرایندی است که در آن گیاهان، جلبک‌ها و برخی از باکتری‌ها، انرژی نورانی خورشید را به انرژی شیمیایی به‌شکل قند یا گلوکز تبدیل و از آن به‌عنوان سوخت در فعالیت‌های سلولی استفاده می‌نمایند. محصولات جانبی همچون اکسیژن، گلوکز و فروکتوز در طی فرایند فتوسنتز تولید شده که گیاهان از آن‌ها به‌عنوان منبع انرژی جهت رشد اندام‌های رویشی و زایشی خود استفاده می‌نمایند (Pour and Nejad, 2017). تحقیقات پیشین نشان داده که اسید هیومیک از طریق افزایش آنزیم روبیسکو سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (Delfine *et al*., 2005). با کاربرد اسید هیومیک و افزایش عناصر ریزمغذی مانند منگنز و آهن که از عناصر ضروری جهت تشکیل و پایداری کلروپلاست و سنتز برخی پروتئین‌ها محسوب می‌شوند و اثرگذاری این مواد بر فعالیت آنزیم‌ها، افزایش عملکرد و فتوسنتز در گیاهان مشاهده می‌شود (Marschner, 2011)؛ لذا باتوجه به اینکه اسید هیومیک می‌تواند فتوسنتز گیاهان را افزایش دهد، به‌عنوان یک راهکار جهت کاهش تنش خشکی در گیاهان به‌حساب می‌آید (Shen *et al*., 2020).

هدایت روزنه‌ای پیوند دهنده فتوسنتز و تعرق گیاه بوده و از آن به‌عنوان شاخص کلیدی جهت کمی کردن برهم‌کنش گیاهان و اقلیم در مدل‌های اقلیمی طراحی شده استفاده می‌گردد (Naithani *et al*., 2012). هدایت روزنه‌ای با تنظیم سرعت فرایندهای تعرق، آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن و تنفس یکی از ویژگی‌های متابولیکی گیاه است که به‌دلیل تأثیرپذیری از تنش‌های کمبود آب در گیاه، به‌عنوان شاخص تنش خشکی نیز به‌حساب می‌آید (Nasseri 2020). در این مطالعه بیشترین و کمترین میزان هدایت روزنه‌ای به‌ترتیب مربوط به نهال‌های تیمار شده با هیومیک اسید در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در خاک و نهال‌های تیمار شده با کود حیوانی بود. در شرایط خشکی ترکیبات هیومیک اسید با افزایش تولید اسید آبسیزیک گیاه سبب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شوند که در مطالعه اصلانی و همکاران (Aslani *et al*., 2019) کمترین میزان هدایت روزنه‌ای گوجه‌فرنگی در شرایط کم آبیاری (۶۰٪) با محلول‌پاشی هیومیک اسید مشاهده شد. نتایج مطالعات چمنی و همکاران (Chamani *et al*., 2016) در گیاه زینتی دارویی پروانش، حاتمی و همکاران (Hatami *et al*., 2020). در پایه‌های بادام در شرایط تنش شوری، عباس‌زاده فاروجی و همکاران (Abbaszadeh Faruji *et al*., 2020) در گیاه شمعدانی، من–هونگ و همکاران (Man-hong *et al*., 2020) در سیب‌زمینی و همتی و همکاران (Hemati *et al*., 2022) در گیاه کانولا نیز مطابق با نتایج این مطالعه افزایش هدایت روزنه‌ای گیاه را با استفاده از هیومیک اسید نشان داد.

