

نسخه پذیرفته شده پیش از انتشار

The effect of sodium nitroprusside and Triacantanol on the morphological and phytochemical characteristics of the medicinal plant *Dracocephalum moldavica* in the full bloom stage

DOI: [10.22055/ppd.2024.44445.2116](https://doi.org/10.22055/ppd.2024.44445.2116)

Saeeda Alizadeh Salteh^{1*}, Samaneh Khalafkhani², Parinaz Ferdowsi Qepchaq³

Department of Horticultural Sciences, Faculty of 1- *Corresponding Author: Associate Professor, Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran (s.alizadeh@tabrizu.ac.ir)

2-M.Sc. Graduate of Agricultural Engineering, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran

3-M.Sc. Graduate of Agricultural Engineering, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, maragheh University, Maragheh, Iran

Abstract

Introduction: Sodium nitroprusside and triacantanol, as plant growth regulators, improve plant growth and development and influence the production of secondary metabolites. Also, Triacantanol, as a plant growth stimulant, plays a central role in regulating many biochemical and physiological processes of plants, including photosynthesis. *Dracocephalum moldavica* L. is a herbaceous, annual and aromatic plant with white and blue flowers from the mint family (Lamiaceae), which is native to Central Asia but has been domesticated in Central and Eastern Europe. Considering the economic importance of Moldavian balm medicinal plant, in this research, it has been tried to investigate the effects of sodium nitroprusside and Triacantanol on the morphological changes and quantitative and qualitative performance of secondary metabolites, especially the yield of essential oil of moldavian balm medicinal plant.

Materials and Methods: This investigation was conducted as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications at the Faculty of Agriculture, Tabriz University. The studied factors included foliar spraying of three different concentrations of sodium nitroprusside (0, 0.5 and 1 mM) and triacanthanoltriethanol (0, 0.5 and 1 mM) in the flowering stage. Finally, growth traits (leaf surface and number of lateral stems), shoot yield (fresh and dry weight), essential oil yield and percentage, biochemical traits (soluble solids, protein, flavonoid and total phenol content) and content of nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium and sodium) were examined in full bloom stage. After the measurement of desired parameters, the obtained data were analyzed by SPSS software. Comparison of mean data was done using Duncan's multiple range test. All figures were drawn using Excel software.

Results and Discussion: The results obtained in the present study showed that interaction of different concentrations of Tria and SNP had a significant effect on leaf area and the number of lateral branches. Also, SNP at a concentration of 1 mM caused a significant increase in the fresh and dry weight of shoots in the plant. Total soluble solids were significantly affected by different concentrations of Tria. Foliar spraying of Tria and SNP had significant effects on the nutrients content of leaf tissue and the highest increase was recorded at a concentration of 1 mM. Also, foliar spraying of SNP alone and together with Tria had a significant effect on the content of phenol, flavonoid and total soluble protein at the level of 1%, and the treatment of 1 mM SNP with 1 mM Tria caused an increase of 62.93, 51.24 and 34.92% compared to the control treatment, respectively. According to the results, the treatment of 1 mM Tria with 1 mM SNP had the greatest effect on the yield of essential oil and increased the essential oil yield of Moldavian Balm plant by 207% compared to the control treatment.

Conclusion: The results of this study showed that the use of sodium nitroprusside and triacantanol with the appropriate concentration had significant effects on the growth and yield of the Moldavian Balm plant, and the treatment of 1mM triacantanol + 1mM sodium nitroprusside was introduced as the optimal treatment in this study.

Keywords: Essential Oil, Growth Regulator, Medicinal Plants, Moldavian Balm.

تأثیر سدیم نیتروپروساید و تریاکانتانول بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی بادرشی (Dracocephalum moldavica) در مرحله گلدهی کامل

سعیده علیزاده سالطه^{۱*}، سمانه خلف خانی^۲، پریناز فردوسی قیچاق

۱- *نویسنده مسئول: مرتبه علمی، دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، شهر تبریز، ایران
(s.alizadeh@tabrizu.ac.ir)

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

چکیده

سدیم نیتروپروساید و تریاکانتانول به عنوان تنظیم کننده رشد گیاهی، رشد و نمو گیاه را بهبود بخشیده و تولید متابولیت های ثانویه را تحت تأثیر قرار می دهند. همچنین تریاکانتانول به عنوان یک محرک رشد گیاهی، نقش محوری در تنظیم بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان از جمله فتوسنتز ایفا می کند. گیاه بادرشی (بادرشبو) با نام علمی *Dracocephalum moldavica* L. گیاهی علفی، یک ساله و معطر از تیره نعنائیان می باشد که در طب سنتی از جایگاه ویژه ای برخوردار است. با توجه به اهمیت اقتصادی گیاه دارویی بادرشی، در این پژوهش اثرات محلول پاشی سدیم نیتروپروساید و تریاکانتانول بر تغییرات مورفولوژیکی و عملکرد کمی و کیفی متابولیت های ثانویه به ویژه بازده اسانس گیاه دارویی بادرشی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل محلول پاشی در مرحله گل دهی با سدیم نیتروپروساید (SNP) و تریاکانتانول (Tria) هر کدام در سه سطح صفر، ۰/۵ و ۱ میلی مولار بود. در نهایت صفات رشدی (سطح برگ و تعداد شاخه جانبی)، عملکرد شاخساره (وزن تر و خشک)، عملکرد و درصد اسانس، صفات بیوشیمیایی (مواد جامد محلول، محتوای پروتئین، فلاونوئید و فنل کل) و محتوای عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سدیم) در مرحله گلدهی کامل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر نشان داد؛ برهمکنش غلظت های مختلف تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید تأثیر معنی داری بر سطح برگ و تعداد شاخه جانبی داشت. همچنین سدیم نیتروپروساید در غلظت یک میلی مولار موجب افزایش قابل توجهی در وزن تر و خشک اندام هوایی در بوته گردید. محلول پاشی تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید اثرات معنی داری بر محتوای عناصر بافت برگ داشت و بیشترین افزایش در غلظت یک میلی مولار این دو تیمار ثبت گردید. همچنین محلول پاشی سدیم نیتروپروساید به تنهایی و به همراه تریاکانتانول اثر معنی داری بر میزان فنل، فلاونوئید و پروتئین محلول کل در سطح یک درصد داشت و تیمار یک میلی مولار سدیم نیتروپروساید به همراه یک میلی مولار تریاکانتانول به ترتیب باعث افزایش ۶۲/۹۳، ۵۱/۲۴ و ۳۴/۹۲ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. طبق نتایج به دست آمده؛ تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول به همراه یک میلی مولار سدیم نیتروپروساید بیشترین تأثیر را بر عملکرد اسانس گیاه بادرشی داشته و باعث افزایش ۲۰۷ درصدی عملکرد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد شد. نتایج این تحقیق نشان داد کاربرد سدیم نیتروپروساید و تریاکانتانول با غلظت مناسب، اثرات قابل توجهی بر رشد و عملکرد گیاه بادرشی داشته و تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول به همراه یک میلی مولار سدیم نیتروپروساید به عنوان تیمار بهینه در مطالعه حاضر معرفی گردید.

