گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۴)، ۱۰(۱): ۱۷-۳۴
مقاله پژوهشی

پاسخ ریشه‌زایی قلمه‌های گل کاغذی ابلق (*Bougainvillea spectabilis* Willd. 'Raspberry Ice') به تیمار ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه

مهدی قائدامینی، نعمت‌اله اعتمادی*، مریم حقیقی، رحیم امیری‌خواه، لیلا چهل‌تنان

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

etemadin@iut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

چکیده

گل کاغذی ابلق (*Bougainvillea* 'Raspberry Ice') با داشتن براکته‌های (برگه‌های) رنگی و زیبا و برگ‌های ابلق، در طراحی منظر و فضای سبز اهمیت زیادی دارد. افزایش با قلمه یکی از روش‌های مهم تکثیر این گیاه است. با این‌حال، ریشه‌زایی قلمه‌های این گیاه دشوار بوده و تحت تأثیر عوامل گوناگونی مانند نوع قلمه قرار می‌گیرد. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر دو نوع قلمه چوب سخت و چوب نیمه‌سخت و غلظت‌های مختلف ایندول بوتیریک اسید (۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در راستای بهبود ریشه‌زایی گل کاغذی رقم 'Raspberry Ice' بود. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج این آزمایش نشان داد که درصد ریشه‌زایی، طول ریشه و ساقه، تعداد ریشه، برگ و شاخه جانبی، وزن‌تر و خشک ریشه و شاخساره در قلمه‌های چوب سخت به‌طور معنی‌داری بیشتر از قلمه‌های چوب نیمه‌سخت بود. با این‌حال، میزان نشاسته و کربوهیدرات محلول در قلمه‌های چوب نیمه‌سخت به ترتیب ۱۰/۳۵ و ۲۴/۷۳ درصد بیشتر از قلمه‌های چوب سخت مشاهده شد. بیش‌ترین درصد ریشه‌زایی مربوط به کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید در قلمه‌های چوب سخت بود که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۵۳/۸۴ درصدی نشان داد. همچنین، کم‌ترین درصد ریشه‌زایی مربوط به کاربرد ایندول بوتیریک اسید در غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بر روی قلمه‌های چوب نیمه‌سخت بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید سبب افزایش ۵۸/۴۱ و ۲۸/۴۵ درصدی تعداد شاخه جانبی و تعداد برگ نسبت به شاهد شد. کاربرد غلظت‌های بالاتر ایندول بوتیریک اسید به ویژه تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تأثیر منفی بر ویژگی‌های ریشه و رشدی گیاه داشت. همچنین، کم‌ترین میزان نشاسته و کربوهیدرات به ترتیب مربوط به تیمار ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید بود که نشان‌دهنده تجزیه این عناصر برای تامین مواد مورد نیاز برای بهبود ریشه‌زایی و رشد قلمه‌های گل کاغذی ابلق بود. به‌طور کلی، استفاده از قلمه‌های چوب سخت و کاربرد ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید تأثیر مثبتی بر صفات رشدی و ریشه‌زایی گل کاغذی ابلق داشت.

واژه‌های کلیدی: ایندول بوتیریک اسید، قلمه چوب سخت، ریشه‌زایی، گل کاغذی ابلق.

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

مقدمه

گل کاغذی[1] درختچه-پیچی همیشه سبز از تیره Nyctaginaseae است که به علت رشـــد متــراکم و انبـــوه برگه‌ها و تنــوع رنـــــــــگ‌های زیبا، از جایگاه ویژه‌ای در باغبانی زینتی برخوردار اسـت (Huang *et al*., 2022). در حقیقت عامل زیبایی آن برگواره‌های سـه‌تایی گلبرگ مانند آن اسـت (Fathi *et al*., 2017). گل کاغذی در مناطق جنوبی و شـمالی کشـور می‌تواند در فضـای آزاد پرورش یابد، اما با کاهش دمای محیط به کمتر از ۱۸/۵ درجه سـلسـیوس، گلدهی آن کاهش یافته و برگ‌های آن شـروع به ریزش می‌کند، بنابراین در مناطق معتدل و سـردسـیر تنها به صـورت گلخانه‌ای قابل اسـتفاده اسـت (Ziarati *et al*., 2019). رقم 'Raspberry Ice' علاوه بر براکته‌های رنگی دارای برگ‌های ابلق زعفرانی و سبز بوده که در زیبایی منظر و فضـای سـبز اهمیت زیادی دارد (Fathi *et al*., 2017). طبق پژوهش‌های صـورت گرفته، دورگه‌های گل کاغذی عقیم هسـتند و فقط بعضی گونه‌ها ممکن است با بذر افزایش یابند و متداول‌ترین روش تکثیر آن با قلمه است (Huang *et al*., 2022).

استفاده از قلمه یکی از روش‌های مهم تکثیر گیاهان ابلق است اما این روش موفقیت محدودی در تکثیر گل کاغذی دارد زیرا بیشـتر ارقام آن به سـختی ریشـه‌دار می‌شـوند (Pirdastan *et al*., 2020). اسـتفاده از محرک‌های رشـد و هورمون‌های ریشـه‌زایی راه‌حل کلیدی برای غلبه بر این چالش اســت. اکســین‌ها اثر محرک بر ریشــه‌زایی دارند (Pirdastan *et al*., 2020) و آغازش ریشـه به اکسـین درونی و خارجی بسـتگی دارد به عبارتی کاربرد اکسـین با تأثیر بر تقسـیم سـلولی، شـروع تشـکیل ریشـه‌های جانبی و فرعی را تحریک می‌کند بدین جهت در پژوهش‌های متعدد از اکسین برای افزایش درصد ریشه‌زایی، افزایش تعداد و کیفیت ریشـه، بهبود یکنواختی در ریشـه‌زایی و رشـد رویشـی و همچنین جهت به حداقل رسـاندن زمان تکثیر اسـتفاده می‌شـود (Pathlan *et al*., 2022). میانگین زمان ریشـه‌زایی و درصـد ریشـه‌ها ارتباط نزدیکی با در دسترس بودن اکسین در قلمه دارد. با خیساندن یا پوشش قلمه خیلی از گونه‌های گیاهی در مقدار کمی از اکسین، ریشــه‌هـا سریع‌تر و به تعداد بیشتر توسعه می‌یابد (Khan *et al*., 2004).

ایندول بوتیریک اسید یک اکسین مصنوعی است که درصد، کیفیت و قدرت ریشه‌دهی را افزایش می‌دهد، بنابراین، به‌طور گسترده‌ای برای تکثیر رویشی استفاده می‌شود؛ با این حال، غلظت بهینه ایندول بوتیریک اسید برای القاء رشد ریشه نابجا می‌تواند بین گونه‌ها، نوع قلمه و یا سن گیاه مادری متفاوت باشد (Wojtania *et al*., 2019). به عبارتی دیگر، گیاهان واکنش‌های متفاوتی به غلظت‌های مختلف یک نوع اکسین از خود نشان می‌دهند که بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی داخل قلمه‌ها تأثیر می‌گذارد و باعث تفاوت بیشتر بر بهبود ریشه‌زایی می‌شود (Chen *et al*., 2023). ایندول بوتیریک اسید با افزایش اندازه مریستم انتهایی، ریشه‌های مویین، توسعه ریشه جانبی و تشکیل ریشه‌های نابه جا به رشد و توسعه ریشه کمک می‌کند (Chowdhary *et al*., 2022). Khan و همکـاران (2004) گزارش کردند که کاربرد اینـدول بوتیریک اسـید بر روی قلمه‌های رز سبب بهبود ریشه‌زایی شد. بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف ایندول بوتیریک اسید بر قلمه‌های چوب سخت و چوب نیمه‌سخت رز نشان داد تیمار ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب بهبود تعداد ریشه و طول ریشه در قلمه‌های چوب نیمه‌سخت شد (Yeshiwas *et al*., 2015). براساس پژوهشی که توسط Ahmad و همکاران (2002) روی قلمه‌های پنج رقم گل کاغذی انجام

۱- *Bougainvillea spectabili* Willd.

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

گرفت مشخص شد استفاده از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول بوتیریک اسید باعث بهبود ریشه‌زایی شد، همچنین آن‌ها گزارش کردند که نوع رقم گل کاغذی بر پارامترهای ریشه‌زایی تأثیر می‌گذارد. استفاده از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول بوتیریک اسید باعث کاهش زمان تا شروع ریشه‌زایی، افزایش تعداد برگ، شاخه، ریشه، طول ریشه، طول ساقه، درصد بقا و درصد ریشه‌دهی در گل کاغذی شد درحالیکه افزایش غلظت ایندول بوتیریک اسید تأثیر منفی بر تمامی صفات مورد ارزیابی داشت (Mehraj *et al*., 2013). استفاده از غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول بوتیریک اسید روی قلمه‌های گل کاغذی[1] باعث افزایش تعداد ریشه، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره شد (Shrestha *et al*., 2023). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد که کاربرد خارجی ایندول بوتیریک اسید سرعت انتقال و حرکت کربوهیدرات‌ها از برگ به ناحیه برش ساقه را افزایش داده و بدین جهت باعث بهبود رشد ریشه گردید (Manokari & Shekhawat, 2016).

