Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

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

(OPEN ACCESS)

The Effect of Planting Density and Genotype on Onion Seedling Production under Hydroponic Cultivation Conditions

Seyedeh Neda Mousavi[1], Nasser Alamzadeh Ansari[*2]

1. M.Sc. Student in Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: neda.musavi1377@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: ansari_n@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 02.23.2025
Revised: 04.20.2025
Accepted: 05.05.2025

Keywords:
Carotenoid,
Density,
LED light,
Quality

ABSTRACT

Background and Objectives: The production of onion seedlings in the hot climatic conditions of Ahvaz during late summer and early autumn has faced challenges. To achieve the above goals, a study was conducted to examine onion seedling production. In this experiment, two important factors were investigated: genotype and planting density. One alternative strategy for seedling production in controlled conditions is the use of LED lamps. The aim of this study is to determine the suitable genotype and density for producing marketable seedlings under artificial lighting to enhance community food security and ensure sustainable onion production.

Materials and Methods: To investigate the effects of density and onion genotype on seedling production in hydroponic cultivation under LED light, an experiment was conducted in 2023 in the growth chamber of the Horticultural Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz. The experiment was carried out in a factorial arrangement within a randomized complete block design with three replications. The first factor included an Iranian onion genotype (Ramhormozi) and imported cultivars (Primavera, and Enza) and the second factor consisted of four density levels (1, 2, 6, and 12 plants per cell in a cultivation tray). Immediately after seed germination, the 105-cell cultivation trays (with a total experimental area of 4 square meters) were transferred to the growth chamber under LED light (a combination of blue and red lamps in a 50:50 ratio) with a light intensity of 300 µmol/m²/s. After 60 days, samples were taken from the seedlings, and traits such as shoot height, root length, leaf area, bulb diameter, fresh and dry weight of shoots and roots, chlorophyll a, b, and total chlorophyll, carotenoids, and vitamin C were calculated during the 2023 growing season at Shahid Chamran University of Ahvaz. The obtained results were analyzed using SPSS version 21 software and Duncan's multiple range test at a 5% probability level.

Results: The results indicated that the effects of genotype, planting density, and their interaction were significant for all examined traits. The highest seedling bulb diameter was observed at a density of 1 plant per cell, while the lowest was recorded at 12 plants per cell. The maximum shoot and root weights were found in the Enza Cultivar. The highest leaf

area (16 cm²) was observed in the Enza cultivar at 1 plant per cell, and the lowest (6.3 cm²) in the Ramhormozi genotype at 12 plants per cell. The Enza Cultivar at 2 plants per cell (2.1 mg/g) and the Primavera Cultivar at 2 plants per cell (0.22 mg/g) showed the highest and lowest chlorophyll a content, respectively. The highest ascorbic acid level was obtained from the Primavera Cultivar at 6 plants per cell (15.98 mg/g), and the lowest from the Enza Cultivar at 6 plants per cell (15.94 mg/g).

Conclusion: All germinated seeds across treatments remained healthy until the end of seedling growth and were capable of producing field-ready plants. The results demonstrate that onion seedling production using LED lamps is feasible, but the quality and quantity of seedlings are influenced by genotype and planting density.

Cite this article: Mousavi, Seyedeh Neda, Alamzadeh Ansari, Nasser. 2026. The Effect of Planting Density and Genotype on Onion Seedling Production under Hydroponic Cultivation Conditions. *Journal of Plant Production Research*, 32 (4), 127-146.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jopp.2025.23010.3207
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

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

تأثیر تراکم کشت و ژنوتیپ بر تولید نشاء پیاز تحت شرایط کشت هیدروپونیک

سیده ندا موسوی[۱]، ناصر عالم‌زاده انصاری*[۲]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: neda.musavi1377@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ansari_n@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵

واژه‌های کلیدی:
تراکم،
کارتنوئید،
کیفیت،
نور ال ای دی

چکیده

سابقه و هدف: تولید نشاء پیاز در شرایط آب و هوایی گرم اهواز در اواخر تابستان و اوایل پاییز با چالش‌هایی همراه است. بنابراین، به‌کارگیری روش‌های نوین تولید نشاء در سیستم هیدروپونیک یا آب کشت منجر به مطالعه‌هایی در رابطه با پرورش نشاء پیاز در این محیط کشت تحت‌تأثیر دو فاکتور زراعی ژنوتیپ و تراکم گردید. جهت افزایش امنیت غذایی جامعه و پایداری تولید پیاز، یکی از راهکارهای مناسب تولید نشاء در شرایط کنترل شده با استفاده از لامپ‌های LED می‌باشد. هدف از این مطالعه تعیین ژنوتیپ و تراکم مناسب برای پرورش نشاء زودرس و بازارپسند در زیر نور مصنوعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تأثیر تراکم و ژنوتیپ پیاز بر روی نشاء تولیدی در کشت هیدروپونیک زیر نور لامپ‌های LED، آزمایشی در سال ۱۴۰۲ در اطاق پرورش گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل ۱ ژنوتیپ پیاز ایرانی (رامهرمزی) و ارقام وارداتی (پریماورا و انزا) و فاکتور دوم ٤ سطح تراکم {۱، ۲، ٦ و ۱۲ گیاه در یک سلول سینی کشت} بود. بلافاصله پس از سبز شدن بذرها، سینی‌های کشت ۱۰۵ حفره‌ای به اطاقک پرورش (سطح کل آزمایش ٤ مترمربع بود) با نور لامپ‌های ال ای دی (ترکیبی از لامپ آبی و قرمز با نسبت [۵۰ :۵۰]) با شدت نور ۳۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه، منتقل شدند. پس از ٦۰ روز از نشاءها نمونه‌گیری شد و صفاتی مانند ارتفاع بخش هوایی، طول ریشه، سطح برگ نشاء، قطر سوخ‌چه نشاء، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، کلروفیل a، b و کل، کارتنوئید و ویتامین ث پژوهشی در سال زراعی ۱۴۰۲ در دانشگاه شهید چمران اهواز مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد اثر ژنوتیپ، تراکم و اثر متقابل آن‌ها بر تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. بیش‌ترین قطر سوخ‌چه نشاء در تراکم ۱ بوته در سلول و کم‌ترین آن در تراکم ۱۲ بوته در سلول مشاهده شد. بیش‌ترین وزن بخش هوایی و وزن ریشه در رقم انزا مشاهده گردید. بیش‌ترین سطح برگ نشاء (١٦ سانتی‌مترمربع) در رقم انزا با تراکم ۱ بوته در سلول و کم‌ترین آن (٦/٣ سانتی‌مترمربع) در ژنوتیپ رامهرمزی در تراکم ۱۲ بوته در سلول ثبت شد. رقم انزا در تراکم ۲ بوته در سلول (۱/۲ میلی‌گرم بر گرم) و رقم پریماورا در تراکم ۲ بوته در سلول (۰/۲۲ میلی‌گرم بر گرم) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کلروفیل a را به خود اختصاص داده‌اند. بیش‌ترین و کم‌ترین آسکوربیک اسید به ترتیب از رقم پریماورا در تراکم ٦ بوته در سلول (۱۵/۹۸ میلی‌گرم بر گرم) و کم‌ترین آن از رقم انزا در تراکم ٦ بوته در سلول (١٥/٩٤ میلی‌گرم بر گرم) به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: همه بذور سبز شده در تمام تیمارها تا انتهای رشد نشاء سالم بودند و قادر به تولید گیاه در مزرعه بودند. نتایج این آزمایش نشان داد امکان تولید نشاء پیاز با استفاده از لامپ‌های LED وجود دارد، اما کیفیت و کمیت نشاء تولیدی تحت‌تأثیر ژنوتیپ و تراکم کاشت قرار می‌گیرد.

