



Effects of nano-humic and auxin application on source (aerial parts) and reservoir (roots) relationships in the medicinal plant Valerian

Elnaz Farajzadeh Memari Tabrizi^{1*} and Afsaneh Yousefpour Dokhaniye²

1*- Corresponding author, Department of Agronomy, Malekan Branch, Islamic Azad University, Malekan, Iran,

E-mail: farajzadeh_e@malekaniau.ac.ir

2- Department of Horticultural Science, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

Received: December 2024

Revised: August 2025

Accepted: August 2025

Abstract

Background and objectives: Auxin and nano-humic acid are among the vital compounds for improving the growth and performance of plants, especially medicinal plants. Auxins are plant hormones that play a role in plant growth and development processes, including rooting, stem elongation, and regulating responses to environmental conditions. These hormones help regulate hormonal balance in plants and can help increase the quality and quantity of plant products. Nano-humic acid is also an organic compound that is obtained from the decomposition of organic matter in the soil and, due to its nano-sized dimensions, has better absorption capacity in plants. This compound helps improve soil properties, increase water retention capacity, facilitate nutrient absorption, and strengthen the plant's defense system. The use of nano-humic acid in combination with auxin can have positive effects on the growth and quality of medicinal plants, including increasing the content of active pharmaceutical ingredients. Therefore, this study investigated the effect of auxin hormone and nano-humic acid on the physiological and morphological characteristics of the medicinal plant Valerian.

Methodology: The treatments included different concentrations of auxin (0, 15, 30, and 45 ppm) and different concentrations of nano-humic acid (2, 4, and 6 g/l). Both treatments were applied as a foliar spray. This study was conducted in two years as a split-plot in a randomized block design. The dry weight of roots and shoots, and the content of auxin, cytokinin, and carbohydrates in roots and shoots were measured.

Results: In this study, the effect of auxin hormone and nano-humic acid on the physiological and morphological characteristics of the medicinal plant Valerian was investigated. The results showed that the application of auxin at concentrations of 30 and 45 ppm significantly increased the dry weight of leaves, so that in the first year, foliar spraying of auxin at a concentration of 30 ppm increased the dry weight of leaves by 15.1%, and in the second year, this increase reached 40%. Furthermore, in nano-humic acid treatments, foliar spraying at a concentration of 6 g/L significantly increased the dry weight of leaves, and it increased by 12.8% compared to not using nano-humic acid. The effect of auxin hormone also increased the chlorophyll content index, so that in the treatment with a concentration of 30 ppm, this index increased by 13.9%. In addition, the use of nano-humic acid at a concentration of 6 g/L also increased the chlorophyll index of leaves by 8%. Regarding root growth, the application of auxin, especially at concentrations of 30 and 45 ppm, increased the dry weight of roots by 33 to 39%, and nano-



humic acid at a concentration of 6 g/L increased the dry weight of roots by 19.1%. Moreover, both auxin and nano-humic acid treatments increased the content of soluble sugars in leaves and roots, by 21.7% in the case of nano-humic treatment and by 14.6% in the case of auxin treatment.

Conclusion: In general, the results of this study showed that both auxin and nano-humic acid compounds, by affecting the hormonal and metabolic processes of the plant, can significantly enhance the growth and yield of medicinal plants such as valerian and increase the indices of chlorophyll, soluble sugars, and root growth. Both auxin and nano-humic acid treatments enhance leaf and root growth and increase the yield of the medicinal plant valerian by increasing photosynthetic capacity, cytokinin content, and plant source power.

Keywords: Hormone, organic fertilizer, medicinal plant, root.

تأثیر کاربرد نانو اسید هیومیک و اکسین بر روابط منبع و مخزن در گیاه دارویی سنبل الطیب (*Valeriana officinalis* L.)

الناز فرج زاده معماری تبریزی^{۱*} و افسانه یوسف پور دخانیه^۲

^{۱*} - نویسنده مسئول، دانشیار، گروه زراعت، واحد ملکان، دانشگاه آزاد اسلامی، ملکان، ایران، پست الکترونیک: farajzadeh_e@malekaniiau.ac.ir

^۲ - استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۴

تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۴۰۴

تاریخ دریافت: آذر ۱۴۰۳

چکیده

سابقه و هدف: سنبل الطیب یکی از گیاهان دارویی مهم شناخته شده در جهان است. این گیاه دارویی به ویژه خواص آن بر روی اعصاب شناخته شده است. با وجود این، تولید در این گیاه دارویی وابسته به افزودن نهادهای گیاهیست. اکسین و نانو اسید هیومیک از جمله ترکیب‌های مهم برای بهبود رشد و عملکرد گیاهان به ویژه گیاهان دارویی هستند. اکسین‌ها هورمون‌های گیاهی هستند که نقش اساسی در فرایندهای رشد و توسعه گیاهان دارند، مانند ریشه‌زایی، کشش ساقه و تنظیم پاسخ به شرایط محیطی. این هورمون‌ها به تنظیم تعادل هورمونی در گیاه کمک کرده و می‌توانند به افزایش کمیت و کیفیت محصولات گیاهی کمک کنند. نانو اسید هیومیک نیز از ترکیب‌های آلی است که از تجزیه مواد ارگانیک در خاک به دست می‌آید و به دلیل ابعاد نانویی خود قابلیت جذب بهتری در گیاهان دارد. این ترکیب به بهبود ویژگی‌های خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب، تسهیل جذب مواد مغذی و تقویت سیستم دفاعی گیاه کمک می‌کند. استفاده از نانو اسید هیومیک در ترکیب با اکسین می‌تواند اثرهای مثبتی بر رشد و کیفیت گیاهان دارویی از جمله افزایش محتوای ترکیب‌های فعال دارویی داشته باشد، از این رو در این تحقیق تأثیر هورمون اکسین و نانو اسید هیومیک بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه دارویی سنبل الطیب را مورد بررسی قرار دادیم.