لزوم کاربرد اکسین طبیعی یا مصنوعی برای تشکیل ریشه‌های نابجا در قلمه‌ها به خوبی پذیرفته شده و بارها مورد تأئید قرار گرفته است. در واقع مشخص گردیده که تقسیم سلول‌های اولیه ریشه بستگی به اکسین داخلی و یا اکسین برون‌زا، دارد (Kesari *et al*., 2010). با توجه به اهمیت گل کاغذی ابلق در فضای سبز به دلیل تنوع رنگ و گلدهی طولانی مدت و امکان کشت در مناطق مختلف ایران به خصوص نواحی حاشیه خلیج فارس و با توجه به مشکلات ناشی از ریشه‌زایی در تکثیر از طریق قلمه در این گیاه، این پژوهش به منظور دستیابی به غلظت بهینه ایندول بوتیریک اسید در ریشه‌دهی و ارزیابی میزان ریشه‌زایی در دو نوع قلمه چوب سخت و چوب نیمه‌سخت گل کاغذی رقم 'Raspberry Ice' انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه آموزشی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و هر تکرار شامل ده قلمه انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل چهار سطح ایندول بوتیریک اسید و دو نوع قلمه بودند. برای انجام پژوهش ابتدا قلمه‌های چوب سخت و چوب نیمه‌سخت از شاخه‌های یکساله مربوط به درختچه ۱۰ ساله گل کاغذی رقم ‘Raspberry Ice’ در جزیره کیش در استان هرمزگان در فروردین‌ماه تهیه گردید. سپس نمونه‌ها به گلخانه منتقل و قلمه‌هایی با طول ۱۵ سانتی‌متر تهیه و با هورمون ریشه‌زایی به روش فروبردن سریع، تیمار شدند. بدین منظور قاعده قلمه‌ها در محلول ایندول بوتیریک اسید با چهار غلظت ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت زمان ۳۰ ثانیه قرار گرفت و انتهای قلمه‌های شاهد درون آب مقطر استریل فرو برده شد. قلمه‌های تیمار شده در شاسی تکثیر حاوی ترکیبی از ماسه، پرلیت و کوکوپیت با نسبت (۱:۱:۱) مجهز به سیستم مه‌افشان با پوشش پلاستیکی با فاصله ۸ سانتی‌متر در روی ردیف و فاصله ۲۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها کشت گردید. در طول دوره آزمایش میانگین دمای کمینه ۱۷ و بیشینه ۲۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰ درصد تنظیم شد. پس از گذشت حدود ۷۵ روز و تشکیل مقدار مناسب ریشه، قلمه‌ها از بستر کشت خارج شدند و ویژگی‌های مربوطه اندازه‌گیری گردید.

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

[1]- *Bougainvillea glabra* cv. Double Red

صفات مورد ارزیابی شامل درصد ریشه‌زایی، طول ریشه، تعداد ریشه، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره، طول ساقه، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، میزان کربوهیدرات‌های محلول، میزان نشاسته و میزان نیتروژن موجود در برگ‌ها بودند. صفات طولی با خط‌کش، وزن‌های مربوطه با ترازو و تعداد اندام‌ها با چشم غیر مسلح اندازه‌گیری شدند.

میزان نیتروژن برگ به روش کجلدال اندازه‌گیری شد. بدین منظور ۰/۳ گرم از گیاه خشک شده را آسیاب و الک کرده و ۲/۳ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک و دو قطره آب اکسیژنه به آن اضافه کرده و حرارت داده تا زمانی‌که رنگ نمونه‌ها کاملاً شفاف شود، سپس به ۵ سی‌سی از عصاره حاصله ۲ سی‌سی سود ۱۰ نرمال، ۱۵ سی‌سی اسید بوریک و ۲ قطره معرف بروموکروزال اضافه گردید تا محلول بی‌رنگ به رنگ قرمز تبدیل شود و با اسید سولفوریک ۰/۰۱ تیتر شد سپس در دستگاه کجلدال میزان نیتروژن نمونه‌ها قرائت شد (Rowell, 1996).

اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول و نشاسته به روش اشلیگل (Sheligl, 1986) انجام شد. بدین منظور ۰/۱ گرم نمونه‌های برگی آسیاب شده با اتانول ۸۰ درصد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید و از عصاره حاصل برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول و نشاسته استفاده شد. برای سنجش کربوهیدرات‌های محلول به عصاره حاصل ۵ میلی‌لیتر از محلول ۵ درصد سولفات روی و ۴/۷ میلی‌لیتر از محلول هیدروکسید باریم ۰/۳ اضافه گردید. سپس ۲ میلی‌لیتر از عصاره را به ۱ میلی‌لیتر محلول فنل و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد اضافه کرده و نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفوتومتر با طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شدند.

برای اندازه‌گیری نشاسته به عصاره حاصل ۶/۵ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۵۲ درصد اضافه و سانتریفیوژ شد و با ۳/۵ میلی‌لیتر پرکلریک اسید شست‌وشو شد، سپس ۲ میلی‌لیتر از آن را به ۱ میلی‌لیتر از فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد اضافه کرده تا زمانی که رنگ تثبیت گردید. سپس نمونه‌ها در دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۸۵ خوانده شدند.

تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار (SAS (Ver 9.4 و رسم نمودارها توسط نرم افزار EXCEL انجام شد. همچنین، مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

درصد ریشه‌زایی

براساس یافته‌های پژوهش، بیش‌ترین میزان ریشه‌زایی مربوط به غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید (۳۸/۳۳ درصد) بود که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۵۶/۵ درصدی نشان داد و با افزایش غلظت ایندول بوتیریک اسید میزان ریشه‌زایی کاهش یافت به‌طوری‌که کم‌ترین درصد ریشه‌زایی در غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید (۱۳/۳۳ درصد) مشاهده شد (جدول ۱). همسو با این نتایج، در زیتون رقم 'Arbequina' نیز کاربرد ایندول بوتیریک اسید سبب افزایش درصد ریشه‌زایی شد (Denaxa *et al.*, 2012). تیمار اکسین موجب افزایش تقسیم و نمو یاخته ای در پوست، آوند آبکش و لایه زاینده می‌شود که منجر به شکسته شدن حلقه اسکلرانشیمی و تولید ریشه می‌شود (Kontoh, 2016). بیش‌ترین میزان ریشه‌زایی مربوط به قلمه‌های چوب سخت (۳۳/۳۳ درصد) بود که نسبت به قلمه‌های چوب نیمه‌سخت (۱۴/۶۷درصد) افزایش ۵۵/۹۸ درصدی را نشان داد (جدول ۱). طبق گزارش‌های پیشین نیز درصد ریشه‌زایی در قلمه‌های چوب سخت گل کاغذی بیشتر از قلمه‌های چوب نیمه‌سخت بود (Seyedi *et al.*, 2014). نتایج اثرات متقابل نشان داد، بیش‌ترین درصد

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

ریشه‌زایی مربوط به کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید در قلمه‌های چوب سخت بود که نسبت به تیمار شاهد مربوطه افزایش ۵۳/۸۴ درصدی نشان داد. همچنین، کم‌ترین درصد ریشه‌زایی مربوط به کاربرد ایندول بوتیریک اسید در غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بر روی قلمه چوب نیمه‌سخت بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد مربوطه نداشت (شکل ۱).

Mehraj و همکاران (2013) گزارش کردند کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید بر روی قلمه‌های چوب سخت گل کاغذی سبب افزایش ۴۲/۸ درصدی ریشه‌زایی در مقایسه با تیمار شاهد شد. همچنین، نتاج پژوهش‌های Singh (2012) نیز نشان داد بیش‌ترین درصد ریشه‌زایی بر روی قلمه چوب سخت گل کاغذی رقم 'louise Wathen' با کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید بدست آمد که افزایش ۸۰/۷۸ درصدی را در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد و غلظت‌های بالاتر سبب کاهش درصد ریشه‌زایی شد. گزارش شده است که غلظت‌های بالای اکسین سبب تخریب بافت‌های ته قلمه شده و بدین طریق سبب کاهش ریشه‌زایی می‌شود (Chen *et al*., 2023). نتایج این آزمایش نیز نشان داد با افزایش غلظت‌های بالاتر از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید ریشه‌زایی کاهش یافته که نشان دهنده تأثیر منفی غلظت‌های بالای اکسین بر ریشه‌زایی می‌باشد. غلظت بالای ایندول بوتیریک اسید در قلمه‌های چوب نیمه‌سخت رز نیز سبب مهار رشد ریشه و کاهش تعداد ریشه شد (Yeshiwas *et al*., 2015)، که با این گزارش همسو می‌باشد.

جدول ۱- اثر غلظت‌های مختلف ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر خصوصیات ریشه قلمه‌های گل کاغذی ابلق.

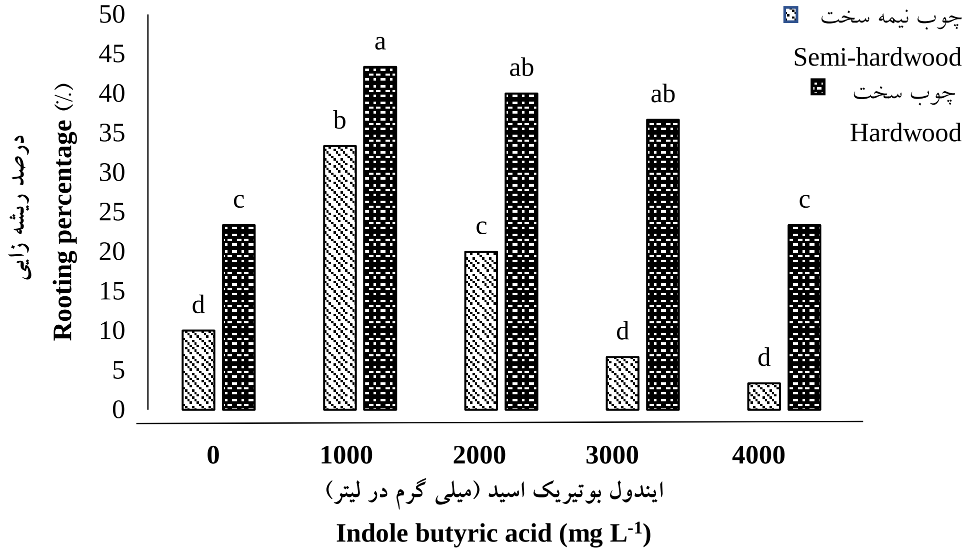
Table 1- Effect of different concentrations of indole butyric acid and cutting type on root characteristics of *Bougainvillea* 'Raspberry Ice' cuttings.