استناد: موسوی، سیده ندا، عالم‌زاده انصاری، ناصر (۱۴۰۴). تأثیر تراکم کشت و ژنوتیپ بر تولید نشاء پیاز تحت شرایط کشت هیدروپونیک. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۲ (۴)، ۱۴۶-۱۲۷.
DOI: 10.22069/jopp.2025.23010.3207

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

مقدمه

پیاز یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین سبزیجات ایران و سراسر جهان به‌شمار می‌رود. این سبزی متعلق به خانواده *Alliaceae* و از جنس *Allium* می‌باشد (۱). در ایران پیاز جزء محصولات استراتژیک به حساب می‌آید که در سه فصل بهار، تابستان و پاییز با توجه به شرایط منطقه کشت می‌گردد. عمر انبارداری پیازهایی که در استان‌های شمالی ایران در تابستان تولید می‌شوند در اواخر زمستان به اتمام می‌رسد. بنابراین، پرورش پیاز زودرس در استان‌های جنوبی یکی از اولویت‌های تولید به شمار می‌رود. اما، تأمین پیازهای زودرس در استان خوزستان با چالش‌های مهمی مواجه است. اولین چالش در استان خوزستان دمای بالا در اواخر تابستان و اوایل پاییز می‌باشد که دما در این مناطق به بیش از ٤٠ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و مانع از سبز شدن بذور پیاز می‌گردد (۲). از دیگر مشکلات موجود می‌توان به دوره بلندمدت خشک‌سالی و بحران شدید کم‌آبی به‌ویژه در فصل پاییز و کند بودن رشد پیاز در اوایل رشد اشاره نمود. بنابراین، با گسترش روزافزون جمعیت جهان و نیاز به تولید مواد غذایی بیش‌تر اقدام به رفع این کمبودها با استفاده از فن‌آوری‌های جدید مانند تولید نشاء گیاهان در شرایط نور مصنوعی به روش هیدروپونیک گردید (۳). پرورش نشاء یکی از مهم‌ترین مراحل در زراعت محصولات زراعی و باغی است. از بارزترین ویژگی‌های نشاء خوب با رشد مطلوب داشتن ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر طول، ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر قطر سوخ‌چه و ٤ تا ٦ برگ حقیقی فتوسنتزکننده به رنگ سبز روشن (و در برخی منابع ۳ تا ۵ برگ حقیقی) می‌باشد. هم‌چنین، نشاء باید دارای ریشه سالم و عاری از هر گونه آفات و بیماری‌ها باشد (٤ و ۵). تولید نشاء با کیفیت می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد و بهره‌وری داشته باشد (٦). در سال‌های اخیر، تولید نشاء به روش هیدروپونیک در سراسر جهان به ویژه در کشورهای پیشرفته مانند هلند، آمریکا و کانادا گسترش یافته است (۷). نشاءهای تولید شده در این سیستم پس از گذراندن ۵۰ تا ۷۰ روز در سینی‌های کشت تولید ریشه‌های قوی، ساقه محکم و توسعه یافته می‌کنند که برای انتقال به مزرعه آماده می‌باشند. در مرحله انتقال و پس از انتقال نشاءها به محل کشت اصلی برای بهبود رشد، استقرار بیش‌تر نشاءها و کاهش تنش جابه‌جایی آن‌ها وجود آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند ویتامین c و مقداری رطوبت در محل کشت ضروری می‌باشد؛ زیرا خشک شدن نشاء منجر به توقف رشد و یا عدم استقرار نشاء می‌گردد (۸ و ۹). علاوه بر این، اسید آسکوربیک به عنوان یک مکانیسم محافظتی برای گیاهان تحت شرایط استرس‌زا عمل می‌کند (۱۰). هم‌چنین، اسید آسکوربیک نقش حیاتی در تنظیم تقسیم سلولی، گسترش سلولی و رشد دیواره سلولی گیاهان سبز کوچک پرورش یافته در سیستم هیدروپونیک دارد (۱۱). در ایران نیز استفاده از روش هیدروپونیک برای تولید نشاء در گلخانه‌ها و مزارع رواج پیدا کرده است. به عنوان مثال، در استان خوزستان که دارای آب و هوای گرم و خشک است، تولید نشای هیدروپونیک برای محصولاتی مانند گوجه‌فرنگی، فلفل، بادمجان و کلم بروکلی انجام می‌شود (۱۲). این روش به کشاورزان امکان می‌دهد تا فصل کاشت را زودتر آغاز کرده و محصول زودرس‌تری به بازار این منطقه عرضه نمایند. سیستم کشت هیدروپونیک روشی بدون خاک برای پرورش گیاهان است که در آن نیازهای غذایی گیاه از طریق محلول غذایی حاوی مواد مغذی تأمین می‌گردد (۱۳). این سیستم کشت دارای مزایایی مانند کاهش مصرف آب، افزایش عملکرد، استفاده بهینه از کودها و عدم نیاز به خاک می‌باشد. علاوه‌بر مزایای افزایش عملکرد، تولید هیدروپونیک نشاء موجب کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری در مصرف کود نیز می‌گردد (١٤). هم‌چنین، امکان تولید نشاء در شرایط کنترل شده

وجود دارد و خطر انتقال بیماری‌ها و آفات خاکزی را نیز کاهش می‌دهد (۱۵). تولید نشاء تحت‌تأثیر فاکتورهای متعددی از جمله رقم و تراکم کشت قرار می‌گیرد. نشاء ارقام مختلف در تراکم‌های متفاوت، خصوصیات رشدی و کیفی متنوعی را از خود نشان می‌دهند (١٦). افزایش تراکم کشت تا حد مشخصی می‌تواند موجب افزایش عملکرد شود اما در تراکم‌های بالا، رقابت گیاهان بر سر جذب نور و مواد غذایی افزایش یافته که سبب کاهش اندازه و کیفیت نشاءها می‌گردد (۱۷). واسی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند ارقام پیازی که در تراکم‌های زیاد رشد یافتند حداقل قطر و حداکثر وزن را به خود اختصاص داده‌اند که دلیل این امر را ژنتیک متغیر ارقام و پاسخ متفاوت آن‌ها را به سطوح مختلف تراکم اعلام کردند (۱۸). از آن‌جایی‌که نور یکی از عوامل کلیدی در رشد گیاه است، در سیستم‌های کشت هیدروپونیک از لامپ‌های LED به عنوان منبع نور مصنوعی استفاده می‌شود لامپ‌های LED می‌توانند طیف نور، شدت و کیفیت آن را کنترل کنند که این امر بر فرآیندهای متابولیکی، رشد و ترکیبات زیست‌فعال گیاه تأثیرگذار است (۱۹). بررسی‌های درو و همکاران (۱۹۷۳) نشان داد استفاده از نور LED در سیستم هیدروپونیک بر بهبود طعم، ارزش غذایی، ترکیبات بیوشیمیایی و به‌دنبال آن مدت انبارمانی پیاز اثر مثبتی داشت. بر همین اساس هدف این پژوهش، بررسی امکان تولید نشاء ژنوتیپ‌های مختلف پیاز و تراکم کاشت در شرایط کشت هیدروپونیک و نور مصنوعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر تراکم و ژنوتیپ پیاز بر روی نشاء تولیدی در کشت هیدروپونیک زیر نور لامپ‌های LED، آزمایشی در سال ١٤٠٢ در اطاق پرورش گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل اجرا شد. فاکتور اول شامل ۱ ژنوتیپ پیاز ایرانی (رامهرمزی، یک ژنوتیپ ایرانی قدیمی به حساب می‌آید. در استان خوزستان بیش‌تر در شهرستان رامهرمز کشت و تولید می‌شود. رامهرمزی به عنوان یک ژنوتیپ مقاوم به شوری معرفی شده است (۲۰). و دو رقم وارداتی (پریماورا و انزا) پریماورا رقم وارداتی است، که نسبت به ژنوتیپ‌های ایرانی مزه تند کم‌تری دارد. این رقم معمولاً در استان خوزستان در شهر دزفول کشت می‌گردد اما در بهبهان حداکثر تولید محصول را به خود اختصاص داد. انزا یک رقم زودرس وارداتی است که در شهر دزفول کشت و کار می‌شود} و فاکتور دوم شامل ٤ سطح تراکم {۱، ۲، ٦ و ۱۲ بذر جوانه زده در یک سلول سینی کشت} بود بلافاصله پس از سبز شدن بذرها، سینی‌های کشت ۱۰۵ حفره‌ای به اطاقک پرورش (سطح کل آزمایش ٤ مترمربع بود) با نور لامپ‌های ال ای دی (ترکیبی از لامپ آبی و قرمز با نسبت [۵۰:۵۰]) با شدت نور ۳۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه، منتقل شدند. هر یک از لامپ‌ها توانی برابر ۷۲ وات داشت که در شرکت پرتو رشد نوین تولید شده‌اند. محدوده تقریبی طول موج نور قرمز ٦٦٠ نانومتر و نور آبی ٤٥٤ نانومتر بود. سیستم کشت به‌صورت فلوتینگ بر روی محلول غذایی هوگلند (جدول ۱) بود (۲۱). گیاهچه‌ها در طول دوره ٦٠ روزه رشد با محلول غذایی هوگلند تغذیه شدند. دمای اطاقک پرورش بین ۲۰ تا ٢٤ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ٥٦ تا ٦٤ درصد تنظیم گردید. در پایان دوره (٦٠ روز پس از کاشت)، برخی از صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشاءها اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- نسبت عناصر غذایی در محلول غذایی هوگلند.

