

Evaluation of the combined use of auxin and nutrients for root stimulation in stem cuttings of *Ligustrum lucidum*

Seyyede Majideh Mohammad Nejad Ganji¹, Hossein Zarei^{*2},
Mostafa Khoshhal Sarmast³, Vahid Akbarpour^{*4}

1. Ph.D. Student in Horticulture and Landscape, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: majidehganji@yahoo.com
2. Corresponding Author, Dept. of Horticulture and Landscape, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: h.zarei@gau.ac.ir
3. Dept. of Horticulture and Landscape, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: khoshhal.sarmast@gmail.com
4. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: v-akbarpour60@yahoo.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 01.09.2023

Revised: 04.19.2023

Accepted: 06.05.2023

Keywords:

Cuttings,
Hard rooting,
Indole butyric acid,
Ligustrum lucidum,
Peroxidase enzyme

ABSTRACT

Background and Objectives: Urban green spaces have natural ecological value and provide entertainment and many physical and mental benefits for citizens. In the science of ornamental horticulture and green spaces, the aesthetic aspects of plants as well as their role in controlling adverse environmental conditions such as air pollution, strong winds, strong sunlight, snow and rain, and floods are considered. The *Ligustrum lucidum* plant is considered an excellent landscaping plant in most areas due to its resistance to pests, air pollution and wind. In addition, it grows quickly in poor soils and provides good shade. The hard rooting of this plant and the long rooting process led to the design and implementation of this research. The aim of this study was to investigate the effect of indole butyric acid hormone and nutritional elements iron, zinc and boron on the rooting of *Ligustrum lucidum* cuttings.

Materials and Methods: A factorial research was conducted based on a completely randomized design with two factors and three replications. The first factor includes different concentrations of indole butyric acid hormone (0, 50, 100, 150 parts per million) by spraying on leaves and the second factor includes three iron nutrients with concentrations (0, 4, 8, 16 parts per million), zinc with concentration of (0, 0.27, 0.54, 1.08 parts per million) and boron with concentration of (0, 0.13, 0.26, 0.54 parts per million) as irrigated fertilizer.

Results: The results showed that the highest rooting percentage and the highest number of buds and leaves were observed in the 50 ppm indole butyric acid treatment. The longest root length was affected by the treatment of indole butyric acid 100 ppm and the highest number of roots was seen in the interaction of indole butyric acid 50 ppm and boron 0.26 ppm and zinc 0.27 ppm. The concentration of 50 and 100 ppm indole butyric acid, zinc 1.08 ppm and the combined effect of indole butyric acid 50 ppm with boron 0.26 ppm also caused a significant decrease in the amount of total phenol. Also, among the treatments, the lowest amount of peroxidase enzyme activity was related to the use of indole butyric acid 50 and 100 ppm along with iron 4 ppm. Also, among the treatments, the lowest amount of peroxidase enzyme activity was related to the use of indole butyric acid 50 and 100 ppm and iron 4 ppm.

Conclusion: The results of the present study clearly show that the spraying treatment of indole butyric acid and its combination with some nutritional elements can improve and accelerate the rooting process of *Ligustrum lucidum* cuttings, and their use in commercial nurseries can be recommended for propagation through stem cuttings.

Cite this article: Mohammad Nejad Ganji, Seyyede Majideh, Zarei, Hossein, Khoshhal Sarmast, Mostafa, Akbarpour, Vahid. 2024. Evaluation of the combined use of auxin and nutrients for root stimulation in stem cuttings of *Ligustrum lucidum*. *Journal of Plant Production Research*, 31 (2), 1-22.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2023.20769.2980

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی کاربرد توأم اکسین و عناصر غذایی جهت انگیزش تولید ریشه در قلمه برگ نو ژاپنی (*Ligustrum lucidum* L.)

سیده مجیده محمدنژاد گنجی^۱، حسین زارعی^{۲*}، مصطفی خوشحال سرمست^۳، وحید اکبرپور^{۴*}

۱. دانشجوی دکتری علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
رایانامه: majidehganji@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
رایانامه: h.zarei@gau.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
رایانامه: khoshhal.sarmast@gmail.com

۴. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
رایانامه: v-akbarpour60@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: مهم‌ترین اثر فضای سبز در شهرها کارکردهای زیست‌محیطی آن‌ها است که با ایجاد تعادل در متابولیسم شهر از یک سو و بالا بردن سطح زیبایی از سوی دیگر سبب افزایش کیفیت زیستی شهرها می‌شود. در بین گیاهان کشت شده در فضای باز، گیاه برگ نو ژاپنی در اکثر مناطق به دلیل تحمل آفات، آلودگی هوا و باد به عنوان یک گیاه به منظور محوطه‌سازی عالی محسوب می‌شود. علاوه بر این در خاک‌های فقیر نیز سریع رشد می‌کند و سایه خوبی را فراهم می‌کند. سخت‌ریشه‌زا بودن این گیاه و طولانی بودن فرآیند ریشه‌دهی منجر به طراحی و اجرای این پژوهش گردید. هدف آزمایش بررسی تأثیر تنظیم‌کننده رشد اسید ایندول بوتیریک و عناصر غذایی آهن، روی و بُر بر ریشه‌زایی قلمه گیاه برگ نو ژاپنی (ابلق) بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۵	
واژه‌های کلیدی: آنزیم پراکسیداز، اسید ایندول بوتیریک، برگ نو ژاپنی، سخت ریشه‌زا، قلمه ساقه	مواد و روش‌ها: این پژوهشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو عامل (در سه تکرار) اجرا شد. عامل اول شامل غلظت‌های مختلف ایندول بوتیریک اسید (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ قسمت در میلیون) با روش پاشش روی برگ (طی سه مرحله) و عامل دوم شامل سه عنصر غذایی آهن با غلظت (۰، ۴، ۸، ۱۶ قسمت در میلیون)، روی با غلظت (۰، ۲۷، ۵۴، ۱۰۸ قسمت در میلیون) و بُر با غلظت (۰، ۱۳، ۲۶، ۵۴ قسمت در میلیون) به شیوه کود آبیاری (طی پنج مرحله) در بستری با نسبت مساوی کوکویت و پرلیت بود. آزمایش با تعداد کل ۴۸ تیمار و ۱۰ قلمه در هر تکرار انجام پذیرفت. صفات مورد ارزیابی شامل درصد

ریشه‌زایی، تعداد و طول ریشه، تعداد جوانه و برگ، فنل کل، نشاسته و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تیمارهای اعمال شده، تغییرات چشمگیری در فرآیند ریشه‌زایی ایجاد کردند. بالاترین درصد ریشه‌زایی با میزان تقریبی ۹۰ درصد به‌طور معنی‌داری نسبت به دیگر تیمارها در غلظت ۵۰ قسمت در میلیون اسید ایندول بوتیریک مشاهده شد. بیش‌ترین تعداد جوانه و برگ نیز در تیمار اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون رویت گردید. هم‌چنین طول‌ترین ریشه تحت‌تأثیر تیمار اسید ایندول بوتیریک ۱۰۰ قسمت در میلیون قرار گرفت و بیش‌ترین تعداد ریشه در اثر متقابل اسید ایندول بوتیریک ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و بُر ۰/۲۶ قسمت در میلیون روی ۰/۲۷ قسمت در میلیون دیده شد. استفاده از غلظت ۵۰ و ۱۰۰ قسمت در میلیون اسید ایندول بوتیریک و روی ۱/۰۸ قسمت در میلیون نیز سبب کاهش قابل‌توجه میزان فنل کل گردید و بالاترین مقدار آن در تیمار شاهد و اثر متقابل اسید ایندول بوتیریک ۱۵۰ قسمت در میلیون با عنصر آهن ۱۶ قسمت در میلیون (۰/۱۷۴) و اسید ایندول بوتیریک ۱۰۰ قسمت در میلیون با عنصر بُر ۰/۲۶ قسمت در میلیون (۰/۱۶۹) بود. هم‌چنین در بین تیمارها کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمارهای اسید ایندول بوتیریک ۵۰ و ۱۰۰ قسمت در میلیون و آهن ۴ قسمت در میلیون مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: در بهره‌گیری از تنظیم‌کننده رشد اسید ایندول بوتیریک و عناصر غذایی در برگ نو ژاپنی، بالاترین میزان درصد ریشه‌زایی، تعداد ریشه، طول ریشه و تعداد جوانه و برگ در تیمار اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون مشاهده شد. هم‌چنین حداقل فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به تیمار اثر ساده اسید ایندول بوتیریک ۵۰ و ۱۰۰ قسمت در میلیون و آهن ۴ قسمت در میلیون بود. نتایج پژوهش حاضر به وضوح نشان می‌دهد که غلظت‌های پائین تیمار اسید ایندول بوتیریک و ترکیب توأم آن با غلظت‌های کم‌تر برخی عناصر غذایی قادر به بهبود و تسریع فرآیند ریشه‌زایی قلمه‌های برگ نو ژاپنی است و کاربرد آن‌ها در نهالستان‌های تجاری برای افزونش تولید نهال توسط قلمه قابل توصیه است.

استناد: محمدنژاد گنجی، سیده مجیده، زارعی، حسین، خوشحال سرمست، مصطفی، اکبرپور، وحید (۱۴۰۳). ارزیابی کاربرد توأم اکسین و عناصر غذایی جهت انگیزش تولید ریشه در قلمه برگ نو ژاپنی (*Ligustrum lucidum* L.). نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۱ (۲)، ۲۲-۱.

DOI: 10.22069/JOPP.2023.20769.2980



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

گسترش سریع شهرها، پیشرفت تکنولوژی و گرایش به سوی زندگی ماشینی، موجب آلودگی، تخریب محیط زیست و پوشش گیاهی شهرها و حومه آنها (زمین‌های کشاورزی، باغ‌ها) و از بین رفتن تعادل اکولوژیکی محیط شده است. از طرفی، با افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، انسان‌ها به تدریج از طبیعت دور شده و تراکم بیش از حد جمعیت و دخالت در محیط طبیعی و ایجاد محیط‌های انسان‌ساخت، نیازهای زیست‌محیطی جسمی و روحی انسان را بیش‌تر آشکار کرده است. برای رفع این نیاز، انسان شهرنشین اقدام به ایجاد باغ و فضای سبز مصنوعی در داخل شهرها کرده است. فضاهای باز و سبز شهری نه تنها به دلیل اهمیت تفریحی‌شان مورد توجه‌اند، بلکه به دلیل نقشی که در حفظ و تعادل محیط زیست شهری و تعدیل آلودگی هوا و پرورش روحی و جسمی ساکنان شهر ایجاد می‌کنند ارزشمند هستند (۱). توسعه فضای سبز شهری موجب تولید اکسیژن، تعدیل دمای محیط، جذب آلودگی‌ها، تثبیت خاک مخصوصاً در سطوح شیب‌دار، افزایش رطوبت، زیباسازی محیطی، کنترل آلودگی صوتی و بصری و غیره می‌گردد، فضای مناسبی را برای تعاملات اجتماعی مهیا ساخته و باعث بالارفتن کیفیت محیط زیست شهری شده و امکان گذراندن اوقات فراغت در محیط سبز را برای شهروندان فراهم می‌سازد (۲). پارک‌ها و فضاهای سبز شهری قادرند فرصت‌های تفریحی با ارزش را برای کسانی که در شهر زندگی می‌کنند فراهم نموده و با عملکردهای زیست‌محیطی، روانی، اجتماعی و تأثیرگذار در ساخت کالبدی شهر بیش از هر عامل دیگری باعث نزدیکی انسان و طبیعت با یکدیگر باشند از این‌رو فضاهای سبزعمومی، هم از دیدگاه تامین نیازهای زیست‌محیطی شهرنشینان و هم از نظر تامین فضای فراغتی و بستر ارتباط و تعامل اجتماعی آنان جایگاهی درخور اهمیت یافته‌اند (۳).