وزن خشک ریشه Root dry weight (g)	وزن‌تر ریشه Root fresh weight (g)	تعداد ریشه Number of roots	طول ریشه Root length (cm)	درصد ریشه زایی Rooting percentage (٪)		تیمار Treatment
0.04 b	0.09 b	2.01 b	1.99 b	14.67 b	چوب نیمه‌سخت Semi-hardwood	نوع قلمه Cutting type
0.18 a	0.42 a	4.77 a	3.77 b	33.33 a	چوب سخت Hardwood	
0.07 c	0.19 b	2.92 c	3.10 a	16.67 cd	0	ایندول بوتیریک اسید Indole butyric acid (mg L^{-1})
0.13 ab	0.31 a	3.08 b	3.20 a	38.33 a	1000	
0.15 a	0.31 a	5.28 a	3.37 a	30.00 b	2000	
0.10 bc	0.22 b	2.59 c	2.66 ab	21.67 c	3000	
0.08 c	0.21 b	3.11 b	2.06 b	13.33 d	4000	

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means with the same letters are not significantly different, using the LSD test ($P< 0.05$).

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]



شکل ۱- اثر برهمکنش ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر درصد ریشه‌زایی. ستون‌های با یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح (۵٪) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 1- The interaction effect of indole butyric acid and cutting type on rooting percentage. Bars with the same letter are not significantly different, using the LSD test (*P*< 0.05).

طول ریشه

نتایج نشان داد که بیش‌ترین طول ریشه در قلمه‌های چوب سخت (۳/۷۷ سانتی‌متر) و کم‌ترین طول ریشه در قلمه‌های چوب نیمه‌سخت (۱/۹۹سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۱). در تایید نتایج فوق در قلمه‌های چوب سخت رز بدلیل ذخایر غذایی بیشتر طول ریشه طویل‌تر از قلمه‌های چوب نیمه‌سخت بود (Yeshiwas *et al.*, 2015). براساس نتایج، بیش‌ترین طول ریشه در غلظت‌های ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید به دست آمد، اگرچه تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. در حالی‌که کاربرد ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید سبب کاهش معنی‌دار (۶۶/۴۵ درصدی) طول ریشه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۱)، که نشان می‌دهد غلظت‌های بالای هورمون ریشه‌زایی نه تنها نقشی در بهبود رشد ریشه نداشت بلکه از رشد آن نیز جلوگیری کرد. در این راستا، کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید در قلمه‌های چوب سخت توت، سبب افزایش ۴۵/۸۳ درصدی طول ریشه نسبت به تیمار شاهد شد (Chen *et al.*, 2023). همچنین، استفاده از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید سبب افزایش معنی‌دار طول ریشه در قلمه‌های گل کاغذی شد (Shrestha, *et al.*, 2023). علاوه براین، استفاده از ایندول بوتیریک اسید در میزان ۰/۸٪ با افزایش طول سلول سبب افزایش معنی‌دار طول ریشه در قلمه‌های درختچه ذغال اخته ابریشمی[۱] و ارغوان[۲] شد (Karam & Gebre, 2004; Pathlan *et al.*, 2022). همچنین، اگرچه استفاده از ۱۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید سبب افزایش طول ریشه در درختچه ابلیا[۳] شد. با این حال، افزایش غلظت ایندول بوتیریک اسید (۲۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، سبب کاهش معنی‌دار طول ریشه شد (Loconsole *et al.*, 2022) که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد. در تایید نتایج فوق در قلمه‌های چوب سخت انجیر و رز به‌دلیل مقادیر نشاسته بیشتر طول ریشه طویل‌تر از قلمه‌های چوب نیمه‌سخت بود (Patel *et al.*, 2017; Yeshiwas *et al.*, 2015).

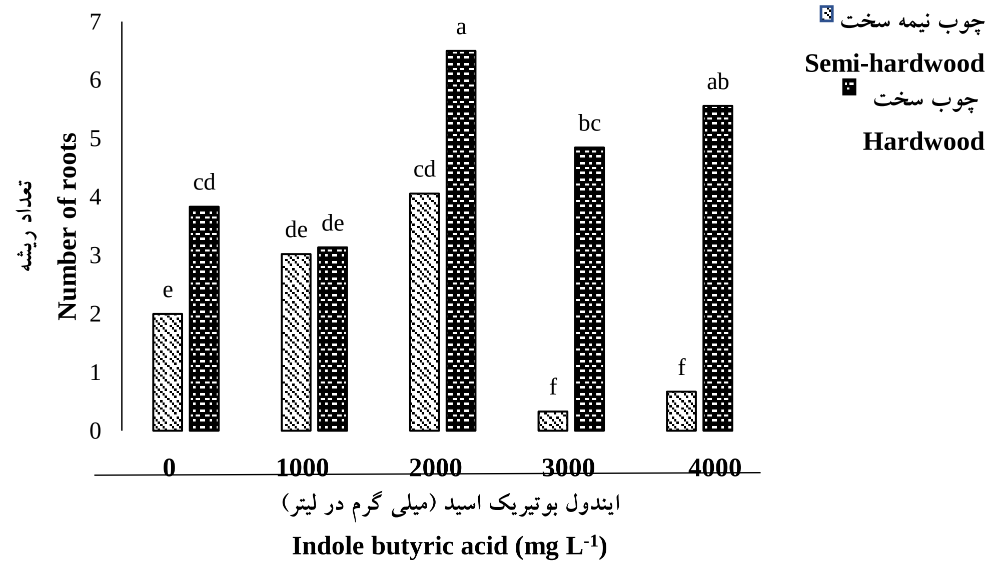
۱- *Cornus sericea* L.　۲- *Cercis siliquastrum*　۳- *Abelia x grandiflora* (Andrè) Rehd.

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

تعداد ریشه

بیش‌ترین تعداد ریشـــه در قلمه چوب ســـخت (۴/۷۷ عدد) و کم‌ترین تعداد ریشـــه در قلمه چوب نیمه‌ســـخت (۲/۰۱ عدد) مشـاهده شـد (جدول ۱). همسـو با این نتایج، براسـاس پژوهش‌های پیشـین در گل کاغذی نیز تعداد ریشـه در قلمه‌های چوب سـخت ۱۷/۵ درصـد بالاتر از قلمه‌های چوب نیمه‌سـخت بود (Seyedi *et al*., 2014). مقایسـه میانگین‌ها نشـان داد که کاربرد ایندول بوتیریک اسید فقط در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (۵/۲۸ عدد) سبب افزایش معنی‌دار تعداد ریشه شد که نسبت به شـاهد افزایش ۱/۸ برابری نشـان داد (جدول ۱). نتایج پژوهش‌ها بیانگر آن است که اکسـین سـبب تسـریع ریشـه‌زایی، تحریک تشـکیل ریشـه‌های فرعی و به‌طور کلی باعث بهبود ریشـه‌زایی می‌شـود (Chen *et al*., 2023). پیش از این افزایش تعداد ریشـه در اثر کاربرد ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسـید در قلمه‌های چوب سـخت گل کاغذی (Rashoudi *et al*., 2015) نیز گزارش شـــده اســـت که یافته‌های این پژوهش را تایید می‌کند. در قلمه‌های چوب نیمه‌ســـخت رزماری نیز کاربرد ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید سبب افزایش معنی‌دار تعداد ریشه شد (Shahhoseini *et al*., 2015).

برهمکنش نوع قلمه و ایندول بوتیریک اسـید نشـان داد بیش‌ترین تعداد ریشـه در قلمه‌های چوب سـخت و با کاربرد ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسـید به‌دسـت آمد که ۴۱/۰۷ درصـد افزایش در مقایسـه با شـاهد نشـان داد. همچنین، کم‌ترین تعداد ریشـه نیز مربوط به قلمه‌های چوب نیمه‌سـخت و کاربرد ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید بود که به ترتیب ۸۳/۵ و ۶۷٪ کاهش در مقایسـه با تیمار شـاهد مربوطه نشـان دادند (شـکل ۲). این یافته‌ها با گزارش‌های دیگر که نشان دادند افزایش بیش از حد غلظت اکسین اثر بازدارندگی بر تعداد ریشه‌های تولیدی در قلمـه‌هـای رزمـاری (Shahhoseini, *et al*., 2015) و گل کاغذی (Shrestha *et al*., 2023) دارد، همسو است.