مواد و روش‌ها: تیمارها شامل غلظت‌های مختلف اکسین (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ پی‌پی‌ام) و غلظت‌های مختلف نانو اسید هیومیک (۲، ۴ و ۶ گرم در لیتر) بود، هر دو تیمار به صورت محلول‌پاشی به‌کار برده شد. این بررسی در دو سال به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های تصادفی انجام شد. وزن خشک ریشه و اندام هوایی و محتوای اکسین، سیتوکنین و کربوهیدرات‌های ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شد.

نتایج: در این تحقیق تأثیر هورمون اکسین و نانو اسید هیومیک بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه دارویی سنبل الطیب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد اکسین در غلظت‌های ۳۰ و ۴۵ پی‌پی‌ام به‌طور قابل توجهی وزن خشک برگ‌ها را افزایش داد، به‌طوری‌که در سال اول تیمار محلول‌پاشی اکسین با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام موجب افزایش ۱۵/۱ درصدی وزن خشک برگ شد و در سال دوم این افزایش به ۴۰ درصد رسید. همچنین در تیمارهای نانو اسید هیومیک محلول‌پاشی با غلظت ۶ گرم در لیتر باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ‌ها گردید و نسبت به عدم استفاده از نانو هیومیک به میزان ۱۲/۸ درصد افزایش یافت. تأثیر هورمون اکسین همچنین موجب افزایش شاخص محتوای کلروفیل شد، به‌طوری‌که در تیمار با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام این شاخص ۱۳/۹ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، استفاده از نانو اسید هیومیک در غلظت ۶ گرم در لیتر نیز افزایش ۸ درصدی در شاخص کلروفیل برگ‌ها داشت. در مورد رشد ریشه‌ها، کاربرد اکسین به‌ویژه در غلظت‌های ۳۰ و ۴۵ پی‌پی‌ام باعث افزایش ۳۳ تا ۳۹ درصدی وزن خشک ریشه‌ها شد، همچنین نانو اسید هیومیک در غلظت ۶ گرم در لیتر افزایش ۱۹/۱ درصدی در وزن خشک ریشه‌ها داشت. همچنین هر دو تیمار اکسین و نانو اسید هیومیک موجب افزایش محتوای قندهای محلول در برگ‌ها و ریشه‌ها شدند که این افزایش در اثر تیمار نانو هیومیک به میزان ۲۱/۷ درصد و در اثر تیمار اکسین به میزان ۱۴/۶ درصد مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که هر دو ترکیب اکسین و نانو اسید هیومیک با تأثیر بر فرایندهای هورمونی و

متابولیسم گیاه می‌تواند رشد و عملکرد گیاهان دارویی مانند سنبل‌الطیب را به‌طور قابل توجهی بهبود ببخشد و موجب افزایش شاخص‌های کلروفیل، قندهای محلول و رشد ریشه‌ها شوند. هر دو تیمار اکسین و نانو هیومیک‌اسید با افزایش ظرفیت فتوسنتزی، محتوای سیتوکنین و قدرت منبع گیاه موجب بهبود رشد برگ‌ها و ریشه‌ها و افزایش عملکرد گیاه دارویی سنبل‌الطیب می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: هورمون، کود آلی، گیاه دارویی، ریشه.

مقدمه

سنبل‌الطیب یا علف گربه (گربه به این گیاه علاقه دارد) (*Valeriana officinalis*)، گیاهی است که بوته‌ای استوار و چندساله دارد و در اروپا و بخش‌هایی از آسیا می‌روید. سنبل‌الطیب دارای ریشه‌ای کوتاه و بوته‌ای با ارتفاع بین ۵۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر است. ریشه این گیاه در طب سنتی ایران دارای ارزش دارویی است و از آن به عنوان آرام‌بخش اعصاب، خواب‌آور، ضد تشنج، درمان افسردگی، هضم‌کننده غذا و ضد دل‌پیچه استفاده می‌شود (Mytych & Aebisher, 2022).

اکسین‌ها گروهی از هورمون‌های گیاهی هستند که در بسیاری از فرایندهای رشدی گیاه نقش اساسی دارند، به‌ویژه در تنظیم رشد ریشه‌ها. اکسین‌ها به‌ویژه ایندول استیک اسید (IAA) در تحریک تقسیم و کشیدگی سلولی در ریشه‌ها تأثیرگذارند (Jamil et al, 2021). این هورمون‌ها به‌طور مستقیم موجب افزایش تعداد و طول ریشه‌ها و توسعه ریشه‌های جانبی می‌شوند. افزایش سطح ریشه‌ها به گیاه این امکان را می‌دهد تا سطح بیشتری از خاک را برای جذب آب و مواد مغذی پوشش دهد که در نهایت به رشد بهتر گیاه کمک می‌کند (Ogunyale et al, 2014). از این رو، ریشه‌ها به عنوان مخزن مواد مغذی و آب در گیاه عمل می‌کنند که در مواقع کمبود منابع از این ذخایر برای حفظ فرایندهای متابولیسمی استفاده می‌شود (Kurepa & Smalle, 2022).