از دست دادن آب گیاه از طریق تعرق باعث پلاسمولیز و تخریب غشای سلولی می‌شود. افزایش نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی به‌دلیل بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در نتیجه استفاده از کودهای آلی است (Khorasaninejad *et al*., 2018). کود آلی هیومیک اسید یکی از محصولاتی است که از مواد ارگانیک و تجزیه شده گیاهی تولید می‌شود؛ بنابراین این کودها دارای مقادیر زیادی از مواد مغذی مهم برای رشد گیاهان می‌باشند که از جمله آن‌ها می‌توان به نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر میکرو و ضروری برای رشد گیاهان اشاره کرد. همچنین، حضور هیومیک اسید در کود آلی باعث افزایش نفوذپذیری خاک می‌گردد و تهویه خاک و جذب آب توسط گیاه را بهبود می‌بخشد (Tchaikovskaya *et al*., 2021; Valero *et al*., 2023). مکانیسم اصلی اثر اسید هیومیک بر رشد گیاهان شامل افزایش جذب و فرستادن مواد غذایی به درون گیاه، بهبود تهویه و افزایش فعالیت میکروبی خاک است. این ترکیبات با ایجاد تغییرات شیمیایی در خاک، می‌توانند باعث افزایش نفوذپذیری خاک، جذب بهتر آب و مواد مغذی، و تنظیم pH خاک شوند. به‌علاوه، اسید هیومیک می‌تواند باعث افزایش فعالیت میکروبی خاک شود که این موضوع منجر به تجزیه بهتر مواد آلی، افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه و افزایش تولید هورمون‌های گیاهی می‌شود (Tchaikovskaya *et al*., 2021; Valero *et al*., 2023).

در این تحقیق میزان تعرق برگ در گونه توت در تیمارهای هیومیک اسید با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در خاک نیز بیشترین مقدار مشاهده شده بود. هم‌سو با این نتیجه در پژوهش‌های دیگری اثر کودهای مختلف افزایش تعرق را نشان داده‌اند. در مطالعه نقاش‌زاده و همکاران (Naghashzadeh *et al*., 2014) اثر کود زیستی میکوریز (*Glomus intraradices*) در برگ گیاه ذرت نشان داد که افزایش محتوای آب گیاه در گیاهان همزیست با میکوریز باعث افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق در گیاه نسبت به تیمار شاهد شده است. در مطالعه دیگر نتایج بررسی صفری و همکاران (Safari *et al*., 2022) حاکی از آن است که که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای و تعرق برگ انگور شد؛ با این‌حال با کاربرد کودهای سولفات پتاسیم، کمپوست و بایوچار اثر تنش خشکی جبران و تعرق افزایش یافت.

هیومیک اسید به‌طور مستقیم با افزایش جذب آهن و سنتز کلروفیل، افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و افزایش فتوسنتز، افزایش جذب عناصر مفید و کاهش جذب عناصر سمی، با خاصیت کلات کنندگی، رشد و تولید گیاه را افزایش می‌دهد و به‌طور غیرمستقیم با تغییر ساختار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، بر رشد گیاهان اثر مثبتی می‌گذارد (Parandian and Samavat, 2012). در تحقیق حاضر

بیشترین ارتفاع در نهال‌های تیمار شده با هیومیک اسید ۳۰۰ میلی‌گرم به‌دست آمده است. هم‌سو با این تحقیق در مطالعه شوآ داود لی و مطلبی (Shoa Davoud Li and Motalebi., 2020) با کاربرد تیمارهای اسید هیومیک و تیوباسیلوس، ارتفاع درخت افزایش یافت. رضوی نسب و همکاران (Razavi Nasab *et al*., 2017) افزایش ارتفاع نهال‌های پسته و مشایخی و همکاران (Mashayekhi *et al*., 2019) افزایش ارتفاع بابونه آلمانی را با استفاده از هیومیک اسید مشاهده کردند. در تحقیق عبدی (Abdi., 2019) مصرف هیومیک اسید سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع نهال‌های آتریپلکس گردید. در مطالعه امیری و همکاران (Amiri *et al*., 2022)کاربرد هم‌زمان اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک اکثر صفات مورد مطالعه را بهبود بخشید؛ همچنین در مطالعه صبوری و همکاران (Sabouri *et al*., 2018) بیشترین ارتفاع بوته گیاه مرزه در شرایط آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی با ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید مشاهده شد. استفاده از اسید هیومیک در گیاه پروانش نیز سبب افزایش معنی‌دار در صفات رویشی گیاه، نظیر ارتفاع شد (Bayanloo *et al*., 2020).

