Journal of Plant Production Research

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

Comparison of the effect of nitrogen Nano-fertilizer and urea fertilizer on some properties of yew (*Taxus baccata* L.)

Hamid Dini[1], Azim Ghasemnezhad[*2], Mahboubeh Ashnavar[3]

1. M.Sc. Student in Medicinal Plants, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: hamid.dini1375@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: ghasemnezhad@gau.ac.ir
3. Ph.D. Graduate in Medicinal Plants, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: m.ashnavar@gau.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 09.26.2023
Revised: 10.17.2023
Accepted: 11.01.2023

Keywords:
Nanofertilizer,
Nitrogen,
Phytochemical,
Taxol,
Yew

ABSTRACT

Background and Objectives: Yew (*Taxus baccata* L.) is a coniferous plant and one of the plants with multiple medicinal, ornamental and industrial importance is in the process of extinction. Yew is the most important and reliable source of the anti-cancer compound taxol, which has a special importance in medicine. The low amount of taxol in yew and the slow growth rate of this plant are among the serious obstacles to using yew in providing this important medicinal substance. The use of some elements such as nitrogen will increase the quantitative and qualitative characteristics of plants, especially the production of secondary metabolites such as alkaloids. Based on this, the current research was conducted with the aim of investigating the effect of nano nitrogen fertilizer compared to urea fertilizer to increase vegetative growth and metabolite accumulation of yew seedlings.

Materials and Methods: For this purpose, an experiment was performed based on factorial as completely randomized blocks at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources with 9 levels of treatment (nitrogen nanofertilizer at three levels of 0, 1.5 and 3 $ml.l^{-1}$ in the form of foliar spraying and regular urea fertilizer in three levels of 0, 6, and 12 g were applied to each seedling as soil) and 3 replicates (two plants per replicate). Fertilization was done in 4 stages with a 14 days' time interval. Parameters in two morphophysiological sections (plant height, number of sub-branches, diameter of the main stem, canopy width of the plant, fresh and dry weight of the aerial part and secondary dry weight) and phytochemical (chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoid, anthocyanin, total phenol, total flavonoid, percentage of free radical inhibition, total alkaloid and taxol content) measurement became.

Results: The results showed that application of nitrogen in two forms of nanofertilizer and urea, improved most of the quantitative and qualitative traits of the yew plant. So that the maximum amount of plant height and diameter of the main stem was obtained with the application of 3 $ml.l^{-1}$ of nitrogen nanofertilizer along with not using urea. The highest number of sub-branches and amount of chlorophyll *a* and chlorophyll *b* were obtained as a result of not using nitrogen nanofertilizer along with 6 g of urea fertilizer. As a result of using 1.5 $ml.l^{-1}$ of nitrogen nanofertilizer along with 6 g of urea fertilizer, the dry weight of the aerial parts of yew

increased significantly. Also, the application of 1.5 $ml.l^{-1}$ of nitrogen nanofertilizer + 12 g of urea fertilizer produces the highest amount of total alkaloid and taxol in yew.

Conclusion: Based on the results, it seems that it is possible to manage the growth and accumulation of metabolites in the yew by managing nitrogen nutrition and simultaneous application of chelated nitrogen fertilizers and urea fertilizer.

Cite this article: Dini, Hamid, Ghasemnezhad, Azim, Ashnavar, Mahboubeh. 2024. Comparison of the effect of nitrogen Nano-fertilizer and urea fertilizer on some properties of yew (*Taxus baccata* L.). *Journal of Plant Production Research*, 31 (3), 109-125.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2023.21763.3073
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

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

مقایسه اثر نانوکود نیتروژن و اوره بر برخی خصوصیات گیاه سرخدار (*Taxus baccata* L.)

حمید دینی[۱]، عظیم قاسم‌نژاد*[۲]، محبوبه آشناور[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: hamid.dini1375@gmail.com

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

۳. دانش‌آموخته دکتری گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: m.ashnavar@gau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۴
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰

واژه‌های کلیدی:
تاکسول،
سرخدار،
فیتوشیمیایی،
نانوکود،
نیتروژن

چکیده

سابقه و هدف: سرخدار (*Taxus baccata* L.) گیاهی سوزنی‌برگ و از جمله گیاهان دارای اهمیت چندگانه دارویی، زینتی و صنعتی درحال انقراض است. سرخدار به عنوان مهم‌ترین منبع قابل اعتماد ترکیب ضد سرطان تاکسول است که در پزشکی اهمیت ویژه‌ای دارد. پایین بودن میزان تاکسول در گیاه سرخدار و هم‌چنین کند رشد بودن این گیاه از جمله موانع جدی استفاده از سرخدار در تأمین این ماده مهم دارویی است. استفاده از برخی عناصر مانند نیتروژن سبب افزایش خصوصیات کمی و کیفی گیاهان به ویژه افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه مانند آلکالوئیدها خواهد شد. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف تأثیر کود نیتروژنی نانوشده در مقایسه با کود اوره جهت افزایش رشد رویشی و تجمع متابولیتی نهال‌های سرخدار مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: به همین منظور، آزمایشی بر پایه طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان آزمایش با ۹ سطح تیماری (نانوکود نیتروژن در سه سطح صفر، ۱/۵ و۳ میلی‌لیتر در لیتر به صورت محلول‌پاشی برگی و کود اوره معمولی در سه سطح صفر، ٦ و ۱۲ گرم برای هر نهال به‌صورت خاکی) و ۳ تکرار (دو گیاه در هر تکرار) اجرا شد. کوددهی در ٤ مرحله با فاصله زمانی ١٤ روز انجام شد. پارامترها در دو بخش مورفوفیزیولوژیکی (ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه اصلی، عرض کانوپی گیاه، وزن‌تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ثانویه) و فیتوشیمیایی (کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کاروتنوئید، آنتوسیانین،

فنل کل، فلاونوئید کل، درصد مهار رادیکال آزاد، آلکالوئید کل و میزان تاکسول) اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که استفاده از نیتروژن به دو صورت نانوکود و اوره توانست اکثر صفات کمی و کیفی گیاه سرخدار را بهبود بخشد. به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار ارتفاع گیاه و قطر ساقه اصلی با کاربرد ۳ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن به همراه عدم مصرف کود اوره به دست آمد. بالاترین تعداد شاخه فرعی و مقدار کلروفیل a و کلروفیل b در نتیجه عدم کاربرد نانوکود نیتروژن به همراه ٦ گرم کود اوره حاصل شد. در نتیجه استفاده از ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن به همراه ٦ گرم کود اوره وزن خشک اندام هوایی در سرخدار افزایش قابل‌توجهی یافت. هم‌چنین کاربرد ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + ۱۲ گرم کود اوره توانست بالاترین مقدار آلکالوئید کل و تاکسول را در گیاه سرخدار تولید نماید.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج مطالعه حاضر، به‌نظر می‌رسد که با مدیریت تغذیه نیتروژن و کاربرد هم‌زمان کودهای نیتروژنی کلاته شده و کود اوره امکان مدیریت رشد و تجمع متابولیت در گیاه سرخدار وجود دارد.