در سطح بیوشیمیایی اکسین‌ها با تأثیر بر متابولیسم کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها به‌ویژه از طریق تحریک فعالیت آنزیم‌های مرتبط با فرایندهای فتوسنتزی و سنتز پروتئین‌ها به بهبود رشد ریشه‌ها و انتقال انرژی کمک می‌کنند (Roychoudhry & Kepinski, 2024). این هورمون‌ها

همچنین با تنظیم فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه به کاهش اثر استرس‌های محیطی مانند خشکی و شوری کمک کرده و ریشه‌ها را قادر می‌سازند تا مواد مغذی را به‌طور مؤثرتر ذخیره کنند و در شرایط تنش‌زا از این ذخایر استفاده نمایند (Kurepa & Smalle, 2022).

نانو اسیدهیومیک به عنوان یک ترکیب ارگانیک طبیعی اثرهای مثبتی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد. استفاده از نانو اسیدهیومیک بهبود ویژگی‌های خاک مانند ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، تهویه و ساختار خاک را به همراه دارد. این تغییرات منجر به افزایش دسترسی گیاه به مواد مغذی و بهبود جذب آنها توسط ریشه‌ها می‌شود (El-Labban et al, 2016). نانو اسیدهیومیک با افزایش سطح تماس ریشه‌ها با خاک و تقویت سیستم ریشه‌ای موجب بهبود توسعه ریشه‌ها و افزایش قدرت جذب آب و مواد غذایی می‌شود (Noaema et al, 2020). در واقع ریشه‌ها به عنوان مخزن مواد مغذی که در طول زمان ذخیره می‌کنند از این ظرفیت‌ها برای حفظ عملکرد گیاه در شرایط مختلف استفاده می‌کنند (Shah et al, 2018).

از لحاظ بیوشیمیایی نانو اسیدهیومیک با فعال‌سازی مسیرهای متابولیسمی و آنزیمی به‌ویژه در سنتز پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک تأثیر مستقیمی بر تولید انرژی در گیاه دارد، این انرژی تولید شده به ریشه‌ها منتقل می‌شود تا به عنوان منابع ذخیره‌ای به گیاه کمک کند که در مواقع کمبود منابع بتواند از این ذخایر برای حفظ رشد و عملکرد خود استفاده نماید (Batoool et al, 2024).

همچنین نانو اسیدهیومیک می‌تواند با بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های محیطی

اکسین‌ها و نانو اسیدهیومیک می‌تواند به‌عنوان راهبردهای مؤثر در بهینه‌سازی رشد ریشه‌ها و افزایش بهره‌وری گیاه در شرایط مختلف محیطی مطرح شود. این ترکیب‌ها نه تنها باعث بهبود رشد ریشه‌ها و ظرفیت ذخیره‌سازی در آنها می‌شوند بلکه می‌توانند تأثیرات مثبتی بر عملکرد دارویی گیاه داشته باشند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت آزمایش دو ساله در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملکان انجام شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات با طرح بلوک کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار و دو تیمار مختلف به شرح زیر اجرا گردید.

تیمارها شامل غلظت‌های مختلف اکسین (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ پی‌پی‌ام) و غلظت‌های مختلف نانو اسیدهیومیک (۲، ۴ و ۶ گرم در لیتر) بود (Noaema et al, 2020). هورمون اکسین (IAA)، از محلول ایندول استیک اسید (IAA) به‌عنوان هورمون رشد گیاهی استفاده می‌کند. محلول‌پاشی در ساعات اولیه صبح یا عصر به‌منظور جلوگیری از تبخیر زیاد و افزایش کارایی انجام شد. بذر سنبل‌الطیب در شرایط طبیعی خاک مزرعه و تحت مدیریت کشاورزی استاندارد کشت شد. زمین مزرعه پیش از کاشت، آماده‌سازی و کوددهی مناسب شد. بذرهای سنبل‌الطیب در اواسط اردیبهشت کشت شدند و در فواصل زمانی هر هفته یکبار آبیاری گردید. برای کنترل آفات و بیماری‌ها، از روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی متناسب با شرایط مزرعه استفاده شد. محلول‌های اکسین و نانو اسیدهیومیک به‌صورت محلول‌پاشی بر روی برگ‌های گیاه در دو نوبت در فواصل زمانی دو هفته یکبار در طول فصل رشد (استقرار بوته‌ها و دو هفته بعد) انجام شد. محلول‌پاشی در ساعات خنک عصر انجام شد تا جذب ترکیب‌های بیشتر و تبخیر کمتری انجام شود. در مجموع ۲ بار محلول‌پاشی در سال اول و ۲ بار دیگر در سال دوم انجام شد.

برای ارزیابی اثرهای هورمون اکسین و نانو اسیدهیومیک

افزایش دهد و موجب حفظ سلامت ریشه‌ها و بهبود عملکرد آنها شود (Noaema et al, 2020). در نهایت در نظر گرفتن ریشه‌ها به عنوان مخزن و برگ‌ها به عنوان منبع در فرایندهای بیوشیمیایی گیاه اهمیت نقش هورمون‌ها و مواد افزودنی مانند اکسین‌ها و نانو اسیدهیومیک را در بهینه‌سازی عملکرد گیاه نمایان می‌سازد (McIntyre et al, 2021).