Table 1. Ratio of nutrient elements in Hoagland nutrient solution.

عناصر پرمصرف Macroelements	میزان عنصر به میلی‌گرم در لیتر The concentration of the element in mg/l	عناصر کم‌مصرف *Microelement*	میزان عنصر به میلی‌گرم در لیتر The concentration of the element in mg/l
نیتروژن Nitrogen	224	بر Boron	0.27
فسفر phosphorus	62	منگنز Manganese	0.11
پتاسیم potassium	235	روی Zinc	0.13
کلسیم Calcium	160	مس copper	0.03
منیزیم Magnesium	24	مولیبدن molybdenum	0.05
گوگرد sulfur	32	آهن iron	3

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی

ارتفاع بخش هوایی و طول ریشه: ارتفاع بخش هوایی و طول ریشه نشاءها با خط کش میلی‌متری با دقت ۰/۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید.

سطح برگ نشاء: سطح برگ نشاءهای پیاز ٦٠ روز پس از کاشت با دستگاه سنجش سطح برگ (مدل Delta-T Devices LTD, UK ساخت انگلستان) اندازه‌گیری گردید.

قطر سوخ‌چه نشاء: قطر سوخ‌چه نشاء با کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

وزن تر و خشک بخش‌های هوایی و ریشه نشاء: پس از جداسازی بخش‌های هوایی از ریشه از هر نمونه، وزن تر با ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۱ گرم) توزین گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ٢٤ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و وزن خشک آن‌ها با ترازوی آزمایشگاهی ٤ رقم اعشار (با دقت ۰/۰۰۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نمونه برگ از هر تیمار به طور تصادفی انتخاب و غلظت رنگیزه‌ها (کلروفیل a، b، کل و کارتنوئیدها) در بافت برگ به روش آرنون (١٩٦٧) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-VIS-1201، ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شد. در انتها با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a {معادله ۱}، کلروفیل b {معادله ۲} کلروفیل کل {معادله ۳} و کارتنوئید {معادله ٤} محاسبه گردید (۲۲).

$$\text{Chlorophyll a (mg/g tissue)} = ((12.7A663-2.69A645)\times V)/((1000\times W)) \quad (١)$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/g tissue)} = ((22.9A645-4.68A663)\times V)/((1000\times W)) \quad (٢)$$

$$\text{Total Chlorophyll (mg/g tissue)} = ((20.2A645+8.02A663)\times V)/((1000\times W)) \quad (٣)$$

$$\text{Cartenoids (mg/g tissue)} = (\ (A480 + (\ 0.114\ A663) - (0.638\ A645))\times V)/(1000\times W) \quad (٤)$$

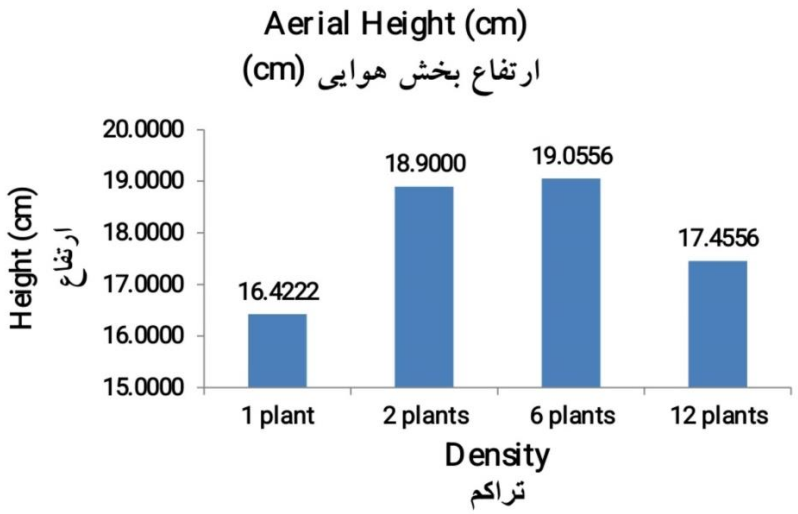
آسکوربیک اسید: اندازه‌گیری آسکوربیک اسید به روش رنگ سنجی با DCPIP انجام شد. ۰/۱ گرم بافت برگ با ۲ میلی‌لیتر محلول متافسفریک اسید ۱ درصد هموژن شد و پس از ۳۰ دقیقه نگهداری در تاریکی، در ٤ درجه سانتی‌گراد و ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول رویی برداشته شد و با ۵۰ میکرولیتر DCPIP مخلوط گردید. جذب نمونه‌ها در ۵۲۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر قرائت شد. از محلول متافسفریک ۱ درصد به عنوان بلانک استفاده شد. غلظت آسکوربیک اسید از معادله استاندارد برحسب (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم) محاسبه گردید (معادله ۵) (۲۳).

$$y = -0.0006x + 0.16 \quad (٥)$$

روش آماری: داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بخش هوایی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر ارتفاع بخش هوایی اثر معنی‌داری نداشت اما اثر ساده تراکم بر این صفت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تراکم بر ارتفاع بخش هوایی نشان داد بیش‌ترین ارتفاع بخش هوایی در تراکم ۲ بوته در سلول (۱۹ سانتی‌متر) مشاهده گردید که با تراکم ٦ بوته در سلول تفاوت معنی‌داری نداشت. هم‌چنین کم‌ترین آن را تراکم ۱۲ بوته در سلول (١٦/٤ سانتی‌متر) به خود اختصاص داد (شکل ۱). احتمالاً این امر به سبب افزایش رقابت داخل گونه‌ای جهت جذب عوامل رشدی مانند دریافت نور و مواد غذایی کافی در تراکم ۱۲ بوته در سلول باشد. از طرفی دیگر، بوته‌ها در تراکم‌های ٦ و ۲ بوته در سلول از فضای رشدی بیش‌تری نسبت به تراکم ۱۲ بوته در سلول برخوردار بودند و این امر سبب افزایش ارتفاع گیاه در تراکم‌های متوسط گردید. تراکم مطلوب بوته رقابت بین گیاهان را کاهش می‌دهد و در نتیجه جذب نور و مواد مغذی کافی می‌تواند منجر به کمیت و کیفیت بالاتر شود. ال تنسوان و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی تأثیر محلول غذایی و سه تراکم کاشت مختلف (۱۲ و ۸، ٤ بوته در هر سلول) بر عملکرد میکروگرین براسیکا در محیط‌های کشت بدون خاک گزارش نمودند که بیش‌ترین ارتفاع گیاه در پایین‌ترین تراکم کاشت بوته در واحد سطح (٤ بوته) به دست آمد، و با افزایش تراکم ارتفاع بوته کاهش یافت. ممکن است این امر به دلیل سایه‌اندازی کم‌تر در تراکم‌های پایین‌تر باشد (۲٤).