برگ نو ژاپنی (*Ligustrum lucidum* L.) متعلق به خانواده *Oleaceae* است که برخی از نویسندگان این گونه را به عنوان یک درختچه بزرگ یا درخت کوچک همیشه سبز توصیف می‌کنند. برگ‌های معمولاً بیضی شکل، بدون کرک روبروی یکدیگر دارد که نوک برگ‌ها به تدریج تا یک نقطه مخروطی می‌شوند. گل‌ها معطر، سفید و هرمافرودیت هستند و توسط حشرات گرده‌افشانی می‌شوند. این گیاه به‌طور گسترده برای پرچین، سایه، سرپناه و احتمالاً باغ کاشته می‌شود، زیرا درختی جذاب، دارای سایه خوب و سریع‌الرشد است و گل‌های معطر تولید می‌کند (۴). با توجه به توانایی رشد این گیاه در محیط‌های آلوده، مطالعه‌ای در شهرهای مدیترانه‌ای نشان داد که برگ نو ژاپنی می‌تواند برای حذف آلاینده‌های گرد و غبار در محیط‌های شهری مفید باشد. بنابراین افزودن این گیاه می‌تواند بسیار سودمند باشد. پژوهش درباره روش‌های افزودن گونه‌های مهم به ویژه از طریق قلمه، که صفات ژنی پایه‌های مادری را به‌طور کامل انتقال می‌دهد، از گام‌های اساسی برای حفاظت و توسعه این گیاهان است. استفاده از قلمه‌های سخت، نیمه سخت و نرم، تهیه قلمه در زمان مناسبی از دوره رشد سالانه گیاه مادری، مناسب بودن دما و رطوبت محیط ریشه‌زایی قلمه، استفاده از بستر کاشت مطلوب، انجام برخی تیمارها پیش یا پس از تهیه قلمه، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و یافتن غلظت بهینه این مواد، از عوامل مهمی هستند که برای افزایش ریشه‌زایی قلمه باید به دقت لحاظ شوند (۵).

تقسیم اولین سلول‌های آغازنده ریشه به وجود اکسین درونی و یا اکسینی که به صورت خارجی به‌کار برده می‌شود بستگی دارد. مؤثر بودن کاربرد خارجی اکسین در تشویق ریشه‌دهی قلمه‌های ساقه بر انتقال کافی آن از محل کاربرد به محل آغازش ریشه نابجا بستگی دارد. بیش‌ترین موفقیت در ریشه‌زایی قلمه گیاهان درختی و درختچه‌ای از تیمار با

وجود دارد. بُر در فرآیندهای اکسیدکننده نقش داشته و به احتمال با جابجایی اسید سیتریک و اسید ایزوسیتریک به بافت‌های در حال ریشه‌زایی، فرآیند ریشه‌زایی را افزایش می‌دهد. در بررسی نمو ریشه، بُر برای تقسیم سلولی پارانشیم‌های شعاعی سلولی در تمایززدایی لازم است. این پژوهش بر روی گیاه ماش که توسط خوشخوی نشان داد که فقدان عنصر بُر، روی ریشه‌زایی با تنظیم اکسین درون‌زا با افزودن به فعالیت IAA-اکسیداز اثر می‌گذارد. هم‌چنین بر طبق منابع، عنصر بُر با اثرات غیرمستقیم منجر به افزایش وزن تر و خشک ریشه و قطر ریشه می‌گردد (۱۰).

در پژوهشی به منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی روی و بُر بر رشد، عملکرد، تولید بذر و ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه *S. khuzistanica*، اعلام نمودند که محلول‌پاشی بُر منجر به افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک بوته، وزن خشک ساقه، عملکرد دانه، جوانه‌زنی بذر و وزن هزاردانه شد. به‌طورکلی استفاده از چند عنصر ریز مانند B و Zn می‌تواند باعث بهبود کمیت و کیفیت گیاه *S. kuzistanica* گردد (۱۱). در بررسی اثر غلظت‌های مختلف آهن و بُر بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه بومادران اعلام شده که آهن ۲۰ میکرومولار و بُر ۷۵ میکرومولار و برهمکنش آن‌ها موجب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید نسبت به نمونه‌های شاهد گردید (۱۲).

با وجود این‌که پیش از این نقش اساسی اسید ایندول بوتیریک در فرآیند ریشه‌زایی به اثبات رسیده اما، در بررسی منابع مختلف شیوه مرسوم و معمول غوطه‌وری سریع قلمه‌ها در محلول مذکور مورد آزمایش قرار گرفته است. بنابراین در این پژوهش به ارزیابی شیوه نوینی از بهره‌وری این تنظیم‌کننده رشد (محلول‌پاشی روی برگ) پرداخته شد تا در مقایسه با روش سنتی، کاهش هزینه‌ها و آسانی روش افزونش را در پی داشته باشد. هم‌چنین تلفیق این ماده به همراه

تنظیم‌کننده اکسینی اسید ایندول بوتیریک (IBA) به‌دست آمده است که هم برای قلمه‌های چوب سخت و هم چوب نرم، مورد آزمایش قرار گرفته است (۶). در پژوهشی، اثر پنج غلظت ۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ گرم در لیتر نمک پتاسیم-اسید ایندول بوتیریک به روش فروبری سریع بر ریشه‌زایی انواع قلمه ساقه درخت نارون (*Ulmus parvifolia Jacq.*) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ریشه‌زایی در غلظت‌های ۱۵۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ قسمت در میلیون برای قلمه‌های چوب سبز، نیمه خشبی و خشبی به ترتیب ۸۷، ۹۷ و ۸ درصد می‌باشد (۵). در پژوهشی که به منظور ریشه‌زایی قلمه‌های چوبی پایه هلوی نماگارد انجام داد، اثر غلظت‌های مختلف IBA و محیط‌های مختلف کشت بررسی شد. غلظت ۶۰۰۰ قسمت در میلیون از IBA در مقایسه با غلظت‌های ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ قسمت در میلیون درصد ریشه‌زایی بیش‌تری نشان داد (۷). با بررسی دو شیوه متفاوت کاربرد اکسین بر ریشه‌زایی قلمه‌های گیاه دارایی بیان شد که در روش اول، اسید ایندول بوتیریک و اسید نفتالین استیک با غلظت‌های (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ قسمت در میلیون) بر درختچه‌های مادری ۲۴ ساعت قبل از برداشت قلمه مورد پاشش قرار گرفتند و در روش دوم، پاشش قلمه‌های برگ‌دار بعد از استقرار در بستر کشت صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که روش دوم در اکثر صفات بهتر از روش اول در دو بازه زمانی تعریف شده بود (۸).

در بین عناصر معدنی که بر روی فیزیولوژی گیاه نقش دارند، دو عنصر کم‌مصرف بُر و روی به دلیل ارتباط با سنتز هورمون‌های درونی گیاه اهمیت ویژه‌ای دارند. از جمله اعمال فیزیولوژیک بُر در گیاهان می‌توان به انتقال قند، ساخت دیواره سلولی، متابولیسم قندها، متابولیسم ایندول استیک اسید و عمل غشا اشاره نمود (۹). واکنش شدیدی میان اکسین و بُر

انجام این بخش صرف نظر گردید و تنها تأثیرات ساده اکسین، عناصر غذایی و اثر متقابل اکسین و عناصر مدنظر قرار گرفت. آزمایش با ۴۸ تیمار و در ۳ تکرار (هر تکرار ۱۰ قلمه) انجام پذیرفت. غلظت صفر در تیمارها به عنوان شاهد مدنظر قرار گرفت. فاکتورهای اندازه گیری شده شامل درصد ریشه زایی، تعداد و طول ریشه، تعداد جوانه و برگ، محتوی فنل کل، نشاسته و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بود که در آزمایشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ساری انجام شد. جهت تعیین درصد ریشه زنی قلمه های هر تیمار، مجموعه قلمه های ریشه دار هر تیمار (سه تکرار) را شمرده و تقسیم بر تعداد کل قلمه های هر سه تکرار کرده و بر این اساس درصد ریشه زایی هر تیمار مورد سنجش واقع شد. جهت سنجش طول ریشه، پس از ریشه زایی قلمه ها، تعداد ریشه ها و طول آن ها با خط کش به دقت اندازه گیری شد. تعداد جوانه و برگ در طی دوره تعیین شده آزمایش و تعداد ریشه پس از پایان دوره و خروج قلمه از بستر شمارش گردید.

تعیین مقادیر فنل کل: برای سنجش فنل کل، به میزان ۲۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی، ۱/۱۶ میکرولیتر آب مقطر، ۱۰۰ میکرولیتر فولین و ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ترکیب شده و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۴۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد. بعد از این مرحله در دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۷۶۰ نانومتر مورد سنجش واقع شدند. داده ها بر اساس معادل میلی گرم گالیک اسید بر گرم عصاره بیان گردیدند (۱۳).

تعیین مقادیر نشاسته: ۰/۱ گرم از ماده خشک گیاهی (برگ) با ۱۰ میلی لیتر اتانول ۷۰ درصد ترکیب و به مدت یک هفته در یخچال به جهت آزادسازی قند نگهداری شد. سپس ۰/۵ میلی لیتر از محلول رویی، با آب مقطر به حجم ۲ میلی لیتر رسانده شد. پس از آن، ۱ میلی لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه گردید. در نهایت محلول فوق در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت گردید (۱۴).

ترکیبات مختلف عناصر غذایی و رابطه آن ها در فرآیند مهم ریشه زایی مورد بررسی قرار گرفت تا تأثیرات آن در کمیت و کیفیت و سرعت ریشه های تولید شده، مورد سنجش قرار گیرد.