مطالعات زیادی در رابطه با توانایی مواد هیومیکی در افـزایش رشد ساقه در ارقام متفاوت گونه‌های گیـاهی تحـت شـرایط مختلف ارائه شده است. اثر تسریع کنندگی مواد هیومیکی بر رشـد سـاقه در وهله اول به‌دلیل تأثیر بر فعالیت H^+ -ATPase ریشه و توزیـع نیترات ریشه در ساقه بوده که به نوبه خود سبب تغییراتی در توزیـع مشخص سایتوکینین‌ها، پلی‌آمین‌ها و ATP می‌گردد و در نتیجه بر رشد ساقه اثر خواهد گذاشت (Rubio *et al*., 2009).

در پژوهش‌هایی که توسط دلفین و همکاران (Delfine *et al*., 2005) و طاهیر و همکاران (Tahir *et al*., 2011) انجام شد سطوح مختلف استفاده از هیومیک اسید باعث افزایش وزن ساقه در گندم شد. در پژوهش تورکمن و همکاران (Türkmen *et al*., 2004) نیز کـاربرد هیومیک اسید در غلظت‌های مختلف موجب افزایش قطر و طول ساقه در گیاه گوجه فرنگی شد. همچنین در مطالعه رهی و همکاران (Rahi *et al*., 2013) با استفاده از هیومیک اسید بر روی گونه مرتعی *Festuca arundinacea* وزن تر و خشک ساقه افزایش یافت که نتایج مطالعات ذکر شده هم‌راستا با نتایج این پژوهش در ارتباط با افزایش وزن ساقه در گونه توت است. هیومیک اسید قابلیت تولید گیاه و حاصل‌خیزی خاک را با افزایش جذب عناصر غذایی مورد نیاز از طریق تشکیل کلات‌های عناصر کم‌مصرف و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی زیستی آن‌ها و افزایش رشد گیاه و به‌دنبال آن افزایش سیستم ریشه و ترشحات آن، افزایش خواهد داد (Razavi Nasab *et al*., 2017). هیومیک اسید سبب تحریک رشد قسمت‌های هوایی و ریشـه گیـاه می‌شود؛ در حالی‌که اثـر آن بر ریشـه برجسـته‌تـر بوده و با افزایش حجـم ریشـه موجب اثر بخشی بهتر سیستم ریشه می‌شود (Rahi *et al*., 2013). افزایش وزن ریشه نقش مهمی در تأمین حاصل‌خیزی خاک‌هایی که مقدار ماده آلی کمی دارند، ایفا می‌کند و دسترسی به عناصر غذایی خاک را بهبود می‌بخشد (Mirzaee *et al*., 2020).

در مطالعات افرادی همچون میرزایی و همکاران (Mirzaee *et al*., 2020) افزایش وزن تر و خشک ریشه گل ژربرا (*Gerbera jamesonii*)، حسینی چنارستانی علیا و همکاران (Hoseini Chenarestani Olia *et al*., 2017) افزایش وزن تر و خشک ریشه نهال پرتقال والنسیا با پایه نارنج، دلفین و همکاران (Delfine *et al*., 2005) افزایش وزن خشک ریشه گندم و در مطالعه پادم و همکاران (Padem *et al*., 1999) افزایش وزن خشک ریشه گیاهان بادمجان و فلفل با استفاده از هیومیک اسید مشاهده شد. در مطالعه رهی و همکاران (Rahi *et al*., 2013) در گونه مرتعی فستوکا اثر هیومیک اسید بـر وزن تـر و خشـک ریشه نیز در سطوح مختلف هیومیک اسید معنی‌دار بود. سنگیدا و همکاران (Sangeetha *et al*., 2006) به این نتیجه دست یافتند که هیومیک اسید مـی‌توانـد با افزایش جذب NPK و رشد اندام‌هـای گیـاهی سبب افزایش ویژگی‌های مورفولوژیکی ریشه گردد. باتوجه به نتایج مطالعات فوق که هم‌راستا با نتایج مطالعه حاضر است می‌توان گفت هیومیک اسید به‌دلیل خاصیت شبه‌اکسینی و سیتوکینینی (Hatami *et al*., 2020) تأثیر بسیار مثبتی بر فیزیولوژی گیاه دارد و باعث توسعه ریشه و افزایش وزن آن می‌گردد (Rahi *et al*., 2013).