شکل ۱- اثر تراکم بر ارتفاع بخش هوایی نشاء پیاز.

Fig. 1. The effect of density on Aerial Height of onion seedling.

طول ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده ژنوتیپ و تراکم بر طول ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد هم‌چنین اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر این صفت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر طول ریشه نشان داد بیش‌ترین طول ریشه در ژنوتیپ رامهرمزی در تراکم ۱ بوته در سلول (٦/٥ سانتی‌متر) مشاهده گردید که با رقم انزا در تراکم ۲ و ۱ بوته در سلول تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین طول ریشه در ژنوتیپ رامهرمزی در تراکم ۱۲ بوته در سلول (۲/۸ سانتی‌متر) مشاهده گردید (جدول ۳). یافته‌های آنتونی سامی (۲۰۲۳) بر بررسی اثر تراکم کاشت بر رشد و کیفیت کاهوی روما در یک محیط هیدروپونیک کنترل شده نشان داد که تراکم کم بوته‌ها نسبت به تراکم کاشت بیش‌تر بوته‌ها طول ریشه بالاتری داشتند. علت افزایش طول ریشه در تراکم کم کاشت ممکن است به‌دلیل جذب آسان رطوبت و مواد رشدی مورد نیاز خود باشد. اگرچه در هیدروپونیک مواد مغذی کنترل می‌شوند، اما تراکم بالای ریشه‌ها ممکن است جذب عناصر را مختل کند (۲۵).

سطح برگ نشاء: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده ژنوتیپ و تراکم و اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر سطح برگ نشاء در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر سطح برگ نشاء نشان داد رقم انزا در تراکم ۱ بوته در سلول (١٦ سانتی‌مترمربع) و ژنوتیپ رامهرمزی در تراکم ۱۲ بوته در سلول (٦/٣ سانتی‌مترمربع) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سطح برگ نشاء را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳). پژوهشی با هدف مطالعه تأثیر دو رقم ریحان (سبز و عقیق) و سه سطح تراکم کاشت (۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ بوته در مترمربع) بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و صفات کیفی آن در سیستم هیدروپونیک توسط بدخشان و همکاران (۲۰۱۸) بررسی گردید. نتایج آنان نشان داد که سطح برگ به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تراکم و رقم کاشت قرار گرفت. به‌طوری‌که در تراکم ۱۵۰ گیاه در مترمربع بیش‌ترین سطح برگ مشاهده شد. آنان دریافتند بوته‌هایی که در تراکم کم‌کاشت رشد کرده‌اند، توسعه یافته‌تر بودند و دارای سطح برگ بیش‌تری نسبت به گیاهان رشد یافته در تراکم‌های بالا

بودند. این نتایج با پژوهش ما مطابقت داشت. در تراکم‌های بالا به دلیل کاهش دسترسی به نور، سطح برگ گیاه‌چه‌ها کاهش می‌یابد (٢٦).

قطر سوخ‌چه نشاء: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده ژنوتیپ و تراکم و اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر قطر سوخ‌چه نشاء در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ٢). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر قطر سوخ‌چه نشاء نشان داد بیش‌ترین قطر سوخ‌چه نشاء در رقم انزا در تراکم ١ بوته در سلول (٠/٢٠ میلی‌متر) در ٦٠ روز پس از کاشت مشاهده گردید که با ژنوتیپ انزا در تراکم ٢، ٦ و ١٢ بوته در سلول، رقم پریماورا در تراکم ١، ٢ و ٦ بوته در سلول و ژنوتیپ رامهرمزی در تراکم ١، ٢، ٦ و ١٢ بوته در سلول تفاوت معنی‌داری نداشت. رقم پریماورا در تراکم ١٢ بوته در سلول (٠/١٠ میلی‌متر) کم‌ترین قطر سوخ‌چه نشاء را به خود اختصاص داد (جدول ٣). تراکم کاشت تأثیر قابل‌توجهی بر رشد سوخ‌چه‌های پیاز در سیستم هیدروپونیک دارد. به‌طورکلی، تراکم بالا جذب مواد معدنی را مختل می‌کند (٢٧) (بروستر (٢٠٠٩) و رومانو و همکاران (٢٠٠٢)). نیز دریافتند بیش‌ترین قطر سوخ‌چه در پایین‌ترین تراکم کاشت بوته در واحد سطح مشاهده گردید (٢٨ و ٢٩)، و با افزایش تراکم قطر سوخ‌چه پیاز کاهش یافت که با نتایج آزمایش ما همسو می‌باشد. ممکن است این امر به دلیل سایه‌اندازی برگ‌ها و کاهش دسترسی به نور، کاهش فرآیند فتوسنتز و در نتیجه محدودیت ذخیره‌سازی مواد در سوخ‌چه‌ها در تراکم‌های بالا باشد. از طرفی دیگر، زمانی که جمعیت گیاهی در تراکم‌های کاشت زیاد باشد حتی با وجود مواد مغذی کافی، گیاه‌چه‌ها انرژی بیش‌تری را صرف رشد برگ‌ها (به دلیل رقابت نوری) نسبت به توسعه سوخ‌چه‌ها می‌کنند.

جدول ٢- تجزیه واریانس اثرات تراکم و ژنوتیپ بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نشاء پیاز در ٦٠ روز پس از کاشت.

Table 2. Variance analysis of density and genotype effects on some morphological and physiological traits of onion seedlings at the 60 days after implant.

قطرسوخ‌چه نشاء Diameter of the seedling bulb	سطح‌برگ نشاء leaf area of the seedling	طول ریشه Root length	ارتفاع بخش‌هوایی Aerial Height	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات Source of variation
0.006**	10.6**	3.5**	0.12^{ns}	2	ژنوتیپ Genotype
0.003**	61.3**	10.9**	14.1*	3	تراکم Density
0.001**	25.8**	1.4*	4.6^{ns}	6	ژنوتیپ × تراکم Genotype × Density
0.001	8.7	0.49	4.1	22	خطا Error
0.45	0.0009	16.3	11.3		ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variance (%)

**، * و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار

**, * and ^{ns} non-significantly difference and significantly difference at 1 and 5% probability, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثرات تراکم و ژنوتیپ بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نشاء پیاز در ٦٠ روز پس از کاشت.

Table 3. Comparison of the mean effects of density and genotype on some morphological and physiological traits of onion seedlings at the 60 days after implant.

قطر سوخ‌چه نشاء Diameter of the seedling bulb (mm)	سطح برگ نشاء leaf area of the seedling (cm^2)	طول‌ریشه Root length (cm)	تیمار Treatment
			ژنوتیپ × تراکم Genotype × Density
0.20^{a}	14.9^{b}	6.5^{a}	رامهرمزی × ۱ بوته Ramhormzi × 1 plant
0.20^{a}	9.8^{e}	4.4^{b}	رامهرمزی × ۲ بوته Ramhormzi × 2 plant
0.20^{a}	8.5^{f}	3.5^{bcd}	رامهرمزی × ٦ بوته Ramhormzi × 6 plant
0.20^{a}	6.3^{k}	2.8^{d}	رامهرمزی × ۱۲ بوته Ramhormzi × 12 plant
0.16^{a}	10.3^{d}	4^{bcd}	پریماورا × ۱ بوته Primavera × 1 plant
0.16^{a}	9.8^{e}	4.2^{bc}	پریماورا × ۲ بوته Primavera × 2 plant
0.20^{a}	7.1^{j}	3.8^{bcd}	پریماورا × ٦ بوته Primavera × 6 plant
0.10^{b}	8.2^{g}	2.9^{cd}	پریماورا × ۱۲ بوته Primavera × 12 plant
0.20^{a}	16^{a}	6^{a}	انزا × ۱ بوته Anza × 1 plant
0.16^{a}	12.9^{c}	5.7^{a}	انزا × ۲ بوته Anza × 2 plant
0.20^{a}	7.8^{h}	4.4^{b}	انزا × ٦ بوته Anza × 6 plant
0.20^{a}	7.2^{i}	3.1^{bcd}	انزا × ۱۲ بوته Anza × 12 plant

ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

The same letters indicate there is no significant difference at $P \leq 0.05$

وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه نشاء: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده ژنوتیپ و تراکم و اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر وزن تر و خشک بخش هوایی نشاء و وزن تر و خشک ریشه نشاء در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر وزن تر بخش هوایی نشاء نشان داد رقم انزا در تراکم ۱ بوته در سلول بیش‌ترین وزن تر بخش هوایی نشاء (۰/۵۷ گرم) و ژنوتیپ رامهرمزی در تراکم ۱۲ بوته در سلول کم‌ترین (۰/۱۳ گرم) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر بخش هوایی را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ

در تراکم بر وزن خشک بخش هوایی نشاء نشان داد رقم انزا در تراکم ۱ بوته در سلول بیش‌ترین وزن خشک بخش هوایی نشاء (۰/۰۹ گرم) و ژنوتیپ رامهرمزی در تراکم ۱۲ بوته در سلول کم‌ترین (۰/۰۰۵ گرم) آن را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر وزن تر ریشه نشاء نشان داد رقم انزا در تراکم ۱ بوته در سلول بیش‌ترین وزن تر ریشه (۰/۰۷۰ گرم) و رقم پریماورا در تراکم ۱۲ بوته در سلول کم‌ترین (۰/۰۱۱ گرم) آن را داشتند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر وزن خشک ریشه نشاء نشان داد رقم انزا در تراکم ۱ بوته در سلول (۰/۰۰٦ گرم) و رقم پریماورا در تراکم ۱۲ بوته در سلول (۰/۰۰۰۱ گرم) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک ریشه نشاء را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۵). احتمالاً این امر به‌دلیل تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، دسترسی راحت‌تر بوته‌ها به سایر مواد غذایی در تراکم ٤ و تعداد بوته بالا در تراکم ۱ رخ داده است. لی یو شی آنگ و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی واکنش دو رقم برنج معمولی ژاپنی و برنج هیبرید هندی در سطوح تراکم مختلف بر عملکرد آن در سیستم هیدروپونیک نتیجه گرفتند که تراکم بیش‌تر بوته در مترمربع موجب افزایش وزن کلی گیاهان در مترمربع گردید. در عین‌حال، وزن تک‌بوته در واحد سطح کاهش یافت (۳۰).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثرات تراکم و ژنوتیپ بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نشاء پیاز در ٦٠ روز پس از کاشت.

Table 4. Variance analysis of density and genotype effects on some morphological and physiological traits of onion seedlings at the 60 days after implant.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	وزن‌تر بخش هوایی نشاء Fresh weight of the aerial part of the seedling	وزن‌خشک بخش هوایی نشاء Dry weight of the aerial part of the seedling	وزن‌تر ریشه نشاء fresh weight of the Root of the seedling	وزن‌خشک ریشه نشاء Dry weight of the Root of the seedling
ژنوتیپ Genotype	2	0.01**	0.002**	0**	1**
تراکم Density	3	0.04**	0.001**	0.001**	5.3**
ژنوتیپ × تراکم Genotype × Density	6	0.06**	0.002**	0.001**	8.8**
خطا Error	22	0	2.4	8.5	4.4
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variance (%)		0.04	0.001	0.0003	1.8

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

**, * and ns non-significantly difference and significantly difference at 1 and 5% probability, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثرات تراکم و ژنوتیپ بر برخی صفات وزنی نشاء پیاز در ٦٠ روز پس از کاشت.

Table 5. Comparison of the mean effects of density and genotype on some weight characteristics of onion seedlings at the 60 days after implant.

وزن‌خشک ریشه نشاء (g) Dry weight of the Root of the seedling	وزن‌تر ریشه نشاء (g) fresh weight of the Root of the seedling	وزن‌خشک بخش هوایی نشاء (g) Dry weight of the aerial part of the seedling	وزن‌تر بخش هوایی نشاء (g) Fresh weight of the aerial part of the seedling	تیمار Treatment
				ژنوتیپ × تراکم Genotype × Density
0.0026^{d}	0.040^{b}	0.018^{c}	0.25^{d}	رامهرمزی × ۱ بوته Ramhormzi × 1 plant
0.0035^{c}	0.0250^{d}	0.0117^{d}	0.44^{b}	رامهرمزی × ۲ بوته Ramhormzi × 2 plant
0.0015^{i}	0.016^{g}	0.018^{c}	0.16^{gh}	رامهرمزی × ٦ بوته Ramhormzi × 6 plant
0.0021^{e}	0.015^{h}	0.005^{g}	0.13^{i}	رامهرمزی × ۱۲ بوته Ramhormzi × 12 plant
0.0035^{c}	0.020^{f}	0.0117^{d}	0.21^{e}	پریماورا × ۱ بوته Primavera × 1 plant
0.0038^{b}	0.040^{b}	0.0119^{d}	0.23^{d}	پریماورا × ۲ بوته Primavera × 2 plant
0.0019^{f}	0.016^{g}	0.0101^{f}	0.166^{g}	پریماورا × ٦ بوته Primavera × 6 plant
0.0001^{k}	0.011^{i}	0.0119^{d}	0.28^{c}	پریماورا × ۱۲ بوته Primavera × 12 plant
0.006^{a}	0.070^{a}	0.09^{a}	0.57^{a}	انزا × ۱ بوته Anza × 1 plant
0.0017^{g}	0.015^{h}	0.012^{d}	0.14^{hi}	انزا × ۲ بوته Anza × 2 plant
0.0016^{h}	0.0205^{c}	0.017^{c}	0.28^{c}	انزا × ٦ بوته Anza × 6 plant
0.0015^{i}	0.0208^{e}	0.019^{b}	0.19^{f}	انزا × ۱۲ بوته Anza × 12 plant

ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

The same letters indicate there is no significant difference at $P\leq0.05$

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده ژنوتیپ و تراکم و اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر کلروفیل a، b، کل و کارتنوئیدها در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ٦). مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر کلروفیل a نشان داد رقم انزا در تراکم ۲ بوته در سلول (۱/۲ میلی‌گرم بر گرم) و رقم پریماورا در تراکم ۲ بوته در سلول (۰/۲۲ میلی‌گرم بر گرم) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان

کلروفیل a را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۷). رقم انزا در تراکم ۲ بوته در سلول (۰/٤١ میلی‌گرم بر گرم) و رقم پریماورا در تراکم ۲ بوته در سلول (۰/۰۸ میلی‌گرم بر گرم) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کلروفیل b را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۷). رقم انزا در تراکم ۲ بوته در سلول (۱/٦۳ میلی‌گرم بر گرم) و رقم پریماورا در تراکم ۲ بوته در سلول (۰/۳۰ میلی‌گرم بر گرم) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کلروفیل کل را داشتند (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر کارتنوئید نشان داد رقم انزا در تراکم ۲ بوته در سلول (۰/۰٦٤ میلی‌گرم بر گرم) و ژنوتیپ رامهرمزی در تراکم ٦ بوته در سلول (۰/۰۱۹ میلی‌گرم بر گرم) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کارتنوئید را داشتند (جدول ۷). تراکم کاشت بر میزان کلروفیل نشای پیاز در سیستم هیدروپونیک تأثیر مستقیم داشت. کلروفیل به‌عنوان شاخص اصلی فتوسنتز، تحت‌تأثیر رقابت برای نور و منابع غذایی در برخی ژنوتیپ‌های کاشته شده در تراکم‌های مختلف قرار گرفت. ژنوتیپ‌ها با ساختار ژنتیکی مختلف پاسخ متفاوتی به تراکم کاشت و نور مصنوعی در سیستم هیدروپونیک دادند. اگرچه گیاه‌چه‌ها برای جبران کمبود نور در سایه اندازی بالای برگ‌ها از نور تکمیلی ال‌ای‌دی استفاده گردیدند اما بر غلظت کارتنوئید ژنوتیپ رامهرمزی در تراکم کاشت زیاد اثر مثبتی نداشت. احتمالاً تراکم‌های بوته بالا منجر به کاهش محتوای کلروفیل به‌ویژه در شرایط کمبود نور می‌گردند. هم‌چنین، ممکن است در تراکم کم بوته در این سیستم کشت (۱ تا ۲ بوته در سلول) به دلیل عدم محدودیت غذایی و کمبود فضای رشد، گیاه‌چه‌ها کلروفیل بیش‌تری تولید می‌کنند. یان و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی تأثیر تراکم کاشت بر کلروفیل برگ سبز گیاه در سیستم هیدروپونیک گزارش کردند تراکم کاشت کم بوته بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی اثر مثبتی داشت و در تراکم‌های بالا سایه‌اندازی بین گیاهان، جذب نور را کاهش داد. تنش نوری ممکن است باعث کاهش کلروفیل به‌ویژه کلروفیل a و یا تخریب آن گردد (۳۱).