استناد: دینی، حمید، قاسم‌نژاد، عظیم، آشناور، محبوبه (۱۴۰۳). مقایسه اثر نانوکود نیتروژن و اوره بر برخی خصوصیات گیاه سرخدار (*Taxus baccata* L.). *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۱ (۳)، ۱۲۵-۱۰۹.
DOI: 10.22069/JOPP.2023.21763.3073

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

مقدمه

یکی از اجزای مهم تأمین نیازهای انسان در طبیعت، گیاهان هستند. از قدیم‌الایام بسیاری از گیاهان به دلیل داشتن متابولیت‌های ثانویه، اهمیت ویژه‌ای در صنایع مختلف دارویی، غذایی و بهداشتی داشتند (۱). بخش اعظم گیاهان دارویی دنیا، مربوط به تولید و عرضه متابولیت‌های ثانویه مشتق شده از این گیاهان می‌باشد. این متابولیت‌ها ترکیبات آلی هستند که مستقیماً در مراحل رشد و نمو و یا تولیدمثل یک ارگانیسم زنده شرکت ندارند. هم‌چنین عدم وجود متابولیت‌های اولیه می‌تواند موجب از بین رفتن گیاه شود ولی غیبت متابولیت‌های ثانویه موجب مرگ فوری گیاه نمی‌شوند؛ اما در درازمدت می‌تواند باعث اختلال در زنده‌مانی گیاه و یا ویژگی ظاهری و یا حتی در بقای گیاه گردد (۲).

سرخدار درختی همیشه‌سبز و کندرشد و متعلق به تیره Taxaceae می‌باشد. از سه گونه سرخدار موجود در کشور فقط گونه *Taxus baccata* بومی ایران است. بذردهی این گیاه طولانی و نامنظم بوده و ارتفاع آن سالانه حدود ۱۰ سانتی‌متر و قطرش حدود ۰/۵ سانتی‌متر افزایش می‌یابد (۳). وجود ویژگی‌هایی هم‌چون سرعت رشد پایین، دوره بذردهی نامنظم، مرغوبیت چوب و غیره سبب شده تا این گیاه در معرض خطر انقراض قرار گیرد (۱). پراکنش سرخدار در جنگل‌های هیرکانی مشابه پراکنش جهانی آن به‌دلیل رطوبت اشباع هوای کم در ارتفاعات پایین و دماهای پایین و هم‌چنین خشکسالی طولانی در ارتفاعات، محدود است (٤). دلایل اصلی کاهش سرخدار در جنگل هیرکانی استفاده از زمین‌ها توسط انسان، بهره‌برداری غیرقانونی، تولید بذر نامنظم و طولانی و سرعت رشد بسیار پایین این گیاه، جنگل‌زدایی، قطع انتخابی و جستجو توسط علفخواران می‌باشد. این امر بر ضرورت شناسایی بیش‌تر جوامع سرخدار برای حفاظت بیش‌تر از این گونه در جنگل‌های هیرکانی تأکید می‌کند (۵).

فنل‌ها، ترکیبات دی‌ترپنی غیرآلکالوئیدی (۱۰-دی استیل باکاتین III) و دی‌ترپنوئیدهای آلکالوئیدی (پاکلی‌تاکسل و تاکسان)، از جمله ترکیبات پیچیده موجود در سرخدار هستند که در تمام اندام‌های گیاه حضور دارند. ترکیبات مفید این گیاه تنها تاکسوئیدها نمی‌باشند؛ بلکه استروئیدها، فلاونوئیدها و لیگنان‌ها نیز در بخش‌های مختلف گونه‌های سرخدار موجود هستند (۱). یکی از متابولیت‌های مهم سرخدار که دارای خواص ضدسرطانی است؛ پاکلی‌تاکسل می‌باشد که معمولاً به نام تاکسول شناخته می‌شود. نام تجاری این متابولیت ثانویه BMS بوده که در واقع از پوست گونه سرخدار به‌دست می‌آید. با این وجود، تهیه و استخراج این متابولیت از طبیعت و منابع آن دارای محدودیت بوده و تأمین‌کننده نیاز کنونی بازار نمی‌باشد (٦). تاکسول یک دی‌ترپنوئید طبیعی با خاصیت ضدسرطانی است که این ویژگی آن با توجه به ارتقاء مونتاژ میکروتبول‌ها و تثبیت آن در مقابل انحلال و در نتیجه جلوگیری از تقسیم سلولی توسط تاکسول ایجاد می‌شود (۷). خاصیت ضدسرطانی تاکسول اولین بار در سال ۱۹۹۲ توسط وزارت غذا و دارو ایالات متحده برای درمان سرطان تخمدان تأیید شد. تاکسول به‌طور گسترده به‌عنوان عامل شیمی درمانی در برابر سرطان پستان، مثانه، پروستات، سلول‌های غیرکوچک ریه و سر و گردن استفاده می‌شود (۸). هم‌چنین تاکسول در درمان بیماری‌های غیرسرطانی مثل پسوریازیس (Psoriasis)، آرتریت روماتوئید، آلزایمر و پارکینسون نیز اثربخش می‌باشد (۹).

نانوتکنولوژی به عنوان شاخه‌ای از علم طبقه‌بندی می‌شود که به درک و کنترل ماده در ابعاد تقریباً ۱۰۰-۱ نانومتر و پیامدهای آن برای رفاه انسان‌ها

می‌پردازد. بخش کشاورزی از جمله مهم‌ترین عرصه‌هایی است که با استفاده از دستاوردهای فناوری نانو منافع زیادی را به دست خواهد آورد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی، استفاده از نانوکودها برای تغذیه گیاهان می‌باشد (۱۰). با به‌کارگیری نانوکودها به‌عنوان جایگزین مناسب کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به‌صورت کنترل شده و به‌تدریج آزاد می‌شوند. استفاده از نانوکودها منجر به افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود (۱۱). علاوه بر آن می‌توان کودهای شیمیایی زیست‌سازگار[1] ایجاد کرد و از آلودگی محیط‌زیست و شوری بیش از حد خاک پرهیز نمود (۱۲). نیتروژن که به عنوان ضروری‌ترین منبع معدنی برای گیاهان شناخته می‌شود؛ جزء حیاتی بسیاری از اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، DNA، ATP، کلروفیل‌ها و واحدهای ساختاری سلولی است. گیاهان نیتروژن را به شکل NO_3^- و NH_4^+ می‌گیرند. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های کودهای نیتروژن شیمیایی، میزان تبخیر و آب‌شویی بالای آن‌ها است که در حین استفاده و مستقیماً پس از کاربرد در مزرعه رخ می‌دهد. در نتیجه، نیتروژن به شکل نانوکود بسیار توصیه می‌شود؛ زیرا می‌تواند باعث آزاد شدن آهسته این عنصر، کاهش تبخیر و سرعت شسته شدن شود و هم‌چنین منجر به جذب بالای مواد مغذی و بهبود رشد و بهره‌وری محصولات زراعی گردد (۱۳ و ۱٤).