برگ‌ها با انجام فتوسنتز و تولید انرژی به عنوان منبع انرژی گیاه عمل می‌کنند، در حالی که ریشه‌ها مواد مغذی و ذخایر انرژی را جمع‌آوری کرده و در مواقع نیاز آنها را به سایر اندام‌های گیاه منتقل می‌کنند. ترکیب این دو سیستم (منبع و مخزن) تحت تأثیر هورمون‌ها و مواد تقویتی مانند اکسین و نانو اسیدهیومیک موجب بهبود کارایی و عملکرد گیاه در شرایط مختلف محیطی می‌شود (Zhao et al, 2022). گیاه دارویی سنبل‌الطیب (*Valeriana officinalis*) به‌دلیل خواص دارویی خود اهمیت زیادی در صنایع داروسازی دارد، یکی از عواملی که می‌تواند به بهبود کیفیت و عملکرد این گیاه کمک کند افزایش رشد ریشه‌ها و بهینه‌سازی عملکرد ریشه‌ها به‌عنوان مخزن مواد مغذی و انرژی است (Mytych & Aibisher, 2022).

در این راستا، استفاده از اکسین‌ها و نانو اسیدهیومیک می‌تواند تأثیرات مثبتی بر رشد ریشه‌ها و افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی در آنها داشته باشد. ترکیب اثرهای اکسین‌ها و نانو اسیدهیومیک می‌تواند موجب رشد بهینه سیستم ریشه‌ای در گیاهان دارویی مانند سنبل‌الطیب شود، در واقع اکسین‌ها با تحریک رشد ریشه‌ها و افزایش تعداد ریشه‌های جانبی ظرفیت جذب و ذخیره‌سازی مواد مغذی در ریشه‌ها را افزایش می‌دهند (Xiong et al, 2024). در حالی که نانو اسیدهیومیک با بهبود ساختار خاک و تقویت جذب مواد مغذی باعث افزایش ذخیره‌سازی این مواد در ریشه‌ها می‌شود. این ذخایر می‌توانند در زمان‌های کمبود منابع یا شرایط نامساعد به‌عنوان منبع انرژی و مواد غذایی برای گیاه عمل کرده و موجب بهبود رشد و عملکرد کلی گیاه شوند (Riseh et al, 2024). در نهایت با توجه به اهمیت ریشه‌ها به‌عنوان مخزن مواد مغذی در گیاه سنبل‌الطیب، استفاده از

پارامترهای زیر ارزیابی شد.

برای اندازه‌گیری شاخص محتوای کلروفیل، از دستگاه SPAD-502 ساخت شرکت Konica Minolta استفاده شد. این دستگاه با استفاده از سنسور بازتاب نور در طول موج‌های خاص (معمولاً ۶۵۰ نانومتر) میزان جذب نور توسط برگ را اندازه‌گیری کرده و محتوای کلروفیل برگ را محاسبه می‌کند. دستگاه به صورت عمودی بر روی سطح برگ قرار گرفت و پس از تاباندن نور به برگ عدد SPAD index ثبت شد.

به منظور اندازه‌گیری میزان کل قندهای محلول در برگ و ریشه، از روش تغییر داده شده اشلیگل استفاده شد (Schlegel, 1956).

برای خالص‌سازی سیتوکین (زآتین) از روش اصلاح شده Ünyayar و همکاران (۱۹۹۶) استفاده شد. همچنین برای تعیین سطح مقدار هورمون سیتوکین آزاد، سنسور از طریق اسپکتروفتومتری انجام شد. بدین منظور، ۰/۵ گرم وزن تر گیاه توتون را توزین و با ۱۵ میلی‌لیتر از محلول استخراج شامل متانول، کلروفرم و آمونیوم هیدروکسید (۵:۱۲:۳) مخلوط و در هاون ساییده شد. سپس به محلول همگن حاصل ۶ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و در ادامه فاز کلروفرمی دور و فاز آبی برای تبخیر متانول روی هیتر منتقل شد، در ادامه فاز آبی روی pH ۷ تنظیم گردید. سپس مقدار ۴ میلی‌لیتر اتیلن استات به فاز آبی اضافه شد. فاز اتیلن استات به یک پتری‌دیش با قطر ۱۵ سانتی‌متر منتقل و روی هیتر قرار داده شد تا به طور کامل تبخیر گردد. این کار سه مرتبه تکرار شد. سپس محتوای باقیمانده روی پتری را با ۱ میلی‌لیتر NaOH یک نرمال شستشو و در نهایت NaOH جمع و به اپندورف انتقال داده شد. برای سنسور با اسپکتروفتومتر طول موج ۲۶۰ نانومتر تنظیم گردید.

برای محاسبه مقدار هورمون‌ها از منحنی استاندارد تهیه شده برای سیتوکینین استفاده و مقادیر بدست آمده برای سیتوکینین برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر ثبت شد. برای استخراج اکسین (IAA) از روش اصلاح شده Mandal و همکاران استفاده شد (Mandal et al, 2007). برای

اندازه‌گیری اکسین، اندام‌های هوایی مقدار ۰/۲۵ گرم بافت تر نمونه‌ها توزین و در ۱ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد درون هاون چینی ساییده تا محلولی همگن بدست آمد. محلول حاصل به درون اپندورف ۱/۵ میلی‌لیتری ریخته شد (بدلیل فتواکسید شدن اکسین، استخراج باید به دور از نور انجام شود). محلول مذکور به مدت ۲۴ ساعت در یک محیط تاریک آنکوبه گردید. بعد از طی این زمان محلول به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۷۷ درجه سانتی‌گراد درون بن‌ماری قرار گرفت و در ادامه محلول به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۳۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد. محلول رویی بعد از سانتریفوژ جداسازی شد و به درون لوله آزمایش انتقال یافت و درب لوله‌ها با ورقه آلومینیومی پوشیده شد. سپس ۰/۸ میلی‌لیتر عصاره استخراج شده از ریشه یا اندام‌های هوایی در مرحله قبل درون یک لوله آزمایش ریخته شد. سپس ۱/۶ میلی‌لیتر معرف سالکوفسکی به هر لوله آزمایش اضافه گردید. لوله‌های آزمایش برای کامل شدن واکنش به مدت ۱۵ دقیقه در بن‌ماری در دمای ۵۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. با کامل شدن واکنش، اکسیداسیون کمپلکس صورتی رنگی که نتیجه اکسید شدن IAA توسط کلرید فریک در حضور اسید پرکلریک است، تشکیل شد. پس از آماده شدن محلول‌ها جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتری تعیین شد. از محلول بلانک ۱۶/۱m معرف سالکوفسکی با ۰/۸ میلی‌لیتر الکل استفاده گردید.