کلیدواژه: اسانس، بادرشی، تنظیم کننده رشد، گیاهان دارویی

مقدمه

گیاه بادرشبی (بادرشبو) با نام علمی *Dracocephalum moldavica* L. یک گیاه علفی، یک ساله و معطر با گل‌های سفید و آبی از تیره نعناعیان (Lamiaceae) می باشد که بومی آسیای مرکزی بوده ولی در مرکز و شرق اروپا اهلی گردیده است (Borghei and Azizi, 2018). حدود ۹۰ درصد از مهمترین ترکیبات شناسایی شده اسانس بادرشبی شامل ژرانیال، ژرانیال استات، نرال، نریل استات و ژرانیول در مرحله گلدهی کامل و در اندام هوایی به ویژه برگ‌ها تجمع می یابد (Amini et al., 2020; Dmitruk et al., 2019). اسانس بادرشبی به صورت گسترده در صنایع داروسازی، آرایشی و بهداشتی، غذایی و عطرسازی مورد استفاده قرار می گیرد (Aalaei, 2019). عملکرد یک گیاه دارویی زمانی مقرون به صرفه خواهد بود که علاوه بر تولید زیست توده مناسب، کمیت و کیفیت تولیدات آن به ویژه اسانس به حد مطلوب رسیده باشد. از سویی دیگر رشد و نمو گیاهان دارویی و تولید اسانس در آنها می تواند تحت تأثیر استفاده از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی قرار بگیرد (Swamy et al., 2017). تنظیم کننده های رشد به طور معمول ترکیبات آلی هستند که در مقادیر یا غلظت های بسیار اندک می توانند سبب پیش بردن، مهار شدن یا تغییرات کیفی در رشد و نمو شوند و بیوسنتز و انباشت متابولیت های ثانویه در گیاهان را موجب شوند (Zhao et al., 2005). سدیم نیتروپروساید به عنوان تنظیم کننده رشد گیاهی مطرح بوده و به صورت یک واسطه نقش تنظیم کننده گی خود را ایفا می کند. سدیم نیتروپروساید به طور معمول به عنوان ترکیب رها کننده نیتریک اکسید در گیاهان استفاده می شود که در حالت محلول به نور حساس بوده و تجزیه آن توسط اکسیژن و دمای زیاد تسریع می شود. نیتریک اکسید، خود یک

گونه فعال نیتروژن است که تصور می شود بتواند به عنوان یک مولکول پیام رسان در پاسخ های سازشی به تنش های زیستی و غیر زیستی در گیاهان میانجی گری کرده و به عنوان یک عامل آنتی اکسیدانی رادیکال های آزاد را جمع آوری و از بین ببرد (Narimani et al., 2017; Leshem et al., 2017; Fan et al., 2012; Hayat et al., 2010). همچنین این ماده می تواند فرآیندهای مرتبط با رشد و نمو را تنظیم کند (Leshem et al., 2017).

تریاکانتانول به عنوان یک محرک رشد گیاهی، نقش محوری در تنظیم بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان از جمله فتوسنتز ایفا می کند. این امر منجر به افزایش رشد، عملکرد و کیفیت محصول و کمک به بهبود ترکیبات فعال در گیاهان دارویی و معطر تحت شرایط عادی یا تنش می شود (Islam et al., 2020). تریاکانتانول این اثر را می تواند به تنهایی یا در تعامل با سایر هورمون ها و تنظیم کننده های رشد گیاهی داشته باشد (Islam and Mohammad, 2020). طبق مطالعات و گزارش های محققین کاربرد تریاکانتانول در غلظت نانومولار باعث بهبود رشد گیاه و فعالیت های فیزیولوژیکی در گیاهان مختلف می شود. به طوری که موجب افزایش فتوسنتز و جذب آب و مواد معدنی در گیاهان مختلف شده است. همچنین این ماده موجب افزایش تولید ماده خشک گیاهی و در نتیجه افزایش محتوای متابولیت های ثانوی گیاهی از جمله اسانس و ترکیبات فعال گیاهان دارویی و معطر می شود (Pang et al., 2020; Singh et al., 2012; Naeem et al., 2011; Perveen et al., 2011). با توجه به اهمیت اقتصادی گیاه دارویی بادرشبی، در این پژوهش تلاش شده است اثرات محلول پاشی سدیم نیتروپروساید و تریاکانتانول بر تغییرات مورفولوژیکی و عملکرد کمی و کیفی متابولیت های ثانویه به ویژه بازده اسانس گیاه دارویی بادرشبی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز با ۱۵۶۷ متر ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۴۸/۲۸ درجه شرقی و ۳۸/۰۲ درجه شمالی اجرا گردید. میانگین حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۲/۲ و ۱۶ درجه سانتی گراد گزارش شد (I.R. Of Iran Meteorological Organization). بافت خاک در مکان مورد نظر شنی لومی بوده و در زمره خاک‌های سبک محسوب می‌شود و از لحاظ هدایت الکتریکی در خاک مذکور هیچ گونه خطر شوری وجود نداشت. نمونه گیاهی مورد مطالعه گیاه بادرشبو از خانواده نعنائیان می‌باشد که جهت تولید از بذور یکنواخت تهیه شده از شرکت کیمیا پذر تبریز با منشأ جمعیت بادرشبی متعلق به شهرستان تبریز استفاده شد.

آزمایش با دو فاکتور تنظیم کننده‌های رشد، سدیم نیتروپروساید و تریاکانتانول با غلظت‌های صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۹ تیمار اجرا شد. سدیم نیتروپروساید (Merck آلمان- CAS: 13755-38-9) از شرکت طب شهر و تریاکانتانول (NTS استرالیا- CAS: 593-50-0) از شرکت حاصلیار تهیه گردید. اعمال تیمار در مراحل اولیه گلدهی (۷۵ روز پس از کشت) به صورت محلول‌پاشی انجام گرفت.

پس از انجام عملیات شخم و تسطیح، زمین برای کربندی آماده شد. ابعاد هر کرت ۲×۴ مترمربع و فواصل بین ردیف ۳۵ سانتی‌متر و روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر بود. کشت با عمق ۲-۳ سانتی‌متری در اوایل بهار انجام شد. در طول آزمایش به‌ویژه در مراحل اوایل رشد، علف‌های هرز به‌طور کامل کنترل شد و به‌دلیل تراکم بالای گیاهان در داخل ردیف‌های کشت عملیات تنک

کردن صورت گرفت. به‌علت غنی بودن خاک از منظر فسفر و پتاسیم نیاری به استفاده از این عناصر نبود ولی با توجه به کمبود نیتروژن برای جبران آن، مقداری کود اوره (نیم کیلو برای هشت مترمربع) در مرحله ۴-۵ برگی به طور یکسان برای هر کرت استفاده شد. آبیاری تا ۴-۵ برگی گیاهان هر روز، تا مرحله ۱۰ برگی گیاهان هفته ای دو بار و در مرحله ۱۰ برگی تا برداشت گیاهان هفته ای یک بار به صورت غرقابی انجام شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های رویشی و عملکردی

جهت بررسی صفات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکردی در مرحله گلدهی کامل (۸۷ روز پس از کاشت، زمانی که ۸۰ درصد گیاهان به مرحله گلدهی کامل رسیدند) پس از حذف گیاهان حاشیه، از هر تیمار پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و برداشت شد و مورد بررسی قرار گرفتند

صفات مورفولوژیکی و عملکرد

سطح برگ‌ها با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter LICOR، مدل Li 1300, USA, Lincoln, NE و وزن تر و خشک گیاهان با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شدند.