هیومیک اسید اثر شبه‌هورمونی دارد و استفاده به‌صورت خاکی و یا محلول‌پاشی از آن می‌تواند سبب افزایش غلظت تنظیم کننده‌های رشد بخصوص اکسین، سیتوکینین و جیبرلین در بافت‌های گیاهی گردد (Abdel Mawgoud *et al*., 2007). باتوجه‌به نقش سیتوکینین در تقسیم سلولی و اثری که اکسین و جیبرلین در بزرگ شدن سلول‌ها و افزایش تعداد و اندازه سلول‌ها ایفا می‌کنند، افزایش تعداد برگ و ارتفاع بوته مورد انتظار است (Chen and Aviad, 1990). نتایج این پژوهش حاکی از آن است که استفاده از هیومیک اسید اضافه شده به خاک در غلظت بالا موجب افزایش تعداد برگ در نهال‌های توت می‌شود. در مطالعه رضوی نسب و همکاران (Razavi Nasab *et al*., 2017) استفاده از هیومیک اسید به‌صورت محلول‌پاشی سبب افزایش تعداد برگ در نهال‌های پسته در شرایط مزرعه شد. همچنین لوتس و همکاران (Lutts *et al*., 1996) و پادم و همکاران (Padem *et al*., 1999) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی هیومیک اسید سبب افزایش معنی‌دار تعداد برگ در گیاهان بادمجان و فلفل شد. در مطالعه رهی و همکاران (Rahi *et al*., 2013) استفاده از کود هیومیک اسید به‌صورت گرانولی سبب افزایش معنی‌دار تعداد برگ شد. عباس‌زاده و همکاران (Abbas Zadeh *et al*., 2019) در مطالعه به این نتیجه رسیدند که تأثیر غلظت‌های مختلف ترکیب کود آلی (اسید هیومیک و اسید فلوویک) بر تعداد برگ رقم زیتون زرد معنی‌دار بوده است. براساس نتایج مطالعات پیشین می‌توان گفت هیومیک اسید موجب دسترسی گیاه به عناصر غذایی شده و در نتیجه سبب افزایش اندام‌های هوایی می‌گردد.

نتیجه‌گیری

آنچه که از نتایج این تحقیق برمی‌آید این است استفاده از هیومیک اسید بر تبادلات گازی و ویژگی‌های رویشی گونه توت

کاملاً اثرگذار بوده و آن‌ها را بهبود بخشیده است. همچنین براساس یافته‌های این مطالعه تیمار هیومیک اسید در غلظت بالاتر و به‌صورت مخلوط شده در خاک (۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در تمام شاخص‌های مورد اندازه‌گیری عملکرد بهتری را نسبت تمام تیمارها و حتی نسبت به محلول‌پاشی بر سطح برگ با غلظت مشابه ایجاد می‌نماید. کود حیوانی نیز در تمام متغیرها، کمترین میانگین را در صفات فیزیولوژیک و رویشی مورد بررسی ایجاد نمود؛ بنابراین فرضیه اولیه تحقیق که حاکی از اثرات مثبت کود آلی هیومیک اسید بر متغیرهای رویشی و زیست‌توده نهال‌های توت خوراکی بود مورد تأیید قرار گرفت.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از زحمات کلیه مسئولین محترم کمربند سبز شهرداری مشهد و سازمان پارک‌ها و فضای سبز مشهد به‌دلیل در اختیار قرار دادن نهالستان و تأمین نهال‌های مورد استفاده در این تحقیق، تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آورند.