در نهایت مقدار اکسین برحسب میکروگرم در گرم بافت گیاهی گزارش شد. داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار SPSS و تحلیل واریانس (ANOVA) بررسی خواهند شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد ($P \leq 0.05$) انجام شد.

نتایج

در این بررسی وزن خشک برگ‌های گیاه دارویی سنبل‌الطیب به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده کود

نانوهیومیک و برهم‌کنش سال $\times$ هورمون اکسین قرار گرفت (جدول ۱). با توجه به نتایج در سال اول بررسی تمامی تیمارهای کاربرد اکسین افزایش معنی‌داری را در وزن خشک برگ باعث شد ولی میزان افزایش در تیمارهای محلول‌پاشی اکسین با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام و محلول‌پاشی اکسین با غلظت ۴۵ پی‌پی‌ام بیشتر بود و این صفت را در مقایسه با عدم کاربرد اکسین به ترتیب به میزان ۱۵/۱ و

۱۵/۹ درصد افزایش داد. در سال دوم بیشترین افزایش متعلق به محلول‌پاشی اکسین با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام بود. تیمار محلول‌پاشی اکسین با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام در سال دوم به میزان ۴۰ درصد بر وزن خشک برگ سنبل‌الطیّب افزود که این افزایش در سال دوم به مراتب بیشتر از سال اول می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر نانو اسید هیومیک و اکسین بر برخی صفات سنبل‌الطیّب

Table 1. ANOVA of nano-humic acid and auxin effects on some *Valeriana officinalis* traits

S.O.V.	d.f.	Leaf dry weight	Chlorophyll index	Leaf sugar content	Root dry weight	Root sugar content	Root auxin content	Root cytokinin content	Leaf auxin content	Leaf cytokinin content	Shoot/root sugar content ratio
Year (L)	1	2.1	0.327	18.375	3.643*	0.113	81.586	60.167	113.753	7.482	0.05
Repetition $\times$ L	4	2.791*	0.677	7.624	2.971*	0.975	20.965	214.109	97.52	22.804	0.327
Auxin (A)	3	21.808*	48.559**	71.74	31.314*	6.166**	441.155*	1235.318*	956.705*	427.008*	5.679**
L $\times$ A	3	3.473*	4.747	9.228	0.658	0.113	52.326	142.871	37.138	18.398	0.865
Experimental error	12	0.856	2.962	21.258	0.727	0.41	21.702	129.404	106.987	11.963	0.392
Nano humic acid (B)	3	10.961*	21.540**	165.732*	8.465**	3.042**	132.325*	45.171	526.383*	192.282*	0.827
L $\times$ B	3	1.806	3.919	20.532	1.562	0.287	78.373	205.07	178.247*	30.104	0.212
A $\times$ B	9	1.567	3.968	51.486	1.852	0.252	15.699	61.873	77.244*	22.213	0.593
L $\times$ A $\times$ B	9	0.828	1.243	47.88	1.214	0.305	25.484	134.604	112.565*	45.617	0.541
Experimental error	48	1.033	2.961	33.327	1.421	0.484	37.419	130.031	36.373	47.317	0.485
C.V. (%)		12.94	6.71	23.48	15.09	7.87	7.77	6.91	4.9	6.36	25.11

* and **: significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر اکسین بر وزن خشک برگ سنبل‌الطیّب

Table 2. Means comparison of auxin effects on *Valeriana officinalis* leaf dry weight

Year	Auxin (ppm)	Leaf dry weight (g)
1	0	6.625 ^d
	15	7.983 ^{bc}
	30	8.625 ^{ab}
	45	8.783 ^{ab}
2	0	6.583 ^d
	15	7.592 ^c
	30	9.158 ^a
	45	7.500 ^c

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

براساس نتایج تیمارهای محلول‌پاشی، غلظت دو گرم در لیتر نانو هیومیک و محلول‌پاشی غلظت چهار گرم در لیتر

نانو هیومیک تأثیر معنی داری بر وزن خشک برگ‌های سنبل‌الطیب نداشت، ولی تیمار محلول‌پاشی غلظت شش گرم در لیتر نانو هیومیک افزایش معنی داری را در این صفت

باعث گردید. در این تیمار وزن خشک برگ ۸/۸ گرم بود که در مقایسه با عدم کاربرد نانو هیومیک به میزان ۱۲/۸ درصد بیشتر بود (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر نانو اسید هیومیک بر صفات سنبل‌الطیب

Table 3. Means comparison of nano-humic acid effects on *Valeriana officinalis* traits

