Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

The effect of tray cell volume and humic acid on morphological and physiological characteristics of tomato transplant (*Solanum lycopersicom* L.)

Ameneh Salari[1], Leila Jafari[*2], Alireza Yavari[3]

1. M.Sc. Student, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. E-mail: amenehsalari11@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. E-mail: jafari.leila@hormozgan.ac.ir
3. Assistant Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. E-mail: yavari@hormozgan.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 09.27.2021
Revised: 11.27.2021
Accepted: 12.14.2021

Keywords:
Ball seedling,
Leaf nutrients,
Organic fertilizer,
Tray cell size

ABSTRACT

Background and Objectives: One of the main factors affecting the growth of greenhouse tomato transplant is the choose of desired cell size or volume of the tray. So that, larger cells provide more space for better transplant growth, but as the cell volume or size increases, the space required to produce the transplants increase. Therefore, it is important to determine the appropriate cell size that produces vigorous transplants. On the other hand, improved seedling growth in various vegetables such as tomatoes due to the use of humic acid has been reported by various researchers. This study was performed to investigate the effect of tray cell volume and foliar application of humic acid on morphological and physiological characteristics of tomato transplants.

Materials and Methods: A factorial experiment in a completely randomized design with three replications and two factors include tray cell volume (15, 20 and 22 cm^3) and humic acid foliar application (0, 1.5, 3.5 and 5.5 g/l) was conducted in a greenhouse at the University of Hormozgan. The growing substrates were 70% coco peat and 30% perlite. Since the fourth week onwards, with the appearance of two pairs of true leaves, the seedlings were sprayed by humic acid fertilizer with concentrations 0, 1.5, 3.5, 5.5 g/l every other day for 15 days. 7 weeks after planting, seedling characteristics such as morphological and physiological traits and concentrations of leaf N, P and K were measured. At the end of the experiment, data analysis was performed using SAS software (version: 9.1). The means were compared with Duncan test at a statistical level of 5%.

Results: The results of this study showed that reducing of try cell volume decreased evaluated traits significantly so that the lowest mean of these traits was obtained in cell volume of 15 cm^3. Reduction of cell volume from 22 to 15 cm^3 significantly reduced the morphological traits including plant height, stem length, root fresh weight, fresh and dry weight of shoots, and leaf area by 12.7, 16.2, 21.9, 15.1, 18.8 and 18.4%, and physiological traits including Fv/Fm and PI by 10.7 and 25.7, respectively. Application of humic acid improved morphological and physiological characteristics of transplants and in most cases, the highest mean of under study traits were obtained by 5.5 g/l humic acid. With

decreasing the tray cell volume from 22 to 15 cm^3, the leaf nitrogen, phosphorus, and potassium concentration decreased by 15.7%, 18.9%, and 16.4%, respectively. However, foliar application of humic acid caused a significant increase in the leaf elements content, compared to the control. In general, the highest content of nitrogen (1033.91), phosphorus (224), and potassium (37534.94 mg/kg DW) were obtained with the application of humic acid in concentrations 3.5, 1.5, and 5.5 g/l. On the other hand, foliar application of humic acid improved the under study traits when compared to the control. Overall, these results indicate that humic acid could compensate for root growth restriction in trays with small cells.

Conclusion: The results of this study showed that reducing the cell volume of the tray leads to a significant reduction in physiological and morphological characteristics of tomato transplants. While the use of humic acid could improve nutrient uptake and vegetative growth of seedlings and offset the negative effects of low volume tray cell by the use of humic acid. Foliar application of humic acid improved morphological and physiological traits and absorption of nitrogen, phosphorus, and potassium. Therefore, it seems that the use of humic acid can be suggested as a strategy to produce higher quality transplants.

Cite this article: Salari, Ameneh, Jafari, Leila, Yavari, Alireza. 2022. The effect of tray cell volume and humic acid on morphological and physiological characteristics of tomato transplant (*Solanum lycopersicom* L.). *Journal of Plant Production Research*, 29 (1), 225-245.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2021.19524.2879
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

تأثیر حجم سلول سینی نشاء و اسید هیومیک بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی نشاء گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicom* L.)

آمنه سالاری[۱]، لیلا جعفری*[۲]، علیرضا یاوری[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: amenehsalari11@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: jafari.leila@hormozgan.ac.ir
۳. استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: yavari@hormozgan.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳

واژه‌های کلیدی:
اندازه سلول سینی،
عناصر غذایی برگ،
کود الی،
نشاء توپی

چکیده

سابقه و هدف: یکی از عوامل مؤثر بر رشد نشا از جمله نشای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، اندازه یا حجم مناسب سلول است. اگرچه سلول‌های بزرگ‌تر سینی کشت فضای بیش‌تری را برای رشد بهتر نشاء فراهم می‌کند، اما با افزایش حجم یا اندازه سلول و فضای مورد نیاز برای تولید نشاء افزایش می‌یابد. بنابراین، تعیین حجم مناسب سلول که موجب ایجاد نشاهای قوی شود از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. از آن‌جا که بهبود ویژگی‌های رویشی نشاء در گیاهان مختلف از جمله گوجه‌فرنگی در اثر کاربرد اسید هیومیک توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است بنابراین این پژوهش برای بررسی اثر هم‌زمان حجم سلول سینی نشا و محلول‌پاشی اسید هیومیک بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ نشاء گوجه‌فرنگی انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه هرمزگان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سینی‌های کاشت با حجم‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۲ سانتی‌مترمکعب و چهار سطح اسید هیومیک با غلظت‌های صفر، ۱/۵، ۳/۵ و ۵/۵ گرم بر لیتر بود. بستر کاشت مورد استفاده برای تهیه نشا، ۷۰ درصد کوکوپیت و ۳۰ درصد پرلایت در نظر گرفته شد. از هفته چهارم به بعد و با تشکیل دو جفت برگ‌های حقیقی تغذیه نشاءها با محلول‌پاشی کود اسید هیومیک با غلظت‌های (صفر، ۱/۵، ۳/۵، ۵/۵) گرم بر لیتر به‌صورت یک روز در میان به مدت ۱۵ روز انجام شد. ۴۵ روز پس از کاشت ویژگی‌های ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و میزان عناصر برگ نشاء مورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان آزمایش، تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری پنج درصد به کمک نرم‌افزار آماری SAS(۹.۱) انجام شد.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که با کاهش حجم سلول سینی، صفات ریخت‌شناسی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که کم‌ترین میانگین این صفات در حجم سلول ۱۵ سانتی‌مترمکعب به‌دست آمد. به‌طوری‌که کاهش حجم سلول سینی نشاء از ۲۲ به ۱۵ سانتی‌مترمکعب، به‌طور معنی‌دار صفات ریخت‌شناسی نشاء شامل ارتفاع بوته، طول ساقه، وزن‌تر ریشه، وزن‌تر و خشک اندام هوایی و سطح برگ نشاء گوجه‌فرنگی را به‌ترتیب به‌میزان ۱۲/۷، ۱۶/۲، ۲۱/۹، ۱۵/۱، ۱۸/۸ و ۱۸/۴ درصد کاهش داد. در این شرایط ویژگی‌های فیزیولوژیکی شامل حداکثر کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm)، کارایی فتوسنتز (PI)، نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ نشاء را به‌ترتیب ۱۰/۷، ۲۵/۷، ۱۵/۷، ۱۸/۹ و ۱۶/۴ درصد کاهش یافت. کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار میزان عناصر غذایی برگ در مقایسه با عدم کاربرد اسید هیومیک شد. به‌طورکلی بیش‌ترین میزان نیتروژن (۱۰۳۳/۹۱)، فسفر (۲۲۴) و پتاسیم (۳۷۵۳۴/۹۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) برگ نشاء به‌ترتیب با کاربرد اسید هیومیک با غلظت ۳/۵، ۱/۵ و ۵/۵ گرم در لیتر به‌دست آمد. در مجموع در هر حجم سلول سینی نشاء محلول‌پاشی اسید هیومیک باعث بهبود صفات در مقایسه با شاهد شد. این نتایج بیانگر جبران محدودیت رشد ریشه در سینی‌های کشت با حجم کم‌تر، توسط اسید هیومیک می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که با کاهش حجم سلول سینی شاخص‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی نشاء گوجه‌فرنگی به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. در این مطالعه کاربرد اسید هیومیک باعث بهبود جذب عناصر غذایی و رشد رویشی نشاء شد و اثرات منفی ناشی از کاهش حجم سلول سینی نشاء را جبران کرد. به‌طوری‌که محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به بهبود صفات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و به‌ویژه جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم گردید. بنابراین به‌نظر می‌رسد کاربرد اسید هیومیک می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای تولید نشا با کیفیت بالاتر پیشنهاد شود.