پژوهش حاضر با توجه به کند رشد بودن این گیاه در طبیعت و هم‌چنین پایین بودن میزان متابولیت‌های ثانویه به ویژه تاکسول با هدف امکان‌سنجی افزایش رشد رویشی نهال‌های سرخدار تحت‌تأثیر تیمار نانوکود نیتروژن در مقایسه با کود اوره و بررسی میزان تجمع متابولیت‌های سرخدار تحت‌تأثیر تیمار نانوکود نیتروژن در مقایسه با کود اوره انجام شده است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با هدف بررسی رشد رویشی و تجمع متابولیتی سرخدار تحت‌تأثیر تیمارهای ذکر شده انجام شد. آزمایش بر پایه فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ سطح تیماری و ۳ تکرار (در هر تکرار دو گیاه) و در مجموع ٥٤ نهال سرخدار (دوساله) طراحی و نهال‌ها پس از تهیه در بهمن ماه ۱۳۹۹ در قطعه زمینی در محوطه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان کاشته و پس از حدود یک‌ماه جهت اطمینان از استقرار گیاهان نگهداری شده و پس از آن با شروع رشد گیاهان اعمال تیمارها در فصل بهار ۱٤۰۰ اجرا شد. تیمارها شامل نانوکود نیتروژن در سه سطح (صفر، ۱/٥ و ۳ میلی‌لیتر در لیتر) به‌صورت محلول‌پاشی برگی و کود اوره معمولی در سه سطح (صفر، ٦ و۱۲ گرم برای هر نهال) به‌صورت کاربرد خاکی بود. اعمال تیمارها در ٤ مرحله بوده و فاصله زمانی هر کوددهی ١٤ روز از اعمال تیمار قبلی در نظر گرفته شد؛ که در مجموع ٥٦ روز فاصله اولین تا آخرین مرحله اعمال تیمار بود. برای انجام محلول‌پاشی، ابتدا محلول کودی با غلظت موردنظر هر تیمار تهیه شده و سپس به وسیله محلول‌پاش روی گیاهان پاشیده شدند. حجم محلول مصرفی برای هر تیمار به طور تقریبی ۲ لیتر بوده و محلول‌پاشی به شکلی صورت گرفت که تمام سطوح گیاه به محلول آغشته شده، بدون این‌که به پای بوته ریخته شود. برای اعمال تیمار کود اوره ابتدا سطوح کودی مرتبط به هر تیمار به‌صورت جداگانه تهیه و سپس به اندازه پوشش سایه‌انداز گیاه با خاک زیر نهال

1- Eco-friendly

مخلوط و آبیاری شدند. فاصله آبیاری گیاهان تحت‌تأثیر شرایط آب و هوایی از ۲ تا ۳ بار در هفته در روزهای گرم سال تا هفته‌ای یکبار در شرایط رطوبتی متغیر بود. با توجه به این‌که همه نهال‌ها در شرایط یکسان نبودند برای رفع ابهام و اختلاف‌های موجود اندازه‌گیری‌ها یک‌بار قبل از شروع اعمال تیمارها و نهایتاً آخرین اندازه‌گیری هم یک‌ماه پس از آخرین اعمال تیمار انجام شد. صفات اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش شامل صفات مورفوفیزیولوژیکی (ارتفاع نهال، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه اصلی، عرض کانوپی، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ثانویه (برای اندازه‌گیری وزن خشک ثانویه ابتدا ۱ گرم ازماده خشک اندام هوایی را در آون ۱۰۵ درجه به مدت ۳ ساعت قرار داده و مجدداً وزن شد.)) و فیتوشیمیایی (کلروفیل a و کلروفیل b (۱۵) و کاروتنوئید (۱۵) با دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج‌های ٤٨٠-٥١٠-٦٤٥-٦٦٣نانومتر قرائت شد، آنتوسیانین توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر (١٦)، فنل کل توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ٧٦٠ نانومتر (١٧)، فلاونوئید کل قرائت در طول موج ٤١٥ نانومتر (١٧)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی قرائت در طول موج ۵۱۷ نانومتر (١٨)، آلکالوئید کل قرائت در طول موج ٤٧٠ نانومتر (١٩) و تاکسول با دستگاه گازکروماتوگرافی تجزیه‌ای Knauer ساخت آلمان در طول موج ۲۳۰ نانومتر (۲۰) بود. اندازه‌گیری کلروفیل، کارتنوئید، آنتوسیانین، فنل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و آلکالوئید کل به روش اسپکتوفتومتری (مدل Unico-2800) انجام شد. تاکسول نمونه‌ها نیز با استفاده از دستگاه HPLC (مدل Agilent) انجام شد.

داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver 9.1) تجزیه و تحلیل شده و میانگین داده‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد. ترسیم نمودارها و جداول نیز با نرم‌افزار اکسل انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

بررسی اثر تیمارهای کودی بر صفات مورفوفیزیولوژیکی نهال‌های سرخدار: نتایج نشان داد که اثر ساده نانوکود نیتروژن بر عرض کانوپی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر ساده کود نیتروژن خالص از منبع اوره بر وزن خشک ثانویه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. علاوه‌بر این، صفاتی مانند ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه اصلی و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد تحت‌تأثیر اثر متقابل تیمارهای آزمایشی (نانوکود نیتروژن و کود نیتروژن خالص از منبع اوره) قرار گرفتند (جدول ۱).

ارتفاع گیاه: مطابق جدول مقایسه میانگین (جدول ۲)، بالاترین ارتفاع گیاه (٦٧/٥ سانتی‌متر) در اثر کاربرد ۳ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن بدون مصرف کود اوره حاصل شد که با تیمارهای عدم مصرف نانوکود نیتروژن + ٦ گرم اوره، عدم مصرف نانوکود نیتروژن + ۱۲ گرم اوره، ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + ٦ گرم اوره، ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + ۱۲ گرم اوره و ۳ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + ٦ گرم اوره در یک سطح آماری قرار داشتند. هم‌چنین کم‌ترین افزایش ارتفاع گیاه مربوطه به تیمار شاهد (عدم مصرف کودهای نیتروژنه به صورت نانو و معمولی) مشاهده شد. علاوه بر این، بر اساس نتایج به دست آمده، استفاده از بالاترین غلظت هر دو تیمار کودی به صورت هم‌زمان، تأثیر منفی بر ارتفاع گیاه گذاشته و گیاه سرعت رشدی کم‌تری داشته است. با توجه به بررسی‌ها و مطالعات انجام شده در ارتباط

نیتروژن و رشد ارتفاع در گیاهان، نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر با پژوهش خان و همکاران (۲۰۱۷) در رابطه با افزایش رشد اندام هوایی ذرت در نتیجه کاربرد کود نیتروژن همخوانی دارد. اما در گیاه اسطوخودوس هیچ تفاوتی بین کاربرد غلظت‌های مختلف نیتروژن روی ارتفاع گیاه وجود نداشت (۲۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر نانوکود نیتروژن و کود اوره بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی سرخدار.