مواد و روش ها

قلمه های ساقه برگ نو ژاپنی (نوع سبز و ابلق) که همیشه سبز هستند از سرشاخه های غیرگل دار در اواخر زمستان و از درختچه های با نشاط و سالم برگ نوی داخل نهالستان سازمان پارک ها و فضای سبز شهر بابل برداشت شدند. از آن جا که قلمه ها برگ دار بودند، باید در شرایطی نگهداری می شدند که میزان از دست رفتن آب از سطح سبز برگ، کمینه باشد. بنابراین قلمه ها تحت سیستم مه افشان قرار گرفتند. قبل از تهیه قلمه ها، با توجه به تعداد تیمارها و تکرارها، تفکیک و بخش بندی بستر کاشت (به نسبت مساوی پرلیت و کوکوپیت) صورت پذیرفت. هم چنین بستر با محلول قارچ کش جهت پیشگیری از بروز هر گونه بیماری کاملاً آغشته شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو عامل انجام شد. تیمار اول شامل اسید ایندول بوتیریک با چهار سطح ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر با روش محلول پاشی بر روی برگ (هر ۱۵ روز یک بار) و تیمار دوم شامل سه عنصر غذایی آهن با استفاده از سولفات آهن (با غلظت ۰، ۴، ۸، ۱۶ قسمت در میلیون)، روی با استفاده از سولفات روی (با غلظت ۰، ۰/۲۷، ۰/۵۴، ۱/۰۸ قسمت در میلیون) و بُر با استفاده از اسید بوریک (با غلظت ۰، ۰/۱۳، ۰/۲۶، ۰/۵۴ قسمت در میلیون) به شیوه کود آبیاری (هر ۷ روز یکبار) در سه تکرار بود. متوسط دمای روزانه در طی دوره آزمایش ۲۵ درجه سانتی گراد در روز و ۲۱ درجه در شب با متوسط رطوبت نسبی محل آزمایش ۷۱ درصد بود.

به دلیل افزایش بیش از حد حجم کاری در صورت لحاظ شدن تأثیرات متقابل عناصر غذایی با هم، از

شایان ذکر است که اندازه‌گیری روند فرآیند ریشه‌زایی تا ۸۰ روز پس از کاشت قلمه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین تغییرات آنزیمی در چهار زمان صفر، بیست، چهل و شصت روز پس از کاشت قلمه‌ها انجام شد.

طرح آماری: آزمایش حاضر در آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج اثرات منفرد و متقابل تیمارهای مختلف در جدول‌های ۱ و ۲ بیان شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، هر یک از فاکتورهای اندازه‌گیری‌شده تفسیر و بررسی شده است.

تعیین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز: مقدار ۰/۱ گرم برگ پودر شده در ازت مایع با مقدار ۱۸۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم سرد (pH ۷/۵) همگن شد. سپس به مدت ۲۰ دقیقه با نیروی ۱۲۰۰۰g در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. فازمایع برداشت و برای انجام مطالعات در فریزر ۲۰- نگهداری شد. دو میلی‌لیتر محلول شامل مقداری از عصاره که دارای ۵۰ میلی‌گرم پروتئین باشد به همراه ۱۰۰ میکرولیتر گایاکل ۵ میلی‌مولار و ۲۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=7) در یک لوله آزمایش ریخته و دستگاه اسپکتروفتومتر با استفاده از این مخلوط در طول موج ۴۷۰ نانومتر صفر شد. سپس ۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد به این مخلوط اضافه شد و سریعاً تغییرات جذب نور به فواصل ۱۰ ثانیه، به مدت یک دقیقه اندازه‌گیری شد. مقدار فعالیت آنزیم بر حسب تغییرات جذب نور بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بیان شد (۱۵).

جدول ۱- تجزیه واریانس استفاده توأم اسید ایندول بوتیریک و بعضی از عناصر غذایی بر برخی صفات اندازه‌گیری‌شده در قلمه‌های برگ نو ژاپنی.

Table 1. Analysis of variance of the effect of IBA and some Nutritional elements on certain measured parameters of cuttings of *Ligustrum lucidum* L.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	درصد ریشه‌زایی Rooting percentage (%)	تعداد ریشه Root number	طول ریشه Root length (cm)	تعداد جوانه Bud number	تعداد برگ Leaf number	نشاسته کل Total starch	فنول کل Total phenol
T1	3	1420.46**	44.16**	229.86**	89.53**	579.49**	43.66**	0.00003**
T2	11	471.31**	21.63*	22.62**	3.47 ^{ns}	27.12 ^{ns}	2.03**	0.0007**
T1*T2	33	347.28**	13.34**	63.55**	37.27 ^{ns}	211.41 ^{ns}	11.45**	0.0001**
خطا Error	94	58.56	1.77	5.90	2.41	17.77	0.176	0.000001
ضریب تغییرات (درصد) CV%	-	12.35	14.55	15.73	16.92	19.21	4.56	0.63

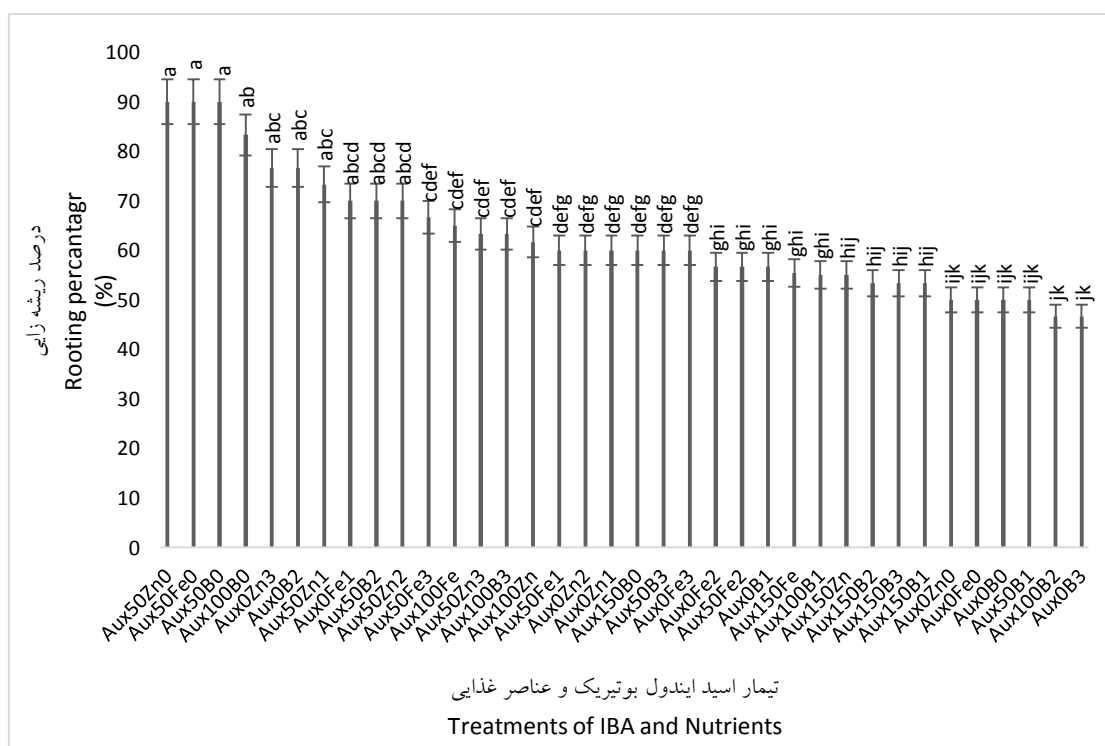
T1: اسید ایندول بوتیریک (IBA)، T2: عناصر غذایی (Nutrients)

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}، * and ** represent non-significant and significant at the 5% and 1% probability level; respectively

قسمت در میلیون (۹۰/۶۱ درصد) بدون تیمار عناصر غذایی بود. این اولویت در مرحله بعدی در تیمارهای اثر ساده اسید ایندول بوتیریک با غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون (۸۹/۱۲ درصد) و عنصر روی در سطح ۱/۰۸ قسمت در میلیون (۸۷/۴۶ درصد) رویت شد.

درصد ریشه‌زایی: نتایج اثرات منفرد و متقابل تیمارهای مختلف در جدول ۱ نشان داد که تمامی تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری داشتند. نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱) نشان داد بیش‌ترین مقدار صفت درصد ریشه‌زایی مرتبط به تنظیم‌کننده رشد اسید ایندول بوتیریک با غلظت ۵۰



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف اسید ایندول بوتیریک و سطوح مختلف عناصر غذایی بر درصد ریشه‌زایی برگ نو ژاپنی.

Fig. 1. Mean comparison of interaction effects of different levels of IBA and Nutritional elements on rooting percentage of *Ligustrum lucidum* L.

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد نیستند.

*Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's test.

Aux0:control, Aux50, Aux100, Aux150
B1:0.13PPM, B2: 0.26 PPM, B3:0.54 PPM

Fe1:4 PPM, Fe2:8 PPM, Fe3:16 PPM
Zn1: 0.27 PPM, Zn2:0.54 PPM, Zn3:1.08 PPM

را به دو روش تنظیم عمل آنزیم IAA اکسیداز و انتقال محافظت‌کننده‌های اکسین کنترل نمایید. تیمار کردن با مواد ریشه‌زا به‌ویژه اسید ایندول بوتیریک به‌طور معمول در افزایش سرعت ریشه‌دهی، درصد قلمه‌های ریشه‌دارشده و دست‌یابی به سیستم ریشه

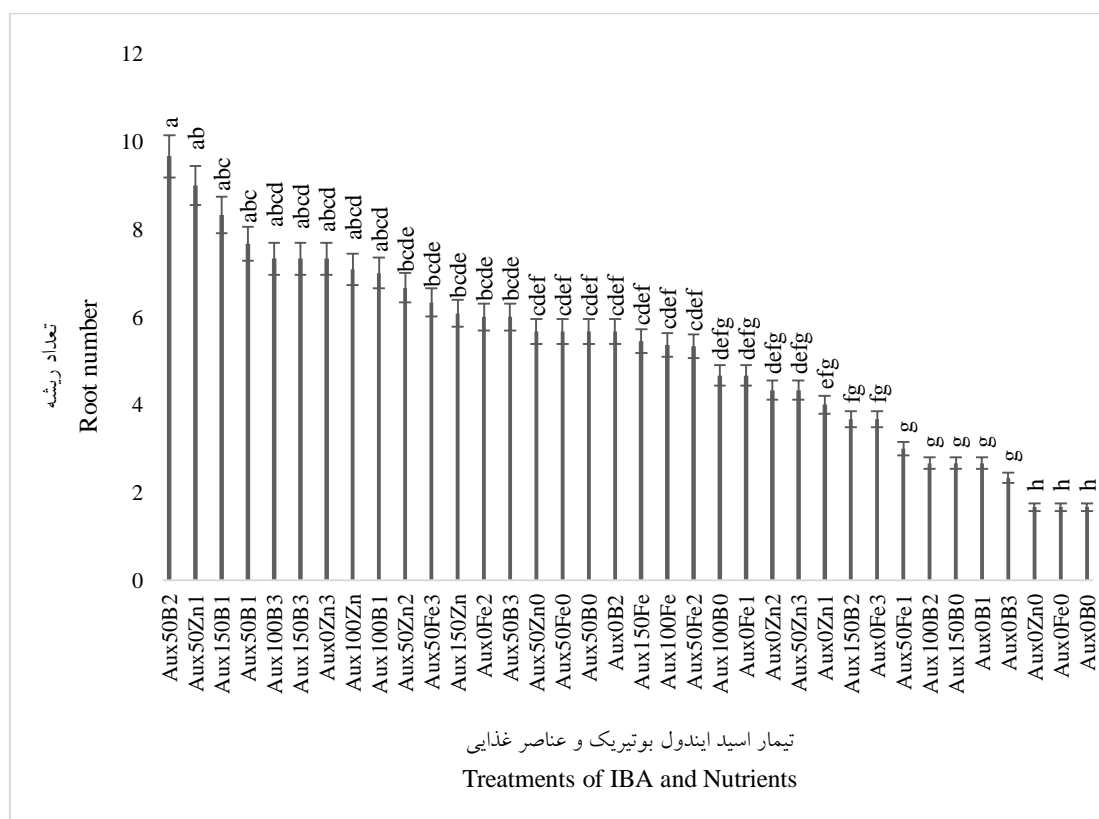
اسید ایندول بوتیریک به دلیل اثر اکسینی ضعیفی که دارد توسط آنزیم اسید ایندول استیک اکسیداز (تخریب‌کننده اکسین) به کندی تجزیه شده و در اختیار قلمه جهت ریشه‌زایی قرار می‌گیرد (۱۶). کاربرد اکسین خارجی می‌تواند سطح اکسین داخلی