استناد: سالاری، آمنه، جعفری، لیلا، یاوری، علیرضا (۱۴۰۱). تأثیر حجم سلول سینی نشاء و اسید هیومیک بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی نشاء گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicom* L.). *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۹ (۱)، ۲۴۵-۲۲۵.
DOI: 10.22069/JOPP.2021.19524.2879

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicom* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات گلخانه‌ای است که پس از سیب‌زمینی دومین محصول پرارزش در بین سبزی‌ها می‌باشد. این گیاه به‌دلیل دارا بودن میزان قابل‌توجهی ویتامین و موادمعدنی در رژیم غذایی بسیاری از مردم جهان از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (۱). تولید نشاء مرحله‌ای حساس در تولید گوجه‌فرنگی بوده و نشاهای سالم، قوی و عاری از بیماری می‌تواند باعث موفقیت کشت آن در برابر آفات و عوامل بیماری‌زا شود. این امر در صورتی محقق می‌گردد که در دوران پرورش نشاء بهترین شرایط لازم برای رشد فراهم باشد (۲). هدف از تولید نشاء توپی، رشد بیش‌تر ریشه و شاخساره و هم‌چنین کاهش زمان مورد نیاز برای گلدهی و میوه‌دهی است. این روش برای سبزی‌هایی با بذرهای ریز یا بذرهایی با جوانه‌زنی آهسته و فصل رشد کوتاه، یک روش کاشت مرسوم می‌باشد (۳). مرحله رشد گیاهچه معمولاً حساس‌ترین مرحله رشد گیاه بوده، به‌طوری‌که میزان موفقیت این مرحله، بر پیشرفت سایر مراحل رشد گیاه و در نهایت کسب تولید مناسب اثر قابل‌توجهی دارد (۴). یکی از عوامل مؤثر بر رشد نشاها، اندازه یا حجم مطلوب سلول‌ها در سینی نشاء است. سلول‌های بزرگ‌تر فضای مناسب‌تری را جهت رشد مطلوب‌تر گیاهچه فراهم می‌آورند، اما با افزایش حجم سلول فضای مورد نیاز تولید نشاء افزایش می‌یابد که این موضوع محدودیت‌هایی را برای تولیدکننده ایجاد می‌نماید (۵ و ۶). اندازه سلول سینی نشاء اهمیت زیادی در میزان قدرت عمومی نشاء دارد. انتخاب بهترین اندازه سلول برای تولید هرگیاه باید با توجه به خصوصیات ریشه آن صورت گیرد (۷). انتخاب سینی‌های نشاء با تعداد سلول بیش‌تر (کاهش حجم سلول) اگرچه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر می‌باشد ولی ممکن است از طریق محدود شدن رشد ریشه و کاهش جذب آب و عناصر غذایی باعث کاهش رشد نشاء سبزی‌ها از جمله گوجه‌فرنگی شود (۵، ۶، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱). کاهش حجم سلول سینی نشاء از طریق کاهش فضا و اکسیژن کافی برای رشد ریشه و فعالیت‌های متابولیکی سلول ریشه باعث کاهش جذب عناصر غذایی توسط نشاء شده (۱۲) که این موضوع اثر منفی بر ظرفیت فتوسنتزی و تولید مواد پرورده در نشاء می‌گردد (۱۳). هم‌چنین گزارش شده است که افزایش اندازه سلول سینی نشاء باعث بهبود رشد ریشه، افزایش جذب آب و مواد غذایی و به دنبال آن افزایش فتوسنتز برگ می‌شود که این موضوع موجب اختصاص بیش‌تر مواد پرورده به اندام‌های مختلف از جمله ریشه و درنتیجه افزایش رشد آن می‌گردد (۱۱). هم‌چنین افزایش حجم محیط رشد ریشه باعث افزایش کارایی فتوسنتز در واحد سطح برگ و در نتیجه بهبود رشد گیاه می‌شود (۱۴). گزارش شده است که محدودشدن رشد ریشه نشاء از طریق کاهش سرعت و کارایی فتوسنتز و کاهش میزان کلروفیل برگ باعث کاهش رشد نشاء فلفل می‌گردد (۱۱).

امروزه با استفاده زیاد از کودهای شیمیایی، تولید پایدار محصولات کشاورزی سالم امکان‌پذیر نخواهد بود. به همین دلیل کاربرد مواد آلی به‌عنوان راهکاری مناسب جهت حفظ حیات خاک مطرح است. اسید هیومیک یک ترکیب پلیمری با زنجیره طویل، وزن ملکولی بالا و قهوه‌ای تیره است که محصول نهایی حاصل از پوسیدگی مواد آلی خاک بوده و بدون اثرات منفی زیست‌محیطی باعث افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی می‌شود (۱۵ و ۱۶). اسید هیومیک باعث افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط نشاء گیاهان مختلف شده که این موضوع سبب افزایش رشد و بقاء نشاء

گوجه‌فرنگی می‌گردد (۱۷ و ۱۸). بهبود ویژگی‌های رویشی نشاء در سایر گیاهان در اثر کاربرد اسید هیومیک توسط پژوهش‌گران مختلف گزارش شده است (۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید هیومیک از طریق تغییر تعادل هورمونی به نفع محرک‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین از طرفی باعث تحریک رشد رویشی شده و از طرف دیگر با افزایش اندازه مقصد فیزیولوژیکی باعث افزایش انتقال مواد پرورده حاصل از فتوسنتز به اندام هوایی و در نتیجه افزایش رشد نشاء می‌گردد (۲۰). هم‌چنین گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید هیومیک نه تنها موجب تحریک سنتز هورمون‌های سیتوکینین و اکسین می‌شود بلکه با کاهش غلظت هورمون اسید آبسیزیک باعث افزایش رشد اندام هوایی نشاء می‌گردد (۲۰ و ۲۴). علاوه‌بر این محلول‌پاشی اسید هیومیک باعث افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی و در نتیجه رشد نشاء می‌شود (۲۵). پژوهش‌گران نشان داده‌اند که اسید هیومیک از طریق افزایش فعالیت آنزیم H^+-ATPase و در نتیجه فعالیت متابولیکی سلول‌های ریشه باعث افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه می‌شود (۲۴). هم‌چنین اسید هیومیک از طریق بهبود کارایی ناقل‌های الکترون غشاء تیلاکوئید باعث افزایش شاخص کارایی فتوسیستم II (F_v/F_m) و در نتیجه میزان فتوسنتز خالص در نشاء شده است (۲۶).

از آن‌جا که مطالعه‌ای در رابطه با تأثیر هم‌زمان اندازه سینی کاشت و اسید هیومیک، بر نشاء گوجه‌فرنگی انجام نشده است بنابراین این پژوهش برای بررسی اثر اندازه سلول سینی نشاء و مقادیر مختلف اسید هیومیک بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ نشاء گوجه‌فرنگی رقم گلسار انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشگاه هرمزگان انجام شد. در طول آزمایش دمای روزانه و شبانه گلخانه به ترتیب ۱ ± ۲۵ و ۱ ± ۱۸ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی بین ۵۵ تا ۶۵ درصد و شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی بود. بذرگوجه‌فرنگی رقم گلسار از شرکت هایزر زادن[1] دانمارک تهیه گردید. سینی‌های کاشت با حجم‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۲ سانتی‌مترمکعب به عنوان عامل اول و چهار سطح اسید هیومیک تولیدی شرکت پلنت چویس[2] آمریکا (جدول ۱) با غلظت‌های صفر، ۱/۵، ۳/۵ و ۵/۵ گرم بر لیتر به عنوان عامل دوم در نظر گرفته شد. برای کاشت ابتدا سینی‌های مورد نظر با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد گندزدایی شدند. بسترهای کاشت مورد استفاده برای تهیه نشاء، ۷۰ درصد کوکوپیت و ۳۰ درصد پرلایت بود. ازآن‌جایی‌که کوکوپیت با هدف کاهش هزینه‌های حمل و نقل، به‌صورت قطعات فشرده در بازار عرضه می‌شود، ۲۴ ساعت قبل از استفاده، مقداری آب به‌منظور باز و حجیم شدن به آن اضافه شد تا به‌صورت یکنواخت درآمده و پس از خروج آب ثقلی به‌عنوان بستر کاشت مورد استفاده قرار گیرد. در هر سلول سینی یک عدد بذر کشت و روی آن کمی از بستر ریخته شد. پس از انجام آبیاری سینی‌های کاشت با پوشش‌های پلاستیکی جهت تندش سریع‌تر بذر پوشش داده شد و به‌مدت ۵ روز در اتاق تاریک با دمای ۱ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد شبانه روز و رطوبت نسبی بین ۳۵ تا ۴۵ درصد قرار گرفتند.

1- Huizer Zaden
2- Plant's Choice

جدول ۱- تجزیه عناصر اسید هیومیک.

Table 1. Analysis of humic acid elements.

اسید هیومیک Humic acid	روی Zn%	بور B%	آهن Fe%	منیزیم Mg%	مس Cu%	کلسیم Ca%	پتاسیم K%	فسفر P%	نیتروژن N%
60 (%)	0.001	0.01	0.25	0.15	0.001	1	12	0.01	1

تغذیه و آبیاری نشاءها: پس از کاشت بذرها از هفته دوم، همه نشاءها با کود (۲۰-۲۰-۲۰) N.P.K به‌مدت ۴ هفته به‌صورت یک روز در میان با غلظت یک در هزار همراه با آب آبیاری تغذیه شدند. آبیاری هر یک روز در میان با محلول‌پاش دستی یک لیتری انجام شد. تقریباً از هفته چهارم به بعد و با تشکیل دو جفت برگ‌های حقیقی (مرحله چهار برگی) تغذیه نشاءها با محلول‌پاشی کود اسید هیومیک با غلظت‌های (صفر، ۱/۵، ۳/۵، ۵/۵) گرم بر لیتر به‌صورت یک روز در میان به مدت ۱۵ روز انجام شد (۳).