Table 1. Analysis of variance of the effect of nitrogen nanofertilizer and urea fertilizer on some morphophysiological characteristics of yew.

منابع تغییرات Sources of Varieties	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد شاخه فرعی Sub branches number	قطر ساقه اصلی Main stem diameter	عرض کانوپی Canopy width	وزن تر اندام هوای Wet weight of aerial part	وزن خشک اندام هوایی Dry weight of aerial part	وزن خشک ثانویه Secondary dry weight
نانوکود نیتروژن nitrogen nanofertilizer	2	0.93^{ns}	1013.2^{ns}	0.06^{**}	11.9^{*}	6.07^{ns}	1.16^{*}	0.0002^{ns}
کود اوره urea fertilizer	2	8.17^{*}	470.1^{ns}	0.02^{ns}	3.8^{ns}	0.4^{ns}	0.36^{ns}	0.0009^{**}
نانوکود نیتروژن × کوداوره nitrogen nanofertilizer × urea fertilizer	4	8.61^{**}	2977.5^{**}	0.05^{**}	2.4^{ns}	0.7^{ns}	0.96^{**}	0.0002^{ns}
خطا Error	-	1.42	360.8	0.009	2.6	1.7	0.21	0.0001
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	18.7	20.9	15.3	14.6	15.6	11.09	1.3

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

*, ** and ns are significant at 5% and 1% probability level and non-significant, respectively

تعداد شاخه فرعی: نتایج نشان داد که بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی (۹۳/۲۵) در اثر کاربرد ٦ گرم کود اوره به همراه عدم مصرف نانوکود نیتروژن به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد حدود ٤/٥ برابر افزایش داشت و هم‌چنین با تیمار ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + ۱۲ گرم کود اوره در یک سطح آماری قرار داشت. کم‌ترین مقدار این صفت نیز مربوط به تیمار شاهد با تعداد ۲۱/۲۵ عدد شاخه فرعی بود (جدول ۲). اثر افزایش کود نیتروژن نیز در تعداد شاخه فرعی و تعداد برگ به نقش نیتروژن در متابولیسم گیاه مربوط می‌شود؛ زیرا نیاز گیاه را از لحاظ نیتروژن تأمین کرده و موجب افزایش فراورده‌های فتوسنتزی و در نتیجه افزایش رشد رویشی در گیاه می‌گردد (۲۲). در این پژوهش، افزایش استفاده از کودهای نیتروژن سبب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی در نهال‌های سرخدار گردید. در مطالعه‌ای مشابه گزارش شد که مصرف بیش از حد کودهای نیتروژن سبب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی در گوجه‌فرنگی شده است (۲۳).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل نانوکود نیتروژن و کود اوره بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی سرخدار.

Table 2. Mean comparison of the interaction effect of nitrogen nanofertilizer and urea fertilizer on some morphophysiological characteristics of yew.

وزن خشک اندام هوایی (گرم) Dry weight of aerial part (g)	قطر ساقه اصلی (سانتی‌متر) Main stem diameter (cm)	تعداد شاخه فرعی Number of sub branches	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)	منابع تغییرات Sources of Varieties	
				اوره (گرم در بوته) Urea (g per plant)	نانوکود نیتروژن (میلی‌لیتر در لیتر) Nitrogen nanofertilizer ($ml.l^{-1}$)
3.95^{b}	0.14^{b}	21.25^{d}	28.8^{c}	0	
3.93^{b}	0.20^{b}	93.25^{a}	65.8^{ab}	6	0
5^{a}	0.16^{b}	38.83^{cd}	52.5^{ab}	12	
3.95^{b}	0.09^{b}	54.25^{bc}	46.7^{bc}	0	
5.09^{a}	0.08^{b}	30.25^{cd}	61.3^{ab}	6	1.5
4.15^{b}	0.14^{b}	83^{ab}	57.7^{ab}	12	
3.84^{b}	0.50^{a}	42^{cd}	67.5^{a}	0	
3.6^{b}	0.19^{b}	30.33^{cd}	63.6^{ab}	6	3
3.74^{b}	0.12^{b}	34.33^{cd}	29.5^{c}	12	

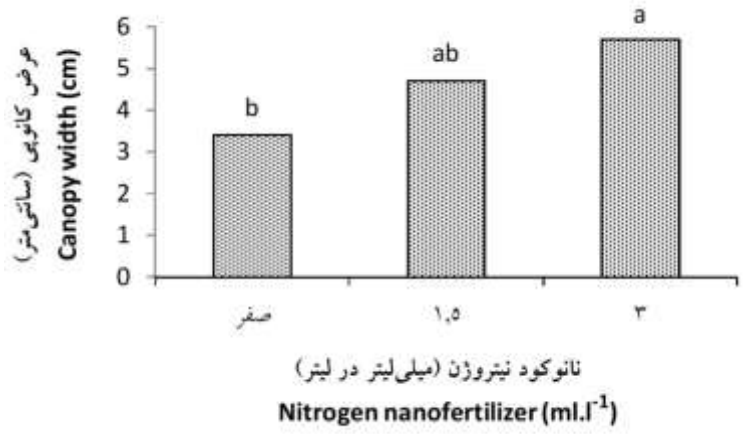
در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column, the averages with at least one letter in common are not significantly different

قطر ساقه اصلی: در بررسی اثر متقابل تیمارها، تنها تیماری که تفاوت معنی‌داری را نسبت به بقیه تیمارها نشان داد؛ سطح تیماری ۳ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن به همراه عدم مصرف کود اوره بود. بقیه تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. بالاترین رشد قطرساقه به اندازه ۰/۵ سانتی‌متر و کم‌ترین مقدار رشد این صفت حدود ۰/۰۸ سانتی‌متر بود؛ که باتوجه به این اعداد افزایش رشد قطر ساقه حدود ٦ برابر بیش‌تر بود (جدول ۲). اثر نیتروژن بر قطر ساقه سوزنی‌برگان به شرایط کاشت و محیط رشد گیاهان و هم‌چنین نوع گونه‌های سوزنی‌برگ بستگی دارد. برخی مطالعات نشان داده‌اند که مصرف کود نیتروژن می‌تواند باعث افزایش قطر ساقه سوزنی‌برگان شود. درحالی‌که در مطالعات دیگر، نتایج متفاوتی گزارش شده است. طبق بررسی‌های انجام شده هیچ تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف نیتروژن در رشد ضخامت ساقه در گیاه اسطوخودوس مشاهده نشد (۲۱). اما در مطالعه‌ای دیگر در گیاه سرخارگل نشان داده شد که مصرف نیتروژن باعث افزایش قطر ساقه این گیاه گردید (۲٤). هم‌چنین در یک مطالعه گزارش شد که مصرف بیش از حد کود نیتروژن ممکن است باعث کاهش قطر ساقه برخی سوزنی‌برگان شود (۲۳).