(۲۲). در واقع مؤثر بودن کاربرد خارجی اکسین در تشویق ریشه‌دهی قلمه‌های ساقه بر انتقال کافی آن از محل کاربرد به محل آغازش ریشه نابجا بستگی دارد (۶). در بررسی اثر عنصر روی بر تشکیل کالوس و ریشه‌های بوجود آمده از القای اکسین در بذور برنج، به نقش فیزیولوژیک اکسین در تشکیل کالوس و ریشه به ویژه در شرایطی که غلظت بالایی از آن‌ها در محیط کشت باشد، تاکید کرده‌اند (۲۳).

تعداد ریشه: مطابق با جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) تعداد ریشه در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر اسید ایندول بوتیریک قرار گرفت، اما تفاوت معنی‌داری در بررسی اثر ساده عناصر رویت نگردید. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد و مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۲)، اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون توانست تأثیر مهمی در افزایش تعداد ریشه‌های اصلی قلمه‌ها داشته، به طوری که بیش‌ترین تعداد ریشه‌های اصلی به تیمار اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون با عنصر بُر ۰/۲۶ قسمت در میلیون (۹,۶۶) تعلق داشت. اولویت دوم متعلق به اثر متقابل این سطح اسید ایندول بوتیریک با عنصر روی ۰/۲۷ قسمت در میلیون بود، در صورتی که کم‌ترین میزان تعداد ریشه اصلی در شاهد دیده شد.

قوی‌تر، مفید می‌باشد. در پژوهش‌های متعددی که به بررسی اثر اسید ایندول بوتیریک بر روی قلمه گیاهان کاج صنوبری (*Pseudotsuga menziesii*)، رز و ختمی چینی، زیتون، سیب و آلو انجام پذیرفت، نتایج چشمگیر و مثبتی اعلام شد (۱۷، ۱۸، ۱۹). در بررسی اثر غلظت‌های مختلف اکسین، زمان قلمه‌گیری و شرایط محیطی بر ریشه‌زایی قلمه‌های چوب نیمه‌سخت شیشه‌شور بیان شد که طول بزرگ‌ترین ریشه، میانگین طول ریشه، وزن خشک ریشه و طول رشد جدید شاخساره در اکسین با غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد (۲۰). در پژوهشی که بر روی درختچه زینتی سوفورای ژاپنی صورت گرفت، اعلام شد که کاربرد غلظت ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید ایندول بوتیریک و نمک پتاسیم- اسید ایندول بوتیریک سبب افزایش درصد ریشه‌زایی، تعداد ریشه، سطح برگ، میزان کربوهیدرات ریشه و وزن تر و خشک ریشه، ساقه و برگ شد (۲۱).

به‌منظور بررسی استفاده توام اکسین و چند ترکیب شیمیایی جهت انگیزش ریشه در قلمه‌های زیتون با اعمال تیمار با دو روش غوطه‌وری سریع قلمه‌ها و محلول‌پاشی (پاشش تیمار بر روی قلمه) گزارش کردند که بیش‌ترین درصد ریشه‌زایی در روش محلول‌پاشی و بیش‌ترین تعداد تعداد، طول، وزن تر و خشک ریشه در روش غوطه‌وری سریع مشاهده شد



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف اسید ایندول بوتیریک و سطوح مختلف عناصر غذایی بر تعداد ریشه برگ نوزایی.

Fig. 2. Mean comparison of interaction effects of different level of IBA and Nutritional elements on Root number of *Ligustrum lucidum* L.

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد نیستند.

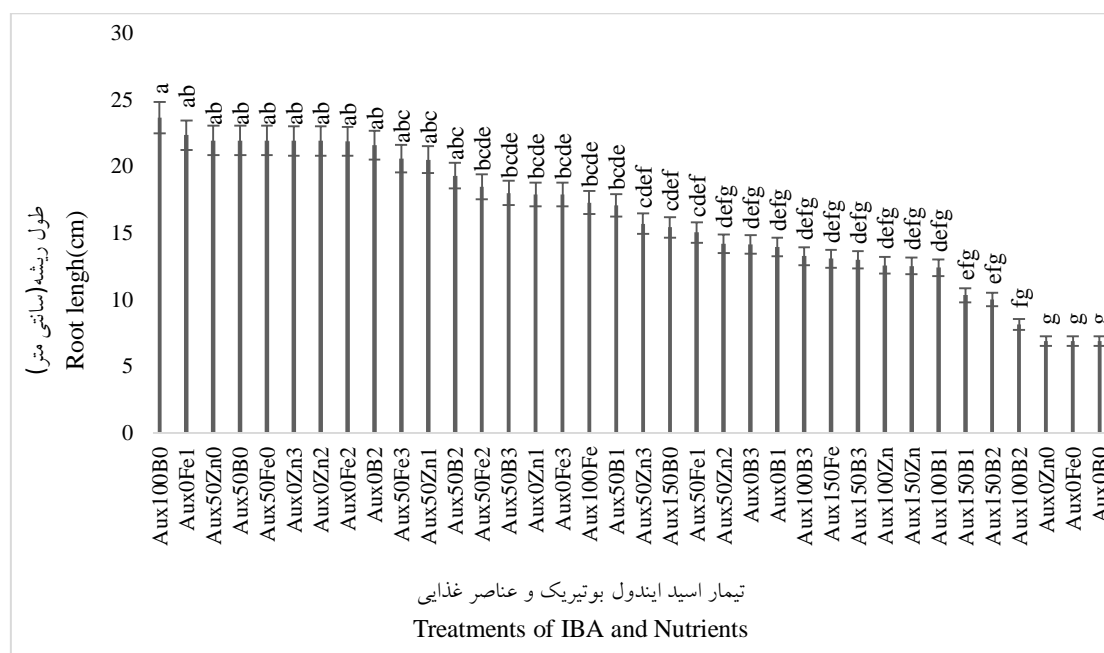
*Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's test.

Aux0:control, Aux50, Aux100, Aux150
B1:0.13PPM, B2: 0.26 PPM, B3:0.54 PPM

Fe1:4 PPM, Fe2:8 PPM, Fe3:16 PPM
Zn1: 0.27 PPM, Zn2:0.54 PPM, Zn3:1.08 PPM

بالاترین طول ریشه مربوط به تیمارهای عنصر آهن ۴ قسمت در میلیون، اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون، عنصر روی ۱/۰۸ و ۰/۵۴ قسمت در میلیون، عنصر آهن ۸ قسمت در میلیون و عنصر بُر ۰/۲۶ قسمت در میلیون بود. هم‌چنین کم‌ترین طول ریشه در تیمار شاهد مشاهده شد.

طول ریشه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان می‌دهد که طول ریشه تحت‌تأثیر غلظت تنظیم‌کننده رشد، عناصر و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. براساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۳) تیمارها، با کاربرد ایندول بوتیریک اسید ۱۰۰ قسمت در میلیون (۲۳/۷۳ سانتی‌متر) بیش‌ترین طول ریشه مشاهده گردید. اولویت بعدی



شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف اسید ایندول بوتیریک و سطوح مختلف عناصر غذایی بر طول ریشه برگ نو ژاپنی.

Fig. 3. Mean comparison of interaction effects of different level of IBA and Nutritional elements on root length of *Ligustrum lucidum* L.

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد نیستند.

*Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's test.

Aux0:control, Aux50, Aux100, Aux150
B1:0.13PPM, B2: 0.26 PPM, B3:0.54 PPM

Fe1:4 PPM, Fe2:8 PPM, Fe3:16 PPM
Zn1: 0.27 PPM, Zn2:0.54 PPM, Zn3:1.08 PPM

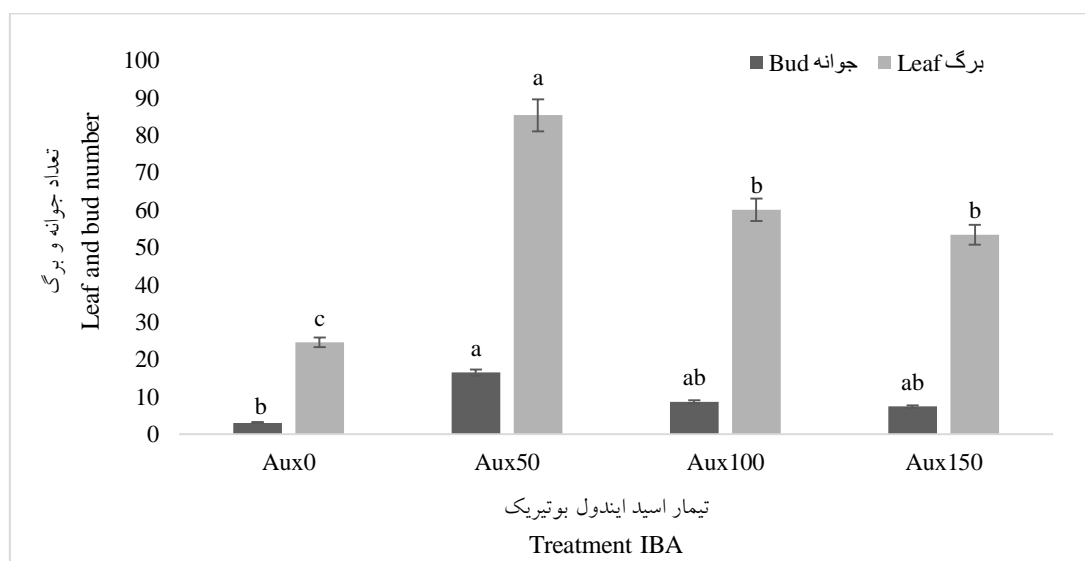
پژوهش‌ها نشان داده که تغذیه با عناصر معدنی، در مراحل مختلف ریشه‌زایی قلمه در گیاهان از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه در مبحث تغذیه بهینه گیاهان در کشاورزی پایدار، استفاده از کودها یکی از گزینه‌های پیش‌رو می‌باشد. بُر یک عنصر ضروری برای رشد و توسعه گیاهان بوده و در فرایندهای اصلی تقسیم و طولی شدن سلول یا سوخت‌وساز نقش دارد. حد کفایت و حد مسمومیت این عنصر به هم نزدیک بوده و کمبود آن به سرعت باعث کاهش و توقف رشد می‌گردد و در همان حال، غلظت بالای آن نیز می‌تواند باعث مسمومیت و کاهش رشد گیاه شود (۲۷).