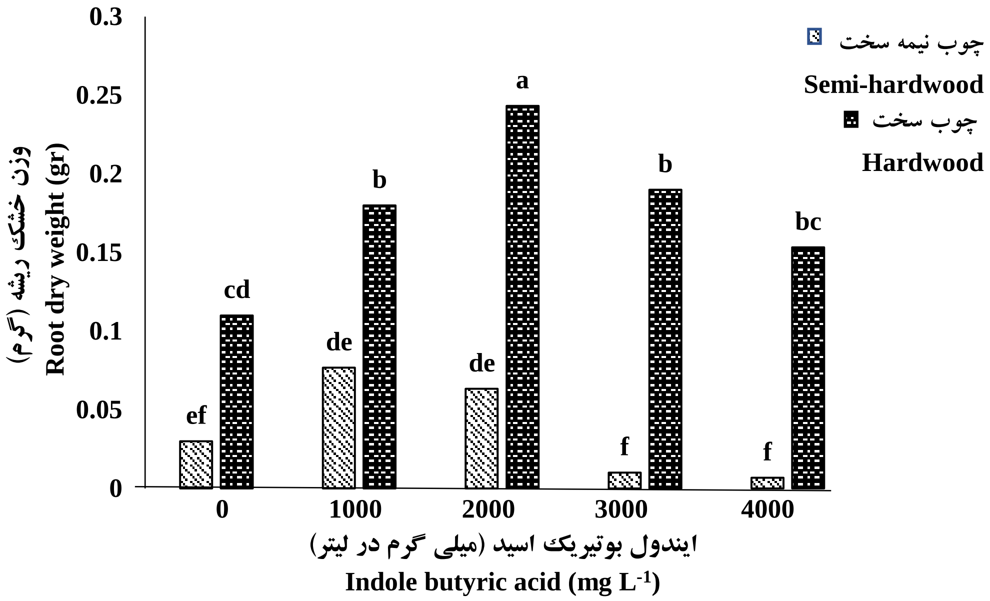
شکل ۲- اثر برهمکنش ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر تعداد ریشه. ستون‌های با یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح (۵٪) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 2- The interaction effect of indole butyric acid and cutting type on the number of roots. Bars with the same letter are not significantly different, using the LSD test (P< 0.05).

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

وزن تر و خشک ریشه

بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه مربوط به قلمه‌های چوب سخت (به ترتیب ۰/۴۲ و ۰/۱۸ گرم) و کم‌ترین وزن تر و خشک ریشه مربوط به قلمه‌های چوب نیمه‌سخت (به ترتیب ۰/۰۹ و ۰/۰۴ گرم) بود (جدول ۱). در تایید نتاج فوق سیدی و همکاران (Seyedi *et al.*, 2014) نشان دادند وزن تر و خشک ریشه قلمه‌های چوب سخت گل کاغذی بالاتر از قلمه‌های چوب نیمه‌سخت می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد کاربرد ایندول بوتیریک اسید در غلظت‌های پایین‌تر (۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) سبب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک ریشه نسبت به شاهد مربوطه شد، درحالی‌که کاربرد ایندول بوتیریک اسید در غلظت‌های بالاتر تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (جدول ۱). در قلمه‌های چوب سخت گل کاغذی نیز کاربرد ایندول بوتیریک اسید سبب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد (Rashoudi *et al.*, 2015) که با نتاج حاصل از این پژوهش همخوانی دارد. همچنین، استفاده از ایندول بوتیریک اسید در غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با افزایش تعداد ریشه سبب افزایش معنی‌دار وزن تر و وزن خشک ریشه در قلمه‌های چوب نیمه‌سخت رزماری شد (Shahhoseini *et al.*, 2015). نتایج اثرات متقابل نشان داد کاربرد ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید بر روی قلمه‌های چوب سخت سبب افزایش ۵۴/۱۶ درصدی وزن خشک ریشه در مقایسه با تیمار شاهد مربوطه شد و کم‌ترین میزان وزن خشک ریشه مربوط به قلمه چوب نیمه‌سخت با غلظت‌های ۴۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید بود، که به ترتیب کاهش ۷۷/۶ و ۶۶/۶ درصد را در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد (شکل ۳). همسو با این نتایج، کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید سبب افزایش معنی‌دار وزن تر ریشه در قلمه‌های گز نسبت به تیمار شاهد شد درحالی‌که استفاده از غلظت‌های بالاتر ایندول بوتیریک اسید سبب کاهش معنی‌دار آن شد (Chen *et al.*, 2023).



شکل ۳- اثر برهمکنش ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر وزن خشک ریشه. ستون‌های با یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح (۵٪) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 3- The interaction effect of indole butyric acid and cutting type on root dry weight. Bars with the same letter are not significantly different, using LSD test ($P < 0.05$).

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

طول ساقه

براساس نتایج این آزمایش، بیش‌ترین طول ساقه در قلمه چوب سخت (۴/۲۸ سانتی‌متر) مشاهده شد که نسبت به قلمه چوب نیمه‌سخت افزایش ۷۷/۱ درصدی نشان داد (جدول ۲). در پژوهش‌های پیشین نیز طول ساقه در قلمه چوب سخت گل کاغذی افزایش ۲۰/۳۳ درصدی نسبت به قلمه‌های چوب نیمه‌سخت نشان داد (Seyedi *et al.*, 2014). کاربرد غلظت‌های مختلف ایندول بوتیریک اسید اثر معنی‌دار بر کاهش طول ساقه داشت به‌نحوی‌که کم‌ترین طول ساقه مربوط به تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول بوتیریک اسید (۱/۴۹ سانتی‌متر) بود که نسبت به تیمار شاهد (۴/۴۵ سانتی‌متر) کاهش ۶۶/۵ درصدی را نشان داد (جدول ۲). طبق گزارش‌های پیشین کاربرد اکسین‌های مصنوعی با غلظت زیاد روی قلمه‌های ساقه می‌تواند از نمو جوانه‌ها و حتی نمو شاخساره جلوگیری کند که با نتایج پژوهش حاضر همسو است (Chen *et al.*, 2023). استفاده از غلظت‌های مختلف ایندول بوتیریک اسید در قلمه‌های سیب تأثیر معنی‌داری بر افزایش طول ساقه نداشت (Khandaker *et al.*, 2022). نتایج اثرات متقابل نشان داد، کاربرد ایندول بوتیریک اسید در قلمه‌های چوب سخت سبب کاهش معنی‌دار طول ساقه نسبت به تیمار شاهد مربوطه شد. کم‌ترین طول ساقه مربوط به تیمار ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول بوتیریک اسید در قلمه‌های چوب نیمه‌سخت بود (شکل۴). براساس پژوهش‌های پیشین گرچه استفاده از غلظت‌های ۵۰۰ میلی گرم در لیتر ایندول بوتیریک اسید و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نفتالین استیک اسید سبب افزایش ارتفاع بوته در قلمه‌های چوب یکساله و رشد سال جاری گل کاغذی شد با این حال، افزایش غلظت ایندول بوتیریک اسید (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و نفتالین استیک اسید (۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه شد (Shrestha *et al.*, 2023).

جدول ۲- اثر غلظت‌های مختلف ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر خصوصیات رشدی قلمه‌های گل کاغذی ابلق.

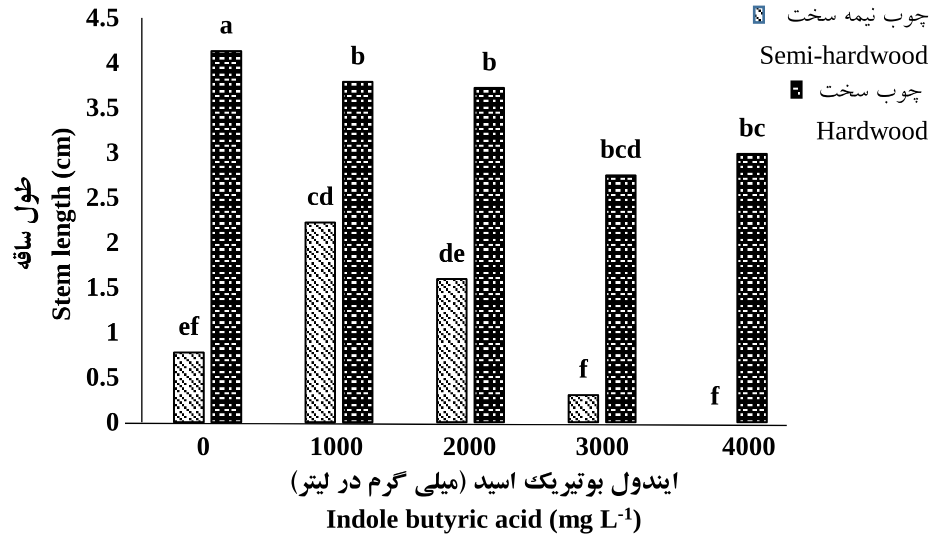
Table 2- Effect of different concentrations of indole butyric acid and type of cuttings on growth characteristics of *Bougainvillea* 'Raspberry Ice' cuttings

تیمار Treatment		طول ساقه (سانتی‌متر) Stem length (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	وزن‌تر شاخساره (گرم) Fresh weight of shoots (g)	وزن خشک شاخساره (گرم) Dry weight of shoot (g)
نوع قلمه Cutting type	چوب نیمه‌سخت Semi-hardwood	0.98 b	0.33 b	4.09 b	1.11 b	0.38 b
	چوب سخت Hardwood	4.28 a	1.32 a	11.98 a	6.76 a	1.15 a
ایندول بوتیریک اسید Indole butyric acid ($mg. L^{-1}$)	0	4.45 a	0.47 c	7.37 c	3.70 bc	0.79 bc
	1000	3.00 b	1.13 a	10.30 a	4.50 b	0.80 b
	2000	2.66 b	1.10 a	9.25 b	5.46 a	0.95 a
	3000	1.52 c	0.83 b	6.83 cd	3.57 c	0.69 c
	4000	1.49 c	0.58 c	6.45 d	2.46 d	0.58 d

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means with the same letters are not significantly different, using the LSD test (P< 0.05).

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]



شکل ۴- اثر برهمکنش ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر طول ساقه. ستون‌های با یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح (۵٪) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 4- The interaction effect of indole butyric acid and cutting type on stem length. Bars with the same letter are not significantly different, using the LSD test (*P*< 0.05).