عرض کانوپی: مقایسه میانگین اثر ساده نانوکود نیتروژن بر صفت عرض کانوپی نشان داد؛ بیش‌ترین مقدار این صفت با کاربرد ۳ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن حاصل شد که با تیمار ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن در یک سطح آماری قرار داشت.

براساس این آزمایش با افزایش نانوکود نیتروژن، مقدار عرض کانوپی نیز روند افزایشی داشت (شکل ۱). طبق نتایج به دست آمده، غلظت بالای نیتروژن نسبت به غلظت پایین آن باعث افزایش تعداد و اندازه سلول و در نتیجه افزایش کلی تولید برگ و هم‌چنین عملکرد زیست‌توده در گیاهان می‌شود (۲۵). در مطالعه دیگری نشان داده شده است که استفاده از کود نیتروژن می‌تواند باعث افزایش رشد سوزنی‌برگان شود (۲۶).



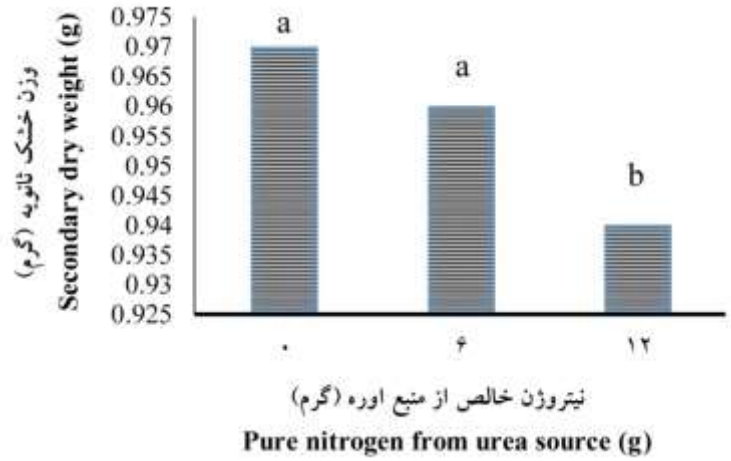
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ساده نانوکود نیتروژن بر عرض کانوپی سرخدار.

Fig. 1. Mean comparison of the effect of simple nitrogen nanofertilizer on yew canopy width.

وزن خشک اندام هوایی: نتایج اثر متقابل پژوهش حاضر نشان داد که تیمار ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن به همراه ٦ گرم کود اوره بالاترین وزن خشک اندام هوایی را در سرخدار به خود اختصاص داد. هم‌چنین این تیمار با تیمار عدم مصرف نانوکود نیتروژن به همراه ۱۲ گرم کود اوره در یک سطح آماری قرار داشت. بقیه تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان ندادند (جدول ۲). اثر نیتروژن بر وزن خشک گیاهان به شرایط کاشت و محیط رشد گیاهان و هم‌چنین نوع گونه‌های گیاهی بستگی دارد. در برخی مطالعات نشان داده شده است که مصرف کود نیتروژن می‌تواند باعث افزایش وزن تر و خشک گیاهان شود؛ درحالی‌که در مطالعات دیگر، نتایج متفاوتی گزارش شده است. این در حالی‌است که در یک بررسی اثبات شد که استفاده از کود نیتروزن اثری بر میزان ماده خشک ریحان نداشت (۲۷)؛ در مقابل گزارشی همسو از گلچین و همکاران (۲۰۱۹) بیانگر این موضوع است که نیتروژن می‌تواند بر میزان ماده خشک گیاه تأثیر گذاشته و واکنش گیاه به کود ازت به گونه گیاهی و منبع کود ازته بستگی دارد (۲۸).

وزن خشک ثانویه: بررسی میزان وزن خشک ثانویه از ۱ گرم ماده خشک اولیه نشان داد که تیمار فاقد کود اوره (تیمار شاهد) بیش‌ترین میزان وزن خشک (۰/۹۷ گرم) را داشته و این در حالیست که نسبت به سطح ۲ اوره اختلاف معنی‌داری را نداشته و تنها با سطح ۳ اوره بیش‌ترین اختلاف معنی‌داری را داشته است (شکل ۲). افزایش نیتروژن سبب افزایش رشد و تولید شاخه و برگ‌های جدید می‌شود. سرشاخه

جدید دارای بافت‌های ترد و تازه‌ای بوده و بیش‌تر فضای بافت برگ‌ها را بافت‌های سلول‌های تازه و جوان و آبدار تشکیل داده‌اند به‌دلیل این‌که این سرشاخه‌ها از سلول‌های پارانشیمی آب‌دار ذکر شده تشکیل شده‌اند در زمان خشک شدن این بافت‌ها نسبت به بافت‌های قدیمی و خشبی‌تر مقدار بیش‌تری آب از دست داده و مقدار ماده خشک کم‌تری نسبت به گیاهانی که نیتروژن دریافت نکرده‌اند؛ دارند به همین دلیل هرچه مصرف نیتروژن بالاتر باشد بافت‌ها جوان‌تر و آبدارتر از بافت‌هایی که کم‌تر نیتروژن دریافت کرده‌اند دارد. در یک بررسی مشخص شد که بر خلاف نتایج پژوهش حاضر، استفاده از کود نیتروژن بر میزان ماده خشک در گیاه ریحان اثر معنی‌داری را نداشته است (۲۷). گلچین و همکاران (۲۰۱۹)، در بررسی خود بیان داشتند که واکنش گیاهان به نیتروژن و مقادیر آن یکسان نبوده و از گیاهی به گیاه دیگر تفاوت دارد (۲۸).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر ساده کود نیتروژن از منبع اوره بر وزن خشک ثانویه سرخدار.

Fig. 2. Mean comparison of the simple effect of nitrogen fertilizer from urea source on secondary dry weight of yew.

بررسی اثر تیمارهای کودی بر صفات مورفوفیزیولوژیکی نهال‌های سرخدار: بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر متقابل نانوکود نیتروژن و کود اوره بر برخی صفات فیتوشیمیایی مانند کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، فنل کل، آلکالوئید کل و تاکسول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نانوکود نیتروژن و کود اوره بر برخی ویژگی‌های فیتوشیمیایی سرخدار.

Table 3. Analysis of variance of the effect of nitrogen nanofertilizer and urea fertilizer on some phytochemical characteristics of yew.