Nano-humic acid (g L ⁻¹)	Leaf dry weight (g)	Chlorophyll index (CCI)	Leaf sugar content (mg.g ⁻¹ FW)	Root dry weight (g)	Root sugar content (mg.g ⁻¹ FW)	Root auxin content (ng.g ⁻¹ FW)	Leaf cytokinin content (ng.g ⁻¹ FW)
0	7.287 ^b	25.05 ^b	23.28 ^b	7.396 ^b	8.533 ^b	77.05 ^b	106.3 ^b
2	7.75 ^b	25.55 ^b	24.10 ^b	7.796 ^b	8.833 ^b	77.30 ^b	107.9 ^b
4	7.558 ^b	24.95 ^b	22.55 ^b	7.662 ^b	8.654 ^b	78.35 ^b	106.2 ^b
6	8.829 ^a	27.00 ^a	28.41 ^a	8.758 ^a	9.342 ^a	82.13 ^a	112.2 ^a

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

نانو هیومیک نیز بر محتوای کلروفیل برگ‌های سنبل‌الطیب افزود. تیمارهای محلول‌پاشی غلظت دو گرم در لیتر نانو هیومیک و محلول‌پاشی غلظت چهار گرم در لیتر نانو هیومیک تأثیر معنی داری بر وزن خشک برگ‌های گیاه دارویی سنبل‌الطیب نداشت ولی تنها محلول‌پاشی غلظت شش گرم در لیتر نانو هیومیک به‌طور معنی داری شاخص محتوای کلروفیل را افزایش داد و این صفت را به میزان ۸ درصد افزایش داد (جدول ۳).

شاخص محتوای کلروفیل نیز در این مطالعه تحت تأثیر اثرهای ساده تیمار اکسین و نانو هیومیک قرار گرفت (جدول ۱). براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های شاخص محتوای کلروفیل تحت تأثیر محلول‌پاشی هورمون اکسین تمامی تیمارهای کاربرد اکسین افزایش معنی داری را در شاخص محتوای کلروفیل باعث شد، ولی بیشترین افزایش با ۱۳/۹ درصد متعلق به تیمار محلول‌پاشی اکسین با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام بود (جدول ۴). در این بررسی کاربرد

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر اکسین بر صفات سنبل‌الطیب

Table 4. Means comparison of auxin effects on *Valeriana officinalis* traits

Auxin (ppm)	Chlorophyll index (CCI)	Root dry weight (g)	Root sugar content (mg.g ⁻¹ FW)	Root auxin content (ng.g ⁻¹ FW)	Root cytokinin content (ng.g ⁻¹ FW)	Leaf cytokinin content (ng.g ⁻¹ FW)	Shoot/root sugar content ratio
0	23.66 ^c	6.471 ^c	8.25 ^c	72.5 ^b	155.2 ^b	101.9 ^b	2.138 ^c
15	25.61 ^b	7.508 ^b	8.667 ^b	79.29 ^a	164.7 ^a	109.3 ^a	2.658 ^b
30	26.9 ^a	8.954 ^a	9.446 ^a	81.05 ^a	171.9 ^a	110.3 ^a	3.204 ^a
45	26.3 ^{ab}	8.679 ^a	9.0 ^b	81.98 ^a	168.5 ^a	111.1 ^a	3.1 ^a

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

در لیتر نانو هیومیک تأثیر معنی داری بر این صفت نداشت (جدول ۴). اما با محلول‌پاشی هورمون اکسین، بر میزان تولید هورمون سیتوکنین نیز افزوده شد (جدول ۴).

نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد هورمون اکسین تأثیر معنی داری بر محتوای قندهای محلول در برگ‌های سنبل‌الطیب نداشت (جدول ۱). با وجود این، کاربرد

در این بررسی محتوای سیتوکنین در برگ‌های گیاه دارویی سنبل‌الطیب با کاربرد اسید هیومیک افزایش یافت. تیمار محلول‌پاشی غلظت شش گرم در لیتر نانو هیومیک افزایش ۵/۶ درصد را در محتوای سیتوکنین در برگ‌های سنبل‌الطیب باعث شد ولی تیمارهای محلول‌پاشی غلظت دو گرم در لیتر نانو هیومیک و محلول‌پاشی غلظت چهار گرم

گرفت. در این مطالعه وزن خشک ریشه‌های گیاه دارویی سنبل‌الطیب به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرهای ساده تیمار اکسین و نانو هیومیک قرار گرفت (جدول ۱).

نانو هیومیک افزایش معنی‌داری را در این صفت باعث شده و این صفت را تا ۲۱/۷ درصد افزایش داد (جدول ۳). در این بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریشه‌های سنبل‌الطیب نیز تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل نانو اسید هیومیک × اکسین × سال بر محتوای اکسین برگ سنبل‌الطیب

Table 5. Means comparison of nano-humic acid × auxin × year interaction on *Valeriana officinalis* leaf auxin content

Year	Auxin (ppm)	Nano humic (g L ⁻¹)	Leaf auxin content (ng.g ⁻¹ FW)
1	0	0	111.0 ^j
		2	113.7 ^{h-j}
		4	114.9 ^{f-j}
		6	116.4 ^{e-j}
		0	119.0 ^{c-j}
	15	2	129.1 ^{b-d}
		4	114.7 ^{g-j}
		6	131.0 ^{bc}
		0	119.9 ^{c-j}
	30	2	138.8 ^{ab}
		4	128.6 ^{b-d}
		6	138.9 ^{ab}
		0	117.5 ^{d-j}
	45	2	126.8 ^{c-f}
		4	123.7 ^{c-i}
		6	142.3 ^a
		0	110.5 ^j
	0	2	112.9 ^{ij}
		4	113.0 ^{ij}
		6	122.9 ^{c-i}
		0	113.6 ^{ij}
	15	2	121.0 ^{c-j}
		4	127.3 ^{c-e}
		6	126.7 ^{c-f}
		0	119.3 ^{c-j}
2	30	2	138.9 ^{ab}
		4	129.3 ^{b-d}
		6	119.3 ^{c-j}
		0	123.9 ^{c-i}
	45	2	125.5 ^{c-h}
		4	125.7 ^{c-g}
		6	121.5 ^{c-j}