References

Abbas Zadeh, B., Asadi Sanam, S., & Layegh Haghighi, M. (2019). Enhancement of phenoilc compounds of olive (*Olea europaea* L.) leaf with soil application of chemical and organic fertilizers. *Journal of Plant Production Research*, *26*(3), 179-198 (In Persian).

Abbaszadeh Faruji, R., Shoor, M., Tehranifar, A., & Abedi, B. (2020). Effects of Humic and Fulvic Acids on Some Physiological Characteristics of Two Ornamental Plants of Granium (*Plargonium* spp.) and *Scindapsus* (*Scindapsus* spp.). *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, *11*(1), 45-58 (In Persian).

Abdel-Mawgoud, A.M.R., El-Greadly, N.H.M., Helmy, Y.I., & Singer, S.M. (2007). Responses of tomato plants to different rates of humic-based fertilizer and NPK fertilization. *Journal of Applied Sciences Research*, *3*(2), 169-174.

Abdi, N. (2019). Effects of the Zeolite, Plant Growth Promoting Rhizobactria (PGPR) and Humic Acid on early growth of *Atriplex canescens* L. seedlings in Arak. *Journal of Arid Biome*, *8*(2), 27-35 (In Persian).

Ahani, H., & Abdollahi, P. (2023). Value chain and commercial development of Sea buckthorn (*Hipphophae rhamnoides* L.) due to the country's food security. *Journal of Environmental Research and Technology, 13*(13), 65 (In Persian).

Amiri, M.B., Esmaeilian, Y., & Alboghobiesh, M. (2022). Effect of humic and salicylic acids spraying on some morphological characteristics, yield and yield components of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in different levels of irrigation. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(1), 55-67 (In Persian).

Aslani, S., Barzegar, T., & Nikbakht, J. (2019). Effect of humic acid on physiological and biochemical indices and yield of tomato under deficit irrigation. *Journal of Crops Improvement*, *21*(2): 221-232 (In Persian).

Bahmani, M., Yousefi, S., & Kartolinezhad, D. (2016). The effects of gamma radiation on seed germination and vigour of caper (*Capparis spinosa* var. *parviflora*) medicinal plant. *Iranian Journal of Seed Research*, *3*(1), 15-26 (In Persian).

Bayanloo, E., Aelaei, M., & Khani, M.S. (2020). Catharanthus roseus L. (G. DON). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *50*(4), 993-1008 (In Persian).

Bello, W.B., Adejuyigbe, C.O., Adigun, J.A. & Dare, M.O. (2019). Soil fertility status, nutrient uptake and maize (*Zea mays* L.) yield as influenced by animal manure and compost. *Journal of Organic Agriculture and Environment, 7*(1), 9-16.

Chamani, E., Bonyadi, M., & Ghanbari, A. (2016). Effects of Salicylic acid and Humic acid on Vegetative Indices of Periwinkle (*Catharanthus roseus* L.). *Journal of Horticultural Science*, *29*(4), 631-641 (In Persian).

Chen, Y., & Aviad, T. (1990). Effects of humic substances on plant growth. *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*, 161-186.

Dadashpoor, H., Javadi, M., & Rafieian, M. (2015). Investigation the Way of Creation of Green-Belt and Its Effect onGuide and Control of Urban Growth in Tehran Limit Line. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, *7*(13), 293-303 (In Persian).

Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E., & Alvino, A. (2005). Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*, *25*(2), 183-191.

Hatami, E., Shokouhian, A.A., Ghanbari, A.R., & Naseri, L. (2020). Investigation the effect of humic acid on some morphhophysiological and biochemical characteristics of almond rootstocks under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *51*(3), 523-536 (In Persian).