منابع تغییرات Sources of Varieties	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid	آنتوسیانین Anthocyanin	فنل کل Total phenol	فلاونوئید Total flavonoid	فعالیت آنتی اکسیدان Antioxidan activity	آلکالوئید کل Total alkaloid	تاکسول Taxol
نانو کود نیتروژن Nitrogen nanofertilizer	2	121.5**	201.3**	7.3^{ns}	0.022^{ns}	372.8*	32.9^{ns}	0.1^{ns}	18628.8**	0.51*
کود اوره Urea fertilizer	2	71.4**	148.04**	1.6^{ns}	0.008^{ns}	561.2**	35.7^{ns}	0.69^{ns}	7170.3**	0.24^{ns}
نانو کود نیتروژن × کود اوره Nitrogen nanofertilizer × Urea fertilizer	4	45.8**	110.08**	13.05^{ns}	0.02^{ns}	276.1*	46.9^{ns}	4.8^{ns}	3562.4**	0.52**
خطا Error	-	9.5	23.3	10.9	0.007	86.9	25.7	1.7	312.9	0.1
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	13.8	19.3	15.5	16.8	19.8	17.4	1.4	195.5	14.1

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

*, ** and ns are significant at 5% and 1% probability level and non-significant, respectively

کلروفیل *a* و کلروفیل *b*: جدول مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای مورد استفاده بر رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد که بالاترین مقدار کلروفیل *a* در تیمار عدم مصرف نانوکود نیتروژن به همراه ٦ گرم در بوته کود اوره به دست آمد که از نظر آماری با تیمار ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن به همراه ۱۲ گرم کود اوره در یک سطح قرار داشت. هم‌چنین پایین‌ترین میزان کلروفیل *a* نیز مربوط به تیمار ۳ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن به همراه عدم مصرف کود اوره بوده است. به‌طورکلی تیمارهایی با بالاترین سطح نانوکود (۳ میلی‌لیتر در لیتر) و تیمار شاهد دارای کم‌ترین میزان کلروفیل *a* بودند. در بحث کلروفیل *b* نیز می‌توان بیان داشت که بیش‌ترین میزان کلروفیل *b* مربوط به تیمار عدم کاربرد نانوکود نیتروژن به همراه ٦ گرم کود اوره بود. کم‌ترین میزان این صفت نیز متعلق به تیمار ۳ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن به همراه عدم کاربرد کود اوره مشاهده شد (جدول ٤). بررسی‌ها ثابت کرده که مقدار کلروفیل برگ با غلظت نیتروژن، فعالیت آنزیم ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و ظرفیت فتوسنتزی برگ همبستگی بالایی دارد (۲۹). بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، استفاده از کود نیتروژن سبب افزایش کلروفیل *a* و *b* در بسیاری از گیاهان شده است (۳۰).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل نانوکود نیتروژن و کود اوره بر برخی صفات فیتوشیمیایی گیاه سرخدار.

Table 4. Mean comparison of the interaction effect of nitrogen nanofertilizer and urea fertilizer on some phytochemical traits of yew plant.

منابع تغییرات SOV		کلروفیل *a* (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll *a* ($mg.g^{-1}$ ww)	کلروفیل *b* (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll *b* ($mg.g^{-1}$ ww)	فنل کل (میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن خشک) Total phenol (mg gallic $acid.g^{-1}$ ww)	آلکالوئید کل (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Total alkaloid ($mg.g^{-1}$ dw)	تاکسول (میکروگرم بر گرم وزن خشک) Taxol ($\mu g.g^{-1}dw$)
نانوکود نیتروژن (میلی‌لیتر در لیتر) Nitrogen nanofertilizer ($ml.l^{-1}$)	اوره (گرم در بوته) Urea (g per plant)					
0	0	9.63^{bc}	7.31^{bcd}	56.76^{a}	37.04^{d}	0.87^{b}
	6	21.27^{a}	27.47^{a}	50.64^{ab}	37.13^{d}	0.79^{b}
	12	13.44^{b}	12.84^{bc}	54.24^{ab}	61.00^{cd}	0.54^{b}
1.5	0	13.13^{b}	12.18^{bcd}	58.15^{a}	62.33^{cd}	0.88^{b}
	6	13.09^{b}	15.37^{b}	26.64^{c}	169.87^{a}	0.38^{b}
	12	19.72^{a}	14.51^{b}	38.54^{bc}	176.30^{a}	1.64^{a}
3	0	6.28^{c}	4.50^{d}	53.51^{ab}	79.67^{c}	0.54^{b}
	6	9.48^{bc}	5.36^{cd}	50.57^{ab}	115.20^{b}	0.48^{b}
	12	10.34^{bc}	10.89^{bcd}	34.18^{c}	75.33^{c}	0.42^{b}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column, the averages with at least one letter in common are not significantly different

فنل کل: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین میزان فنل‌کل سرخدار (۵۸/۱۵ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن خشک) در نتیجه کاربرد ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن به همراه عدم کاربرد کود اوره به دست آمد که با تیمارهای شاهد، عدم کاربرد نانوکود نیتروژن + ٦ گرم کود اوره، عدم کاربرد نانوکود نیتروژن + ۱۲ گرم کود اوره، ۳ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + عدم کاربرد کود اوره و ۳ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + ٦ گرم کود اوره در یک سطح آماری قرار داشت. کم‌ترین مقدار این صفت نیز مربوط به بالاترین سطوح کودی (۳ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + ۱۲ گرم کود اوره) مشاهده شد (جدول ٤). طبق پژوهش‌های انجام‌شده، افزایش کاربرد کودهای ازته سبب افزایش میزان فنل کل در گیاه مرزه شد (۳۱). در بررسی‌های دیگر نیز پژوهش‌ها نشان داده‌اند که افزایش میزان نیتروژن موجود در خاک تا حد مشخصی می‌تواند بر مقدار فنل‌کل سوزنی‌برگان تأثیر مثبت بگذارد. در مطالعه‌ای دیگر اثرات سطوح مختلف نیتروژن بر فنل‌کل سه گونه از سوزنی‌برگان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار فنل‌کل در برگ‌های این سه گونه در سطوح بالای نیتروژن کاهش یافته است. به‌طور خاص، در سطح ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار از نیتروژن، کاهش معنی‌داری در مقدار فنل‌کل در برگ‌های گیاهان مورد مطالعه مشاهده شد (۳۲).

آلکالوئید کل: طبق بررسی تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاهان آلکالوئیدی در خاک، می‌تواند باعث افزایش تولید آلکالوئیدکل در برخی ازگیاهان شود. این اثر در برخی گیاهان سوزنی‌برگ نیز مشاهده شده است. نتایج اندازه‌گیری‌ها در پارامتر آلکالوئید کل در

پژوهش حاضر قابل مشاهده است. بدین‌صورت که تیمار ۱/۵ میلی‌لیتر نانوکود نیتروژن + ۱۲ گرم کود اوره (۱۷۶/۳۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و هم‌چنین تیمار ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + ٦ گرم کود اوره (۱٦۹/۸۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) با اختلاف معنی‌داری نسبت به بقیه تیماری‌ها، بیش‌ترین میزان آلکالوئید کل را به خود اختصاص دادند. کم‌ترین میزان آلکالوئیدکل (۳۷/۰٤ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) هم متعلق به تیمار شاهد (یعنی تیماری که هیچ‌گونه کود نیتروژنی در آن استفاده نشده بود) دیده شد؛ که از نظر عددی نیز بیش‌ترین میزان آلکالوئید کل تقریباً پنج برابر بیش‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ٤). این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر نیتروژن بر افزایش آلکالوئید کل باشد. افزایش مصرف بیش از حد نیتروژن می‌تواند تأثیر منفی بر میزان آلکالوئید کل بگذارد. به‌طورکلی استفاده از نیتروژن حتی در غلظت بالا نیز بیش‌تر از تیمار شاهد، تولید آلکالوئید کل را تحت‌تأثیر قرار خواهد داد. طبق بررسی‌های انجام شده، با توجه به این‌که کاربرد نیتروژن به میزان کافی تولید زیست‌توده و سنتز آلکالوئید کل را تنظیم می‌کند؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت که فراهم نمودن نیتروژن در ابتدای رشد گیاه، جهت دستیابی به تشکیل بهینه آلکالوئید کل ضروری است (۳۳). یک مطالعه در سال ۲۰۱٦ نشان داد که افزایش مقدار نیتروژن در خاک، باعث افزایش میزان آلکالوئید در سوزنی‌برگان می‌شود (۳٤).