مواد جامد محلول (TSS) برگ

اندازه‌گیری TSS برگ‌ها با استفاده از دستگاه رفاکتومتر انجام شد. به این منظور پس از له کردن برگ‌ها در هاون چینی، چند قطره از عصاره به‌دست آمده بر روی دستگاه رفاکتومتر ریخته شد. عدد نشان داده شده توسط دستگاه به‌عنوان شاخصی از مواد جامد قابل حل برگ مورد ارزیابی قرار گرفت. این عدد به صورت درصد بیان می‌شود.

پروتئین کل

۰/۰۵ گرم کوماسی‌بلو در ۲۵ میلی‌لیتر متانول و ۵۰ میلی‌لیتر ارتوفسفریک حل شده و سپس با استفاده از آب مقطر به حجم نهایی ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. به یک

گرم نمونه ۱۰ میلی‌لیتر بافر فسفات افزوده و سانتریفیوژ شد. مخلوط واکنش شامل، ۷۴۰ میکرولیتر بافر فسفات، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره، ۱۶۰ میکرو لیتر معرف برادفورد بود که به مدت ۲ تا ۳ دقیقه در تاریکی نگهداری و در پایان در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفومتر (Shimadzu, model UV 1800, Kyoto, Japan) قرائت شدند و غلظت بر حسب میلی‌گرم در میلی‌لیتر محاسبه گردید (Bradford, 1976).

محتوای فنل کل

جهت تهیه عصاره گیاهی ۰/۵ گرم از نمونه‌ی گیاهی به همراه ۱ میلی‌لیتر متانول اسیدی ۹۵ درصد سانتریفیوژ و محلول رویی برداشت شد. مخلوط واکنش شامل ۵۰ میکرولیتر عصاره، ۴۵۰ میکرولیتر آب مقطر، ۲/۵ میلی‌لیتر فولین ۱۰٪ بود و پس از گذشت ۱۰ دقیقه ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۵ درصد به آن اضافه شد. ۹۰ دقیقه در تاریکی قرار داده و سپس جذب مخلوط در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفومتر (Shimadzu, model UV 1800, Kyoto, Japan) قرائت شد. برای به دست آوردن منحنی کالیبراسیون از اسید گالیک به عنوان استاندارد استفاده شد و منحنی براساس میزان جذب در غلظت‌های مشخص رسم گردید (Malik and Singh, 1980). میزان فنل کل بر اساس میزان معادل میلی‌گرم گالیک اسید در گرم عصاره گزارش شد.

اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید کل

به یک گرم از نمونه‌ی گیاهی ۴ میلی‌لیتر اتانول افزوده و پس از سانتریفیوژ محلول رویی جداسازی و مورد استفاده قرار گرفت. مخلوط واکنش شامل ۱۳۰۰ میکرولیتر عصاره گیاهی، ۷۰۰ میکرولیتر اتانول، ۱۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم، ۱۰۰ میکرولیتر استات بود و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزوده و بعد از نگهداری در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه با دستگاه اسپکتروفومتر در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت شد. (Chang et al.,)

2002). جهت تهیه محلول استاندارد ۱ میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰ میلی‌لیتر متانول حل شده سپس مقادیر ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۶۰ میکرولیتر از استوک تهیه شده با اتانول به حجم ۲۰۰۰ میکرولیتر رسانده شدند، و پس از افزودن ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر، ۱۰۰ میکرولیتر استات پتاسیم و ۱۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم به آنها و پس از گذشت ۱/۵ ساعت قرائت شدند، این اعداد برای رسم منحنی استاندارد استفاده شدند. محتوای فلاونوئید بر اساس میزان معادل میلی‌گرم کوئرستین در گرم عصاره گزارش شد.

عناصر غذایی

پس از برداشت، نمونه‌های گیاهی در آون خشک شده و توسط آسیاب به صورت پودر آماده برای هضم با اسید نیتریک تهیه گردید. به این منظور از یک گرم نمونه خشک گیاهی و ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد استفاده شد و عصاره به دست آمده جهت اندازه‌گیری سدیم، پتاسیم و فسفر مورد استفاده قرار گرفت (طباطبایی، ۱۳۸۸). اندازه‌گیری فسفر بر اساس تشکیل کمپلکس زرد رنگ فسفو-وانادومولیدات توسط یون‌های ارتوفسفات در محیط اسیدی با محلول وانادات-مولیدات است که حداکثر جذب را در طول موج ۴۳۰ نانومتر نشان می‌دهند. در این روش از مقادیر ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌لیتر از استاندارد فسفر (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و ۸ میلی‌لیتر معرف نیترووانادومولیدات به حجم رسانده شده جهت ترسیم منحنی کالیبراسیون استفاده شد (طباطبایی، ۱۳۸۸). اندازه‌گیری پتاسیم و سدیم به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه ۴۱۰ FlamePhotometer انجام شد. در اندازه‌گیری پتاسیم از کلرید پتاسیم (۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌عنوان محلول استاندارد استفاده شد و قرائت در طول موج ۷۶۶/۵ نانومتر انجام شد. در نهایت

از سدیم سولفات^۱ برای آب‌گیری اسانس استفاده شد. برای استخراج اسانس ۲۵ گرم از هر نمونه گیاهی خشک شده آسیاب شده و همراه با ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر استفاده شد.

تجزیه آماری داده‌ها

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS، و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گردید.

نتایج و بحث

تعداد ساقه جانبی

بررسی اثر متقابل غلظت‌های مختلف تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید نشان داد تیمارهای مورد استفاده افزایش تعداد شاخه جانبی را در پی داشته است و بیشترین تعداد ساقه جانبی گیاه بادربشی مربوط به تیمار یک میلی‌مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید بود که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۶۳/۴۳ درصدی نشان داد. همچنین کمترین میزان تعداد ساقه جانبی نیز مربوط به تیمار شاهد (۱۳/۵۳ عدد) بود (شکل ۱).

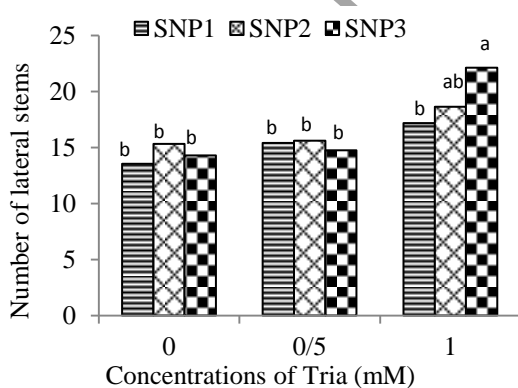


Figure 1- The interaction effect of Triacontanol and sodium nitroprusside on the number of lateral stems of moldavian balm plant.