آسکوربیک اسید: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده ژنوتیپ و تراکم و اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر آسکوربیک اسید در سطح یک درصد معنادار شد (جدول ٦). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در تراکم بر آسکوربیک اسید نشان داد بیش‌ترین میزان آسکوربیک اسید در رقم پریماورا در تراکم ٦ بوته در سلول (۱۵/۹۸ میلی‌گرم بر گرم) و کم‌ترین آن در رقم انزا در تراکم ٦ بوته در سلول (۱۵/۹٤ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده گردید (جدول ۷). تراکم کاشت از طریق تأثیر بر ژنوتیپ‌های مختلف و تغییر محدودیت در دسترسی به نور، مواد مغذی، و ایجاد تنش‌های محیطی، بر محتوای آسکوربیک اسید در نشای پیاز تأثیر می‌گذارد. تراکم بالای ریشه‌ها در سیستم هیدروپونیک با دریافت محدود نور و محلول غذایی، جذب آب و مواد معدنی را مختل کرده و استرس اکسیداتیو را افزایش می‌دهد. در نهایت گیاه‌چه‌ها ممکن است جهت خنثی‌سازی رایکال‌های آزادهای تولید شده در شرایط تنش (تراکم بالا) مکانیسم دفاعی خود را فعال کرده و سنتز آسکوربیک اسید را به‌عنوان آنتی‌اکسیدان تحریک کند. ونکوی و همکاران (۲۰۱٦) یک سیستم هیدروپونیک عمودی با چهار تراکم بوته (۱۲×۱۰، ۱٤×۱۲، ۱٦×۱٤، ۱٦×۱٦ سانتی‌متر) و تأثیر آن بر رشد و عملکرد کاهو را مورد مطالعه قرار دادند. آنان دریافتند که غلظت آسکوربیک اسید در تراکم ۱٦×۱٦ سانتی‌متر نسبت به تراکم ۱۲×۱۰ سانتی‌متر بیش‌تر بود. این ممکن است مربوط به سایه‌اندازی برگ‌های بوته‌ها روی هم باشد که در تراکم‌های بالا میزان دریافت نور برگ‌ها به حداقل می‌رسد (۳۲). هم‌چنین، لوین و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه خود

اثر معنی‌داری سیستم‌های هیدروپونیک با نور کنترل شده LED بر سنتز آسکوربیک اسید را تأیید کردند (۳۳). این پژوهش نشان داد سیستم هیدروپونیک در مقایسه با کشت خاکی شرایط کشت متفاوتی را برای پیاز فراهم کرد. هم‌چنین، این سیستم طی بازه‌ی زمانی که امکان پرورش نشاء پیاز در محیط باز (مزرعه) وجود ندارد با کمک نور تکمیلی می‌توان شرایط رشد مطلوبی را برای آن فراهم آورد. زیرا تولید نشاء پیاز در شرایط طبیعی مستلزم شناخت زمان دقیق جهت کشت بذور هر ژنوتیپ می‌باشد، که لامپ‌های الای‌دی این شرایط را فراهم می‌آورند تا در هر زمانی با استفاده از طول روز مصنوعی و دمای اتاق امکان کار میسر باشد. در این آزمایش گیاهان سالم در تراکم‌های بالاتر تولید گردید. به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که تولید نشاء پیاز در محیط‌های کنترل شده امکان‌پذیر است. ژنوتیپ و تراکم گیاه تأثیر معناداری بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نشاء پیاز دارند. اثر متقابل ژنوتیپ و تراکم بر صفاتی نظیر ارتفاع بخش هوایی، طول ریشه، سطح برگ نشاء، قطر سوخ‌چه نشاء، و وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه معنی‌دار بود. این نتایج با یافته‌های اکثر محققان در این زمینه مطابقت دارد. تراکم زیاد گیاهان سبب گسترش اندام‌های جذب‌کننده غذا (ریشه‌ها) می‌گردد تا گیاهان بتوانند عناصر مورد نیاز خود را جذب کنند. در این رابطه، بیش‌ترین طول ریشه در تیمارهای رامهرمزی در تراکم ۱ بوته در سلول (۶/۵ سانتی‌متر) و انزا در تراکم ۱ بوته در سلول (۶ سانتی‌متر) مشاهده شد. این موضوع ممکن است ناشی از عدم رقابت برای جذب منابع غذایی و تحریک رشد ریشه باشد (۳۴). کم‌ترین طول ریشه در تیمارهای با تراکم بالا (مانند رامهرمزی در تراکم ۱۲ بوته در سلول و پریماورا ۱۲ بوته در سلول) مشاهده گردید که به دلیل رقابت برای جذب مواد توسط ریشه است. در تراکم بالا گیاهان برای رسیدن به نور رشد سریع‌تری پیدا می‌کنند و گاهی این رقابت در تراکم زیاد سبب کاهش کیفیت نشاءها می‌گردد و نشاءها پس از انتقال از بین بروند اما ژنوتیپ‌های مختلف برای سازگار شدن واکنش متفاوتی را در این رابطه نشان می‌دهند. به عنوان نمونه رقم انزا در تراکم ۱ بوته در سلول بالاترین سطح برگ ($16\ cm^2$) را نشان داد که می‌تواند به دلیل پتانسیل ژنتیکی این ژنوتیپ در جذب نور و فتوسنتز کارآمدتر باشد (۳۵)، درحالی‌که پریماورا در تراکم ۱۲ بوته در سلول سطح برگ پایینی ($8/2\ cm^2$) داشت که ممکن است نشان‌دهنده حساسیت این ژنوتیپ به تراکم بالا باشد. بیش‌تر تیمارها دارای قطر سوخ‌چه مشابهی (۰/۲ mm) داشتند، به جز پریماورا در تراکم ۱۲ بوته در سلول (۰/۱ mm) که کاهش معنی‌داری را نشان داد (۳۶). نتایج یک آزمایش که بر اثرات رقم و تراکم نشاء را بر روی اندازه گیاه از نظر ارتفاع، وزن تر بخش هوایی و ریشه نشاء و نسبت بخش هوایی و زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت نشان داد که ارقام مختلف بر روی صفات مورد مطالعه مؤثر بودند جالب است که ارتفاع در آن‌ها تفاوت معنی‌داری نداشت. این آزمایش شباهت زیادی با نتایج آزمایش ما داشت، آن‌ها در این پژوهش که حداکثر ۳ نشاء را در یک سلول تولید کردند ارتفاع در آن‌ها تفاوتی نداشت و ما در یک سلول تا ۱۲ گیاه را پرورش دادیم نیز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. هم‌چنین، این پژوهش نتایجی مشابهی با آزمایش ما از نظر وزن تر بخش هوایی و زیر زمینی و نسبت آن‌ها داشت. هم‌چنین، از نظر تراکم تا حدودی شباهتی با آزمایش ما داشتند. آن‌ها در ادامه پژوهش خود نشان دادند که تراکم یک، دو و سه نشاء پیاز بر رشد و عملکرد پیاز مؤثر بوده و علی‌رغم این‌که عملکرد را افزایش داد اما تعداد سوخ‌های کوچک بیش‌تر از تراکم کم‌تر بودند و زمان