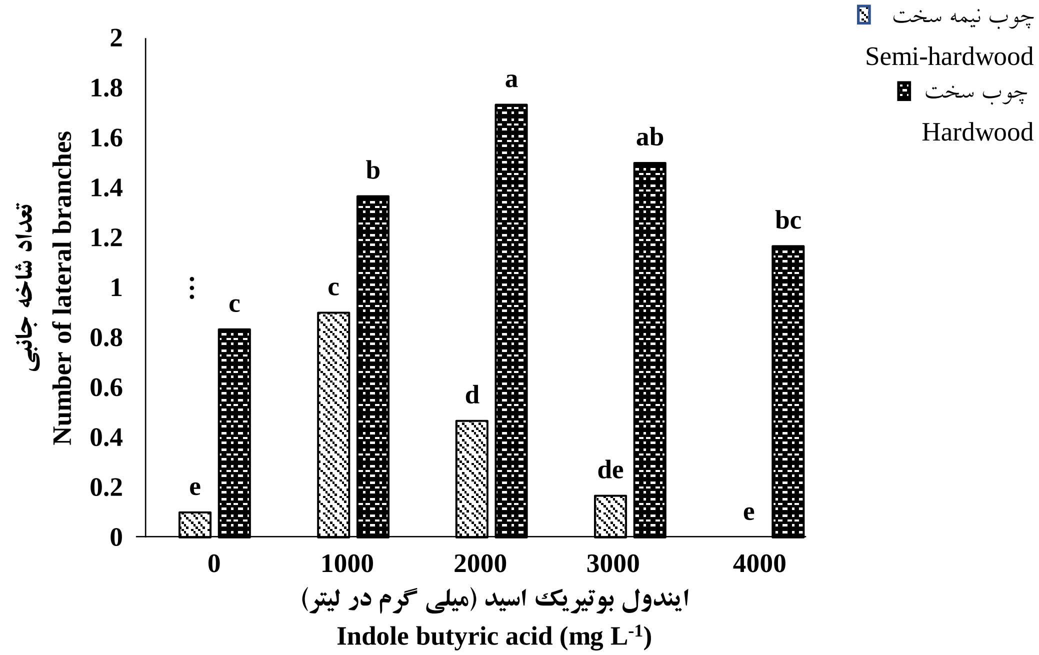
تعداد شاخه جانبی

بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی در قلمه چوب سخت (۱/۳۲ عدد) و کم‌ترین آن در قلمه چوب نیمه‌سخت (۰/۳۳ عدد) مشاهده شد (جدول ۲). در قلمه‌های انجیر تعداد شاخه در قلمه‌های چوب سخت به دلیل وجود ذخایر بالاتر کربوهیدرات بیشتر از قلمه‌های چوب نیمه‌سخت بود (Patel *et al.*, 2017). براساس نتاج حاصله با افزایش غلظت ایندول بوتیریک اسید، تعداد شاخه جانبی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌نحوی‌که بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی در غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید (۱/۱۳ و ۱/۱۰ عدد) حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب افزایش حدود ۲/۴ و ۲/۳ برابری نشان داد (جدول ۲). همسو با نتایج مطالعه حاضر به گزارش Chen و همکاران (2023)، کاربرد ایندول بوتیریک اسید بر افزایش تعداد شاخه در قلمه‌های گز (*Tamarix chinensis*) موثر بود که بیش‌ترین تعداد شاخه در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید حاصل شد. نتایج برهمکنش نوع قلمه و غلظت تنظیم‌کننده رشد نشان داد، کاربرد ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید سبب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی در مقایسه با تیمار شاهد در قلمه چوب سخت شد، کم‌ترین تعداد شاخه جانبی نیز در قلمه چوب نیمه‌سخت و در غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید مشاهده شد، که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۵). همسو با این نتایج، طبق پژوهش‌های انجام شده بر روی قلمه‌های چوب سخت گل کاغذی، بیش‌ترین تعداد شاخه در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید به‌دست آمد (Rashoudi *et al.*, 2015).

طبق گزارش‌های پیشین با افزایش غلظت ایندول بوتیریک اسید تعداد شاخه جانبی در قلمه چوب نیمه‌سخت به شدت کاهش می‌یابد به‌طوری‌که بکارگیری غلظت بالای اکسین روی قلمه‌های نیمه خشبی که خود توانایی تولید اکسین و همچنین توانایی جذب بالاتری از اکسین را به علت وجود یاخته‌هایی که از نظر متابولیسمی فعال‌تر از بافت‌های بالغ بوده و دیواره یاخته ای

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

آن‌ها به میزان کمتری چوبی شده است دارند سبب جلوگیری از نمو جوانه‌ها و حتی نمو شاخساره می‌شود (Blythe *et al.*, 2004). به طوری‌که، استفاده از ایندول بوتیریک اسید با غلظت ۲۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش تعداد شاخه، تعداد برگ و سطح برگ در قلمه‌های چوب سخت هلو شد با این حال، افزایش غلظت ایندول بوتیریک اسید، سبب کاهش معنی‌دار این صفات شد (Pathlan *et al.*, 2022) که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد.



شکل ۵- اثر برهمکنش ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر تعداد شاخه جانبی. ستون‌های با یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح (۵٪) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 5- The interaction effect of indole butyric acid and cutting type on the number of lateral branches. Bars with the same letter are not significantly different, using the LSD test (*P*< 0.05).

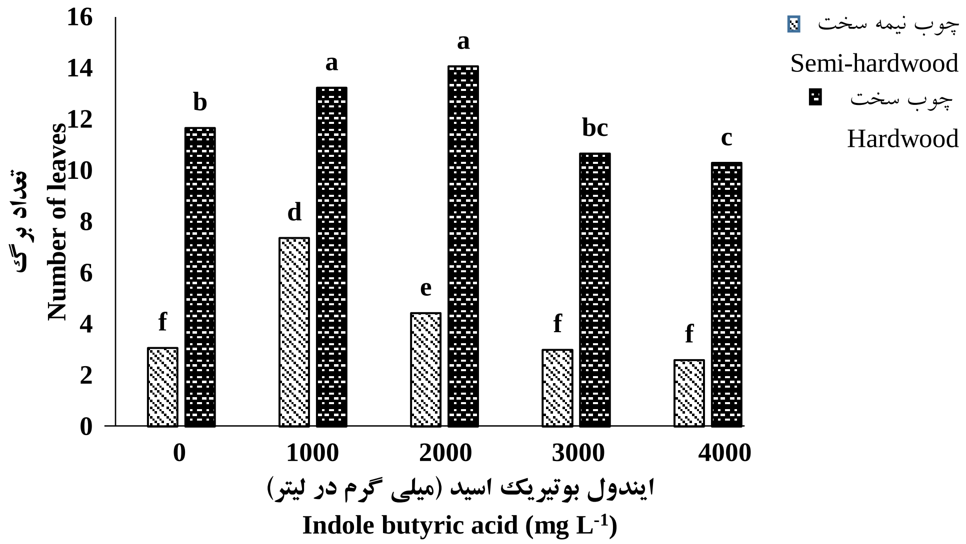
تعداد برگ

مقایسه تعداد برگ در قلمه‌ها نشان داد که بین قلمه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود دارد به‌طوری‌که تعداد برگ در قلمه‌های چوب سخت (۱۱/۹۸ عدد) بیشتر از قلمه چوب نیمه‌سخت (۴/۰۹ عدد) بود. کاربرد ایندول بوتیریک اسید تأثیر معنی‌داری بر افزایش تعداد برگ داشت به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد برگ در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید (۱۰/۳ عدد) به‌دست آمد که نسبت به شاهد افزایش ۲۸/۴۴ درصدی را نشان داد (جدول ۲). همسو با این نتایج، استفاده از ایندول بوتیریک اسید در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با افزایش تمایز سلولی سبب افزایش معنی‌دار تعداد برگ در قلمه‌های سیب شد (Khandaker *et al.*, 2022).

نتایج اثرات متقابل نشان داد، بیش‌ترین تعداد برگ در غلظت‌های ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید در قلمه چوب سخت بود، که به ترتیب افزایش ۱۷/۱ و ۱۱/۸۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. کم‌ترین تعداد برگ نیز مربوط به غلظت‌های ۴۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید در چوب چوب نیمه‌سخت بود که تفاوت

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

معنی‌دار با تیمار شاهد نداشتند (شکل ۶). طبق گزارشات Pathlan و همکاران (2022) کاربرد ایندول بوتیریک اسید با افزایش تعداد و طول ریشه، مواد غذایی و آب بیشتری جذب کرده در نتیجه سبب افزایش تعداد برگ می‌شود.



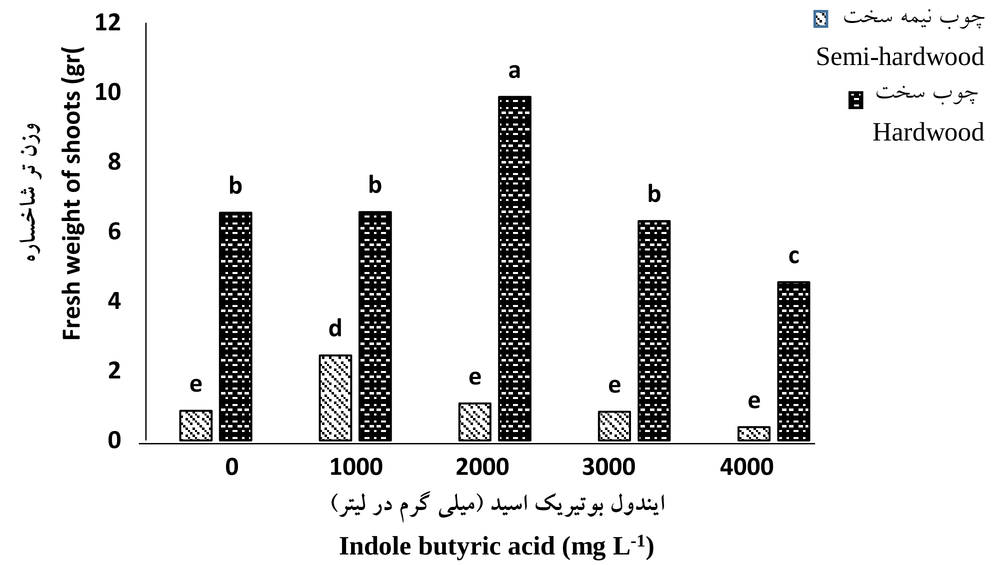
شکل ۶- اثر برهمکنش ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر تعداد برگ. ستون‌های با یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح (۵٪) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 6- The interaction effect of indole butyric acid and cutting type on the number of leaves. Bars with the same letter are not significantly different, using the LSD test (P< 0.05).