تنظیم کننده‌های رشد گیاهی با انتقال انواع سیگنال بین و درون سلول نقش مهمی در رشد و توسعه گیاهان ایفا می‌کنند (Hossain et al., 2022). تریاکانتانول رشد

عدد قرائت شده به صورت غلظت در ماده خشک گیاهی محاسبه و مورد تجزیه آماری قرار گرفت (طباطبائی، ۱۳۸۸). تمامی مراحل اندازه‌گیری سدیم مشابه با پتاسیم انجام گرفت، با این تفاوت که از ماده کلرید سدیم (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر) بجای کلرید پتاسیم برای تهیه محلول‌های استاندارد و تنظیم دستگاه فلاپم فتومتر استفاده گردید و قرائت در طول موج ۵۸۹ انجام شد (طباطبائی، ۱۳۸۸).

نیتروژن بافت گیاهی با استفاده از روش کجلدال اندازه‌گیری شد که شامل سه مرحله هضم نمونه، تقطیر و تیتراسیون می‌باشد (طباطبائی، ۱۳۸۸).

به‌منظور تسریع در عمل هضم به محتویات هر لوله ۰/۵ گرم از مخلوط سولفات‌ها (۲۰۰ گرم سولفات پتاسیم، ۴۰ گرم سولفات مس و ۲ گرم سلنیم که قبلاً به‌خوبی پودر شده و باهم مخلوط شدند) به‌عنوان کاتالیزور به ماده‌ی خشک گیاهی افزوده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ (۰/۹۸) روی نمونه‌ها اضافه شد و مراحل هضم نمونه‌ها انجام گرفت.

در مرحله تقطیر ۵۰ میلی‌لیتر عصاره حاصل از هضم، داخل بالن دستگاه کجلدال ریخته و روی آن ۱۰ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم اضافه شد. با عبور بخار از محلول نیتروژن به‌صورت آمونیاک تصعید شده و با عبور از میرد دستگاه به شکل مایع درآمده و در انتهای میرد که محلول اسید بوریک قرار دارد جمع‌آوری گردید. محلول بدست آمده با استفاده از اسید کلریدریک ۰/۰۱ نرمال تیتروژن شد. در نهایت مقدار نیتروژن با استفاده از فرمول زیر و بر حسب میلی‌گرم در گرم محاسبه گردید.

$$\text{حجم اسید مصرفی} \times \text{نرمالیه اسید} \times 14 \times \text{حجم اولیه} \\ \text{حجم نمونه تیتروژن شده} \times \text{وزن ماده خشک هضم شده} = \text{نیتروژن}$$

اسانس‌گیری

اسانس‌گیری به روش تقطیر و با استفاده از دستگاه کلونجر با بالن یک لیتری به مدت ۳ ساعت انجام شد و

¹ Na₂SO₄

نتایج آزمایش Yadollahi و همکاران (۲۰۱۵) بر روی گیاه کارلا (*Momordica charantia* L.) همخوانی دارد.

وزن تر و خشک شاخساره

نتایج به دست آمده نشان دادن محلول پاشی تریاکانتانول اثرات معنی داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی نداشت اما صفات مذکور در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر تیمار سدیم نیتروپروساید قرار گرفتند. بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین مقدار وزن تر متعلق به غلظت یک میلی مولار سدیم نیتروپروساید بود که افزایش ۱/۳۳ برابر نسبت به تیمار شاهد نشان داد. همچنین کمترین مقدار وزن تر را گیاهان شاهد داشتند (شکل ۲-۲). محلول پاشی سدیم نیتروپروساید افزایش وزن خشک شاخساره نسبت به تیمار شاهد را به دنبال داشت و بیشترین مقدار آن متعلق به غلظت یک میلی مولار بود که نسبت به تیمار شاهد ۳۷/۷۲ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲-۱).

و عملکرد گونه‌های مختلف گیاهان را در مراحل مختلف رشد گیاهی افزایش می‌دهند (Verma *et al.*, 2022) و با افزایش تقسیم و حجم سلول باعث افزایش رشد گیاه می‌شود ولی معمولاً بر افزایش طولی سلول اثر دارد و در نتیجه باعث افزایش گسترش شاخه‌ها می‌شود. بنابراین تریاکانتانول نقش مهمی در جذب آب، طویل شدن سلول، افزایش تقسیم سلولی و نفوذپذیری غشاء ایفا می‌کند (Verma *et al.*, 2022). بر اساس مطالعات بسیاری محلول پاشی تریاکانتانول موجب افزایش قابل توجهی در طول ساقه و ریشه، وزن تر و خشک، سطح برگ، تعداد برگ، تعداد شاخه‌های فرعی، پاسخ محتوای کلروفیل و سیستم فتوسنتز در محصولات مختلف گیاهان دارویی و گیاهان زینتی گردیده است (Naeem *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2012; Khandaker *et al.*, 2013; Perveen *et al.*, 2014; Ali *et al.*, 2020). طبق نتایج حاصل از این پژوهش، تریاکانتانول به‌عنوان یک محرک رشد گیاهی بر تعداد ساقه جانبی گیاه بادرشبی اثر مثبت داشته است که با

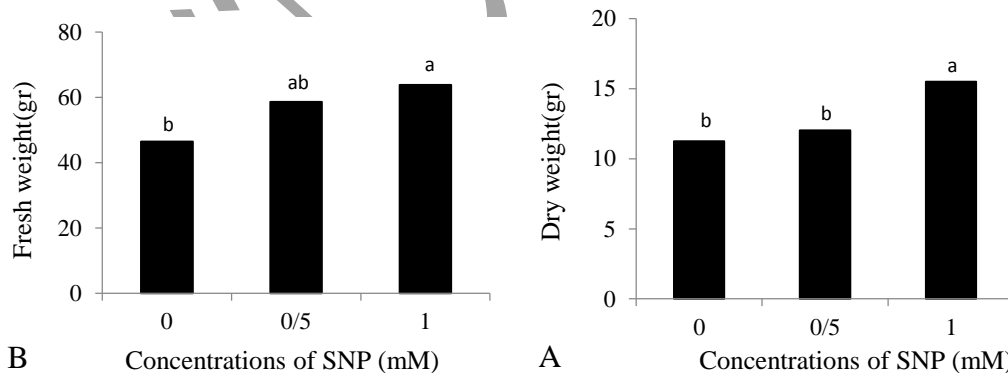


Figure 2- The effect of different concentrations of sodium nitroprusside (SNP) on fresh (B) and dry weight (A) of moldavian balm plant.

از ژن رویسکو در انواع گونه‌های گیاهی باعث بهبود فتوسنتز و افزایش تجمع مواد فتوسنتزی و وزن گیاهان می‌شود (Taghizadeh *et al.*, 2023; Eriksen *et al.*, 1981). مولکول نیتریک اکسید دارای خاصیت انتقال پیام در گیاه می‌باشد، لذا اثر سدیم نیتروپروساید به‌عنوان عامل تولید کننده این مولکول بر توانایی زیستی در

شدت فتوسنتز به میزان کربن دی‌اکسید هوا، دما و شدت نور بستگی دارد. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان و شدت فتوسنتز، مقدار گاز کربن دی‌اکسید است. هرچه میزان کربن دی‌اکسید هوا افزایش یابد، شدت فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد و تریاکانتانول از طریق افزایش تثبیت دی‌اکسید کربن (CO₂) و رونویسی بیشتر

محلول نداشت اما تریاکانتانول افزایش معنی دار TSS را به دنبال داشت از این رو بیشترین مقدار TSS در تیمار ۱ میلی مولار تریاکانتانول مشاهده شد که ۳۱/۱۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۴).