بلوغ را در مزرعه به مدت یک هفته کاهش داد (۳۷). این امر می‌تواند برای استان خوزستان که نیاز به پیش‌رسی زیاد دارد یک امر مناسب باشد. از طرفی، نسبت کلروفیل A به B نشان دهنده نوع واکنش گیاه به تراکم است. بدخشان و همکاران (۲۰۱۸) و نیو و همکاران (۲۰۱۵) پاسخ مورفولوژیکی نشاء اکالیپتوس به تأمین فسفر از طریق سیستم هیدروپونیک را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که سیستم کشت هیدروپونیک به‌طور معنی‌داری بر ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن و سطح برگ تأثیر گذاشت. به‌طوری‌که، این سیستم کشت منجر به افزایش قابل‌توجه جذب مواد غذایی توسط گیاه‌چه، بهبود کیفیت و رشد ریشه و اندام هوایی نشاء گردید (۳۸) و (۳۹). هم‌چنین مطالعات یان و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد پرورش نشاء کاهو در سیستم کشت بدون خاک و تحت نور ال‌ای‌دی اثر مثبتی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و آسکوربیک اسید آن داشت. ممکن است این امر به‌دلیل دسترسی راحت‌تر بوته‌ها به منابع آبی، نوری و تغذیه‌ای در سیستم هیدروپونیک باشد. از طرفی، آسکوربیک اسید به عنوان یک آنتی‌اکسیدان کلیدی، اغلب در پاسخ به تنش‌های نوری یا تغذیه‌ای افزایش می‌یابد. اما رقابت شدید ناشی از تراکم بالا ممکن است سنتز آن را محدود کند (٤٠). نتایج روما‌نا و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی ویژگی‌های نشاءهای گوجه‌فرنگی، بادمجان و فلفل در رابطه با تراکم متفاوت بوته (بین ۹٤ تا ۱۱۲۵ بوته در مترمربع) و حجم سلول‌های ظرف در سیستم هیدروپونیک در یک گلخانه نشان داد که هم حجم سلول و هم تراکم گیاه بر رشد نشاءهای هر سه گیاه رشد یافته در این سیستم اثر معنی‌داری داشت. تراکم بوته پایین می‌تواند صفاتی مانند وزن، قطر و سطح برگ نشاءهای گیاهان ذکر شده را به‌طور قابل‌توجهی بهبود بخشد. به نظر می‌رسد دلیل این امر می‌تواند افزایش میزان غذاسازی تک‌بوته‌ها همراه با افزایش سطح برگ به سبب دسترسی آسان نشاءها به منابع تغذیه‌ای در تراکم‌های کم باشد (٤١).

جدول ٦- تجزیه واریانس اثرات تراکم و ژنوتیپ بر برخی صفات بیوشیمیایی پیاز در مرحله تولید نشاء در ٦٠ روز پس از کاشت.

Table 6. Variance analysis of the effects of density and genotype on some biochemical traits of onion in the seedlings at the 60 days after implant.

منابع تغییرات Change references	درجه آزادی Openness degree	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کارتنوئید Carotenoid	آسکوربیک اسید Ascorbic acid
ژنوتیپ Genotype	2	0.29**	0.02**	0.48**	0.002**	0**
تراکم Density	3	0.16**	0.01**	0.25**	0.001**	1.9**
ژنوتیپ × تراکم Genotype × Density	6	0.30**	0.04**	0.57**	0**	0.001**
خطا Error	22	4.3	3.03	4.49	3.09	2.49
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variance (%)		1.09	2.5	0.81	0.07	0.009

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

**, * and ns non-significantly difference and significantly difference at 1 and 5% probability, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های اثرات تراکم و ژنوتیپ بر برخی صفات بیوشیمیایی نشاء پیاز در ٦٠ روز پس از کاشت.

Table 7. Comparison of the mean effects of density and variety on some biochemical traits of onion seedlings at the 60 days after implant.

آسکوربیک اسید Ascorbic acid ($mg/100g^{-1}$)	کارتنوئید Carotenoid (mg/g)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg/g)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g)	تیمار Treatment
					ژنوتیپ × تراکم Genotype × Density
15.972^{d}	0.029^{d}	0.59^{i}	0.17^{g}	0.42^{h}	رامهرمزی × ۱ بوته Ramhormzi × 1 plant
15.9787^{b}	0.031^{d}	0.69^{h}	0.189^{f}	0.50^{g}	رامهرمزی × ۲ بوته Ramhormzi × 2 plant
15.977^{c}	0.019^{e}	0.51^{j}	0.14^{h}	0.36^{i}	رامهرمزی × ٦ بوته Ramhormzi × 6 plant
15.966^{g}	0.022^{de}	0.74^{g}	0.186^{f}	0.55^{f}	رامهرمزی × ۱۲ بوته Ramhormzi × 12 plant
15.967^{f}	0.050^{bc}	0.43^{k}	0.13^{i}	0.30^{j}	پریماورا × ۱ بوته Primavera × 1 plant
15.963^{h}	0.056^{ab}	0.30^{l}	0.08^{j}	0.22^{k}	پریماورا × ۲ بوته Primavera × 2 plant
15.98^{a}	0.049^{bc}	1.08^{c}	0.29^{c}	0.78^{c}	پریماورا × ٦ بوته Primavera × 6 plant
15.962^{i}	0.045^{c}	1.39^{b}	0.38^{b}	1^{b}	پریماورا × ۱۲ بوته Primavera × 12 plant
15.97^{e}	0.045^{c}	0.80^{e}	0.24^{d}	0.56^{f}	انزا × ۱ بوته Anza × 1 plant
15.95^{j}	0.064^{a}	1.63^{a}	0.41^{a}	1.2^{a}	انزا × ۲ بوته Anza × 2 plant
15.94^{k}	0.03^{c}	0.76^{f}	0.173^{g}	0.58^{e}	انزا × ٦ بوته Anza × 6 plant
15.9786^{b}	0.032^{d}	0.88^{d}	0.21^{e}	0.66^{d}	انزا × ۱۲ بوته Anza × 12 plant

ستون‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

The same letters indicate there is no significant difference at $P\leq0.05$

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان می‌دهد که چگونه تراکم کاشت می‌تواند بر پارامترهای رشد نشاء پیاز و رقابت گیاهان برای دسترسی به منابع نوری، تغذیه‌ای و فضای ریشه هم‌چنین، عملکرد و کیفیت محصول رشد یافته تحت سیستم هیدروپونیک تأثیر بگذارد. تراکم‌های کم‌تر (۲-۱ بوته در سلول) افزایش ارتفاع بخش هوایی، طول ریشه، قطر سوخ‌چه نشاء و رنگیزه‌های فتوسنتزی، سطح برگ نشاء، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه نشاء را به همراه داشت. ارقام پریماورا و انزا در اکثر تراکم‌ها واکنش بهتری نسبت به توده رامهرمزی داشتند. این برتری در کل صفات مورد بررسی نظیر ارتفاع بخش هوایی، طول ریشه، قطر سوخ‌چه نشاء، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه

نشاء، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و آسکوربیک اسید مشاهده گردید. تفاوت در پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها به تراکم احتمالاً ناشی از پتانسیل ژنتیکی متفاوت آن‌ها در سازگاری با شرایط تراکم است. باتوجه به نتایج این پژوهش تولیدکنندگان می‌توانند با انتخاب تراکم مناسب و ژنوتیپ سازگار، کیفیت نشاءهای تولیدی را افزایش دهند.