ارزیابی صفات ریخت‌شناسی: پس از ۴۵ روز سینی‌های کاشت نشاء جهت بررسی اثر تیمارهای آزمایش بر صفات مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند. ارتفاع گیاه (از طوقه تا آخرین برگ) به‌وسیله خط کش و قبل از خروج نشاء از سینی کاشت و انتقال به آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. طول (از طوقه تا نوک طویل‌ترین ریشه) و حجم ریشه به‌وسیله خط‌کش و استوانه مدرج محاسبه گردید. همچنین برای اندازه‌گیری طول (فاصله طوقه تا مریستم انتهایی) و قطر ساقه نشا، از کولیس دیجیتال استفاده شد. شاخساره و ریشه به‌صورت جداگانه به‌وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شد. برای محاسبه سطح برگ در روز ۴۵ تعداد ۵ بوته انتخاب گردید. طول و عرض برگ‌های هر بوته اندازه‌گیری و در رابطه ۱ قرار داده شد (۲۷).

$$A = 0.347 \times (L.W) - 10.7 \qquad (۱)$$

که در آن، A سطح برگ، L طول برگ و W عرض برگ می‌باشد.

ارزیابی صفات فیزیولوژیکی: برای محاسبه شاخص کلروفیل، برگ دوم و سوم نشاء انتخاب و با دستگاه کلروفیل‌متر کونیکا مینولتا ژاپن میزان شاخص کلروفیل خوانده شد. برای ارزیابی شاخص‌های فلورسانس کلروفیل از دستگاه کلروفیل فلوریمتر هانس تک‌ساخت کشور تایوان استفاده شد. بدین‌صورت که دو هفته پس از محلول‌پاشی، ابتدا با اتصال گیره‌های دستگاه به جوان‌ترین برگ‌های توسعه یافته در یک سوم انتهایی بوته گوجه‌فرنگی، به‌مدت ۳۰ دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفتند. سپس با تابیدن نور قرمز توسط دستگاه اعداد مربوط به حداکثر کارایی فتوسیستم II (Fv/Fm) و شاخص کارایی (PI) در برگ سازگار شده به شرایط تاریکی قرائت شد (۲۸).

اندازه‌گیری عناصر برگ: برای اندازه‌گیری عناصر از روش هضم تر استفاده شد. ابتدا مواد گیاهی در آون با دمای ۶۰ درجه به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده پس از الک در مجاورت با اسید سولفوسالیسیلیک اسید آب خود را از دست داده و بیش‌ترین قسمت مواد آلی در حرارت نسبتاً بالا اکسید شدند. به این ترتیب عصاره، برای اندازه‌گیری عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم آماده شد. مقدار نیتروژن با استفاده از روش کجلدال و دستگاه مورد استفاده مدل کجلدال ۸۱۰۰ کمپانی فوس دانمارک بود. فسفر با استفاده از روش اولسن بر مبنای رنگ‌سنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان پتاسیم نیز به روش نشر شعله‌ای و با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری گردید.

در پایان آزمایش، تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری پنج درصد به کمک نرم‌افزار آماری SAS(9.1) انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های ریخت‌شناسی نشاء گوجه‌فرنگی

ارتفاع بوته و طول ساقه: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر حجم سلول سینی نشاء و اثر غلظت اسید هیومیک بر صفت ارتفاع بوته به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود، اما بر صفت طول ساقه در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار شدند. درحالی‌که برهمکنش حجم سلول سینی نشاء و اسید هیومیک اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته و طول ساقه نداشتند (جدول ۲). نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که کاهش حجم سلول سینی باعث کاهش ارتفاع نشاء می‌شود. بیش‌ترین (۲۲/۳۲ سانتی‌متر) و کم‌ترین (۱۹/۴۸ سانتی‌متر) ارتفاع بوته به‌ترتیب در حجم سلول سینی نشاء ۲۲ و ۱۵ سانتی‌مترمکعب به‌دست آمد که بیانگر کاهش ۱۲/۷۲ درصد ارتفاع بوته می‌باشد. از طرف دیگر طول ساقه در حجم سلول ۱۵ سانتی‌متر مکعب به‌طور معنی‌دار کم‌تر از سلول‌های با حجم ۲۰ و ۲۲ سانتی‌مترمکعب بود. بیش‌ترین طول ساقه (۹/۲۶ سانتی‌متر) در حجم سلول ۲۲ سانتی‌مترمکعب به‌دست آمد که با حجم ۲۰ سانتی‌مترمکعب تفاوت معنی‌دار نداشت. کم‌ترین طول ساقه (۷/۷۶ سانتی‌متر) در حجم سلول ۱۵ سانتی‌مترمکعب مشاهده شد (جدول ۳). مشابه این نتایج نیز گزارش شده است که افزایش حجم سلول سینی نشاء باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته و ساقه نشاء گوجه‌فرنگی می‌شود (۸ و ۹). هم‌چنین پژوهش‌گران دیگر مشابه این نتایج را در سایر گیاهان گزارش کرده‌اند (۵، ۶ و ۱۰). به‌نظر می‌رسد افزایش تعداد سلول سینی نشاء از طریق کاهش حجم هر سلول باعث محدود شدن فضا و اکسیژن مورد نیاز برای رشد ریشه و درنتیجه کاهش جذب عناصر غذایی توسط نشاء شده (۱۲) که این موضوع باعث کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و در نتیجه ارتفاع نشاء گوجه‌فرنگی می‌شود (۱۳). در مطالعه دیگر نشان داده شد که افزایش حجم محیط رشد ریشه باعث افزایش کارایی فتوسنتز در واحد سطح برگ و در نتیجه بهبود رشد گیاه می‌شود (۱۴).

محلول‌پاشی هر سه غلظت اسید هیومیک به‌طور مشابه باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد شدند. به‌طوری‌که محلول‌پاشی اسید هیومیک با غلظت ۱/۵، ۳/۵ و ۵/۵ گرم در لیتر، باعث افزایش ارتفاع بوته به‌ترتیب به میزان ۲۲/۸، ۲۱/۸ و ۲۳/۴ درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول ۳). اگرچه اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار طول ساقه در مقایسه با شاهد شد اما بین دو غلظت ۵/۵ و ۳/۵ گرم در لیتر تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. در مجموع بیش‌ترین طول ساقه (۹/۸۱ سانتی‌متر) با کاربرد ۳/۵ گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد که بیانگر افزایش طول ساقه به‌میزان ۵۶/۲ درصد در مقایسه با شاهد (۶/۲۸ سانتی‌متر) است (جدول ۲). مشابه این نتایج گزارش شده است که هنگام تولید نشاء کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش رشد و ارتفاع بوته نشاء گوجه‌فرنگی می‌شود (۱۸). در مطالعه دیگر محلول‌پاشی اسید هیومیک باعث افزایش رشد ساقه و اندام هوایی خیار شد (۲۰). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید هیومیک از طریق افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی در گیاهان باعث بهبود رشد آن‌ها می‌شود (۲۵). هم‌چنین حضور اسید هیومیک در محیط ریشه از طریق افزایش جذب عناصر غذایی ضروری به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم باعث بهبود رشد و افزایش ارتفاع نشاء گوجه‌فرنگی می‌گردد (۲۱). نتایج برخی مطالعات بیانگر تأثیر مثبت محلول‌پاشی اسید هیومیک بر تولید هورمون‌های سیتوکینین و اکسین و هم‌زمان با آن کاهش غلظت هورمون اسید آبسیزیک در اندام هوایی و در نتیجه افزایش رشد اندام هوایی نشاء است (۲۰ و ۲۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر حجم سلول و محلول‌پاشی اسید هیومیک بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی نشاء گوجه‌فرنگی.

Table 2. Analysis of variance the effect of cell volume and humic acid on morghologic traits in tomato transplants.

منابع تغییر S. O. V	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant height	طول ساقه Stem length	قطر ساقه Stem diameter	طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن‌تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	سطح برگ Leaf area
حجم سلول Cell volume	2	41.26*	11.42**	0.32**	11.96**	0.031**	0.024**	0.00004**	0.32**	0.004**	134.79**
اسید هیومیک Humic acid	3	62.42**	41.19**	1.09**	4.14**	0.093**	0.033**	0.00054**	0.55**	0.006**	82.03**
حجم سلول × اسید هیومیک Cell volume × Humic acid	6	12.08^{ns}	1.33^{ns}	0.12**	0.84**	0.004**	0.001^{ns}	0.00002*	0.05^{ns}	0.0004^{ns}	0.13^{ns}
خطا Error	48	8.6	0.9	0.03	0.15	0.001	0.5	0.6	0.06	0.0005	4.29
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		13.9	11.1	7.4	8.1	7.0	8.3	8.7	17.8	15.6	8.0

^{ns}، * و ** به‌ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and ** showing no significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- اثر اصلی حجم سلول و اسید هیومیک بر صفات ریخت‌شناسی نشاء گوجه‌فرنگی.