به‌طورکلی استفاده از اکسین‌ها باعث تسهیل فرایند ریشه‌دار شدن قلمه در گیاهان خشبی و کاهش میزان تلفات قلمه در خزانه می‌شود. طی بررسی اثر کاربرد هورمون اکسین بر مریم گلی (*Salvia fruticosa* Mill.) تعداد ریشه را به‌طور قابل توجهی افزایش داد و کاربرد غلظت‌های بالاتر آن باعث افزایش وزن و طول ریشه شد (۲۴). افزایش تعداد و طول ریشه تحت‌تأثیر اسید ایندول بوتیریک می‌تواند به دلیل تأثیر این تنظیم‌کننده بر تحریک تولید ریشه‌های نابجا و انگیزش و توسعه آغازنده‌های ریشه‌های نهفته و از پیش تشکیل شده می‌باشد (۲۵). زیرا اکسین‌ها بعد از آغازش در ریشه‌های نابجا در فرایندهایی مانند تقسیم، طولی شدن و تمایز سلولی نیز شرکت می‌کنند که نتیجه در افزایش تعداد و طول ریشه دارد (۲۶).

مختلف گیاه، آزادسازی سیدروفورها (Sidrophores) روی ریشه، گسترش سیستم ریشه و راندامان استفاده از روی اشاره نمود (۲۹).

تعداد جوانه و برگ: مطابق با جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر ساده اکسین در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی داری را در تعداد جوانه و برگ نشان داد؛ اما در اثر ساده عناصر غذایی و اثر متقابل آنها، اختلاف معنی داری مشهود نبود. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، بالاترین تعداد جوانه در تیمار اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون (۱۶/۵۴) و کمترین تعداد در شاهد (۳/۱۲) مشاهده شد. شایان ذکر است که مشابه با تعداد جوانه‌ها، تعداد برگ‌های رشد یافته نیز در تیمار اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون در بالاترین میزان (۸۵/۴) بود.

همچنین عنصر روی (Zn) به علت شرکت در تشکیل ماده پیش‌ساز اکسین (IAA) یعنی اسید آمینه ضروری تریپتوفان می‌تواند ریشه‌زایی قلمه‌ها را تحریک نماید (۸، ۲۸). بنابراین با افزایش میزان عنصر روی در گیاه می‌توان میزان هورمون اکسین IAA بالاتری را در گیاه مشاهده نمود. همچنین به اثبات رسیده است که میزان عنصر روی با میزان محتوی اکسین موجود در گیاه رابطه نزدیکی دارد و از آنجایی که تولید بافت پینه و فرآیند مرتبط با ریشه‌زایی در چنین شرایطی رخ می‌دهد، بنابراین برای افزایش مقدار این ماده در قلمه‌ها، مصرف کودهای حاوی این عنصر کاملاً مؤثر می‌باشد. همچنین علت‌های متفاوتی راجع به کارآمدی عنصر روی شناخته شده است که از آن جمله می‌توان به ظرفیت جذب روی توسط ریشه، نسبت روی در قسمت‌های



شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین سطوح مختلف اسید ایندول بوتیریک بر تعداد جوانه و برگ در برگ نو ژاپنی.

Fig. 4. Mean comparison of effects different level of IBA on bud and leaf number of *Ligustrum lucidum* L.

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد نیستند.

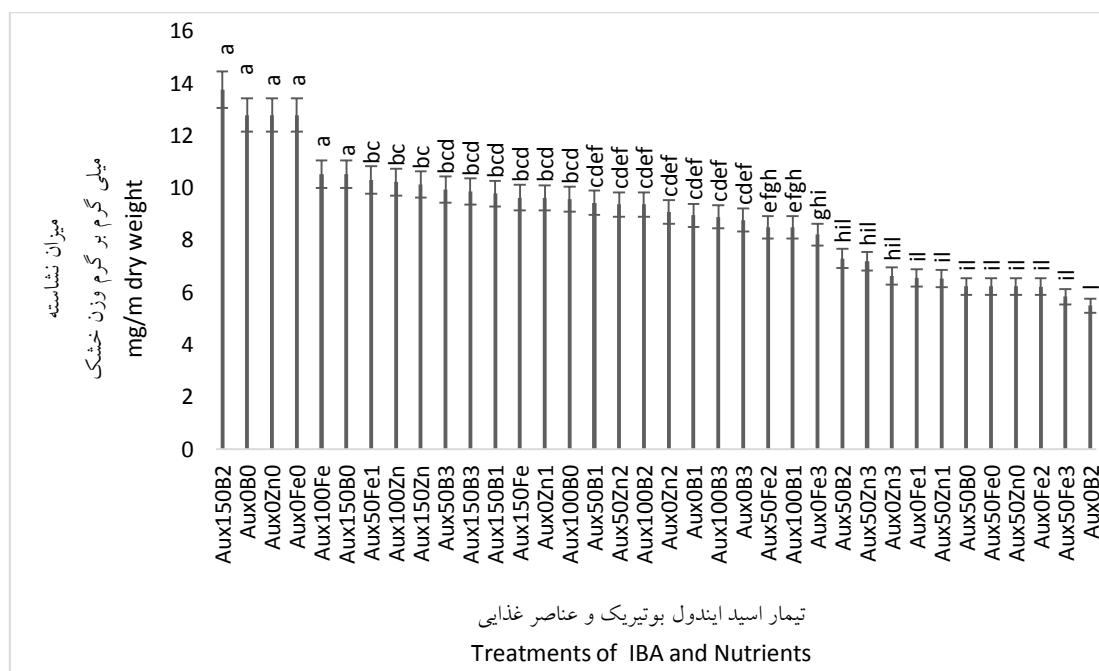
*Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's test.

Aux0:control, Aux50, Aux100, Aux150

این نتایج با دست آوردی که بر روی گیاه استویا انجام پذیرفت، مطابقت دارد (۳۲).

نشاسته کل: با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، میزان نشاسته تحت تأثیر غلظت تنظیم‌کننده رشد، عناصر و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین (شکل ۵) نشان داد که بالاترین میزان نشاسته در اثر متقابل تیمار IBA ۱۵۰ قسمت در میلیون با عنصر بُر ۰/۲۶ قسمت در میلیون و نیز تیمار شاهد و کم‌ترین آن در اثر ساده عنصر بُر با غلظت ۰/۲۶ قسمت در میلیون بود.

مک‌دونالد (۱۹۸۶) تفاوت در توانایی ریشه‌زایی قلمه‌های یک ژنوتیپ ناشی از فاکتورهای آناتومیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و محیطی زیادی است. هم‌چنین عوامل محیطی و درونی مختلفی نیز در این امر دخالت دارند (۳۰). پژوهش‌گران بیان نمودند که تنظیم‌کننده رشد اسید ایندول بوتیریک باعث افزایش تعداد برگ‌های جدید در قلمه‌های ریشه‌دار می‌شود و این را به افزایش تعداد و طول ریشه قلمه‌های تیمار شده نسبت دادند چرا که منجر به جذب بیش‌تر آب و مواد غذایی از محیط کشت شده و در نهایت باعث افزایش رشد و تولید برگ‌های جدید می‌شود (۳۱).



شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف اسید ایندول بوتیریک و سطوح مختلف عناصر غذایی بر میزان نشاسته کل برگ نو ژاپنی.

Fig. 5. Mean comparison of interaction effects different level of IBA and Nutritional elements on total starch of *Ligustrum lucidum* L.

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد نیستند.

*Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's test.

Aux0:control, Aux50, Aux100, Aux150 Fe1:4 PPM, Fe2:8 PPM, Fe3:16 PPM
B1:0.13PPM, B2: 0.26 PPM, B3:0.54 PPM Zn1: 0.27 PPM, Zn2:0.54 PPM, Zn3:1.08 PPM

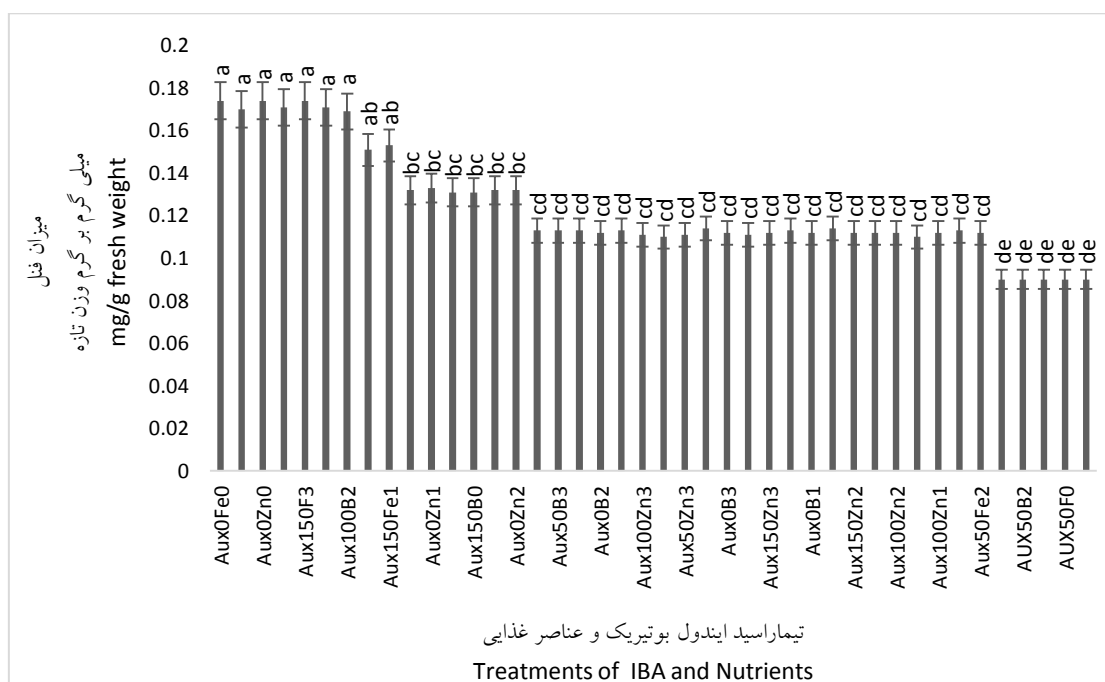
همراه با تیمار اکسین می‌تواند برای موفقیت در ریشه‌دهی مؤثر باشد (۳۳، ۳۴). سطوح کربوهیدرات تنها توسط مرحله رشدی قلمه‌ها تحت تأثیر قرار

کربوهیدرات‌های ذخیره شده در قلمه‌ها به عنوان منبع انرژی برای ریشه‌زنی گیاهان، بسیار مهم و نوع کربوهیدرات استفاده شده در طی مرحله ریشه‌دهی

کربوهیدرات و آنزیم‌ها می‌گردد. بُر با احتمال در سنتز اکسین نقش دارد (۳۹).