Hemati, A., Alikhani, H.A., Babaei, M., Ajdanian, L., Asgari Lajayer, B., & van Hullebusch, E.D. (2022). Effects of foliar application of humic acid extracts and indole acetic acid on important growth indices of canola (*Brassica napus* L.). *Scientific Reports*, *12*(1), 20033 (In Persian).

Hoseini Chenarestani Olia, M., Hoseini Farrehi, M. & Aboutalebi, A.H. (2017). Effect of diffrent media culture and humic acid on some important vegetative properties of orange seedling cv. Valencia (*Citrus sinensis*) using sour orange (*C. aurantium*) rootstock. *Iranian Journal of Horticultural Science, 48*(3), 487-502 (In Persian).

Karimi, H., Karami, G., & Mousavi, S.M. (2019). Investigating of characteristic and contexts of agroforestry system development. Human & Environment, 17(2), 79-90 (In Persian).

Keshavarz, H., Modarres-Sanavy, S.A., Sefidkon, F., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2019). Effect of organic fertilizers and urea fertilizer on phenolic compounds, antioxidant activity, yield and yield components of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research, 17*(4), 661-672 (In Persian).

Khan, M.N., Mobin, M., Abbas, Z.K., & Alamri, S.A. (2018). Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. *Encyclopedia of the Anthropocene*, *5*, 225-240.

Khorasaninejad, S., Alizadeh Ahmadabadi, A., & Hemmati, K. (2018). The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. *Scientia Horticulturae*, *239*, 314-323.

Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, *78*(3), 389-398.

MacCarthy, P. (2001). The principles of humic substances. *Soil science*, *166*(11), 738-751.

Mahmoudkhani, M., Feghhi, J., Makhdoum, M., & Bahmany, O. (2018). Evaluation of Outdoor Recreational Capability for Planning Forest Promenade in the North Green Belt of Tehran. *Environmental Researches*, *8*(16), 187-197 (In Persian).

Malakooti, H., Arghavani, S., & Aliakbari Bidokhti, A. (2019). Numerical Evaluation of the Effects of Green Belt Development on Local Meteorology and Air Quality over Tehran Metropolis. *Journal of Environmental Studies*, *45*(3), 413-429 (In Persian).

Man-Hong, Y., Lei, Z., Sheng-Tao, X., McLaughlin, N. B., & Jing-Hui, L. (2020). Effect of water soluble humic acid applied to potato foliage on plant growth, photosynthesis characteristics and fresh tuber yield under different water deficits. *Scientific Reports*, *10*(1), 7854.

Marschner, H. (Ed.). (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.

Mashayekhi, S., Abdali Mashhadi, A., Bakhshandeh, A., Lotfi Jalal Abadi, A., & Seyyed Nejad, S. M. (2019). Relationship of salicylic acid and humic acid foliar spray and harvesting times with yield and quality of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *29*(1), 209-222 (In Persian).

Mirzaee, N., Jabbarzadeh, Z., & Rasouli-Sadaghiani, M. (2020). Influence of humic acid and nano-calcium chelate application on photosynthetic pigments and nutrient uptake of Gerbera jamesonii cv. Dune. *Journal of Plant Process and Function*, *9*(39), 61-76 (In Persian).

Naghashzadeh, M.R., Sharifabad, H.H., Heravan, E.M., Rafiee, M., Rejali, F., & Imantalab, N. (2014). Evaluation of maize leaf gas exchanges with application of mycorrhizal biofertilizer under drought stress conditions. *Seed and Plant Production Journal*, *30*(1), 47-59 (In Persian).

Naithani, K.J., Ewers, B.E., & Pendall, E. (2012). Sap flux-scaled transpiration and stomatal conductance response to soil and atmospheric drought in a semi-arid sagebrush ecosystem. *Journal of Hydrology*, *464*, 176-185.

Nasseri, A., Khorshidi, M.B., Faramarzi, A., & Mottaghifard, Z. (2020). Determination of Irrigation Time by Measuring Stomatal Conductance in Corn Leaves. *Water Management in Agriculture*, *6*(2), 37-46 (In Persian).