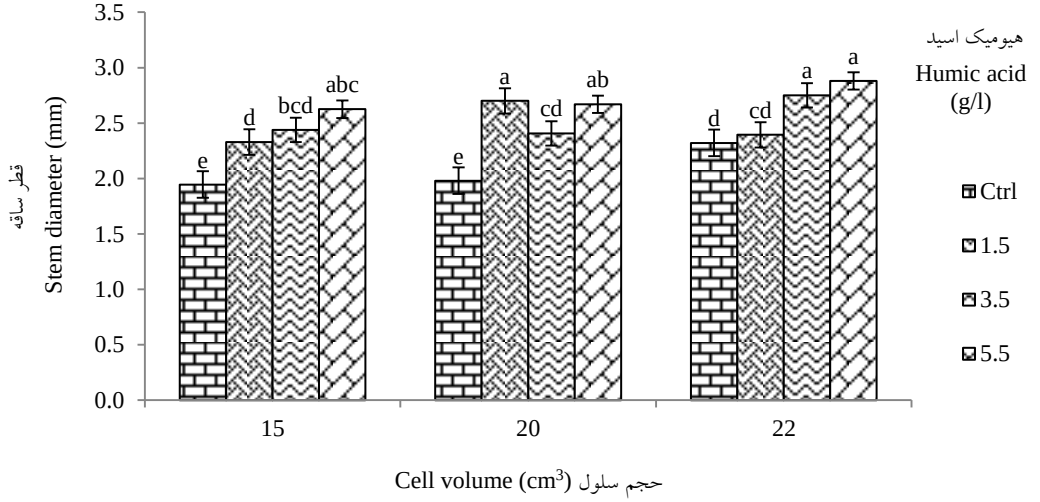
Table 3. The main effect of cell volume and humic acid on the morphological traits of tomato transplants.

سطح برگ Leaf area	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن‌تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن‌تر ریشه Root fresh weight	طول ساقه Stem length	ارتفاع گیاه Plant height	تیمارها Treatments
cm^2	g			cm		
						حجم سلول Cell volume (cm^3)
28.6[a]	0.160[a]	1.46[a]	0.32[a]	9.26[a]	22.32[a]	22
25.9[b]	0.150[a]	1.45[a]	0.30[b]	8.72[a]	19.48[b]	20
23.4[c]	0.130[b]	1.24[b]	0.25[c]	7.76[b]	21.29[ab]	15
						اسید هیومیک Humic acid (g/l)
22.9[c]	0.119[c]	1.104[b]	0.22[c]	6.28[c]	17.97[b]	control
25.3[b]	0.144[b]	1.507[a]	0.29[b]	8.46[b]	22.07[a]	1.5
27.8[a]	0.159[ab]	1.507[a]	0.32[a]	9.81[a]	21.89[a]	3.5
27.8[a]	0.164[a]	1.412[a]	0.33[a]	9.77[a]	22.18[a]	5.5

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly different at 5% probability level

قطر ساقه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر حجم سلول سینی نشاء و اسید هیومیک و برهمکنش آن‌ها بر صفت قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش حجم بستر کاشت و اسید هیومیک نشان داد که در هر حجم سلول سینی نشاء کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار قطر ساقه نشاء می‌شود (شکل ۱). در تمام غلظت‌های اسید هیومیک (به‌استثنای غلظت ۱/۵ گرم در لیتر) قطر ساقه در حجم ۲۲ سانتی‌مترمکعب بیش‌تر از دو حجم ۲۰ و ۱۵ سانتی‌مترمکعب بود. در مجموع بیش‌ترین قطر ساقه (۲/۸۸ میلی‌متر) در غلظت اسید هیومیک ۵/۵ گرم و حجم سلول سینی نشاء ۲۲ سانتی‌مترمکعب به‌دست آمد (شکل ۱). نتایج مشابه با یافته‌های ما نشان می‌دهد که که با افزایش حجم سلول سینی نشاء قطر ساقه نشاء گیاهان مختلف از جمله گوجه‌فرنگی افزایش می‌یابد (۱۱). کاهش حجم سلول سینی نشاء از طریق کاهش رشد ریشه و در نتیجه جذب عناصر غذایی، محدودکردن میزان فتوسنتز خالص و در نتیجه تولید کربوهیدرات کم‌تر، باعث کاهش قطر ساقه می‌گردد (۲۹). از طرف دیگر مطالعات نشان داده است که محدود شدن فضای رشد ریشه نشاء در اثر کاهش حجم سلول سینی نشاء، از طریق کاهش میزان کلروفیل برگ و درنتیجه کاهش سرعت فتوسنتز باعث کاهش رشد اندام هوایی فلفل می‌شود (۱۱).

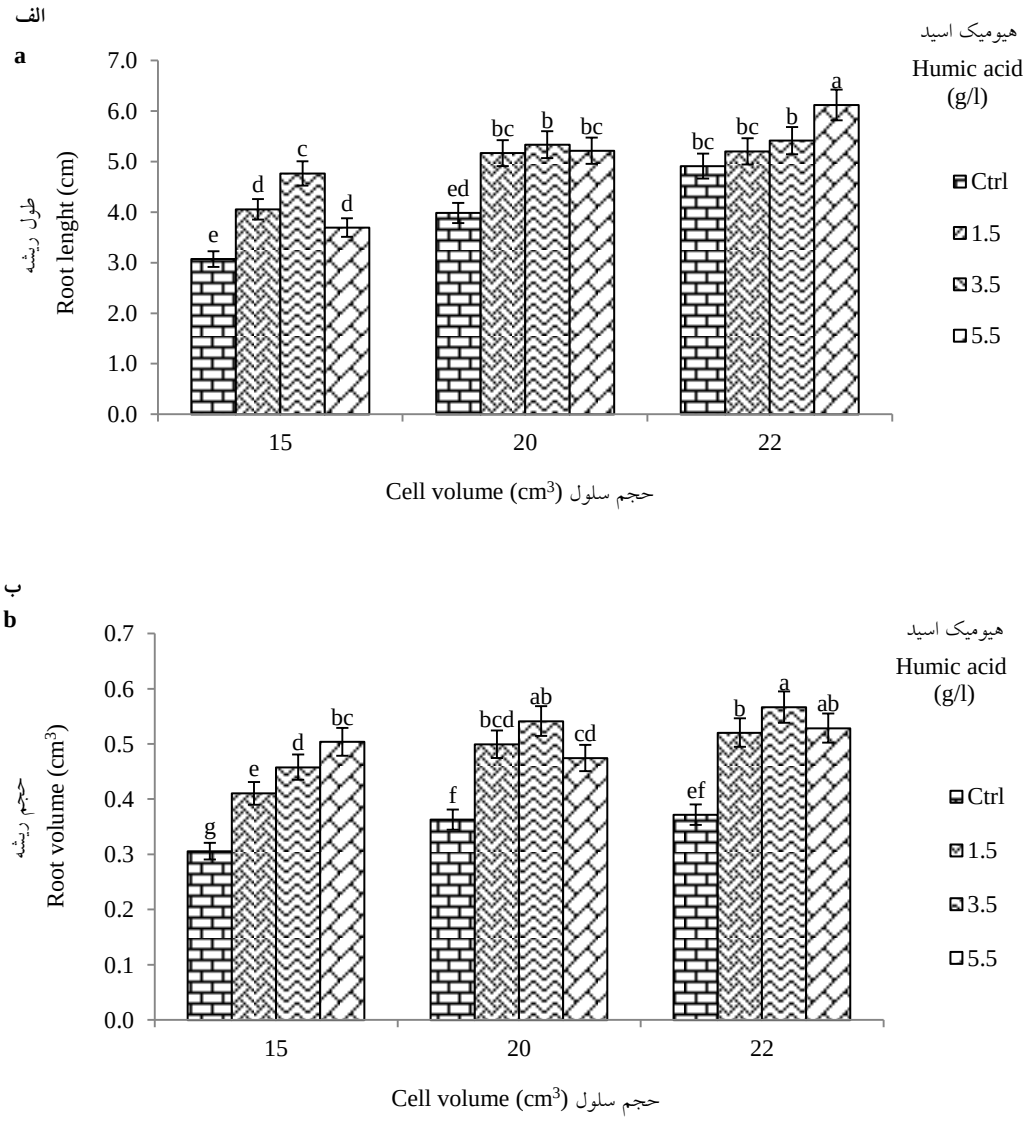


شکل ۱- اثر سطوح مختلف اسید هیومیک (۰، ۱/۵، ۳/۵ و ۵/۵ گرم بر لیتر) و حجم‌های مختلف سلول سینی (۱۵، ۲۰ و ۲۲ سانتی‌مترمکعب) بر قطر ساقه نشاء گوجه‌فرنگی.

Fig. 1. Effect of different levels of humic acid (0, 1.5, 3.5 and 5.5 g/l) and different cell tray volumes (15, 20 and 22 cm^3) on the stem diameter of tomato transplant.