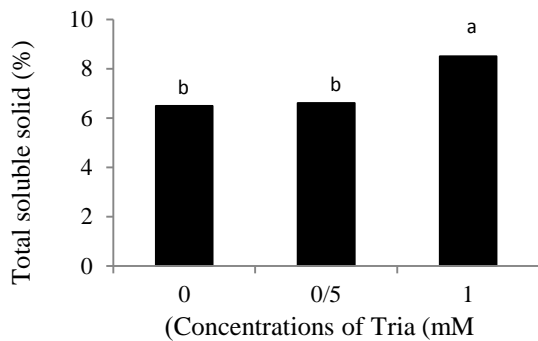


Figure 4- The effect of different concentrations of Triacontanol and sodium nitroprusside on the dissolved solids of leaves.

به نظر می رسد گیاهان تیمار شده با تریاکانتانول به دلیل تعمیر و حفظ هموستازی آب و افزایش هدایت روزنه‌ای باعث افزایش تثبیت دی‌اکسیدکربن در بافت مزوفیل برگ می‌شود و در نتیجه فتوسنتز و تجمع مواد فتوسنتزی افزایش یافته است. مطالعات Khandaker و همکارانش (۲۰۱۳) نشان داد که تیمار تریاکانتانول سطح برگ، طول برگ و جوانه گل *Bougainvillea glabra* را افزایش می‌دهد که با نتایج مطالعه ما همخوانی داشت. مطالعات پیشین نشان داده است تریاکانتانول موجب افزایش میزان سطح برگ و مواد جامد محلول برگ با بالا بودن سطح و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با فتوسنتز می‌شود (Khandaker et al., 2013).

فاکتورهای بیوشیمیایی پروتئین، فنل و فلاونوئید کل

با توجه به نتایج به دست آمده تیمارهای مورد استفاده اثرات معنی داری بر میزان پروتئین، فلاونوئید و فنل کل برگ با درشتی داشتند. به این ترتیب بیشترین و کمترین غلظت فلاونوئید به ترتیب متعلق به تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و گیاه شاهد بود. تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید، ۱/۵ برابر، فلاونوئید بیشتری نسبت به تیمار شاهد داشت

فرایندهای فیزیولوژیکی و نمو گیاهان دخالت دارد. نیتریک اکسید دارای نقش دو گانه است که اثر سمی یا حفاظتی نیتریک اکسید بستگی به غلظت آن، نوع گیاه، بافت گیاهی، سن گیاه و نوع تنش وارده به گیاه دارد. همچنین نیتریک اکسید باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه، از طریق حفظ محتوای رطوبت نسبی برگ و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن تولید شده (Sheokand et al., 2010) و بهبود سیستم آنزیمی گیاه در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید می‌شود (Li et al., 2022). نتایج به دست آمده در مطالعه ما با مطالعات Sheokand و همکاران (۲۰۱۰) و Perveen و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت داشت.

سطح برگ و مواد جامد محلول برگ

نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر نشان دهنده اثرات معنی دار تیمارهای مورد استفاده بر صفات سطح برگ و مواد جامد محلول برگ بود به این ترتیب تیمارهای مذکور افزایش سطح برگ را به دنبال داشتند و بیشترین سطح برگ متعلق به تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول به همراه یک میلی مولار سدیم نیتروپروساید و کمترین مقدار متعلق به تیمار نیم میلی مولار سدیم نیتروپروساید بود (شکل ۳).

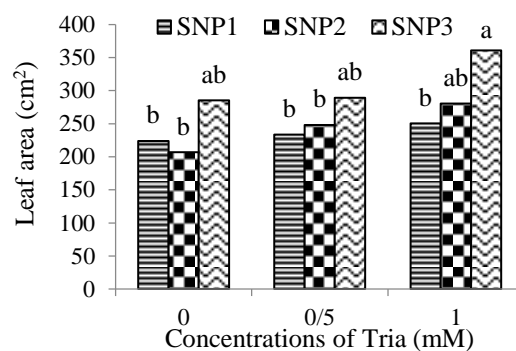
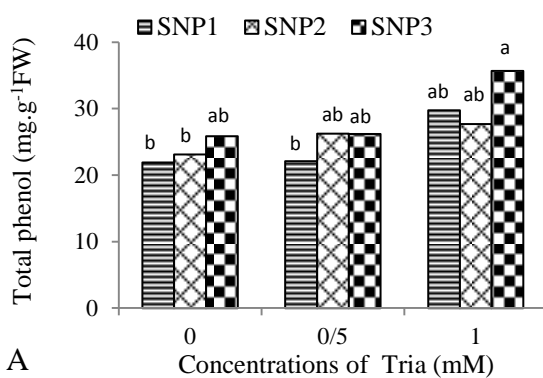


Figure 3- The effect of different concentrations of Triacontanol and sodium nitroprusside on the leaf area of moldavian balm plant .

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید اثر معنی داری بر مواد جامد

افزایش نشان داد و کمترین مقدار نیز متعلق به تیمار شاهد بود (شکل ۵-ا).



(شکل ۵-ب). همچنین بیشترین غلظت فنل برگ را تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید به خود اختصاص داده بود که به میزان ۱/۶ برابر نسبت به شاهد

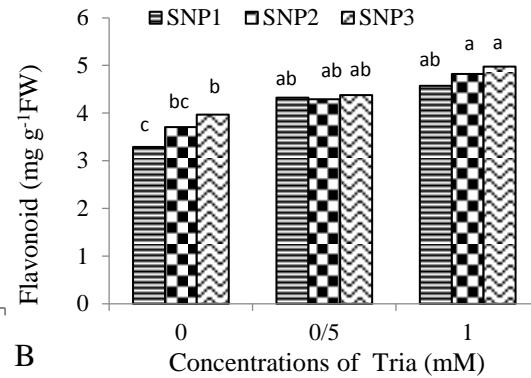


Figure 5- The mutual effect of different concentrations of Triacontanol and sodium nitroprusside on the flavonoid (B) and phenol concentration (A) of leaf tissue.

فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان گل کاغذی داشت، مطابقت دارد. همچنین در مطالعه Waqas و همکاران (۲۰۱۶)، محلول پاشی تریاکانتانول بر پیکره گیاه، با تحریک رشد، سوخت و ساز، تولید فلاونوئیدها و آنزیم فنیل آلانین آمونیاک لیاز (PAL)، روابط آبی برگ، افزایش تولید پروتئین محلول کل و آنتی‌اکسیدان‌ها را گزارش کردند. همچنین تصور می‌شود که نیتریک اکسید به طور غیر مستقیم با تحت تأثیر قرار دادن متابولیسم کربوهیدرات‌ها، آن‌ها را به سمت سنتز ترکیبات فنلی هدایت می‌کند (Sami et al., 2021; Nasibi and Kalantari, 2009).

عناصر غذایی

بررسی اثر متقابل غلظت‌های مختلف تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید بر غلظت عناصر غذایی درشت مغذی بافت برگ بادرشی نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت نیتروژن به ترتیب مربوط به تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و تیمار شاهد بود (شکل ۷-ا). همچنین بیشترین و کمترین غلظت فسفر مربوط به تیمار یک میلی مولار سدیم نیتروپروساید و تیمار شاهد بود (شکل ۷-ب). اثر متقابل غلظت‌های مختلف تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید بر

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان پروتئین برگ بادرشی در تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و یک میلی مولار تریاکانتانول و نیم میلی مولار سدیم نیتروپروساید بدست آمد. کمترین میزان آن نیز در تیمار گیاهان شاهد مشاهده شد. (شکل ۶).