وزن تر و خشک شاخساره

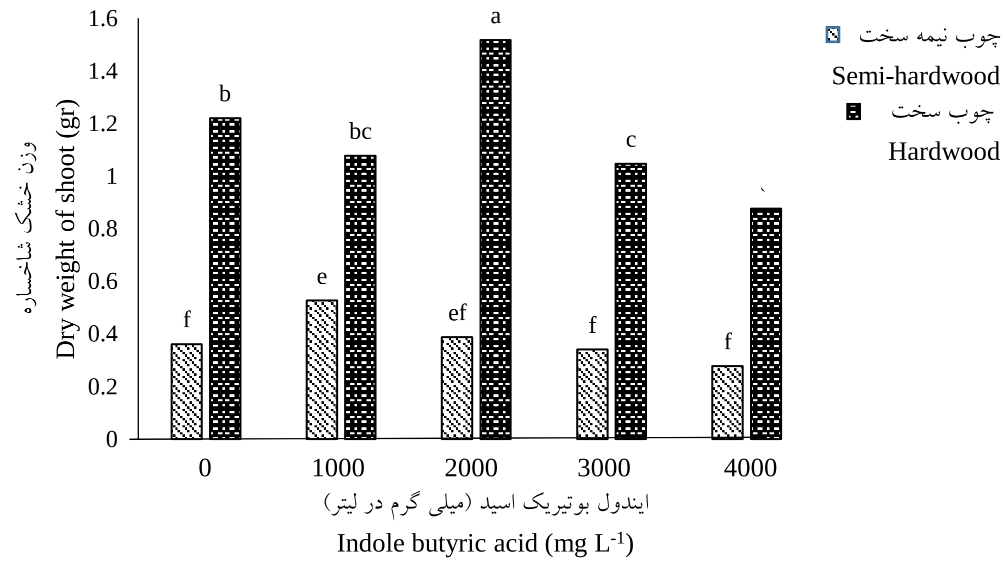
بیش‌ترین وزن تر و خشک شاخساره مربوط به قلمه‌های چوب سخت بود که به ترتیب افزایش ۸۳/۵۸ و ۶۶/۹۶ درصدی نسبت به قلمه‌های چوب نیمه‌سخت مشاهده شد (جدول ۲). براساس گزارشات Yeshiwas و همکاران (2015) در قلمه‌های چوب سخت رز، وزن خشک شاخساره ۲۴ درصد بیشتر از قلمه‌های چوب نیمه‌سخت بود. نتایج اثرات کاربرد ایندول بوتیریک اسید نشان داد بیش‌ترین وزن تر و خشک شاخساره در اثر کاربرد غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر حاصل شد (جدول ۲). در زیتون نیز کاربرد ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول بوتیریک اسید سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد که با نتایج این پژوهش همسو است (Safari Motlagh *et al.*, 2015). در قلمه‌های گز کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید سبب افزایش معنی‌دار وزن تر شاخساره شد (Chen *et al.*, 2023). بر اساس نتایج اثرات متقابل، بیش‌ترین وزن تر و خشک شاخساره مربوط به قلمه‌های چوب سخت و کاربرد ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید بود، که نسبت به تیمار شاهد مربوطه به ترتیب افزایش ۳۳/۷۴ و ۱۹/۲ درصد نشان داد. کم‌ترین وزن تر و خشک شاخسار مربوط به قلمه‌های چوب نیمه‌سخت در غلظت‌های ۴۰۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد مربوطه نداشتند (شکل ۸).

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]



شکل ۷- اثر برهمکنش ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر وزن‌تر شاخساره. ستون‌های با یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح (۵٪) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 7- The interaction effect of indole butyric acid and cutting type on fresh weight of shoots. Bars with the same letter are not significantly different, using the LSD test (*P*< 0.05).



شکل ۸- اثر برهمکنش ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر وزن خشک شاخساره. ستون‌های با یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح (۵٪) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 8- The interaction effect of indole butyric acid and cutting type on dry weight of shoots. Bars with the same letter are not significantly different, using the LSD test (*P*< 0.05).

میزان نیتروژن

بالاترین میزان نیتروژن در قلمه‌های چوب نیمه‌سخت (۴/۱۷ درصد) اندازه‌گیری شد که تفاوت معنی‌داری با قلمه‌های چوب سخت (۳/۹۵ درصد) نداشت. همچنین، نتایج نشان داد بین غلظت‌های مختلف ایندول بوتیریک اسید تفاوت معنی‌داری با

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

شــاهد در افزایش میزان نیتروژن وجود ندارد (جدول ۳). افزایش غلظت نیتروژن در اثر کاربرد ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول بوتیریک اسید در زیتون گزارش شده است که با نتایج این پژوهش مغایرت دارد (Rashoudi *et al*., 2015) علت اصلی این موضوع می‌تواند به‌دلیل تفاوت ژنتیکی باشد.

جدول ۳- اثر غلظت‌های مختلف ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر خصوصیات فیزیولوژیکی قلمه‌های گل کاغذی.

Table 3- Effect of different concentrations of indole butyric acid and type of cuttings on physiological characteristics of *Bougainvillea* 'Raspberry Ice' cuttings.

تیمار Treatment		میزان نیتروژن Nitrogen content (٪)	میزان نشاسته Starch content (mg/g DW)	کربوهیدارت محلول Soluble carbohydrate (mg/g DW)
نوع قلمه Cutting type	چوب نیمه‌سخت Semi-hardwood	4.17 a	93.62 a	89.85 a
	چوب سخت Hardwood	3.95 a	83.93 b	67.63 b
ایندول بوتیریک اسید Indole butyric acid (mg. L^{-1})	0	4.13 ab	68.83 c	67.45 b
	1000	3.78 b	89.17 b	73.47 b
	2000	3.86 ab	75.69 c	78.11 ab
	3000	4.31 a	104.15 a	87.86 a
	4000	4.23 ab	106.02 a	86.80 a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means with the same letters are not significantly different, using the LSD test ($P< 0.05$).

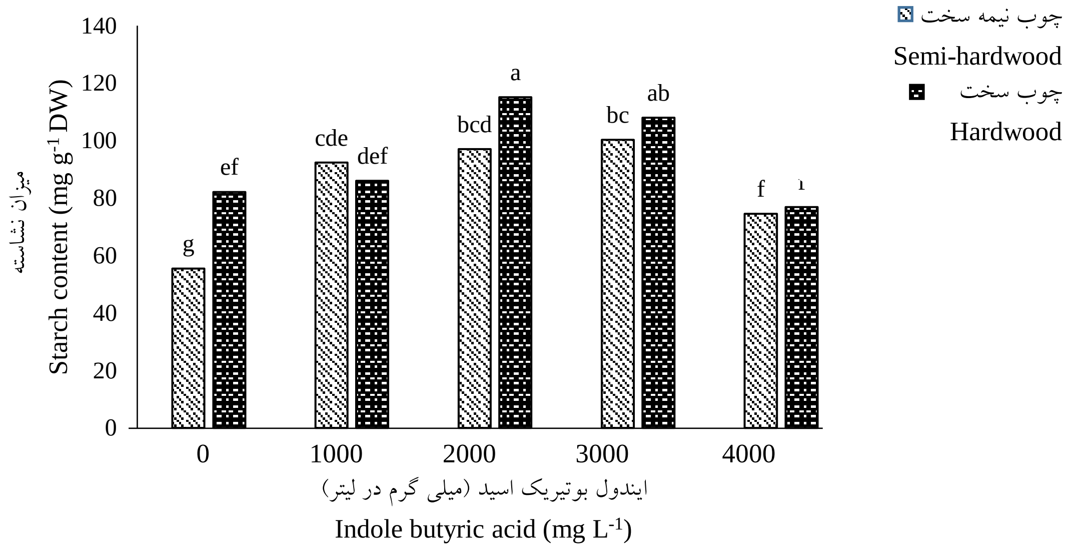
میزان نشاسته

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیش‌ترین میزان نشاسته در قلمه‌های چوب نیمه‌سخت (۹۳/۶۲ میلی‌گرم در گرم) و کم‌ترین میزان نشاسته مربوط به قلمه‌های چوب سخت (۸۳/۹۳ میلی‌گرم در گرم) بود. همچنین بیش‌ترین میزان نشاسته مربوط به بالاترین غلظت ایندول بوتیریک اسید (۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود که نسبت به شاهد افزایش ۵۴/۰۳ درصدی را نشان داد و کم‌ترین میزان نشاسته در غظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید (۷۵/۶۹ میلی‌گرم در گرم) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (جدول ۳). با توجه به نتایج اثرات متقابل بیش‌ترین میزان نشاسته مربوط به قلمه‌های چوب سخت در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید بود که افزایش ۲۸/۵۹ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد مربوطه نشان داد و کم‌ترین میزان نشاسته در قلمه چوب نیمه‌سخت و چوب سخت در غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۹).