طول و حجم ریشه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و برهمکنش حجم بستر کاشت و غلظت اسید هیومیک بر صفت طول و حجم ریشه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج اثر متقابل داده‌ها نشان داد که در هر یک از حجم‌های سینی نشا، محلول‌پاشی با اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری سبب بهبود و افزایش رشد طول و حجم ریشه می‌گردد. هم‌چنین در اغلب موارد در هر سطح کود اسید هیومیک افزایش حجم سلول سینی نشاء باعث افزایش طول و حجم ریشه شد (شکل‌های ۲ الف و ب). بیش‌ترین طول ریشه (۶/۱۲ سانتی‌متر) در تیمار حجم بستر کاشت ۲۲ سانتی‌مترمکعب و میزان اسید هیومیک ۵/۵ گرم در لیتر مشاهده شد که نسبت به سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت و بیانگر افزایش ۹۹/۳ درصد در مقایسه با تیمار حجم بستر ۱۵ سانتی‌مترمکعب و عدم کاربرد اسید هیومیک می‌باشد (شکل ۲ الف). از طرف دیگر بیش‌ترین حجم ریشه (۰/۵۷ سانتی‌مترمکعب) در حجم سلول سینی نشاء ۲۲ سانتی‌مترمکعب و میزان اسید هیومیک ۳/۵ گرم در لیتر بود در حالی‌که کم‌ترین حجم ریشه (۰/۳۱ سانتی‌مترمکعب) در سینی‌های کاشت با حجم سلول ۱۵ سانتی‌مترمکعب و بدون کاربرد اسید هیومیک اندازه‌گیری شد (شکل‌های ۲ الف و ب). نتایج مشابه با این مطالعه نشان داد که افزایش حجم سلول سینی نشاء از طریق افزایش فضا، اکسیژن و فراهمی عناصر غذایی (۵ و ۱۰) و درنتیجه افزایش کلروفیل بیش‌تر (۱۱ و ۱۴) باعث بهبود رشد ریشه نشاء می‌شود. هم‌چنین گزارش شده است که افزایش فضای رشد ریشه از طریق افزایش فتوسنتز برگ و تسهیم بیش‌تر مواد پرورده به اندام‌های مختلف از جمله ریشه، از طریق پس خورد مثبت باعث افزایش رشد بیش‌تر ریشه می‌گردد (۱۱). هم‌چنین مشابه این نتایج گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک باعث بهبود رشد، افزایش طول و حجم ریشه نشاء سبزیجات از جمله گوجه‌فرنگی می‌شود (۱۹ و ۲۳). نتایج برخی مطالعات بیانگر آن است که محلول‌پاشی اسید هیومیک باعث افزایش رشد طولی ریشه اصلی نشاء خیار می‌گردد (۲۰). اخیراً ثابت شده

است که اسید هیومیک به‌دلیل دارا بودن خواص هورمونی باعث تحریک رشد ریشه می‌گردد (۱۷). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید هیومیک از طریق تغییر نسبت هورمونی، رشد ریشه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد به‌طوری‌که از طرفی باعث افزایش غلظت هورمون اکسین شده و از سوی دیگر به‌طور هم‌زمان غلظت هورمون اسید آبسیزیک ریشه را کاهش می‌دهد که این موضوع باعث تحریک رشد ریشه نشاء می‌شود (۲۰). از آن‌جا که تولید نشاء سبزیجات در سینی‌های کاشت با تعداد زیاد سلول و در بازده زمانی کوتاه انجام می‌شود، بنابراین طول و حجم مناسب ریشه از ویژگی‌های مهم تعیین‌کننده موفقیت استقرار نشاء سبزیجات در مزرعه است (۲۳ و ۳۰).



شکل ۲- اثر سطوح مختلف اسید هیومیک (۰، ۱/۵، ۳/۵ و ۵/۵ گرم بر لیتر) و حجم‌های مختلف سلول سینی (۱۵، ۲۰ و ۲۲ سانتی‌مترمکعب) بر طول ریشه (الف) و حجم ریشه نشاء گوجه‌فرنگی (ب).

Fig. 2. The effect of different levels of humic acid(0, 1.5, 3.5 and 5.5 g/l) and different cell tray volumes (15, 20 and 22 cm^3) on root length (a) and root volume of tomato transplant (b).

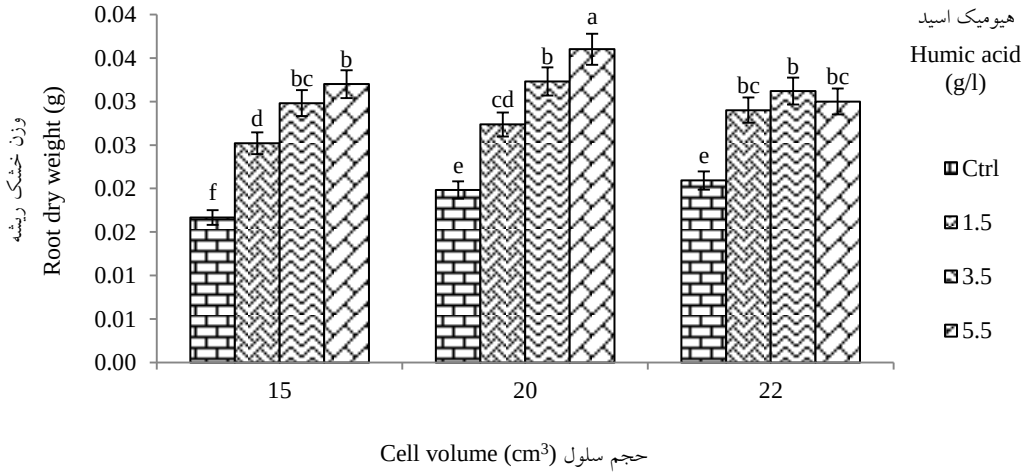
وزن تر و خشک ریشه: بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، اثر ساده تیمارهای حجم سلول سینی نشاء و غلظت اسید هیومیک بر وزن تر ریشه در سطح احتمال آماری یک درصد و بر وزن خشک ریشه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. برهمکنش تیمارها بر وزن‌تر ریشه معنی‌دار نبود در حالی‌که بر وزن خشک ریشه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

با افزایش حجم سلول سینی نشاء وزن‌تر ریشه به‌طور معنی‌دار افزایش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین (۰/۳۲ گرم) و کم‌ترین (۰/۲۵ گرم) وزن‌تر ریشه به‌ترتیب در حجم سلول سینی نشاء ۲۲ و ۱۵ سانتی‌مترمکعب به‌دست آمد (جدول ۳). هم‌چنین با کاربرد اسید هیومیک وزن‌تر ریشه به‌طور معنی‌دار در مقایسه با شاهد افزایش یافت. هر چند تفاوت معنی‌دار بین دو سطح ۳/۵ و ۵/۵ گرم در لیتر مشاهده نشد. در مجموع بیش‌ترین (۰/۳۳) و کم‌ترین (۰/۲۲) وزن‌تر ریشه به‌ترتیب با کاربرد ۵/۵ گرم در لیتر اسید هیومیک و شاهد اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش حجم سلول سینی نشاء و غلظت اسید هیومیک نشان داد که در هر حجم سلول سینی نشاء کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه در مقایسه با شاهد می‌شود و بیش‌ترین میزان افزایش این صفت در حجم بستر ۱۵ سانتی‌مترمکعب به‌دست آمد. به‌طوری‌که افزایش غلظت اسید هیومیک از صفر به ۵/۵ گرم در لیتر باعث افزایش وزن خشک ریشه به‌میزان ۸۸/۲، ۸۰/۰ و ۴۲/۹ درصد به‌ترتیب در حجم سلول ۱۵، ۲۰ و ۲۲ سانتی‌مترمکعب شد. در مجموع بیش‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به حجم سلول سینی نشاء ۲۲ و ۲۰ سانتی‌مترمکعب و غلظت اسید هیومیک ۳/۵ و ۵/۵ گرم در لیتر و کم‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به حجم سلول سینی نشاء ۱۵ سانتی‌مترمکعب و شاهد بود (شکل ۳).

گزارش‌های متعددی مشابه با نتایج یافته‌های این پژوهش، نشان دادند که کاهش حجم سلول سینی نشاء باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک و تر ریشه نشاء در گیاهان مختلف می‌شود (۶، ۸، ۹ و ۱۱). این موضوع به‌دلیل تنش ناشی از محدود شدن فضا و در نتیجه کاهش رشد ریشه در سلول‌های کوچک سینی نشاء بوده که در نهایت منجر به کاهش توانایی نشاء در جذب آب و عناصر غذایی و تولید مواد پرورده و در نتیجه کاهش وزن خشک و تر ریشه می‌گردد (۱۱ و ۳۱). یکی از دلایل اصلی کاهش رشد ریشه نشاء با کاهش اندازه سلول سینی نشاء کاهش فتوسنتز اندام هوایی، تولید مواد پرورده کم‌تر و در نتیجه اختصاص کربوهیدرات کم‌تر به ریشه به واسطه اثر پس خورد می‌باشد (۱۱). اگرچه نتایج مخالف با یافته‌های ما نشان داد که وزن تر ریشه نشاء برخی گیاهان زینتی تحت‌تأثیر حجم سلول سینی قرار نمی‌گیرد (۱۰).