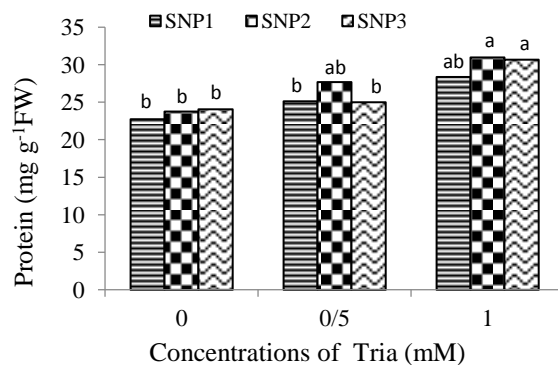


Figure 6- Interaction effect of different concentrations of Triacontanol and sodium nitroprusside on protein concentration of leaf tissue.

محتوای فنلی برگ نشان دهنده توانمندی گیاه در مهار رادیکال آزاد است (Mathew et al., 2015). نتایج ما در رابطه با تاثیر تریاکانتانول بر ترکیبات بیوشیمیایی گیاه بادرشی با نتایج Khandaker و همکارانش (۲۰۱۳)، که تیمار تریاکانتانول اثر قابل توجهی بر ترکیب

تیمارهای مورد استفاده بر غلظت سدیم بافت برگ بادرشی متفاوت بود و بیشترین و کمترین غلظت سدیم موجود در بافت برگی به ترتیب مربوط به گیاهان دریافت کننده نیم میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و تیمار شاهد بود (شکل ۷-د).

غلظت پتاسیم برگ بادرشی نشان داد؛ بیشترین و کمترین غلظت پتاسیم به ترتیب به تیمارهای یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و گیاهان شاهد تعلق داشت که اختلاف ۱۰۰ درصدی بین این دو تیمار مشاهده شد (شکل ۷-ج). این در حالی بود که اثرات

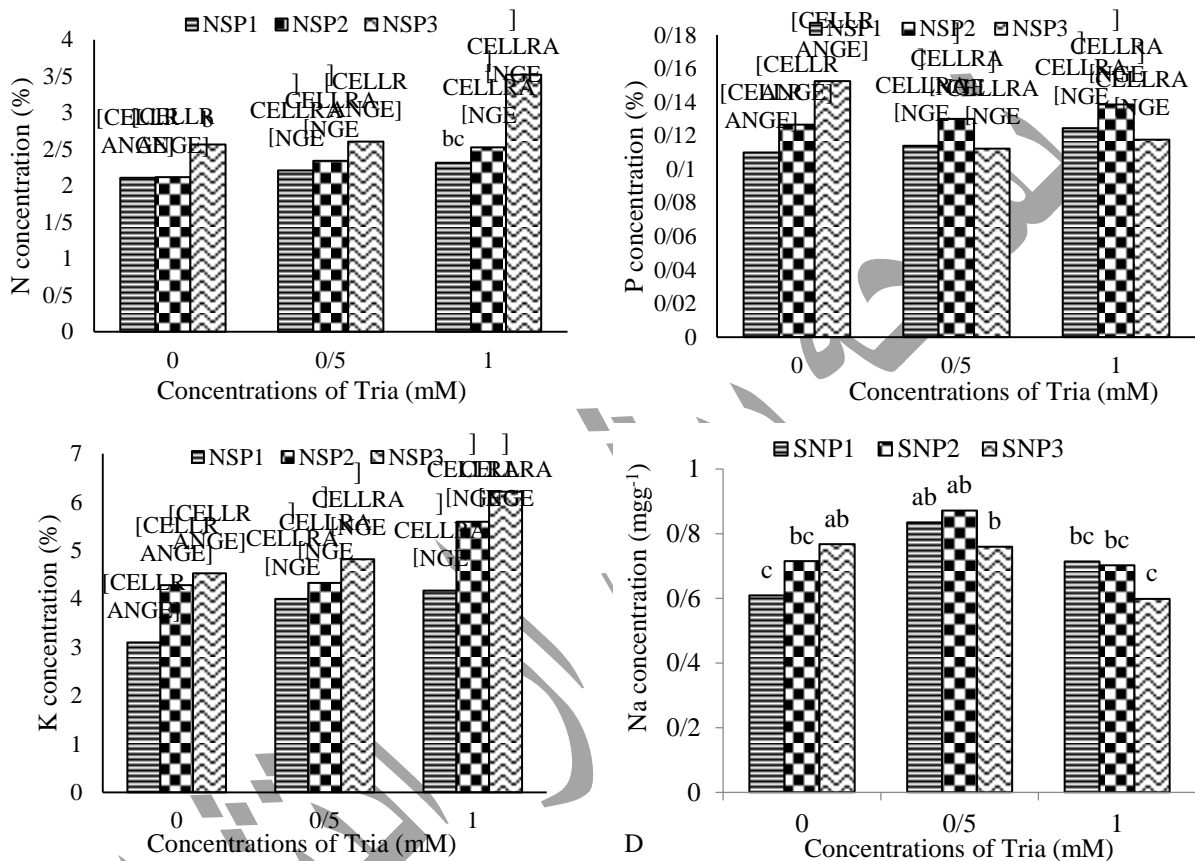


Figure 7- The mutual effect of different concentrations of Triacontanol and sodium nitroprusside on the macro elements of moldavian balm leaf tissue.

چندین سیستم آنزیمی دیگر به خصوص کانال‌های غشایی Ca^{2+}/Mg^{2+} وابسته به ATPase را تحت تاثیر قرار می‌دهد که مولکول ATP را تجزیه کرده و تبدیل به ADP نموده و به ازاء آن مولکول H^+ را به بیرون از سلول ترشح می‌کند که باعث ایجاد یک پتانسیل الکتریکی بین قسمت داخل و خارج سلول می‌شود که باعث افزایش حلالیت عناصر در اطراف ریشه می‌شود (Lesniak et al., 2000). Poór و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند کاربرد اهداکنندگان NO مانند سدیم نیتروپروساید با وزن مولکولی پایین، توانایی گیاه را در

تغذیه بهینه گیاه، شرط اصلی بهبود کمی و کیفی محصول است. تریاکانتانول فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف از جمله جذب و استفاده از یون‌های معدنی مختلف در هر دو شرایط طبیعی و استرس تنظیم می‌کند (Perveen et al., 2012). در مطالعه حاضر محلول پاشی تریاکانتانول سبب افزایش معنی‌دار محتوی نیتروژن، پتاسیم و سدیم گردید. کاربرد تریاکانتانول باعث استخراج پیام رسان L(+)- adenosine و تجمع نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم را در گیاهان تحریک می‌کند (Ries et al., 1990). همچنین تریاکانتانول

یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید با تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و نیم میلی مولار سدیم نیتروپروساید وجود نداشت (شکل ۹).