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

در این مطالعه تیمارهای محلول‌پاشی اکسین با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام و محلول‌پاشی اکسین با غلظت ۴۵ پی‌پی‌ام افزایش به ترتیب ۳۹ و ۳۳ درصدی را در وزن خشک ریشه‌های گیاه دارویی سنبل‌الطیب باعث گردید ولی تیمار محلول‌پاشی اکسین با غلظت ۱۵ پی‌پی‌ام تأثیری بر این صفت نداشت (جدول ۴). این صفت تحت تأثیر کاربرد نانوهیومیک نیز افزایش معنی‌داری را نشان داد. تیمار محلول‌پاشی غلظت شش گرم در لیتر نانو هیومیک وزن خشک ریشه گیاه دارویی سنبل‌الطیب را به میزان ۱۹/۱ درصد افزایش داد ولی سایر تیمارها تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۳). ازجمله عواملی که بر قدرت مخزن تأثیر می‌گذارد محتوای سیتوکنین و اکسین ریشه‌هاست. اکسین بر هر دو مؤلفه میزان هورمون اکسین و سیتوکنین ریشه اثر مثبتی داشت و این صفات را به ترتیب تا ۱۳/۸ و ۸ درصد افزایش داد. تیمار نانوهیومیک نیز محتوای اکسین ریشه‌های گیاه دارویی سنبل‌الطیب را تا ۶/۴ درصد اضافه کرد (جدول ۳ و ۴). بررسی محتوای قندهای محلول در ریشه‌های گیاه دارویی سنبل‌الطیب نشان داد که هورمون اکسین و به‌ویژه محلول‌پاشی اکسین با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام افزایش قابل توجهی را در محتوای قندهای محلول ریشه‌های گیاه دارویی سنبل‌الطیب باعث شد و این صفت را تا ۱۴/۶ درصد افزایش داد (جدول ۴). تیمار محلول‌پاشی غلظت شش گرم در لیتر نانو هیومیک نیز این صفت را به میزان ۲۱/۷ درصد افزایش داد (جدول ۳). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که هر دو تیمار اکسین و نانو هیومیک افزایش محتوای قندهای محلول را در ریشه‌های سنبل‌الطیب باعث می‌شود. با توجه به اینکه هردوی این تیمارها افزایش رشد ریشه‌ها را نیز باعث گردید، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که این تیمارها قدرت منبع را بیشتر از قدرت مخزن افزایش می‌دهند، در نتیجه قندهای محلول بیشتری در ریشه‌های بدون مصرف باقی می‌مانند. به‌طوری‌که نتایج نشان داد که نسبت قند اندام هوایی به ریشه با کاربرد اکسین بیشتر می‌شود (جدول ۴).

بحث

در این بررسی در کل اکسین وزن خشک برگ‌های

سنبل‌الطیب را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. اکسین از مواد محرک رشد گیاهی است که نقش مهمی در افزایش رشد برگ‌ها و اندام هوایی دارد. این هورمون با تحریک رشد سلول‌ها و افزایش فرایند سوخت‌وساز به رشد بیشتر گیاه کمک می‌کند (Gomes & Scortecchi, 2021).

در این بررسی، نانو هیومیک بر وزن خشک برگ افزود و تأثیر ترکیب‌های هیومیکی در بررسی‌های مختلف بر رشد برگ‌ها به اثبات رسیده است. Celik و همکاران (۲۰۱۰)، تأثیر اسیدهیومیک را در گیاه ذرت مورد بررسی قرار دادند. این محققان مشاهده کردند که کاربرد اسیدهیومیک افزایش معنی‌داری را در وزن خشک برگ‌های ذرت باعث می‌شود. شاخص محتوای کلروفیل نیز در این مطالعه تحت تأثیر اثرهای ساده تیمار اکسین و نانوهیومیک قرار گرفت. هورمون اکسین با افزایش میزان تولید پیش‌ساز کلروفیل، باعث افزایش محتوای کلروفیل می‌شود (Gomes & Scortecchi, 2021). Zain و همکاران (۲۰۲۲) طی مطالعه‌ای نشان دادند که محلول‌پاشی هورمون اکسین محتوای کلروفیل را در گیاه *Lactuca sativa* افزایش می‌دهد. اما در این بررسی کاربرد نانوهیومیک نیز بر محتوای کلروفیل برگ‌های سنبل‌الطیب افزود. Khorasaninejad و همکاران (۲۰۱۸) نیز تأثیر اسیدهیومیک را بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه دارویی *Echinacea purpurea* مورد بررسی قرار دادند. این محققان مشاهده کردند که محلول‌پاشی اسیدهیومیک محتوای کلروفیل را به میزان ۴۵ درصد افزایش داد. اما بررسی نشان داده که اسید هیومیک از طریق افزایش فعالیت‌های هورمون‌های گیاهی بر محتوای کلروفیل و خصوصیات رشدی گیاهان تأثیر می‌گذارد. با توجه به نتایج این بررسی، کاربرد نانواسیدهیومیک با افزایش میزان هورمون سیتوکنین می‌تواند بر محتوای کلروفیل برگ‌های سنبل‌الطیب بیفزاید، به‌طوری‌که سایر محققان نیز گزارش کرده‌اند که کاربرد آگروژنی سیتوکنین باعث افزایش میزان تولید کلروفیل در گیاهان می‌شود (McIntyre et al, 2021).