تاکسول: تاکسول، مهم‌ترین صفت مدنظر پوهش حاضر بوده است. از اهداف اصلی در این بررسی چگونگی تأثیر نانوکود نیتروژن و کود اوره در میزان تاکسول گیاه سرخدار است. استفاده از نیتروژن می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر میزان تاکسول در گیاه سرخدار تأثیر بگذارد. بر اساس جدول مقایسه میانگین (جدول ٤) مشخص شد که میزان تاکسول در تیمار با سطح غلظت ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + ۱۲ گرم کود اوره دارای اختلاف معنی‌دار (۱/٦٤ میکروگرم بر گرم وزن خشک) نسبت به بقیه غلظت‌ها می‌باشد؛ به‌طوری‌که این میزان تقریباً دو برابر بیش‌تر از تیمار شاهد بوده است. طبق مشاهده نتایج این پارامتر که در جدول مقایسه میانگین موجود است؛ افزایش میزان استفاده از نیتروژن در غلظت ۳ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + کود اوره (در غلظت‌های صفر، ٦ و ۱۲ گر) که بیش‌تر می‌تواند تحت‌تأثیر افزایش غلظت نانوکود باشد؛ باعث کاهش میزان تاکسول در این غلظت‌ها شد که حتی این میزان تاکسول از نمونه شاهد نیز کم‌تر بود. مطالعه‌ای دیگر نشان داد که استفاده از کود نیتروژن می‌تواند باعث افزایش میزان تاکسول در گیاه سرخدار شود. به‌طور غیرمستقیم، نیتروژن می‌تواند از طریق تأثیر بر رشد و توسعه گیاه و هم‌چنین فعالیت جذب‌کنندگی گیاه به مواد مغذی، بر میزان تاکسول در گیاه سرخدار تأثیر بگذارد. برای مثال، استفاده از مقادیر زیادی از کود نیتروژن ممکن است باعث افزایش رشد سریع ولی نامتعادل و ضعیف سرخدار شود که باعث کاهش میزان تاکسول در گیاه می‌گردد. بنابراین، تأثیر نیتروژن بر میزان تاکسول در گیاه سرخدار به شرایط کاشت و میزان کوددهی بستگی دارد و برای درک بهتر این تأثیرات، نیاز به مطالعات بیش‌تری با شرایط مختلف و با استفاده از روش‌های متنوع تجربی می‌باشد (۳۵).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان چنین بیان داشت که استفاده از تیمارها در پارامترهایی مؤثر واقع شده است؛ بدین‌معنی که افزایش عرض کانوپی رابطه مستقیمی با افزایش غلظت نانوکود نیتروژن داشته است. این در صورتی است که وزن خشک ثانویه گیاه با میزان مصرف کود اوره، رابطه عکس دارد. در بخش

اثر متقابل نیز میزان ارتفاع تحت‌تأثیر مصرف کود روند افزایشی داشت. اما در بالاترین میزان غلظت تیمارها همانند نمونه شاهد افزایش ارتفاع کاهشی شد. در اندازه‌گیری شاخه فرعی نیز به غیر از دو تیمار که بیش‌ترین میزان افزایش شاخه فرعی را داشتند؛ در باقی غلظت‌ها افزایش رشدی تعداد شاخه فرعی کم‌تر بود. قطر ساقه اصلی نیز تحت‌تأثیر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. به‌طوری‌که تنها یک تیمار که در آن میزان نانوکود نیتروژن در بالاترین مقدار و بدون اوره، رشد ساقه در بیش‌ترین مقدار بود. فنل‌کل در تیمارهای فاقد کود اوره و میزان متوسط نانوکود بیش‌ترین تجمع را داشت. به‌طوری‌که با افزایش غلظت‌ها به صورت متقابل، کاهش یافت. آلکالوئید کل به عنوان مهم‌ترین شاخصه دارویی سرخدار که در برگیرنده تاکسول است؛ در تیمار شاهد در کم‌ترین مقدار بود. با افزایش غلظت تیمارها میزان آلکالوئید کل افزایش یافت. تا جایی که بیش‌ترین میزان آلکالوئید کل در تیمار ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر نانوکود نیتروژن + ۱۲ گرم کود اوره ثبت شد. نکته جالب این‌که تجمع آلکالوئید با افزایش غلظت کودی در هر دو نوع کود، روند کاهشی داشت که بیانگر اهمیت تعیین نقطه بهینه مصرف کود نیتروژن در این گیاه است. روند مشابهی نیز در تجمع تاکسول به عنوان مهم‌ترین ترکیب دارویی سرخدار مشاهده شد. اثر تیمارها در تجمع تاکسول معنی‌دار بود. اما در تیمارهایی که میزان نانوکود در بالاترین مقدار بود؛ میزان تجمع تاکسول حتی نسبت به شاهد کم‌تر بود. به‌طورکلی صفات میزان تاکسول، آلکالوئید کل، کلروفیل‌ها، وزن خشک اندام هوایی، تعداد شاخه فرعی و ارتفاع گیاه در استفاده از نیتروژن از نمودار زنگوله‌ای پیروی می‌نماید. بنابراین یافتن نقطه بهینه تغذیه نیتروژن از نقطه‌نظر اقتصادی (مصرف کود) و ارزش دارویی (میزان رشد پیکر رویشی و تجمع تاکسول) دارای اهمیت خواهد بود. نتایج بررسی حاضر می‌تواند شروعی برای ارائه فرمول تغذیه‌ای مناسب برای نهال سرخدار با هدف بهبود رشد رویشی و تجمع آلکالوئیدی باشد.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان برای فراهم کردن امکانات لازم برای پژوهش حاضر و هم‌چنین از شرکت صدور احرارشرق، برای در اختیار قرار دادن نانوکلات نیتروژن برای اجرای این طرح و تست نانوکلات نیتروژن، سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1.Bagheri Nasab, M. (2018). Studying the role of some elicitors on enzyme activity and accumulation of paclitaxel in the callus of two species of yew. Senior thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. [In Persian]

2.Junidi, H., Moradi, M., & Sharifi, A. (2012). Secondary metabolites of medicinal plants and their applications. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 27 (2), 169-186. [In Persian]

3.Lesani, M. R. (1999). *Yew*. Research Institute of Forests and Rangelands. 215 p. [In Persian]

4.Esmailzadeh, O., Hosseini, S. M., & Tabari, M. (2007). A phytosociological study of English yew (Taxus baccata L.) in Afratakhteh reserve. *Pajouhesh & Sazandegi*, 74 (1), 17-24. [In Persian]

5.Karami-Kordalivand, P., Esmailzadeh, O., Willner, W., Noroozi, J., & Alavi, S. J. (2021). Classification of forest communities (co-) dominated by Taxus baccata in the Hyrcanian forests (northern

Iran) and their comparison with southern Europe. *European Journal of Forest Research*, 140 (2), 463-476.