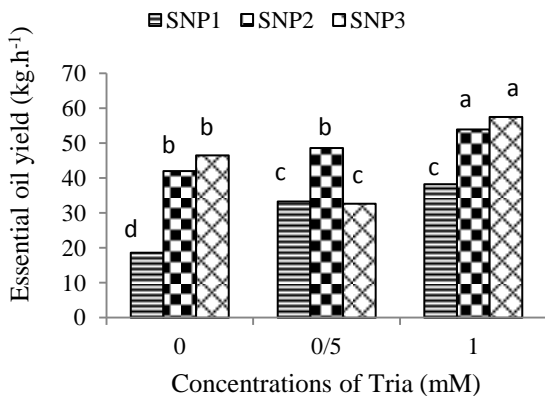


Figure 9- The mutual effect of different concentrations of Triacontanol and sodium nitroprusside on the performance of essential oil of moldavian balm.

افزایش تولید ماده خشک با واسطه تریاکانتانول می تواند بر رابطه متقابل بین متابولیسم اولیه و ثانویه تأثیر بگذارد و منجر به افزایش بیوستز محصولات ثانویه شود. مطالعات مختلف با شواهد قوی نشان می دهد که کاربرد تریاکانتانول بر روی محیط ریشه یا برگ ها باعث افزایش رشد و عملکرد محصولات مختلف، از جمله محصولات زراعی و باغی و همچنین گیاهان دارویی و معطر در شرایط عادی و نامطلوب می شود. نقش تریاکانتانول در تنظیم رشد گیاه، فعالیت های فیزیولوژیکی و بیوستز متابولیت های ثانویه در گیاهان دارویی و معطر در شرایط عادی و تحت تنش توسط محققان اثبات شده است که با نتایج مطالعه ما همخوانی داشت (Islam *et al.*, 2020; Naem *et al.*, 2011; Hashmi *et al.*, 2010).

نتیجه گیری کلی

تریاکانتانول مانند سایر تنظیم کننده های رشد در بسیاری از فرآیند اساسی سوخت و ساز گیاه از جمله فتوسنتز، جذب مواد مغذی، فعالیت آنزیمی و ... دخالت دارد. علاوه بر آن سدیم نیتروپروساید به دلیل هزینه نسبتاً پایین و به عنوان تولیدکننده نیتریک اکسید، به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد و در مقایسه با

تبادل همستازی یونی بهبود می بخشد و کاربرد آن در غلظت مناسب به طور قابل توجهی محتوی عناصر غذایی مانند پتاسیم، کلسیم، نیتروژن و فسفر را افزایش می دهد.

درصد اسانس

در بررسی اثر متقابل غلظت های مختلف تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید بر درصد اسانس در بافت برگ بادرشی مقایسه میانگین داده ها نشان دادند، بیشترین کمترین درصد اسانس به ترتیب مربوط به تیمارهای یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید و گیاهان شاهد بود (شکل ۸). درصد اسانس در تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید، ۳ برابر درصد اسانس تیمار گیاه شاهد بود.

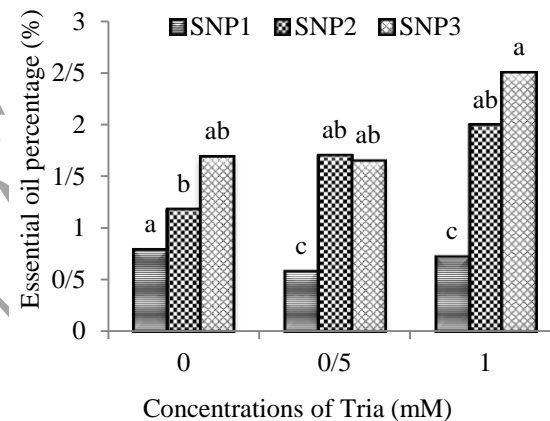


Figure 8- The mutual effect of different concentrations of Triacontanol and sodium nitroprusside on the percentage of essential oil of moldavian balm.

عملکرد اسانس

بر اساس مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت های مختلف تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید بر میزان عملکرد اسانس برگ بادرشی تمامی تیمارهای مورد استفاده باعث افزایش عملکرد اسانس نسبت به تیمار شاهد شدند. به این ترتیب کمترین عملکرد اسانس در تیمار شاهد (۱۸/۶۹۱ کیلوگرم در هکتار) ثبت گردید و بیشترین عملکرد اسانس متعلق به تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید (۵۷/۵۶۳ کیلوگرم در هکتار) بود که نسبت به تیمار شاهد ۲۰۷/۹۷ درصد افزایش نشان داد. همچنین تفاوت معنی داری بین تیمار

دیگر تولیدکنندگان نیتریک اکسید اغلب مطلوب است. نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین میزان رشد و عملکرد محصول در تیمارهای تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید (۵/۰ و ۱ میلی مولار) حاصل می شود و کمترین مقدار مربوط به گیاهان شاهد است. بر اساس نتایج بدست آمده تیمار سدیم نیتروپروساید به همراه تریاکانتانول موجب بهبود فاکتورهای بیوشیمیایی نظیر پروتئین، فلاونوئید و فنل کل و محتوای عناصر غذایی برگ گردید. همچنین بیشترین عملکرد و درصد اسانس

توسط گیاهان تیمار شده با تریاکانتانول حاصل شد. طبق نتایج این مطالعه بهترین غلظت مورد استفاده در شرایط مزرعه، تیمار یک میلی مولار تریاکانتانول و سدیم نیتروپروساید می باشد که موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه و عملکرد اسانس در مرحله گلدهی کامل شد.

سپاس گذاری

بدینوسیله از همکاری های جناب آقای دکتر علیرضا مطلبی آذر و همچنین پرسنل زحمت کش ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان تشکر می نمایم.

References

- Aalaei, S. (2019). Essential oil content and composition of *Dracocephalum moldavica* under different irrigation regimes. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 6, 167-175.
- Ali, H. M. M., & Perveen, S. (2020). Effect of foliar applied triacontanol on wheat (*Triticum aestivum* L.) under arsenic stress: a study of changes in growth, yield and photosynthetic characteristics. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26, 1215-1224.
- Amini, R., Ebrahimi, A., & Nasab, A. D. M. (2020). Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) essential oil content and composition as affected by sustainable weed management treatments. *Industrial crops and products*, 150, 112416.
- Borghei, S.F., & A. Azizi. (2018). Assessing diversity of landraces of *Dracocephalum moldavica* from north west of Iran using agro-morphological and phytochemical traits. *Journal of Plant Production Technology*, 18: 1-16. [In Persian]
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3), 101-115.
- Dmitruk, M., A. Sulborska, B. Zuraw, E. Stawiarz, & E. Weryszko-Chmielewska. (2019). Sites of secretion of bioactive compounds in leaves of *Dracocephalum moldavica* (L.): anatomical, histochemical, and essential oil study. *Brazilian Journal of Botany*, 42, 701-715.
- Eriksen, A. B., Sellden, G., Skogen, D., & Nilsen, S. (1981). Comparative analyses of the effect of triacontanol on photosynthesis, photorespiration and growth of tomato (C 3-plant) and maize (C 4-plant). *Planta*, 152, 44-49.
- Fan, H., Du, C. & Guo, S. (2012). Effect of nitric oxide on proline metabolism in cucumber seedlings under salinity stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 137: 127-133.
- Hashmi, N., Khan, M. M. A., Naeem, M., Idrees, M., Aftab, T., & Moinuddin, T. (2010). Ameliorative effect of triacontanol on the growth, photosynthetic pigments, enzyme activities and active constituents of essential oil of *Ocimum basilicum* L. *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, 5, 20-24.
- Hayat, S., Mori, M., Pichtel, J., Ahmad, I., & Ahmad, A. (Eds.). (2009). *Nitric oxide in plant physiology*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Hossain, A., Pamanick, B., Venugopalan, V. K., Ibrahimova, U., Rahman, M. A., Siyal, A. L., ... & Aftab, T. (2022). Emerging roles of plant growth regulators for plants adaptation to abiotic stress-induced oxidative stress. *Emerging plant growth regulators in agriculture*. Academic Press.
- I.R. Of Iran Meteorological Organization. Weather data request system: <https://data.irimo.ir/>
- Islam, S., Zaid, A., & Mohammad, F. (2021). Role of triacontanol in counteracting the ill effects of salinity in plants: a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(1), 1-10.
- Khandaker, M. M., Faruq, G., Rahman, M. M., Sofian-Azirun, M., & Boyce, A. N. (2013). The Influence of 1-Triacontanol on the Growth, Flowering, and Quality of Potted Bougainvillea Plants (*Bougainvillea glabra* var. "Elizabeth Angus") under Natural Conditions. *The Scientific World Journal*, 2013(1), 308651.