مشابه این نتایج، پژوهش‌گران مختلف بر تأثیر مثبت کاربرد اسید هیومیک در بهبود رشد و وزن ریشه نشاء در گیاهان مختلف از جمله گوجه‌فرنگی تأکید کرده‌اند (۲۱، ۲۳ و ۳۲). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید هیومیک از طریق افزایش بیوسنتز هورمون اکسین، رشد و وزن خشک ریشه را افزایش می‌دهد (۱۷، ۱۹ و ۲۰). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید هیومیک باعث افزایش بیوسنتز اکسین و سیتوکینین در ریشه نشاء شده و این موضوع از طریق افزایش تقسیم سلولی و بزرگ شدن مقصد فیزیولوژیکی باعث تسهیم مواد پرورده بیش‌تر به‌سمت ریشه و در نتیجه افزایش رشد آن می‌گردد (۲۰). هم‌چنین در برخی مطالعات به نقش اسید هیومیک در افزایش فعالیت آنزیم H^+-ATPase و فعالیت متابولیکی سلول‌های ریشه و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود رشد ریشه و اندام هوایی اشاره شده است (۲۴).



شکل ۳- اثر سطوح مختلف اسید هیومیک (۰، ۱/۵، ۳/۵ و ۵/۵ گرم بر لیتر) حجم‌های مختلف سلول سینی (۱۵، ۲۰ و ۲۲ سانتی‌مترمکعب) بر وزن خشک ریشه نشاء گوجه‌فرنگی.

Fig. 3. Effect of different levels of humic acid (0, 1.5, 3.5 and 5.5 g/l) and different cell tray volumes (15, 20 and 22 cm^3) on the dry weight of tomato transplant.

وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر حجم بستر کاشت و غلظت اسید هیومیک بر صفت وزن‌تر و خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده، اما برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌داری بر وزن‌تر و خشک اندام هوایی نشان نداد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی حجم بستر کاشت و اسید هیومیک نشان داد که کم‌ترین وزن‌تر و خشک اندام هوایی مربوط به حجم بستر کاشت ۱۵ سانتی‌مترمکعب بود که به‌طور معنی‌دار کم‌تر از حجم‌های ۲۰ و ۲۲ سانتی‌مترمکعب بود. کاهش حجم سلول از ۲۲ به ۱۵ سانتی‌مترمکعب باعث کاهش وزن‌تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب به‌میزان ۱۵/۱ و ۱۸/۸ درصد شد (جدول ۳). در تأیید این نتایج سایر پژوهش‌گران نیز نشان داده‌اند که کاهش حجم سلول سینی نشاء باعث کاهش وزن خشک و تر اندام هوایی در نشاء می‌شود (۵، ۶، ۸، ۹ و ۱۱). برخی مطالعات نشان داده‌اند که محدود شدن فضای رشد ریشه موجب افزایش تجمع نشاسته در برگ و کاهش سرعت فتوسنتز و درنتیجه کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی می‌شود (۱۱). زمانی‌که نشاء در سینی‌های با سلول‌های کوچک‌تر رشد کند، رشد و توسعه ریشه محدود شده که این موضوع از طریق کاهش فعالیت آنزیم H^+-ATPase و درنتیجه کاهش جذب آب و مواد غذایی و سرعت فتوسنتز (۱۱) و در نهایت کاهش تولید مواد پرورده و وزن اندام هوایی می‌شود (۳۱ و ۳۳). نتایج برخی مطالعات نیز بیانگر این است که کاهش حجم محیط رشد ریشه باعث کاهش میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ و در نتیجه رشد گیاهچه می‌شود (۱۴).

کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار وزن‌تر و خشک اندام هوایی در مقایسه با شاهد شد (جدول ۳). تأثیر سه غلظت اسید هیومیک بر وزن‌تر اندام هوایی از نظر آماری مشابه بود و تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها مشاهده نشد در حالی‌که در رابطه با وزن خشک اندام هوایی، بین غلظت‌ها، تفاوت معنی‌دار

مشاهده شد. در مجموع بیش‌ترین وزن‌تر و خشک اندام هوایی با کاربرد ۵/۵ گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد که به‌ترتیب بیانگر افزایش ۲۷/۹ و ۳۸/۸ درصد در مقایسه با شاهد بود (جدول ۳). در تأیید این نتایج، محلول‌پاشی اسید هیومیک باعث افزایش وزن اندام هوایی نشاء سبزی‌ها از جمله گوجه‌فرنگی می‌شود (۱۸ و ۳۴). به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی اسید هیومیک از طریق خاصیت هورمونی و بهبود رشد ریشه، افزایش جذب آب و مواد غذایی، افزایش فتوسنتز و تولید مواد پرورده باعث افزایش وزن اندام هوایی نشاء گوجه‌فرنگی می‌شود (۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۱ و ۳۵). برخی مطالعات نشان داده‌اند که محلول‌پاشی اسید هیومیک، تعادل هورمونی گیاه را به نفع محرک‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین تغییر می‌دهد. این دو هورمون از طرفی باعث تحریک رشد رویشی شده و از طرف دیگر به‌دلیل نقشی که در افزایش اندازه مقصد فیزیولوژیکی دارند موجب انتقال بیش‌تر مواد پرورده به اندام هوایی و در نتیجه افزایش رشد آن می‌گردند (۲۰).

سطح برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر حجم سلول سینی نشاء و غلظت اسید هیومیک بر صفت سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده، اما برهمکنش این دو عامل اختلاف معنی‌داری را بر سطح برگ نشان نداد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین هر سه حجم سلول سینی نشاء تفاوت معنی‌دار بود به‌طوری‌که بیش‌ترین (۲۸/۶ سانتی‌مترمربع) و کم‌ترین (۲۳/۴ سانتی‌مترمربع) سطح برگ به‌ترتیب در حجم سلول سینی نشاء ۲۲ و ۱۵ سانتی‌مترمکعب به‌دست آمد (جدول ۳). افزایش حجم سلول سینی کاشت از طریق افزایش فضا برای رشد ریشه و با فراهمی بیش‌تر آب و عناصر غذایی، باعث افزایش طول و حجم ریشه و جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز شده که این موضوع منجر به افزایش تعداد و سطح برگ نشاء گیاهان مختلف از جمله گوجه‌فرنگی می‌گردد (۱۰، ۳۱، ۳۴ و ۳۶). مطالعات نشان داده است که بین رشد ریشه و سطح برگ نشاء ارتباط مستقیم وجود دارد. به‌طوری‌که سطح برگ با کاهش رشد ریشه کاهش می‌یابد که این موضوع در اثر ایجاد یک سازوکار سازگاری در نشا ایجاد می‌شود (۱).

هر سه سطح اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ در مقایسه با شاهد شدند. بیش‌ترین میزان سطح برگ (۲۷/۸ سانتی‌مترمربع) در اسید هیومیک ۳/۵ و ۵/۵ گرم در لیتر مشاهده شد که نشان‌دهنده افزایش ۲۱/۲ درصد در مقایسه با شاهد است (جدول ۳). مشابه این نتایج گزارش شده است که اسید هیومیک باعث افزایش تعداد و سطح برگ در نشاء سبزی‌ها می‌شود (۲۰، ۲۳ و ۲۵). به نظر می‌رسد اسید هیومیک از طریق افزایش عناصر غذایی (۲۳) و افزایش تولید هورمون‌های رشد از جمله اکسین و سیتوکینین (۲۰) باعث افزایش سطح برگ نشاء گوجه‌فرنگی شده است. از طرف دیگر برخی مطالعات نشان داده است که اسید هیومیک از طریق کاهش تولید اسید آبسیزیک در اندام هوایی، پیری، ریزش برگ و کاهش سطح برگ را محدود می‌کند (۱۷ و ۲۰). هر چند برخلاف این نتایج، پژوهش‌گران گزارش کردند که محلول‌پاشی غلظت‌های کم (۳ میلی‌لیتر در لیتر) اسید هیومیک در مقایسه با غلظت‌های بیش‌تر (۶ میلی‌لیتر در لیتر)، در افزایش سطح برگ نشاء اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) مؤثرتر است (۳۷).

ویژگی‌های فیزیولوژیکی نشاء گوجه‌فرنگی

شاخص کلروفیل (SPAD): نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر حجم بستر کاشت و هم‌چنین برهمکنش حجم سلول سینی نشاء و اسید هیومیک بر شاخص کلروفیل معنی‌دار نبود. اما میزان کاربرد اسید هیومیک بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با کاهش حجم سلول سینی، میزان شاخص SPAD کاهش یافت ولی این کاهش معنی‌دار نبود. نتایج برخی مطالعات نیز بیانگر آن است که حجم سلول سینی نشاء اثر معنی‌داری بر تغییرات میزان کلروفیل نشاء ندارد (۱۰). هرچند برخی پژوهش‌گران نشان داده‌اند که کاهش حجم سلول سینی نشاء از طریق محدود کردن رشد ریشه و درنتیجه کاهش جذب آب و مواد غذایی باعث کاهش معنی‌دار این شاخص در نشاء می‌شود (۵).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد کاربرد اسید هیومیک در مقادیر ۵/۵ و ۳/۵ گرم در لیتر به‌ترتیب دارای بیش‌ترین محتوای کلروفیل بود که هرچند نسبت به شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند اما بین آن‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کم‌ترین میزان محتوای کلروفیل در غلظت اسید هیومیک ۱/۵ گرم در لیتر مشاهده شد که با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). در پژوهشی کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش شاخص SPAD در گیاه اسفناج شد (۳۷). کاربرد اسید هیومیک از طریق تحریک آنزیم‌های مسئول بیوسنتز کلروفیل و اثرات هورمونی آن باعث کاهش تخریب کلروفیل باعث افزایش کلروفیل برگ می‌شود (۱۷، ۲۰ و ۳۶). به نظر می‌رسد محلول‌پاشی اسید هیومیک از طریق تحریک سنتز هورمون سیتوکینین در برگ (۲۰) مانع از تخریب کلروفیل برگ نشاء می‌گردد. هم‌چنین نتایج برخی مطالعات بیانگر این است که محلول‌پاشی اسید هیومیک از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان باعث افزایش کلروفیل به‌ویژه در شرایط تنش خشکی می‌گردد (۲۶).