فنل کل: همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد، بالاترین میزان فنل کل در شاهد (۰/۱۷۶)، تیمار اثر متقابل اسید ایندول بوتیریک ۱۵۰ قسمت در میلیون با عنصر آهن ۱۶ قسمت در میلیون (۰/۱۷۴) و اسید ایندول بوتیریک ۱۰۰ قسمت در میلیون و بُر ۰/۲۶ قسمت در میلیون (۰/۱۶۹) بود. به‌نظر می‌رسد با افزودن تیمارهایی که ریشه‌زایی را تسهیل می‌نمایند، میزان فنل کل به صورت چشمگیری کاهش می‌یابد. بنابراین اسید ایندول بوتیریک ۵۰ و ۱۰۰ قسمت در میلیون، اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون بُر ۰/۲۶ قسمت در میلیون و روی ۱/۰۸ قسمت در میلیون کم‌ترین میزان فنل را پس از اعمال تیمار دارا بودند. بالاترین میزان فنل در شاهد و تیمارهای با غلظت بالاتر مشاهده گردید. این بدین معنی است که تیمارهایی که نقش کم یا خنثی در فرآیند ریشه‌زایی داشتند، بالاترین حد فنل را در قلمه‌ها نشان دادند. در حالی‌که تیمارهای مؤثر در ریشه‌زایی، در حداقل میزان فنل کل بودند. در آزمایشی که بر روی قلمه‌های گیلاس رقم GiSelA5 صورت پذیرفت، بیان شد که قلمه‌ها برای شروع فاز القای ریشه‌دهی باید سطوح قطعی از ترکیبات فنلی داشته باشند، اما تأثیر بیش‌تر در ریشه‌دهی بهتر، به اثر سطح اکسین درونی نسبت داده می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (۴۰)، چرا که ریشه‌دهی بهتر در تیمارهایی حاصل می‌گردد که دارای میزان فنل کم‌تری باشند (اثر ساده اسید ایندول بوتیریک با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ قسمت در میلیون و عنصر روی ۱/۰۸ قسمت در میلیون و اثر متقابل اسید ایندول بوتیریک ۱۰۰ قسمت در میلیون و بُر ۰/۲۶ قسمت در میلیون).

نمی‌گیرد، بلکه توسط طبیعت، منبع مادری قلمه و در اختیار قرار گرفتن عناصر غذایی نیز ممکن است تحت الشعاع قرار گیرد. هم‌چنین تیمارهای متفاوتی مانند دمای گرم، سطح تغذیه‌ای بالا، فوتوپریود طولانی و تنظیم‌کننده‌های رشد می‌توانند جهت افزایش ریشه‌دهی قلمه‌های حاصل از شاخه‌ها مؤثر باشند. در برخی موارد تغییر پتانسیل ریشه‌دهی می‌تواند توسط غلظت کربوهیدرات کنترل نشود بلکه توسط مکانیزم متابولیسم کربوهیدرات تنظیم گردد. در مواردی که کمبود کربوهیدرات مشاهده می‌شود، این مورد نمی‌تواند دلیل واضحی بر این باشد که سطوح ناکافی کربوهیدرات فاکتور محدودکننده است (۹). اکسین سنتز آنزیم ADP-گلوکز فسفریلاز را القا می‌نماید (از طریق تأثیر بر ژن APS) که یک آنزیم کلیدی در سنتز نشاسته است (۳۵). اکسین تشکیل ریشه نابجا در قلمه‌های ساقه را از طریق تحریک فعالیت آغازنده‌های ریشه و افزایش انتقال کربوهیدرات به انتهای قلمه تسهیل می‌کند و افزایش تعداد ریشه در قلمه‌ها به نظر می‌رسد تا حدودی به واسطه افزایش هیدرولیز ذخایر غذایی تحت‌تأثیر اکسین باشد (۱۸). هم‌چنین براساس پژوهش‌های دیگر افزایش هیدرولیز کربوهیدرات‌ها در اثر کاربرد خارجی هورمون‌ها افزایش ریشه‌دهی در قلمه‌های تیمار شده با اکسین را توجیه می‌کند (۳۶). بُر از جمله عناصر غذایی کم‌مصرف می‌باشد که برای گیاهان آوندی و دیاتومه‌ها ضروری است و در جوانه‌زنی دانه‌گرده، تشکیل میوه و انتقال مواد فتوسنتزی به محل مصرف نقش اساسی ایفا می‌کند (۳۰). هم‌چنین بُر سبب انتقال قندها به شکل ساکارز در گیاهان می‌شود که علت آن به دلیل ترکیب قند- بُر بوده که می‌تواند سریع‌تر از قند ساده از غشای تراوای سلول عبور کند (۳۷). گیاهان دارای کمبود بُر، بدون توجه به میزان قند موجود، رشد طولی ریشه‌ها کاهش می‌یابد (۳۸). بُر سبب شکل‌گیری پکتین دیواره سلولی، تقسیم سلولی، انتقال



شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف اسید ایندول بوتیریک و سطوح مختلف عناصر غذایی بر میزان فنل کل برگ نو ژاپنی.

Fig. 6. Mean comparison of interaction effects of different level if IBA and Nutritional elements on total phenol content of *Ligustrum lucidum* L.

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد نیستند.

*Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's test.

Aux0:control, Aux50, Aux100, Aux150
B1:0.13PPM, B2: 0.26 PPM, B3:0.54 PPM

Fe1:4 PPM, Fe2:8 PPM, Fe3:16 PPM
Zn1: 0.27 PPM, Zn2:0.54 PPM, Zn3:1.08 PPM

پژوهشی مبنی بر بررسی اثر غلظت‌های مختلف آهن بر روی گیاه اسفناج انجام شد اعلام گردید که تفاوت در میزان ترکیبات فنلی بر اثر تیمار غلظت‌های آهن، نشان‌دهنده دخالت آهن بر تولید این ترکیبات می‌باشد (۴۳).

میزان آنزیم پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تیمار اسید ایندول بوتیریک، عناصر غذایی و اثر متقابل آن‌ها بر میزان آنزیم پراکسیداز مؤثر بوده و اختلاف معنی‌داری نسبت به ابتدای دوره کاشت قلمه (روز اول) داشتند.

در پژوهشی بر روی سه رقم زیتون بالاترین میزان فنل کل در رقم سخت ریشه‌زا مشاهده شد و کم‌ترین آن مربوط به رقمی بود که دارای درصد ریشه‌زایی بیش‌تری بود (۴۱). هم‌چنین در آزمایشی بر روی قلمه‌های گیاه سرخدار (*Taxus baccata* L.) کم‌ترین میزان فنل کل در تیمارهای دارای بالاترین درصد ریشه‌زایی (تیمار شده با ۵۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید ایندول بوتیریک در ترکیب با پراکسید هیدروژن ۳ درصد) مشاهده شد (۲۵). گزارش شده است که علاوه بر خصوصیات ژنتیکی، شرایط محیط رشد در تشکیل متابولیت‌های ثانویه از جمله ترکیبات فنولی نقش مهم دارند (۴۲)، در

جدول ۲- تجزیه واریانس استفاده توأم اسید ایندول بوتیریک و عناصر غذایی بر آنزیم پراکسیداز در قلمه‌های برگ نو ژاپنی.

Table 2. Analysis variance of the combined use of auxin and nutrients on peroxidase enzyme content of *Ligustrum lucidum* L.

میانگین مربعات Mean of square					درجه آزادی	منابع تغییرات
روز هشتماد Day 80	روز شصتم Day 60	روز چهلم Day 40	روز بیستم Day 20	روز اول Day 0	df	Source of variation
112.57**	66.52**	4.97**	40.56**	۰	3	T1
41.10**	19.88*	31.65**	18.66**	۰	11	T2
92.91*	48.67**	28.14**	13.48*	۰	33	T1*T2
0.12	0.76	0.81	0.53	۰	94	خطا Error
1.56	3.41	2.92	1.98	۰	-	ضریب تغییرات (درصد) CV%

T1: اسید ایندول بوتیریک (IBA)، T2: عناصر غذایی (Nutrients)

ns, * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** represent non-significant and significant at the 5% and 1% probability level; respectively

جدول ۳- مقایسه اثرات متقابل سطوح مختلف اسید ایندول بوتیریک و عنصر بُر در آنزیم پراکسیداز.

Table 3. The interaction effects of application of different levels of Indole butyric acid and B on peroxidase enzyme content.

روز هشتماد پس از کاشت Day80	روز شصت پس از کاشت Day60	روز چهلم پس از کاشت Day40	روز بیست پس از کاشت Day20	روز اول کاشت Day0	تیمارها Treats	اکسین Auxin
37.76 ^a	40.61 ^a	41.87 ^a	42.12 ^a	42.38 ^a	B0	Aux 0
36.20 ^a	37.63 ^a	40.34 ^a	41.42 ^a	42.38 ^a	B1	اکسین ۰
31.59 ^b	35.84 ^{ab}	37.52 ^{ab}	42.66 ^a	42.38 ^a	B2	
39.83 ^a	40.89 ^a	41.08 ^a	41.28 ^a	42.38 ^a	B3	
26.85 ^c	28.36 ^c	31.99 ^b	39.80 ^a	42.38 ^a	B0	Aux 50
40.82 ^a	40.76 ^a	41.66 ^a	41.83 ^a	42.38 ^a	B1	اکسین ۵۰ پی پی ام
30.39 ^b	32.85 ^b	37.91 ^{ab}	41.32 ^a	42.38 ^a	B2	
31.76 ^b	35.22 ^{ab}	37.43 ^{ab}	41.95 ^a	42.38 ^a	B3	
28.04 ^b	33.97 ^{ab}	35.57 ^{ab}	38.18 ^a	42.38 ^a	B0	Aux100
30.75 ^b	33.29 ^{ab}	35.31 ^{ab}	39.00 ^a	42.38 ^a	B1	اکسین ۱۰۰ پی پی ام
39.27 ^a	41.79 ^a	40.95 ^a	42.03 ^a	42.38 ^a	B2	
35.38 ^a	38.18 ^a	39.62 ^a	42.50 ^a	42.38 ^a	B3	
34.38 ^a	36.37 ^a	39.10 ^a	37.10 ^a	42.38 ^a	B0	Aux 150
35.29 ^a	38.92 ^a	38.18 ^a	40.97 ^a	42.38 ^a	B1	اکسین ۱۵۰ پی پی ام
37.22 ^a	38.04 ^a	39.66 ^a	41.63 ^a	42.38 ^a	B2	
36.36 ^a	37.11 ^a	39.28 ^a	42.53 ^a	42.38 ^a	B3	

B1:0.13PPM B2: 0.26 PPM B3:0.54 PPM Aux0:control

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد نیستند

Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's test

تیمارهای IBA ۵۰ و ۱۰۰ قسمت در میلیون (روز ۸۰ پس از کشت) در کم‌ترین حد خود قرار گرفت (جدول ۳).