تشکیل ریشه‌های نابه‌جا فرآیندی است که به منابع انرژی و کربن زیادی نیاز دارد. بنابراین، در طول ریشه‌زایی قلمه‌ها، تامین کافی کربوهیدرات اساساً مهم است. نشاسته رایج‌ترین شکل ذخیره کربوهیدرات در درختان است که نقش مهمی در رشد ریشه‌های در حال رشد ایفا می‌کند. تشکیل ریشه در ماگنولیا (*Magnolia grandiflora*) نیز با کاهش سطح نشاسته همراه بود (Wojtania *et al*., 2019). در قلمه‌های زیتون رقم ‘Arbequina’ بیش‌ترین درصد ریشه‌زایی همراه با افزایش غلظت قندهای

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

اولیه به ویژه گلوکز در بالاترین سطح و نشاسته در کم‌ترین سطح بود (Denaxa *et al.*, 2012). تشکیل ریشه در قلمه‌های آزالیا تیمار شده با ایندول بوتیریک اسید همراه با کاهش غلظت نشاسته بود که نشان‌دهنده مصرف نشاسته جهت ریشه‌زایی می‌باشد (Apine *et al.*, 2021). نتایج نشان داد که غلظت‌هایی از ایندول بوتیریک اسید که دارای درصد ریشه‌زایی بیشتری هستند میزان نشاسته در آن‌ها کمتر است به بیانی دیگر در بین تیمارهای مختلف ایندول بوتیریک اسید کم‌ترین میزان نشاسته مربوط به کاربرد غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که در عین حال بیش‌ترین درصد ریشه‌زایی را دارا بودند، درحالی‌که بیش‌ترین میزان نشاسته مربوط به تیمار ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید بود که کم‌ترین درصد ریشه‌زایی را داشت که می‌تواند بیانگر اختصاص بیشتر نشاسته جهت تامین انرژی برای ریشه‌زایی باشد.



شکل ۹- اثر برهمکنش ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر میزان نشاسته. ستون‌های با یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح (۵٪) تفاوت معنی‌داری ندارند.

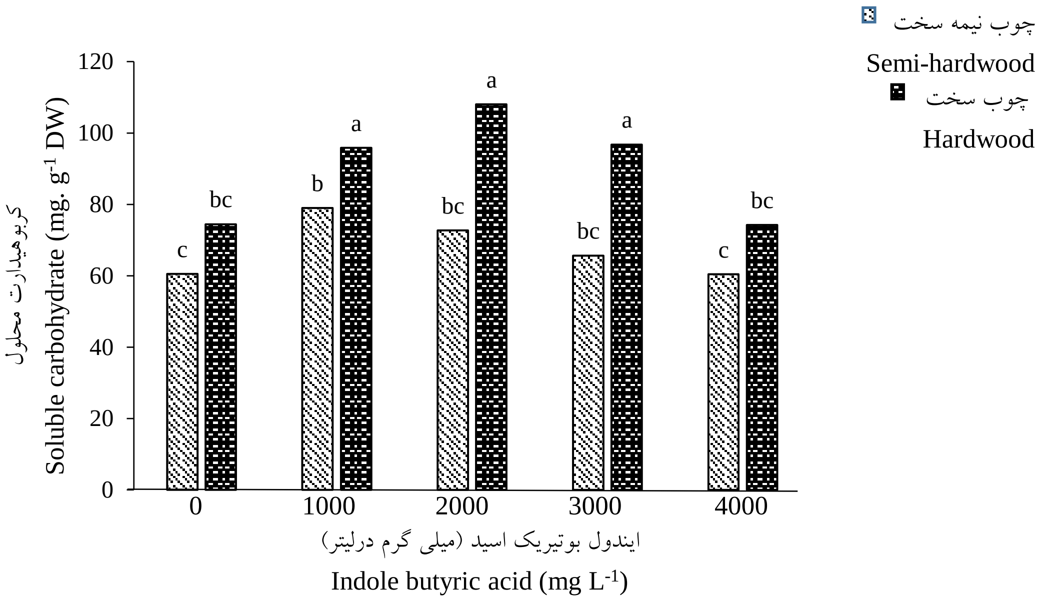
Figure 9- The interaction effect of indole butyric acid and cutting type on starch content. Bars with the same letter are not significantly different using the LSD test (*P*< 0.05).

کربوهیدرات محلول

براساس نتاج به‌دست آمده بیش‌ترین میزان کربوهیدرات محلول مربوط به قلمه‌های چوب نیمه‌سخت (۸۹/۸۵ میلی‌گرم در گرم) بود که نسبت به قلمه‌های چوب سخت افزایش ۲۴/۷۳ درصدی را نشان داد. با افزایش غلظت ایندول بوتیریک اسید، میزان کربوهیدرات محلول به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، بیش‌ترین میزان کربوهیدرات محلول مربوط به غلظت‌های ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید (۸۷/۸۶ و ۸۶/۸۰ میلی‌گرم در گرم) بود که به ترتیب افزایش ۳۰/۲۵ و ۲۸/۶۸ درصدی میزان کربوهیدرات محلول را نسبت به تیمار شاهد نشان دادند (جدول ۳). برهمکنش نوع قلمه و ایندول بوتیریک اسید نیز نشان داد، بیش‌ترین میزان کربوهیدرات در قلمه‌های چوب سخت در غلظت‌های ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم ایندول بوتیریک اسید حاصل شد، که به ترتیب افزایش ۳۱/۱ و ۲۳ و ۲۲/۳۲ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند و البته تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند همچنین کم‌ترین میزان کربوهیدرات در قلمه چوب چوب نیمه‌سخت در غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۱۰).

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

تشکیل ریشه در قلمه‌ها با پارامترهای فیزیولوژیک نظیر کربوهیدرات و نشاسته به دلیل تأمین ذخایر انرژی جهت رشد یاخته ای مرتبط می‌باشد به عبارتی دیگر استفاده از تیمارهای اکسین سبب افزایش میزان کربوهیدارت در ناحیه ریشه‌زایی می‌شود. نقش کربوهیدرات برای تشکیل ریشه‌های نابجا به وسیله تأمین انرژی و کربن برای تقسیم یاخته ای، تشکیل مریستم ریشه جدید و تشکیل ریشه ضروری است. در قلمه، ابتدا میزان زیادی کربوهیدرات برای تشکیل ریشه در ناحیه پایین قلمه جمع می‌شود و پس از ریشه‌زایی، کربوهیدارت در مریستم ساقه باعث آغاز رشد رویشی در اندام هوایی می‌گردد (Aslmoshtaghi & Shahsavar, 2010). همچنین تیمار اکسین با افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده یا با تحریک حرکت کربوهیدرات به سمت پایه قلمه‌ها، غلظت کربوهیدرات‌ها را در ناحیه ریشه‌زایی افزایش می‌دهد و در نتیجه ریشه‌زایی را تحریک می‌کند. طبق گزارش دناکسا و همکاران (Denaxa *et al*., 2012) در دسترس بودن کربوهیدرات‌ها در قلمه‌های زیتون عامل مهمی در شروع ریشه‌زایی بود. به عبارتی دیگر قندهای محلول و به ویژه گلوکز به عنوان منابع انرژی و مواد ساختاری سلول برای شروع ریشه‌زایی در زیتون مهم هستند کاهش غلظت این قندها نشان دهنده نقش این قندها برای شروع ریشه‌زایی است.



شکل ۱۰- اثر برهمکنش ایندول بوتیریک اسید و نوع قلمه بر کربوهیدرات محلول. ستون‌های با یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح (۵٪) تقاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 10- The interaction effect of indole butyric acid and cutting type on soluble carbohydrates. Bars with the same letter are not significantly different using the LSD test (*P*< 0.05).

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که قلمه‌های چوب سخت گل کاغذی نسبت به قلمه‌های چوب نیمه‌سخت، پتانسیل ریشه‌زایی و رشد بالاتری دارند و استفاده از ایندول بوتیریک اسید تأثیر معنی‌داری بر بهبود ریشه‌زایی و رشد قلمه‌های چوب سخت و چوب نیمه‌سخت داشت که غلظت‌های مناسب برای تیمار قلمه‌های گل کاغذی ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ایندول بوتیریک اسید بود و غلظت‌های بیشتر، نقش بازدارنده را داشت. بنابراین، یکی از مزایای استفاده از محرک‌های رشد گیاهی مانند ایندول

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

بوتیریک اسید، بهبود ریشه‌زایی و صفات رشدی در قلمه‌های سخت ریشه‌زا می‌باشد. احتمالا کاربرد ایندول بوتیریک اسید در غلظت‌های مناسب با تجزیه نشاسته و حرکت کربوهیدرات‌ها به انتهای قلمه‌های گل کاغذی سبب تامین انرژی مورد نیاز گیاه و در نتیجه بهبود ریشه‌زایی گردید.

منابع

Ahmad, N., Ishtiaq, M., Nabi, G. (2002). Influence of various concentrations of indole butyric acid (IBA) on different types of *Bougainvillea glabra* var. variegata cuttings. *Sarhad Journal of Agriculture*, *18*(3), 263-270.

Apine, I., Megre, D., Dokane, K., Kondratovics, U., Tomsone, S. (2021, March). Effect of exogenous auxin application on starch concentration during adventitious root formation of deciduous azalea 'Madame Debene' cuttings. *In IV International Symposium on Woody Ornamentals of the Temperate Zone*, *1331*, 107-114.