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر حجم بستر کاشت و اسید هیومیک بر حداکثر کارایی فتوسیستم II (F_v/F_m) در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار شد، در حالی‌که برهمکنش حجم سلول سینی نشاء و اسید هیومیک بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). هم‌چنین اثر حجم سلول سینی نشاء و اسید هیومیک بر شاخص کارایی فتوسنتز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده، اما برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌داری بر این شاخص نداشت (جدول ۴). با کاهش حجم سلول سینی نشاء از ۲۲ به ۱۵ سانتی‌مترمکعب شاخص F_v/F_m به‌طور معنی‌دار به‌میزان ۱۰/۷ درصد کاهش یافت. کم‌ترین (۲/۴۶) شاخص PI در حجم سلول سینی نشاء ۱۵ سانتی‌مترمکعب به‌دست آمد که بیانگر کاهش معنی‌دار در مقایسه با حجم سلول ۲۲ سانتی‌مترمکعب و به‌میزان ۲۵/۷ درصد بود (جدول ۵). در رابطه با تأثیر حجم سلول سینی نشاء بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل مطالعه‌ای انجام نشده است اما به نظر می‌رسد که با کاهش حجم سلول سینی نشاء و محدود شدن فضای رشد ریشه، شرایط اعمال تنش بر نشاء فراهم شده که این موضوع منجر به کاهش شاخص‌های F_v/F_m و PI نشاء گوجه‌فرنگی شده است (۵). هرچند بر خلاف این نتایج، گزارش شده است که محدود شدن فضای رشد ریشه تأثیر معنی‌داری بر تغییرات این دو شاخص در نشاء فلفل ندارد (۱۱).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر حجم سلول و اسید هیومیک بر صفات فیزیولوژیکی و عناصر برگ نشاء گوجه‌فرنگی.

Table 4. Analysis of variance the effect of cell volume and humic acid on the physiological traits and leaf nutrients in tomato transplant.

K	P	N	PI	F_v/F_m	SPAD	درجه آزادی df	منابع تغییر S. O. V
12751593*	1953.3*	36921.9*	3.82**	0.03*	37.8^{ns}	2	حجم سلول Cell volume
367994602**	4573.8**	166642.9**	2.50**	0.02*	226.2**	3	اسید هیومیک Humic acid
17664^{ns}	1.6^{ns}	2941.1^{ns}	0.24^{ns}	0.01^{ns}	18.3^{ns}	6	حجم سلول× اسید هیومیک Cell volume × Humic acid
2603005	841.8	11420.1	0.30	0.010	20.5	48	خطا Error
16.5	13.4	12.0	18.5	14.3	15.8		ضریب تغییر (درصد) C.V (%)

^{ns}، * و ** به‌ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and ** showing no significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۵- اثر اصلی حجم سلول سینی نشاء و محلول‌پاشی اسید هیومیک بر صفات فیزیولوژیکی نشاء گوجه‌فرنگی.

Table 5. The main effect of cell volume and humic acid on physiological traits and leaf nutrients in tomato transplant.

K	P	N	PI	F_v/F_m	SPAD	تیمارها Treatments
mg / kg dry weight						
						حجم سلول Cell volume (cm^3)
32830.7^{a}	232.8^{a}	992.4^{a}	3.31^{a}	0.75^{a}	30.14^{a}	22
32459.8^{a}	225.6^{a}	848.5^{b}	3.05^{a}	0.71^{ab}	27.47^{a}	20
27438.9^{b}	188.9^{b}	836.2^{b}	2.46^{b}	0.67^{b}	28.25^{a}	15
						اسید هیومیک Humic acid (g/l)
26830^{c}	191^{b}	782.2^{c}	2.34^{b}	0.66^{b}	23.85^{b}	control
27421^{c}	231^{a}	894.9^{b}	3.03^{a}	0.71^{ab}	27.06^{b}	1.5
31853^{b}	224^{a}	1033.9^{a}	3.20^{a}	0.71^{ab}	31.79^{a}	3.5
37353^{a}	217^{a}	858.4^{bc}	3.19^{a}	0.76^{a}	31.77^{a}	5.5

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly different at 5% probability level

هر سه سطح اسید هیومیک باعث افزایش شاخص F_v/F_m در مقایسه با شاهد شدند هر چند این افزایش فقط برای غلظت ۵/۵ گرم در لیتر معنی‌دار بود. هم‌چنین هر سه سطح اسید هیومیک به‌طور مشابه باعث افزایش معنی‌دار PI در مقایسه با شاهد شده و بین آن‌ها تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۵). مشابه این نتایج گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید هیومیک از طریق افزایش میزان کلروفیل برگ و بهبود کارایی ناقل‌های الکترون غشاء تیلاکوئید کلروپلاست (۲۰)، باعث افزایش معنی‌دار شاخص‌های F_v/F_m و PI در نشاء می‌شود (۲۶، ۳۶ و ۳۸). این افزایش هم‌چنین می‌تواند به‌دلیل افزایش سرعت فتوسنتز ناشی از افزایش جذب عناصر غذایی و آب در اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک باشد (۵ و ۱۷). از طرف دیگر اسید هیومیک از طریق افزایش کارایی انتقال الکترون در غشاء تیلاکوئید باعث افزایش شاخص F_v/F_m و فتوسنتز خالص در گیاهان می‌شود (۲۶).

نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر حجم سلول سینی نشاء بر میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در حالی‌که کاربرد اسید هیومیک بر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار شد، ولی برهمکنش تیمارها بر میزان این عناصر معنی‌دار نبود (جدول ۴). با کاهش حجم سلول سینی نشاء میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ کاهش یافت (جدول ۵). به‌طوری‌که در حجم سلول ۱۵ و ۲۰ سانتی‌مترمکعب میزان نیتروژن برگ به‌طور معنی‌دار کم‌تر از شاهد بود. اگرچه حجم سلول ۱۵ سانتی‌مترمکعب باعث کاهش معنی‌دار فسفر و پتاسیم در مقایسه با دو حجم ۲۲ و ۲۰ سانتی‌مترمکعب شد ولی بین این دو حجم تفاوت معنی‌دار مشاهده نگردید. به‌طور کلی، کاهش حجم سلول سینی نشاء از ۲۲ به ۱۵ سانتی‌مترمکعب باعث کاهش نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ نشاء به‌ترتیب به‌میزان ۱۵/۷، ۱۸/۹ و ۱۶/۴ درصد شد (جدول ۵). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که با کاهش حجم سلول سینی نشاء و محدود شدن رشد ریشه، جذب عناصر غذایی توسط نشاء به‌طور معنی‌دار کاهش و در نتیجه میزان تجمع عناصر غذایی در اندام هوایی نشاء کاهش می‌یابد (۹، ۳۳، ۳۶، ۳۹ و ۴۰).

کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار میزان عناصر برگ در مقایسه با شاهد شد (جدول ۵). با افزایش غلظت اسید هیومیک از ۱/۵ به ۳/۵ گرم در لیتر میزان نیتروژن برگ به‌طور معنی‌دار افزایش یافت درحالی‌که افزایش بیش‌تر اسید هیومیک باعث کاهش معنی‌دار این صفت شد. کاربرد هر سه غلظت اسید هیومیک از نظر آماری به‌طور مشابه باعث افزایش معنی‌دار میزان فسفر برگ در مقایسه با شاهد شد. غلظت ۱/۵ گرم در لیتر اسید هیومیک نتوانست میزان پتاسیم برگ را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش دهد در حالی‌که دو غلظت ۳/۵ و ۵/۵ گرم در لیتر باعث افزایش معنی‌دار این صفت در مقایسه با شاهد شدند اگرچه بین این دو غلظت تفاوت معنی‌داری وجود داشت. به‌طور کلی بیش‌ترین میزان نیتروژن (۱۰۳۳/۹۱)، فسفر (۲۲۴) و پتاسیم (۳۷۵۳۴/۹۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) به‌ترتیب با کاربرد اسید هیومیک با غلظت ۳/۵، ۱/۵ و ۵/۵ گرم در لیتر به‌دست آمد که به‌ترتیب بیانگر افزایش ۳۲/۱۸، ۲۰/۹۴ و ۳۹/۸۹ درصد در مقایسه با شاهد بود (جدول ۵). مشابه این نتایج سایر پژوهش‌گران نیز گزارش کرده‌اند که کاربرد اسید هیومیک به‌صورت محلول‌پاشی یا خاک مصرف باعث افزایش عناصر غذایی برگ نشاء گیاهان مختلف از جمله سبزی‌ها می‌شود (۹، ۱۷، ۲۲ و ۲۳). مطالعات

نشان داده است که یکی از دلایل افزایش جذب عناصر غذایی توسط ریشه در اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک، افزایش میزان هورمون سیتوکینین و اکسین در ریشه و همچنین افزایش فعالیت آنزیم H^+-ATPase و درنتیجه افزایش فعالیت ریشه‌ها در جذب عناصر غذایی می‌باشد (۲۰).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که کاهش حجم سلول سینی منجر به کاهش معنی‌دار شاخص‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی نشاء گوجه‌فرنگی می‌گردد. در این مطالعه کاربرد کودهای آلی مانند اسید هیومیک توانست باعث بهبود جذب عناصر غذایی و رشد رویشی نشاء شده و اثرات منفی ناشی از کاهش حجم سلول سینی نشاء را جبران کند. محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به بهبود صفات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و به‌ویژه جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سینی‌هایی با تعداد سلول بیش‌تر گردید.