6. Goharchini, H. (2018). Investigating the production of taxol through the cultivation of hairy roots in yew (Taxus spp). *The Second International Conference on Organic Agricultural Medicinal Plants*. [In Persian]
7. Schiff, P. B., Fant, J., & Horwitz, S. B. (1979). Promotion of microtubule assembly in vitro by taxol. *Nature*, 277, 665-667.
8. Rowinsky, E. K., & Donehower, R. C. (1995). Paclitaxel (Taxol). *New England Journal of Medicine*, 332, 1004-1014.
9. Schenk, R. V., & Hildebrandt, A. C. (1972). Medium and techniques for induction and growth of monocotyledonous and dicotyledonous plant cell cultures. *Canadian Journal of Botany*, 50, 192-204.
10. Rezaei, R., Shabanali Qomi, H., & Safa, L. (2009). Identification and analysis of obstacles to the development of nanotechnology in the agricultural sector from the perspective of researchers. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 2 (1), 17-26. [In Persian]
11. Naderi, M., & Danesh Shahraki, A. (2011). The use of nanotechnology in optimizing the formulation of chemical fertilizers. *Nanotechnology*, 4 (165), 20-22. [In Persian]
12. Ranjbar, M., & Shams, Gh. (2009). Using of nano technology. *Ecological Green Journal*, 3, 29-34.
13. Preetha, P. S., & Balakrishnan, N. (2017). A review of nanofertilizers and their use and functions in soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 3117-3133.
14. Derosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., & Sultan, Y. (2010). Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnology*, 5, 91.
15. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
16. Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology*, 64, 88-93.
17. Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
18. Lee, S. E., Hwang, H. J., Ha, J. S., Jeong, H. S., & Kim, J. H. (2003). Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Life Sciences*, 73 (2), 167-179.
19. Shamsa, F., Monsef, H., Rouhollah, Gh., & Verdian-Rizi, M. (2008). Spectrophotometric determination of total alkaloids in some Iranian medicinal plants. *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, 32, 17-20.
20. Ghassempour, A., Rezadoost, H., Ahmadi, M., & Aboul-Enein, H. Y. (2009). Seasonal study of four important taxanes and purification of 10-deacetylbaccatin III from the needle of *Taxus baccata* L. by two-dimensional liquid chromatography. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 32 (10), 1434-1447.
21. Antonios, N., Savvas, D., Chatzieustratiou, E., Patakas, A., & Olympios, C. (2015). Nitrogen effects on growth, photosynthesis, and leaf anatomy of *Astragalus* sp. plants. *Journal of Plant Nutrition*, 38 (11), 1699-1714.
22. Izadi, A. R., Ghalavand, A., & Mohammadi, S. A. (2011). The effects of nitrogen fertilizer and plant spacing on yield and yield components of *Lavandula angustifolia* Mill. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5, 113-117.
23. Zhang, Y., Li, Y., & Wang, X. (2017). Effects of nitrogen fertilizer on growth, yield and quality of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) in greenhouse. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180 (1), 40-47.
24. Pirvash, A., Sheikh Mohseni, M. A., & Habib, F. (2022). Effect of urea, nitrogen nanofertilizer and amino acid

on polyphenolic compounds of medicinal plant *Echinacea purpurea* L. *Nutritional Supplements and Garden Plants*, 1, 61-78. [In Persian]

25. Koeduka, T., Fridman, E., Gang, D. R., Vassao, D. G., Jackson, B. L., Kish, C. M., Orlova, I., Spassova, S. M., Lewis, N. G., Noel, J. P., Baiga, T. J., Dudareva, N., & Pichersky, E. (2006). Eugenol and isoeugenol characteristic aromatic constituents of spices are biosynthesized via reduction of a coniferyl alcohol ester. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, 10128-10133.
26. Xie, J., Wang, J., Dai, L., & Zhou, X. (2014). Effects of nitrogen fertilization on stem diameter and needle length of *Picea crassifolia*. *Journal of Forestry Research*, 25 (2), 447-451.
27. Jancimovic, N., Bojovic, B., Filipovic, V., Barac, A., & Djokic, J. (2010). Antioxidant activity and phenolic content of essential oil and different extracts of *Ocimum basilicum* and its antibacterial activity against *Salmonella* spp. *Food Research International*, 43, 1905-1910.
28. Golchin, A., Farahmand Mofrad, F., & Khadim Moghadam, N. (2019). The effect of shading and different levels of nitrogen on the growth and amount of essential oil of peppermint medicinal plant. *Journal of Crop Improvement*, 22 (1), 117-103. [In Persian]
29. Arregui, L. M., Lasa, B., Lafarga, A., Iraieta, I., Baroja, E., & Quemada, M. (2006). Evaluation of chlorophyll meters as tools for N fertilization in winter wheat under humid Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 24, 140-148.
30. Mehrabani, M., Mahdavi Meimand, Z., Dasanizadeh, B., & Hasanabadi, N. (2014). The effect of different amounts of nitrogen fertilizer and harvesting time on the quantity and quality of essential oil and the amount of total phenol in the medicinal plant *Satureja hortensis* L. in Kerman province. *Ecophytochemistry Quarterly Journal of Medicinal Plants*, 2 (4), 1-11. [In Persian]
31. Pourabrahimi, M., Siros Mehr, A., Eshghizadeh, H. R., Asgharipour, M. H., & Khomari, A. (2019). The effect of different amounts of nitrogen fertilizer on some physiological indicators of growth and photosynthetic pigments of late, medium and early hybrids of corn (*Zea mays* L.). *Plant Process Functional*, 8 (30), 53-69. [In Persian]
32. Arshadi, M., Kooch, Y., & Hosseini, S. M. (2016). Effect of different levels of nitrogen fertilizer on the total phenol content in the needles of three coniferous species. *Journal of Forestry Research*, 27 (3), 649-654.
33. Panda, H. (2002). *Medicinal Plants Cultivation and their Uses*. National Institute of Industrial Research, 598 p.
34. Tang, Q., Huang, Y., Zhang, J., Zhao, X., Han, W., & Zhang, R. (2016). Effects of nitrogen addition on alkaloids in larch needles. *Journal of Forestry Research*, 27 (2), 341-347.
35. Kizilgoz, I., & Bayramoglu, M. H. (2010). Effects of nitrogen fertilization on taxol content and yield of *Taxus baccata* L. *Journal of Natural Products*, 73 (10), 1694-1698.