منابع

1. Zhao, X. X., Lin, F. J., Li, H. Li, H. B., Wu, D. T., Geng, F., & Gan, R. Y. (2021). Recent advances in bioactive compounds, health functions, and safety concerns of onion (*Allium cepa* L.). *Frontiers in Nutrition*, 8, 669805.
2. Foukaraa, M., Najjari, A., & Mars, M. (2003). Effect of temperature on bulb dormancy release and sprouting in onion (*Allium cepa* L.). *Scientia Horticulturae*, 100(1-4), 13-23.
3. Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Di Gioia, F., Pannico, A., & Colla, G. (2022). Vegetable seedlings production: from traditional propagation techniques to innovative systems. *Frontiers in Plant Science*, 13, 844406.
4. Brewster, J. (2008). *Onions and Other Vegetable Alliums*. CABI. 413. ISBN: 978-1-84593-399-9.
5. Hassanzadeh Khankadani, H., Khodadadi, M., & Shahriari, A. (2019). *First edition, Guide to Edible Onions*. Agricultural Education Publication, 216 p. [In Persian]
6. Gallegos-Cedillo, V. M., Nájera, C., Signore, A., Ochoa, J., Gallegos, J., Egea-Gilabert, C., & Fernández, J. A. (2024). Analysis of global research on vegetable seedlings and transplants and their impacts on product quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(9), 4950-4965.
7. Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Di Gioia, F., Pannico, A., & Colla, G. (2022). Vegetable seedlings production: from traditional propagation techniques to innovative systems. *Frontiers in Plant Science*, 13, 844406.
8. Gao, S., Liu, X., Liu, Y., Cao, B., Chen, Z., & Xu, K. (2021). Response of growth, photosynthetic electron transfer, and chloroplast ultrastructure to different LED light combination in green onion (*Allium fistulosum* L.). *Physiologia Plantarum*, 172(3), 1662-1672.
9. Hassan, S. A., Maharik, Z. Y., Mohammed, M. H., Sadek, I. I., & Heggi, M. A. M. (2024). Assessing the response of green onion to nitrogen rate and plant density on yield and quality. *Agriculture Extension in Developing Countries*, 2(1), 33-40.
10. Kasim, R., & Kasim, M. U. (2014). Biochemical and colour changes of fresh-cut treated with UV-C. *Journal of the Science of Food and Technology*, 34, 547-551.
11. Renna, M., Di Gioia, F., Leoni, B., Mininni, C., & Santamaria, P. (2017). Culinary assessment of self-produced microgreens as basic ingredients in sweet and savory dishes. *Journal of the Science of Culin and Technology*. 15, 126-142.
12. Oktapodas Feiler, M., Kulick, E., Holtz, S., Sinclair, K., & Given Castello, O. (2022). *Heavy Metals and Pediatric Immunosuppression Scoping Review Search Strategy*.
13. Silipour, M. (2019). *A guide to the preparation and use of nutrient solutions for growing greenhouse vegetables in the hydroponic cultivation system*. First edition, Soil and Water Research Institute, 75 p. [In Persian]
14. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Metzger, J. D., & Lucht, C. (2003). Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*, 47(5-6), 731-744

15.Spadaro, D., & Gullino, M. L. (2005). Improving the efficacy of biocontrol agents against soilborne pathogens. *Crop Protection*, 24(7), 601-613.
16.Akshay, K., Janga, K. K., Kumar, S., Choudhary, M., Bhatt, B. P., & Patra, S. S. (2021). Influence of planting density on growth, bulb yield, and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Biological Forum*, 13(2), 329-335.
17.Ahmad, S., Hussain, S., Akbar, F., Kousar, R., Hussain, Z., Ahmad, N., & Fahad, S. (2020). Onion (*Allium cepa* L.) germination, growth, and yield influenced by different plant spacing under arid climate. *Agronomy*, 10(9), 1297.
18.Wassie, W. A., Assegahegn, G. F., Tsegaye, B. A., & Mekonnen, A. B. (2022). Evaluation of Intrarow Spacing on Growth and Yield Performance of Four Onion (*Allium cepa* L.) Varieties in Beyeda District, North Gondar, Ethiopia. *Advances in Agriculture*, 2022(1), 9408607.
19.Lochab, S., & Yadav, C. N. (2022). LED lighting for urban agriculture: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(17), 24932-24951.
20.Kasim, R., & Kasim, M. U. (2014). Biochemical and colour changes of fresh-cut treated with UV-C. *Journal of the Science of Food and Technology*, 34, 547-551.
21.Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Circular. *California agricultural experiment station*, 347 (2nd edit).
22.Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
23.Bor, J. Y., Chen, H. Y., & Yen, G. C. (2006). Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (5), 1680-1686.
24.LL Ntsoane, M. E., Manhivi, V., Shoko, T., Seke, F. M., Maboko, M., & Sivakumar, D. (2023). The phytonutrient content and yield of Brassica microgreens grown in soilless media with different seed densities. *Horticulturae*, 9(11), 1218.
25.Antony Samy, E. R. (2023). *Assessing the effect of planting density on romaine lettuce growth and quality in a controlled hydroponic environment*. A thesis submitted to McGill University in partial fulfillment of the requirements of the degree of Master of Science, 110.
26.Badakhshan, F., Sedighi Dehkordi, M., & Seyyed Mohammad H. (2018). The effect of planting density and cultivar on morphological characteristics, yield and quality traits of basil (*Ocimum basilicum L.*) in hydroponic cultivation. *Horticultural Sciences*, 32(2), 263-272.
27.Jones, J. B. (2016). Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower. 2nd ed, 29-61. Boca Raton, FL, USA: *CRC Press*.
28.Brewster, J. (2008). *Onions and Other Vegetable Alliums*. CABI. 413. ISBN: 978-1-84593-399-9.
29.Resh, H. M. (2022). *Hydroponic food production*: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. CRC press.
30.Li YuXiang, L. Y., He ZhiZhou, H. Z., Ding YanFeng, D. Y., Wang ShaoHua, W. S., Liu ZhengHui, L. Z., Tang She, T. S., & Li GangHua, L. G. (2018). Effects of sowing densities on quality and yield formation of hydroponically grown long-mat rice seedlings under mechanical transplanting. *Chinese Journal of Rice Science*. 32 (3), 247-256 ref 36.
31.Yan, Z., He, D., Niu, G., & Zhai, H. (2019). Evaluation of growth and quality of hydroponic lettuce at harvest as affected by the light intensity, photoperiod and light quality at seedling stage. *Scientia Horticulturae*, 248, 138-144.
32.Van Quy, N., Sinsiri, W., Chitchamnong, S., Boontiang, K., & Kaewduangta, W. (2016). Effect of plant densities and supporting materials of the vertical

hydroponic system on the growth and yields of lettuce. *Khon Kaen Agricuture Journal*, 44, 723-730.

33. Levine, L. H., & Paré, P. W. (2009). Antioxidant capacity reduced in scallions grown under elevated CO_2 independent of assayed light intensity. *Advances in Space Research*, 44(8), 887-894.
34. Drew, M.C., Saker, L. R., & Ashley, T. W. (1973). Nutrient supply and the Growth of the seminal root system in barley. I. The effect of Nitrate concentration on the growth of axes and laterals. *Journal of Expmental Botany*, 24, 1189-1202.
35. Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora. 345p.
36. Brewster, J. (2008). *Onions and Other Vegetable Alliums*. CABI. 413. ISBN: 978-1-84593-399-9.
37. Van Quy, N., Sinsiri, W., Chitchamnong, S., Boontiang, K., & Kaewduangta, W. (2016). Effect of plant densities and supporting materials of the vertical hydroponic system on the growth and yields of lettuce. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 44, 723-730.
38. Badakhshan, F., Sedighi Dehkordi, M., & Seyyed Mohammad H. (2018). The effect of planting density and cultivar on morphological characteristics, yield and quality traits of basil *(Ocimum basilicum* L.) in hydroponic cultivation. *Horticultural Sciences*, 32(2), 263-272.
39. Niu, F., Zhang, D., Li, Z., Van Iersel, M. W., & Alem, P. (2015). Morphological response of eucalypts seedlings to phosphorus supply through hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 194, 295-303.
40. Yan, Z., He, D., Niu, G., & Zhai, H. (2019). Evaluation of growth and quality of hydroponic lettuce at harvest as affected by the light intensity, photoperiod and light quality at seedling stage. *Scientia horticulturae*, 248, 138-144.
41. Romano, D., Paratore, A., & Rosi, A. L. (2002). Plant density and container cell volume on solanaceous seedling growth. In *VI International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate: Product and Process Innovation*, 614, 247-253.