منابع

1.Li, G., Kronzucker, H.J. and Shi, W. 2016. The response of the root apex in plant adaptation to iron heterogeneity in soil. Front. Plant Sci. 344: 1-7.

2.Peyvast, Gh. 2005. Vegetable production. Danesh Pazir Press. 346p. (In Persian)

3.Javanmardi, J. 2009. Scientific and Applied Basis for Vegetable Transplant Production. Mashhad Uni. Press, 265p. (In Persian)

4.Heber, D. 2008. Multitargeted therapy of cancer by ellagitannins. Cancer Lett. 269: 2. 262-268.

5.Nair, A. and Carpenter, B. 2016. Biochar rate and transplant tray cell number have implications on pepper growth during transplant production. Hort. Technol. 26: 713-719.

6.Silva, V.N., Dotto, L., Hajar, A., Bittencourt, K.C. and Stella, M.R. 2017. Production of *Antirrhinum majus* seedlings on different substrates and containers. Cientifica. 45: 169-174.

7.Balliu, A., Sallaku, G. and Nasto, T. 2017. Nursery management practices influence the quality of vegetable seedlings. Italus Hortus. 24: 39-52.

8.Bouzo, C.A. and Favaro, J.C. 2015. Container size effect on the plant production and precocity in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Bulg. J. Agric. Sci. 21: 325-332.

9.Oagile, O., Gabolemogwe, P., Matsuane, C. and Mathowa, T. 2016. Effect of container size on the growth and development of tomato seedlings. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 5: 890-896.

10.Oh, J.H., Park, Y.G., Park, J.E. and Jeong, B.R. 2014. Effect of Cell Size on Growth and Development of Plug Seedlings of Three Indigenous Medicinal Plants. Korean J. Hort. Sci. Technol. 23: 2. 71-76.

11.Zakaria, N.I., Ismail, M.R., Awang, Y., Megat Wahab, P.E. and Berahim, Z. 2020. Effect of root restriction on the growth, photosynthesis rate, and source and sink relationship of chilli (*Capsicum annuum* L.) grown in soilless culture. Biomed Res. Int. 2020: 1-14.

12.Liu, F., Cao, X., Wang, H. and Liao, X. 2010. Changes of tomato powder qualities during storage. J. Powder Technol. 204: 1. 159-166.

13.Shopova, N. and Cholakov, D. 2014. Effect of the age and planting area of tomato (*Solanum licopersicum* L.) seedlings for late field production on the physiological behavior of plants. Bulg. J. Agric. Sci. 20: 173-177.

14.Poorter, H., Bühler, J., van Dusschoten, D., Climent, J. and Postma, J.A. 2012. Pot size matters: a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. Func. Plant Biol. 39: 839-850.

15.Mohamadinea, G., Hosseini Farahi, M. and Dastyaran, M. 2015. Comparison of humic acid soil drench and foliar application on fruit set, yield and quantitative and qualitative properties of grape cv Askari. Agric. Comm. 3: 2. 21-27.
16.Sabouri, F., Siroosmehr, A.R. and Gorgini Shabankareh, H. 2017. Effect of irrigation regimes and humic acid solution on some morphological and physiological characteristics of Satureja hortensis. Iran. J. Plant Physiol. 9: 34. 13-24. (In Persian)
17.Nardi, S., Schiavon, M. and Francioso, O. 2021. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. Molecules. 26: 2256.
18.Zhang, J., Yin, H., Wang, H., Xu, L., Samuel, B., Chang, J., Liu, F. and Chen, H. 2019. Molecular structure-reactivity correlations of humic acid and humin fractions from a typical black soil for hexavalent chromium reduction. Sci. Total Environ. 651: 2975-2984.
19.Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., Mazzei, P. and Piccolo, A. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. Sci. Hort. 196: 15-27.
20.De Hita, D., Fuentes, M., Fernández, V., Zamarreño, A.M., Olaetxea, M. and García-Mina, J.M. 2020. Discriminating the short-term action of root and foliar application of humic acids on plant growth:emerging role of jasmonic acid. Front. Plant Sci. 11: 493.
21.Osman, A.S. and Rady, M.M. 2014. Effect of Humic Acid as an Additive to Growing Media to Enhance the Production of Eggplant and Tomato Transplants. J. Hort. Sci. Biotechnol. 89: 237-244.
22.Pascual, J., Ceglie, F., Tüzel, Y., Koller, M., Koren, A., Hitchings, R. and Tittarelli, F. 2018. Organic Substrate for Transplant Production in Organic Nurseries. A Review. Agron. Sustain. Dev. 38: 35.
23.Qin, K. and Leskovar, D.I. 2020. Humic substances improve vegetable seedling quality and post–transplant yield performance under stress conditions. Agric. 10: 254-272.
24.Olaetxea, M., Mora, V., Bacaicoa, E., Baigorri, R., Garnica, M., Fuentes, M., Zamarreño, A.M., Spíchal, L. and García-Mina, J.M. 2019. Root ABA and H^+-ATPase are key players in the root- and shoot growth promoting action of humic acids. Plant Direct. 3: 1-12.
25.Zanin, L., Tomasi, N., Cesco, S., Varanini, Z. and Pinton, R. 2019. Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators andbiostimulants. Front. Plant Sci. 10: 675.
26.Shen, J., Guo, M., Wang, Y., Yuan, X., Wen, Y., Song, X., Dong, S. and Guo, P. 2020. Humic acid improves the physiological and photosynthetic characteristics of millet seedlings under drought stress. Plant Signal. Behav. 15: 8.
27.Blanco, F.F. and Folegatti, M.V. 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. Hortic. Bras. 21: 666-669.
28.Bahadur, A., Lama, T.D. and Chaurasia, S.N.S. 2015. Gas exchange, chlorophyll fluorescence, biomass production, water use and yield response of tomato (*Solanum lycopersicum*) grown under deficit irrigation and varying nitrogen levels. Indian J. Agric. Sci. 85: 224-228.
29.Huang, P., Santos, B.M. and Whitaker, V.M. 2011. Effects of Cell Size on the Production of Containerized Strawberry Transplants in Florida (FSHS). 124: 184-187.
30.Leskovar, D.I. and Othman, Y.A. 2016. Low nitrogen fertigation promotes root development and transplant quality in globe artichoke. Hort. Sci. 51: 567-572.
31.Di Benedetto, A. and Pagani, A. 2012. Changes in dry weight accumulation in the *Impatiens walleriana* pot plant in response to different pre–transplant plug cell volume. Eur. J. Hort. Sci. 78: 2. 76-85.

32.Kazemi, M. 2013. Vegetative and reproductive growth of tomato plants affected by calcium and humic acid. BEPLS. 2: 11. 24-29.
33.Di Benedetto, A. 2011. Root restriction and post–transplant effects for bedding pot plants. In: Aquino, J.C. (ed.). Ornamental plants: Types, cultivation and nutrition. Nova Science Publishers, Inc. NY, USA.
34.Türkmen, Ö., Dursun, A., Turan, M. and 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 Agric. Sci. Biol. Soil Plant Sci. 54: 168-174.
35.Lotfi, R., Kalaji, H.M., Valizadeh, G.R., Khalilvand Behrozyar, E., Hamati, A., Gharavi-Kochebagh, P. and Ghassemi, A. 2018. Effects of humic acid on photosynthetic efficiency of rapeseed plants growing under different watering conditions. Photosynthetica. 56: 962-970.
36.Fan, H., Wang, X., Sun, X., Li, Y., Sun, X. and Zheng, C. 2014. Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. Sci. Hort. 177: 118-123.
37.Naseri, M., Arouiee, H. and Mohammadi, M. 2021. The Effect of Concentration and Time of Application of Humic Acid on Morpho–physiological Characteristics of *Spinacia oleracea*. J. Hort. Sci. 34: 4. 663-678.
38.Kazemi, M. 2014. Effect of foliar application of humic acid and calcium chloride on tomato growth. BEPLS. 3: 3. 41-46.
39.Bar Tal, A. and Pressmann, E. 1996. Root restriction and potassium and calcium solution concentrations affect dry–matter production, cation uptake, and blossom–end root in greenhouse tomato. J. Am. Soc. Hort. Sci. 121: 4. 649–655.
40.Fahimi, F., Souri, M.K. and Yaghobi, F. 2016. Growth and development of greenhouse cucumber under foliar application of Biomin and Humifolin fertilizers in comparison to their soil application and NPK. J. Sci. Tech. Greenhouse Culture. 7: 1. 143-152. (In Persian)