بالاترین میزان آنزیم پراکسیداز در قلمه گرفته شده (روز صفر) وجود داشت. اما با گذر زمان و استفاده از تیمارهای مختلف، میزان آنزیم مذکور تقلیل یافته و در

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف اسید ایندول بوتیریک و عنصر آهن در آنزیم پراکسیداز.

Table 4. The interaction effects of application of different levels of Indole butyric acid and Fe on peroxidase enzyme content.

روز هشتاد پس از کاشت Day80	روز شصت پس از کاشت Day60	روز چهل پس از کاشت Day40	روز بیست پس از کاشت Day20	روز اول کاشت Day0	تیمارها Treats	اکسین Auxin
37.76 ^a	40.61 ^a	41.87 ^a	42.12 ^a	42.38 ^a	Fe0	اکسین ۰ Aux 0
27.10 ^b	30.14 ^b	38.99 ^a	40.00 ^a	42.38 ^a	Fe1	
34.59 ^a	36.37 ^a	36.00 ^a	38.15 ^a	42.38 ^a	Fe2	
35.13 ^a	37.79 ^a	38.09 ^a	38.76 ^a	42.38 ^a	Fe3	
26.85 ^c	24.36 ^c	31.99 ^b	39.80 ^a	42.38 ^a	Fe0	اکسین ۵۰ پی پی ام Aux 50
35.07 ^a	38.55 ^a	39.54 ^a	39.95 ^a	42.38 ^a	Fe1	
33.66 ^a	34.63 ^a	36.46 ^a	39.68 ^a	42.38 ^a	Fe2	
30.78 ^b	38.45 ^a	39.92 ^a	39.31 ^a	42.38 ^a	Fe3	
28.04 ^b	33.97 ^{ab}	35.57 ^{ab}	38.18 ^a	42.38 ^a	Fe0	اکسین ۱۰۰ پی پی ام Aux100
30.36 ^b	31.45 ^b	38.27 ^a	38.36 ^a	42.38 ^a	Fe1	
31.38 ^b	35.56 ^b	35.66 ^b	40.22 ^a	42.38 ^a	Fe2	
31.46 ^a	24.16 ^a	37.18 ^a	39.45 ^a	42.38 ^a	Fe3	
34.38 ^a	36.37 ^a	39.10 ^a	37.10 ^a	42.38 ^a	Fe0	اکسین ۱۵۰ پی پی ام Aux 150
34.48 ^a	36.31 ^a	37.98 ^a	42.31 ^a	42.38 ^a	Fe1	
34.25 ^a	37.99 ^a	39.63 ^a	42.75 ^a	42.38 ^a	Fe2	
36.36 ^a	36.43 ^a	37.47 ^a	39.23 ^a	42.38 ^a	Fe3	
Fe1:4 PPM	Fe2:8 PPM	Fe3:16 PPM	Aux0:control			

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد نیستند
Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's test

همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، کم‌ترین میزان آنزیم پراکسیداز در تیمار عنصر آهن ۴ قسمت در میلیون و تیمار اسید ایندول بوتیریک ۵۰ ریشه‌زایی را در پی داشت. بالاترین میزان آنزیم مذکور در تیمار شاهد مشاهده شد که به تبع آن، کم‌ترین قسمت در میلیون و تیمار اسید ایندول بوتیریک ۵۰

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف اسید ایندول بوتیریک و عنصر روی در آنزیم پراکسیداز.

Table 5. The interaction effects of application of different levels of Indole butyric acid and Zn on peroxidase enzyme content.

روز هشتاد پس از کاشت Day80	روز شصت پس از کاشت Day60	روز چهل پس از کاشت Day40	روز بیست پس از کاشت Day20	روز اول کاشت Day0	تیمارها Treats	اکسین Auxin
37.76 ^a	40.61 ^a	41.87 ^a	42.12 ^a	42.38 ^a	Zn0	اکسین ۰ Aux 0
29.58 ^a	33.71 ^a	36.49 ^a	41.10 ^a	42.38 ^a	Zn1	
28.77 ^b	31.72 ^b	34.48 ^b	40.06 ^a	42.38 ^a	Zn2	
28.99 ^b	30.51 ^b	38.86 ^a	41.17 ^a	42.38 ^a	Zn3	
26.85 ^c	24.36 ^c	31.99 ^b	39.80 ^a	42.38 ^a	Zn0	اکسین ۵۰ پی پی ام Aux 50
29.35 ^b	29.11 ^b	31.05 ^b	39.06 ^a	42.38 ^a	Zn1	
27.96 ^a	34.42 ^a	39.40 ^a	40.46 ^a	42.38 ^a	Zn2	
28.89 ^b	25.60 ^b	28.74 ^b	37.34 ^a	42.38 ^a	Zn3	
28.04 ^b	33.97 ^{ab}	35.57 ^{ab}	38.18 ^a	42.38 ^a	Zn0	اکسین ۱۰۰ پی پی ام Aux100
26.40 ^b	28.86 ^b	36.07 ^a	39.43 ^a	42.38 ^a	Zn1	
28.44 ^a	31.22 ^a	35.94 ^a	37.92 ^a	42.38 ^a	Zn2	
26.15 ^a	30.72 ^a	32.92 ^a	38.63 ^a	42.38 ^a	Zn3	
34.38 ^a	36.37 ^a	39.10 ^a	37.10 ^a	42.38 ^a	Zn0	اکسین ۱۵۰ پی پی ام Aux 150
33.53 ^a	37.76 ^a	38.94 ^a	40.54 ^a	42.38 ^a	Zn1	
35.92 ^a	37.87 ^a	37.20 ^a	39.21 ^a	42.38 ^a	Zn2	
39.18 ^a	39.25 ^a	39.57 ^a	39.04 ^a	42.38 ^a	Zn3	
Zn1: 0.27 PPM	Zn2:0.54 PPM	Zn3:1.08 PPM	Aux0:control			

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، دارای تفاوت آماری نسبت به یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد نیستند
Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan's test

ریشه‌زایی قلمه زیتون، نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌ها و پروتئین را در سه زمان صفر، ۶۰ و ۱۲۰ روز بعد از کشت انجام شد، بیان نمودند که بیش‌ترین فعالیت پراکسیداز در زمان صفر بود و این مقدار با تشکیل ریشه در زمان ۶۰ روز پس از کشت قلمه کاهش یافت که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (۴۶).

بر طبق بیانات پژوهش‌گران این کاهش در ارتباط با فاز انگیزش ریشه‌زایی است. پراکسیداز در اکسیداسیون بسیاری از ترکیبات از جمله اکسین نقش دارد (۴۷). برای تشکیل ریشه نابجا، اکسین در طول مرحله انگیزش ریشه ضروری است اما در مرحله توسعه ریشه حضور اکسین مانع ریشه‌زایی می‌شود (۴۸).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر به وضوح نشان می‌دهد که بهره‌گیری از اسید ایندول بوتیریک و ترکیب توأم آن با برخی عناصر غذایی قادر به تسریع فرآیند ریشه‌زایی قلمه‌های برگ نو ژاپنی بوده است. استفاده از تکنیک پاشش غلظت‌های بالای ترکیب اکسینی تأثیر چندانی در ریشه‌زایی نداشته و گاهاً می‌تواند اثر معکوسی را اعمال نماید. بهترین تیمار با بیش از ۸۰ درصد ریشه‌زایی، با اعمال اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون به صورت پاشش بر روی برگ‌های قلمه‌های گیاهان مورد نظر مشاهده گردید. بالاترین تعداد جوانه، برگ و ریشه نیز در اثرات ساده و متقابل اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون به همراه عناصر غذایی رویت شد. کم‌ترین میزان فنول در استفاده از غلظت ۵۰ و ۱۰۰ قسمت در میلیون پاشش اسید ایندول بوتیریک، روی ۱/۰۸ قسمت در میلیون و اثر تلفیقی اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون با بُر ۰/۲۶ قسمت در میلیون مشاهده گردید. هم‌چنین

مطابق با جدول مقایسه میانگین ۵، بالاترین میزان آنزیم پراکسیداز در شاهد و کم‌ترین در تیمار اسید ایندول بوتیریک ۵۰ قسمت در میلیون مشاهده شد. در دیگر تیمارها، اختلاف چشمگیری دیده نشد؛ اما روند نزولی آن‌ها در بازه زمانی نشان‌دهنده آن است که تیمارها توانستند باعث کاهش میزان آنزیم گردند.

برخی فعالیت‌های آنزیمی داخل سلول گیاهان می‌تواند اکسین‌های موجود در سلول را غیرفعال سازند. اسید ایندول استیک طبیعی در اثر آنزیم‌هایی مانند اکسیدازها، پراکسیدازها و فنولازها تجزیه می‌شود. فعالیت اکسین را هم‌چنین می‌توان با وارد ساختن موادی به نام ضد اکسین در فرایند، نفی یا خنثی کرد (۴۴). به‌منظور این‌که ریشه‌زایی صورت گیرد، قلمه نیاز به توازن خاصی بین مواد تسریع‌کننده رشد گیاهی و برخی کوفاکتورهای شناخته شده و ناشناخته دارد. از این‌رو برگ‌ها برای انجام ریشه‌زایی موفقیت‌آمیز ضروری هستند و هم‌چنین تصور می‌شود که حاوی ترکیبات ضروری می‌باشند که ریشه‌زایی را تحریک می‌کنند و یا مانع ریشه‌زایی می‌شوند. دیده شده است قندها، ترکیبات نیتروژنی و دیگر ترکیبات که همانند کوفاکتورها عمل می‌کنند. تصور می‌شود این ترکیبات با محافظت از IAA از تخریب به وسیله IAA اکسیداز، فرآیند ریشه‌زایی را تحریک می‌کنند. علاوه بر این کوفاکتورها، مشاهده شده است که برگ‌ها نیز هم‌چنین حاوی بازدارنده‌های درون‌زای دیگری غیر از اسید آبسازیک می‌باشند که از فرآیند ریشه‌زایی جلوگیری می‌کنند. از آنجایی‌که میزان چوبی شدن بافت‌ها ارتباط منفی با میزان اکسین دارد و آنزیم‌هایی چون پراکسیداز در عمل چوبی شدن بافت‌ها و تخریب اکسین دخالت دارند، حضور و سرعت تخریب حلقه اسکلرانشیمی در کولتیوارهای مختلف زیتون ممکن است یک شاخص کلی برای توان ریشه‌زایی آن‌ها باشد (۴۵). در پژوهشی بر روی

در نهالستان‌ها، استفاده از سطح پاشش ۵۰ و ۱۰۰ قسمت در میلیون اینول بوتیریک اسید به همراه عناصر غذایی توصیه می‌گردد.