Padem, H., Ocal, A., & Alan, R. (1997, November). Effect of humic acid added to foliar fertilizer on quality and nutrient content of eggplant and pepper seedlings. In *International Symposium Greenhouse Management for Better Yield & Quality in Mild Winter Climates 491* (pp. 241-246).

Parandian, F., & Samavat, S. (2012). Effects of fulvic acid and humic acid on anthocyanin, soluble sugar, α-amylase. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3*(5), 924-929.

Pour, A.S., & Nejad, D.K. (2017). Carbon uptake and leaf gas exchange of ash tree (Fraxinus excelsior) affected by different intensities of photosynthetically active radiation (case study: Central Europe forests). *Journal of Natural Environment*, *70*(2), 373-384 (In Persian).

Rahi, A., Mirzaie-Nodoushan, H., Danaee, M., & Azizi, F. (2013). Effects of humic acid on vegetative characteristics of Festuca arundinacea. *Iranian Journal of Range and Desert Research (IJRDR), 19*(4), 722-736 (In Persian).

Rahimi, D., Sadeghipour, A., & KartooliNejad, D. (2016). Effects of priming with different concentrations of potassium nitrate salt on seed germination and vigor indices of Capparis cartilaginea. *Rangeland*, *10*(2), 180-190 (In Persian).

Razavi Nasab, A., Fotovat, A., Astaraie, A.R., & Tajabadipour, A. (2017). Effect of organic and chemical amendment matters and humic acid on morpho-physiologic parameters of pistachio seedlings in field conditions. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization, (Scientific Journal of Agriculture)*, *40*(1), 107-124 (In Persian).

Rubio, V., Bustos, R., Irigoyen, M.L., Cardona-López, X., Rojas-Triana, M., & Paz-Ares, J. (2009). Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Molecular Biology*, *69*, 361-373.

Sabouri, F., Sirousmehr, A., & Gorgini Shabankareh, H. (2018). Effect of irrigation regimes and application of humic acid on some morphological and physiological characteristics of Savory (*Satureja hortensis* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*, *9*(4), 13-24 (In Persian).

Safari, A., Fatemi, A., Saiedi, M., & Kolahchi, Z. (2022). Effect of drought stress on water use efficiency of grapevines (*Vitis vinifera* L.) cultivar 'Bidaneh Ghermrz'under different fertilizer treatments. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *35*(4), 836-847 (In Persian).

Sangeetha, M., Singaram, P., & Uma Devi, R. (2006). Effect of lignite humic acid and fertilizer on yield of onion and nutrient availability, Proceeding of 18th World Congress of Soil science 9-15. Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Shen, J., Guo, M. J., Wang, Y.G., Yuan, X.Y., Wen, Y.Y., Song, X.E., ... & Guo, P.Y. (2020). Humic acid improves the physiological and photosynthetic characteristics of millet seedlings under drought stress. *Plant Signaling & Behavior*, *15*(8), 1774212.

Shoa Davoud Li, A., & Motalebi, E. (2020). The effect of application of humic acid and sulfur together with Thiobacillus bacteria on the morphological characteristics of magnolia plant. *Plant and Biotechnology of Iran, 14*(4), 11-19 (In Persian).

Tahir, M.M., Khurshid, M., Khan, M.Z., Abbasi, M.K., & Kazmi, M.H. (2011). Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. *Pedosphere*, *21*(1), 124-131.

Tchaikovskaya, O., Chaidonova, V., Yudina, N., & Plotnikova, I. (2021). Engineering of humic acids in biostimulants of plant growths. *Progress in Material Science and Engineering*, 247-261.

Türkmen, Ö., Dursun, A., Turan, M., & Erdinç, Ç. (2004). Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, *54*(3), 168-174.

Valero, N., Ustates, Y., & Pantoja-Guerra, M. (2023). Biostimulant activity of humic acids derived from goat manure vermicompost and lignite in relation to their structure and interaction with a PGPR strain under semiarid conditions. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *17*(2), e15956-e15956.