Aslmoshtaghi, E., Shahsavar, A. R. (2010). Endogenous soluble sugars, starch contents and phenolic compounds in easy-and difficult–to–root olive cuttings. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, *4*(11), 83-86.

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*(1), 31-37.

Chen, H., Hong, L., Ren, A., Yu, K., Wang, K., He, S., Liu, C. Xing, J. (2023). Growth regulators on the shooting and rooting of *Tamarix chinensis* stem cuttings. *Rhizosphere*, *25*, 679-690.

Chen, H., Lei, Y., Sun, J., Ma, M., Deng, P., Quan, J. E., Bi, H. (2023). Effects of different growth hormones on rooting and endogenous hormone content of two *Morus alba* L. cuttings. *Horticulturae*, *9*(5), 542-552.

Chowdhary, K., Singh, G., Aulakh, P. S. (2022). Effect of different concentration of Indole butyric acid on survival and rooting performance of pomegranate (*Punica granatum* L.*). International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research*, *11*, 8191-8194.

Denaxa, N. K., Vemmos, S. N., Roussos, P. A. (2012). The role of endogenous carbohydrates and seasonal variation in rooting ability of cuttings of an easy and a hard to root olive cultivars (*Olea europaea* L.). *Scientia Horticulturae*, *143*, 19-28.

Fathi, M., Zarei, H., Varsteh, F. (2017). The effect of natural and chemical compounds on rooting traits of bougainvillea (*Bougainvillea spectabilis* L.). *Journal of Chemical Health Risks*, *7* (3), 181–192.

Huang, T., Zhang, H., Sheng, Q., Zhu, Z. (2022). Morphological, anatomical, physiological and biochemical changes during adventitious root formation of *Bougainvillea buttiana* ‘Miss Manila’. *Horticulturae*, *8* (12), 1156-1168.

Karam, N. S., Gebre, G. H. (2004). Rooting of Cercis siliquastrum cuttings influenced by cutting position on the branch and indole-butyric acid, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *79*(5), 792-796.

Kesari, V., Das, A., Rangan, L. (2010). Effect of genotype and auxin treatments on rooting response in stem cuttings of CPTs of *Pongamia pinnata*, a potential biodiesel legume crop. *Current Science*, *3*, 1234-1237.

Khan, M. A., Khurram, Z., Iftikhar, A. (2004). Effect of various hormones and different rootstocks on rose propagation. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *7*(10), 1643-1646.

Khandaker, M.M., Saidi, A., Badaluddin, N.A., Yusoff, N., Majrashi, A., Alenazi, M.M., Saifuddin, M., Alam, M.A. Mohd, K.S., (2022). Effects of Indole-3-Butyric Acid (IBA) and rooting media on rooting and survival of air layered wax apple (*Syzygium samarangense*) cv. Jambu Madu. *Brazilian Journal of Biology*, *25*, 82-95.

Kontoh, I. H. (2016). Effect of growth regulators and soil media on the propagation of *Voacanga africana* stem cuttings. *Agroforestry Systems*, 90(3), 479-488.

Loconsole, D., Cristiano, G., De Lucia, B. (2022). Image Analysis of Adventitious Root Quality in Wild Sage and Glossy Abelia Cuttings after Application of Different Indole-3-Butyric Acid Concentrations. *Plants 11*, 290.

Manokari, M., Shekhawat, M. S. (2016). Implications of auxins in induction of adventitious roots from leaf explants of cannon ball tree (*Couroupita guianensis* Aubl.). *World Scientific News*, *33*, 109-121.

Mehraj, H., Shiam, I. H., Taufique, T., Shahrin, S., Jamal Uddin, A. F. M. (2013). Influence of indole-3-butyric acid (IBA) on sprouting and rooting potential of *Bougainvillea spectabilis* cuttings. *Bangladesh Research Publications Journal*, *9*(1), 44-49.

Patel, H. R., Patel, M. J., Singh, S. U. M. I. T. (2017). Effect of different levels of IBA and NAA on rooting of hardwood and semi hardwood cutting in fig. *International Journal of Agricultural Science and Research*, *7*(4), 519-524.

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

Pathlan, N., Singh, G., Chhabr, A., Kour, H., Beniwal, B. (2022). The Effect of Various Indole-3-Butyric Acid (IBA) Levels on the Rooting of Stem Cuttings of Peach (*Prunus persica* L.). *Annals of Biology*, *38* (2), 263-267.

Pirdastan, M., Aboutalebi Jahromi, A., Hassanzadeh Khankahdani, H. (2020). Effect of hydrogen peroxide, ascorbic acid and indolic-3-butyric acid on root induction and development in cuttings of *Bougainvillea spectabilis*. *Journal of Ornamental Plants*, *10* (3), 145-154.

Rashoudi, Z., Abotalebi, A., Chehrazi, M. (2015). Effect of cutting size and IBA concentrations on rooting of hard wood cuttings in *Bougainvillea spectabilis* Willd. *Plant Production*, 37(3), 93-103 (In Persian).

Rowell, D.L. (1996). Soil Science Methods and Application, Department of Soil Science. *Uneversity of Reading*, 368p.

Safari Motlagh, M., KavianI, B., Mohammadi, A. M. (2015).Simultaneous effects of different levels of indole butyric acid and inoculation with growth promoting bacteria on some growth and biochemical traits of olive (*Olea europaea* L.) scion. *Plant Environment Physiology*, *14*, 13-25 (In Persian).

Seyedi, A., Esmaeili, A., Zadeh, K., Posiabidi, M. (2014). Comparative evaluation of the rooting in cuttings in *Bougainvillea glabra* L. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, *3*(8), 872-875.

Shahhoseini, R., Moghaddam, M., Kiani, D. and Mansori, R. (2015). Effect of different concentrations of IBA and NAA on rooting of semi-hardwood cuttings of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *31*(4), 576-586 (In Persian).

Sheligl, H. Q. (1986). Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Planta*, *47*, 510-521.

Shrestha, J., Bhandari, N., Baral, S., Marahatta, S.P. and Pun, U. (2023). Effect of rooting hormones and media on vegetative propagation of Bougainvillea. *Ornamental Horticulture*, *29*(3), 397-406.

Singh, N. (2012). Effect of indole butyric acid (IBA) concentration on sprouting, rooting and callusing potential in bougainvillea stem cuttings. *Journal of Horticultural Sciences*, *7*(2), 209-210.

Wojtania, A., Skrzypek, E., Marasek-Ciolakowska, A. (2019). Soluble sugar, starch and phenolic status during rooting of easy-and difficult-to-root magnolia cultivars. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *136*, 499-510.

Yeshiwas, T., Alemayehu, M., Alemayehu, G. (2015). Effects of Indole Butyric Acid (IBA) and Stem Cuttings on Growth of Stenting-Propagated Rose in Bahir Dar, Ethiopia. *World Journal of Agricultural Sciences*, *11*, 191-197.

Ziarati zakeri B, Soleimani Z, Rastegar S. (2019). Cutting at different times to improve rooting and vegetative properties of Bougainvillea cuttings. *Flower and Ornamental Plants*, *3* (2), 55-62.

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]

Flower and Ornamental Plants (2025), 10(1): 17-34
Research article

Rooting response of variegated bougainvillea (*Bougainvillea spectabilis* Willd. 'Raspberry Ice') to indole butyric acid treatment and cutting type

Mehdi Ghaedamini, Nematollah Etemadi*, Maryam Haghighi, Rahim Amirikhah, Leyla Cheheltanan

Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan
etemadin@iut.ac.ir
Received: 2024/06/16, Revised: 2024/12/28, Accepted: 2024/12/30

Abstract
'Raspberry ice' bougainvillea with colorful and beautiful bracts has a great significance in landscape design and green spaces. Cutting propagation is the most cost-effective method for this plant, but the cuttings are difficult to root. Therefore, this research aimed to investigate the effect of two types of cutting (hardwood and semi-hardwood cuttings) and different concentrations of indole butyric acid (0, 1000, 2000, 3000, 4000 mg L^{-1}) to improve the rooting of 'Raspberry Ice' bougainvillea cuttings. This experiment was carried out in a factorial design based on a completely randomized design with three replications. The results showed that the rooting percentage, root and shoot length, number of roots, leaves, and lateral branches, and root and shoot fresh and dry weight in hardwood cuttings were higher than in semi-hardwood cuttings. The starch and soluble carbohydrate content in semi-hardwood cuttings were 35.10% and 73.24% higher than in hardwood cuttings, respectively. The highest percentage of rooting was related to the application of 1000 mg L^{-1} indole butyric acid in woody cuttings, which showed an 84.53% increase compared to the corresponding control treatment. The lowest percentage of rooting was related to the application of indole butyric acid at 4000 mg. L^{-1} on semi-hardwood cuttings, not significantly different compared to the control treatment. The application of 1000 mg L^{-1} indole butyric acid resulted in a 41.58% and 45.28% increase in the number of lateral branches and leaves compared to the control. The application of higher concentrations of indole butyric acid, especially at 4000 mg L^{-1}, harmed the root and growth characteristics of the plant. Furthermore, the lowest starch and soluble carbohydrate content belonged to the treatments of 2000 and 1000 mg L^{-1} of indole butyric acid, indicating the breakdown of these compounds to provide the necessary materials for improving root formation and growth of 'Raspberry Ice' bougainvillea cuttings. In general, the use of hardwood cuttings and the application of 1000 and 2000 mg L^{-1} indole butyric acid had a positive effect on the growth and rooting characteristics of 'Raspberry Ice' bougainvillea cuttings.
Keywords: 'Raspberry Ice' bougainvillea, Indole butyric acid, Rooting, Semi-hardwood cutting, Hardwood cutting.

[DOI: 10.61186/fop.10.1.17]