- Leshem, Y.Y., Haramaty, E., Liuz, D., Mali, K.Z., Safer, Y., & Riotman, L. (2017). Effect of stress nitric oxide: interaction between chlorophyll fluorescence, galactolipid fluidity and lipoxygenase activity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 35, 573-579.
- Lesniak, A.P., Haug, A. & Ries, S.K. (2000). Stimulation of ATPase activity in barley (*Hordeum vulgare*) root plasma membrane after treatment of intact tissues and cell free extracts with TRIA contanol. *Physiologia Plantarum*, 68(1), 20-26.
- Li, X., Wang, S., Chen, X., Cong, Y., Cui, J., Shi, Q., ... & Diao, M. (2022). The positive effects of exogenous sodium nitroprusside on the plant growth, photosystem II efficiency and Calvin cycle of tomato seedlings under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 299, 111016.
- Malik, C. P., & Singh, M. B. (1980). Plant enzymology and histo-enzymology.
- Mathew, S., Abraham, T. E., & Zakaria, Z. A. (2015). Reactivity of phenolic compounds towards free radicals under in vitro conditions. *Journal of food science and technology*, 52, 5790-5798.
- Naeem, M. M. M. A., Khan, M. M. A., Moinuddin, Idrees, M., & Aftab, T. (2011). Triacantanol-mediated regulation of growth and other physiological attributes, active constituents and yield of *Mentha arvensis* L. *Plant Growth Regulation*, 65, 195-206.
- Narimani, R., Moghaddam, M., & Shokouhi, D. (2017). The Effect of Different Concentrations of Sodium Nitroprusside in Alleviating Oxidative Damages Caused by Water Stress of Polyethylene Glycol in Medicinal Plant of Catmint Hairless under In Vitro Condition. *Plant Productions*, 40(3), 77-88. [In Persian]
- Nasibi, F. & Kalantari, K.M., (2009). Influence of nitric oxide in protection of tomato seedling against oxidative stress induced by osmotic stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(5): 1037-1044.
- Pang, Q., Chen, X., Lv, J., Li, T., Fang, J. & Jia, H. (2020). Triacantanol Promotes the Fruit Development and Retards Fruit Senescence in Strawberry: A Transcriptome Analysis. *Plants*, 9(4), 488-493.
- Perveen, S., Shahbaz, M. & Ashraf, M. (2011). Modulation in activities of antioxidant enzymes in salt stressed and non-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants raised from seed treated with triacantanol. *Pakistan Journal of Botany*, 43(5), 2463-2468.
- Perveen, S., Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2013). Influence of foliar-applied triacantanol on growth, gas exchange characteristics, and chlorophyll fluorescence at different growth stages in wheat under saline conditions. *Photosynthetica*, 51, 541-551.
- Perveen, S., Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2014). Triacantanol-induced changes in growth, yield, leaf water relations, oxidative defense system, minerals, and some key osmoprotectants in *Triticum aestivum* under saline conditions. *Turkish Journal of Botany*, 38(5), 896-913.
- Poór, P., Laskay, G., & Tari, I. (2015). Role of nitric oxide in salt stress-induced programmed cell death and defense mechanisms. *Nitric Oxide Action in Abiotic Stress Responses in Plants*, 2, 193-219.
- Ries, S., Wert, V.O., Leary, D & Nair, M. (1990). 9-β -L(+)- Adenosine: a new natural occurring plant growth substance elicited by TRIA contanol in rice. *Plant Growth Regul*, 9, 263_273.
- Sami, F., Siddiqui, H., & Hayat, S. (2021). Nitric oxide-mediated enhancement in photosynthetic efficiency, ion uptake and carbohydrate metabolism that boosts overall photosynthetic machinery in mustard plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(3), 1088-1110.
- Sheokand, S., Bhankar, V., & Sawhney, V. (2010). Ameliorative effect of exogenous nitric oxide on oxidative metabolism in NaCl treated chickpea plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 22, 81-90.
- Singh, M., Khan, M.M.A., Moinuddin & Naeem, M., (2012). Augmentation of nutraceuticals, productivity and quality of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) through TRIA contanol application. *Plant Biosystems*, 146(1): 106-113.
- Swamy, K., Ram, N. & Rao, S. (2017). Influence of 28-homobrassinolid on growth, photosynthesis metabolite and essential oil of geranium. *American Journal of Plant Physiology*. 3(4):173-179.
- Tabatabai, S.J. (2010). Principles of plant mineral nutrition, Tabriz: University Tabriz. [In Persian].
- Taghizadeh, B., H., Alizadeh Salteh, S., & Matloobi, M. (2023). The Effect of Fulvic Acid and Triacantanol Foliar Application on some Biochemical and Physiological Properties and Active Ingredients of *Calendula officinalis*. *Journal Of Horticultural Science*, 37(1), 167-179. [In Persian]
- Verma, T., Bhardwaj, S., Singh, J., Kapoor, D., & Prasad, R. (2022). Triacantanol as a versatile plant growth regulator in overcoming negative effects of salt stress. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100351.
- Waqas, M., Shahzad, R., Khan, A.L., Asaf, S., Kim, Y.H., Kang, S.M., Bilal, S., Hamayun, M. & Lee, I.J., (2016). Salvaging effect of triacantanol on plant growth, thermotolerance, macro-nutrient content, amino acid concentration and modulation of defense hormonal levels under heat stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 99(1), 118-125.

- Yadollahi, P., Asgharipour, M., Sheikhpour, S., Jabbari, B., & Ghasemi, H. (2015). Effects of different levels of sodium nitroprusside and arsenic on fruit yield and some biochemical characteristics of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 7(21), 221-234. [In Persian]
- Zhao, J., Davis, L. C., & Verpoorte, R. (2005). Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnology advances*, 23(4), 283-333.

نسخه
پیش
از انتشار