با بهره‌گیری از اثرات ساده ۵۰ و ۱۰۰ قسمت در میلیون اسید ایندول بوتیریک و برخی سطوح آهن، میزان آنزیم پراکسیداز در حداقل قرار گرفت. بنابراین به جهت صرفه اقتصادی در افزونش قلمه‌ای این گیاه

منابع

1. Pour Ahmad, A., Akbarpour, M. S., & Sotoudeh, S. (2009). Management of urban green space in the 9th region of Tehran Municipality, *Human Geography Research*, 69.
2. Chace, J. F., & Walsh, J. J. (2006). Urban effects on native avifauna: a review, *Landscape and Urban Planning*, 74, 46-69.
3. Ghorbani, R., & Teimuri, R. (2010). An analysis of the role of city parks in development and urban life using a model Seeking-Escaping Example: Tabriz City Parks. *Human Geography Research*, 72, 47-62.
4. Aguirre-Acosta, N., Kowaljow, E., & Aguilar, R. (2014). Reproductive performance of invasive tree *Ligustrum lucidum* in a subtropical dry forest: does habitat fragmentations boost or limitation invasion. *Biological Invasions*, 16, 1397-1410.
5. Griffin, J. J., & Schroeder, K. R. (2004). Propagation of *Ulmus parvifolia* 'Emerald Prairie' by stem cuttings. *Journal of Environmental Horticulture*, 22 (2), 55-57.
6. Blythe, E. K., Sibley, J. L., Ruter, J. M., & Tilt, K.M. (2004). Cutting propagation of foliage crops using a foliar application of auxin. *Scientia Horticulturae*, 103, 31-37.
7. Tewfik, A. A. (2002). Effect of IBA, planting media and type of cutting on rootng of nemaguard peach rootstock under Egyptian conditions. *Acta Horticulturae*, 592, 169-175.
8. Sedaghat Kish, Z., Moalemmi, N. A., & Khaleghi, E. (2013). The Effects two Different ways of using auxin hormones on the rooting of cutting *Duranta repens* L. *Journal of Horticultural Science*, 26 (4), 425-433.
9. Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. *Academic Press, London*.
10. Khoshkhoy, M. (2010). *Plant Propagation, basics and methods, second volume, eighth edition*, Shiraz University Press, 904 p.
11. Mumivand, H., Khanizadeh, P., Morshedloo, M. R., Sierka, E., Żuk-Gołaszewska, K., Horaczek, T., & Kalaji, H. M. (2021). Improvement of Growth, Yield, Seed Production and Phytochemical Properties of *Satureja khuzistanica* Jamzad by Foliar Application of Boron and Zinc. *Plants*, 10 (11), 2469.
12. Yaghobzadeh, M., Mohtadi, A., Javanmard, A. S., & Ghotabi Ravandi, A. A. (2021). Effect of different concentrations of iron and boron on growth and physiological properties of *Achillea millefolium* L. *Journal of Plant Process and Function*, 10 (45), 43-56.
13. Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis; automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28, 49-55.
14. Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method, in Helebust. *Handbook of Phycological Methods*, 96-97.
15. Reuveni, R. (1995). Biochemical marker of disease resistance. *Molecular Methods in Plant Pathology*, 99-114.
16. Fett-Neto, A. G., Fett, J. P., Veira Goulart, L. W., Pasquali, G., Termignoni, R. R., & Ferreira, A. G. (2001). Distinct effects of auxin and light on adventitious root development in *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*, 21, 457-464.

17. Bhattacharjee, S. K., & Balakrishna, M., (1986). Standardization of propagation of *Hibiscus rosa sinensis* L. from stem cuttings. *South Indian Horticulture*, 34 (3), 158-166.
18. Hartman, H. T., Kester, D. E., & Davies, F. T. (1975). Plant propagation principles and practices. *Prentice Hall Inc Newjersey*.
19. Copes, D. L., & Mandel, N. L. (2000). Effects of IBA and NAA treatments on rooting Douglas-fir stem cuttings. *New forests*, 20, 249-257.
20. Zarinbal, M., Moalemi, N. A., & Daneshvar, M. H. (2005). Effects of different concentrations of auxins, time of cutting and environmental conditions on rooting of the semi-hardwood cuttings of *Callistemon viminalis* sol. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 6 (3), 121-134.
21. Shams, A., Etemadi, N., & Mortezaei Nejad, F. (2015). The effect of indole butyric acid on the rooting of Japanese Sophora cutting (*Sophora japonica* L.). *Sciences Technological Greenhouse Crops*, 6 (3), 63-76.
22. Yones Abadi, T., Alizadeh, M., Seif, E., & Sadeghi, M. (2018). Evaluation of the bombine use of auxin and some chemical compound for root stimulation in olive cuttings. *Journal of Plant Production Research*. 25 (3), 25, 41-54.
23. Yokoyama, M., Shibahara, R., & Takagi, H. (2008). Effect of zinc on auxin-induced callus formation and auxin-induced root formation in rice [*Oryza sativa*] seeds. *Miyazaki Agricultural Research Institute*, 43, 1-7.
24. Saglam, A. C., Yaver, S., Baser, I., & Cinkilic, L. (2014). The Effects of Different Hormones and their doses on Rooting of Stem Cuttings in Anatolian Sage (*Salvia Fruticosa* Mill.). *Apchee Procedia*, 8, 348-353.
25. Karimi, M., & Moradi. H. (2018). The effect of Cutting texture type and hormonal treatment with combination rooting cofactors on rooting of yew (*Taxus baccata* L.). *Iranian Journal of Forest*, 9 (4), 541-553.
26. El-Kosary, O. (2009). Effect of GA₃, NAA and cytophex spraying on Samany and Zaghoul date palm yield, fruit retained and characteristics. *Journal of Horticultural Sciences, Ornamental Plants*, 1 (2), 49-59.
27. Hu, H., & Brown. P. H. (1993). Adsorption of boron by plants roots. *Plant and Soil*, 78, 49-58.
28. Hartman, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. T. (1997). *Plant propagation*. International Ed. Prentice Hall. 769.
29. Hacisaliloglu, G., & Hart, J. (2001). Two pieces of the zinc efficiency puzzle: Root Zn influx and Zn compartmentation in the shoot. In: Horst, W. J., Schenk, M. K., Bürkert, A., Claassen, N., Flessa, H., Frommer, W. B., Goldbach, H., Olf, H. W., Römheld, V., Sattelmacher, B., Schmidhalter, U., Schubert, S., von Wirén, N., Wittenmayer, L. *Plant Nutrition, Food security and sustainability of agroecosystems through basic and applied research*, 192-193.
30. Macdonald, B. (1986). *Practical woody plant propagation for nursery growers*. Volume I, Timber Press. 669 p.
31. Nasri, F., Fadakar, A., Saba, M. K., & Yousefi, B. (2015). Study of indole butyric acid (IBA) effects on cutting rooting improving some of wild genotypes of damask roses (*Rosa damascena* Mill.). *Journal of Agricultural Sciences*, 60, 263-275.
32. Ingle, M., & Venugopal, C. (2009). Effect of different growth regulators on rooting of stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) cuttings. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 22, 455-456.
33. Karakurt, H., Aslantas, R., Ozkan, G., & Guleryuz, M., (2009). Effects of indol-3-butyric acid (IBA), plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and carbohydrates on rooting of hardwood cutting of MM106 Apple rootstock. *African Journal of Agricultural Research*, 4(2), 60-64.
34. Nanda, K. K., & Anand, V. K. (1970). Seasonal changes in auxin effects on rooting of stem cuttings of *Populus*

- nigra* and its relationship with mobilization of starch. *Physiologia Plantarum*, 23, 99-107.
35. Nair, A. (2006). *Production of stewartia pseudocamellia maxim.* Electronic Theses and Dissertations. 733. <https://digitalcommons.library.umaine.edu/etd/733>.
36. Marschner, H. (2002). *Mineral Nutrition of Higher Plants.* Academic Press, London, 889 p.
37. Castr, J., & Sotomayor, C. (1997). The influence of boron and zinc sprays bloom time on almond fruit set. *Acta Horticulture*, 470, 402-405.
38. Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology* (Third Edition). Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, 690 p.
39. Ahmad, M., & Abdel, F. M. (1995). Effect of urea, some micronutrients, and growth regulators foliar spray on the yield, fruit quality, and some vegetative of, Washington navel orange trees. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 30, 770-774.
40. Trobec, M., Stampar, F., Veberic, R., & Osterc, G. (2004). Fluctuations of different endogenous phenolic compounds and cinnamic acid in the first days of the rooting process of cherry rootstock 'GiSelA 5' leafy cuttings. *Journal of Plant Physiology*, 162, 589-597.
41. Aslmoshtaghi, A., & Shahsavar, A. (2010). Endogenous Soluble Sugars, Starch Contents and Phenolic Compounds in Easy - and Difficult - to - Root Olive Cuttings. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4 (11), 83-86.
42. Weaver. R. G. (1972). *Plant Growth Substances in Agriculture.* Freeman and company. sanfrancisco. 594 p.
43. Jamalpoor Birgani, H., Eftekhari, S. A., & Heidari, M. (2020). Effect different iron concentration on iron connect of leaf and qualitative indicators of the landraces of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) indigenous to iran grow in soilless culture. *Journal of Plant Physiology*, 8 (32), 35-50.
44. Schwambach, J., Fadanelli, C., & Fett-Neto, A. G. (2005). Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus.* *Tree Physiology*, 25, 487-494.
45. Khalighi, A. (1976). The relationships between mineral nutrients and endogenous rooting cofactors in carnation. Iran. *Journal of Agricultural Research*, 04 (1), 35-39.
46. Aslmoshtaghi, E., & Shahsavar, A. R. (2016). Evaluation changes of proteins, peroxidase and polyphenol oxidase two olive cultivars during different stages of rooting. 9th Congress of Iranian Horticultural Science.
47. Gaspar, T., Kevers, C., Hausman, J. F., Berthon, J. Y., & Ripetti, V. (1992). Practical uses of peroxidase activity as a predictive marker of rooting performance of micropropagated shoots. *Agronomie*. 12 (10), 757-765.
48. Christensen, J., Bauw, G., Welinder, K., Montagu, M., & Boerjan, W. (1998). Purification and characterization of peroxidase correlated with lignification in poplar xylem. *Plant Physiology*, 118, 125-135.