اما با محلول‌پاشی هورمون اکسین بر میزان تولید

هورمون سیتوکنین نیز افزوده شد. بررسی‌ها نشان داده که فعالیت هر دو هورمون در کنار یکدیگر برای بهبود رشد گیاهان ضروریست. مطالعات پیشین نشان داده است که کاربرد اگزورنی هورمون اکسین بر میزان تولید سیتوکنین در گیاهان می‌افزاید، از این رو افزایش رشد اندام‌های مختلف گیاهان با حضور بیشتر اکسین (رشد طولی سلول‌ها) و سیتوکنین (تقسیم سلولی) ممکن می‌شود (Gomes & Scortecchi, 2021). اما نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد نانوهیومیک افزایش معنی‌داری را در این صفت باعث شده و این صفت را تا ۲۱/۷ درصد افزایش داد. ترکیب‌های هیومیکی با افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاهان میزان تولید اسمیلات‌ها را در گیاهان افزایش می‌دهند (Gowthamchand & Sujaina, 2023) ولی کاربرد مقادیر بالای اکسین باعث تشدید رشد گیاه و مصرف ترکیب‌های قندی درون گیاه برای فرایند ساخت می‌شود (Gomes & Scortecchi, 2021)، در نتیجه تأثیر منفی بر محتوای قندهای محلول دارد. با توجه به این نتایج، هر دو تیمار اکسین و نانوهیومیک با سازوکارهای مختلف هورمونی و مورفولوژیک بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه افزود ولی اکسین با تشدید فرایند ساخت، افزایش تولید ترکیب‌های قندی را خنثی نمود. در این بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریشه‌های سنبل‌الطیب نیز تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه وزن خشک ریشه‌های گیاه دارویی سنبل‌الطیب به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرهای ساده تیمار اکسین و نانوهیومیک افزایش یافت. رشد ریشه‌ها وابسته به انتقال اسمیلات‌ها از اندام هوایی به ریشه‌ها است، از جمله عواملی که بر میزان انتقال اسمیلات‌ها از اندام هوایی به ریشه‌ها تأثیر می‌گذارد می‌تواند به قدرت مخزن، فعالیت آنزیم‌های درگیر در انتقال اسمیلات‌ها و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه (محتوای کلروفیل برگ) افزوده شد. با وجود این، بررسی‌ها نشان داده که هورمون‌های اکسین و کود اسیدهیومیک بر ظرفیت انتقالی اسمیلات‌ها و قدرت مخزن ریشه‌ها نیز تأثیر مثبتی می‌گذارند و از این طریق بر

رشد ریشه‌ها اثرگذارند (Gowthamchand & Sujaina, 2023؛ Gomes & Scortecchi, 2021). از جمله عواملی که بر قدرت مخزن تأثیر می‌گذارد، محتوای سیتوکنین و اکسین ریشه‌هاست. اکسین بر هر دو مؤلفه میزان هورمون اکسین و سیتوکنین ریشه اثر مثبتی داشت.

نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات هورمونی ایجاد شده در اثر کاربرد اکسین و نانواسیدهیومیک که از مهمترین عوامل افزایش قدرت مخزن گیاه است می‌تواند رشد ریشه‌های گیاه دارویی سنبل‌الطیب را افزایش دهد. در سایر بررسی‌ها نیز ثابت شده است که مخازن قوی ریشه در گیاهان، دارای محتوای اکسین و سیتوکنین بیشتری هستند (McIntyre *et al*, 2021). اما قوی بودن مخزن به تنهایی نشان‌دهنده افزایش رشد ریشه‌ها نیست، بلکه اسمیلات‌های بیشتری نیز بایستی به این مخازن منتقل شود. بررسی محتوای قندهای محلول نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که هر دو تیمار اکسین و نانو هیومیک افزایش محتوای قندهای محلول را در ریشه‌های سنبل‌الطیب باعث می‌شود.

با توجه به اینکه هردوی این تیمارها افزایش رشد ریشه‌ها را نیز باعث گردید می‌توان نتیجه‌گیری نمود که این تیمارها قدرت منبع را بیشتر از قدرت مخزن افزایش می‌دهند، در نتیجه قندهای محلول بیشتری در ریشه‌های بدون مصرف باقی می‌مانند. به‌طوری‌که نتایج نشان داد که نسبت قند اندام هوایی به ریشه با کاربرد اکسین بیشتر می‌شود، بنابراین نتایج نشان می‌دهد که تیمارها و به‌ویژه اکسین قدرت منبع را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد (منابعی را برای مخزن ریشه فراهم می‌کند) ولی ریشه‌ها به دلیل محدودیت مخزن خود، قادر به مصرف آنها نیستند. سایر محققان نیز نشان داده‌اند که ریشه‌ها نسبت به اندام‌های هوایی مخازن ضعیف‌تری هستند که به دلیل محدودیت آنها در برابر رشد و ساختار آنها می‌باشد (McIntyre *et al*, 2021). در این بررسی محتوای اکسین در برگ‌های سنبل‌الطیب با کاربرد اکسین و نانو هیومیک افزایش یافت که می‌تواند توجیه‌کننده تأثیر مثبت تیمارهای مورد مطالعه بر صفات مورد بررسی باشد.

لیتر. به‌طورکلی هر دو تیمار اکسین و نانو اسیدهیومیک با بهبود ظرفیت فتوسنتزی، افزایش فعالیت هورمونی و بهبود رشد گیاه، موجب بهبود عملکرد سنبل‌الطیب شدند و ظرفیت کاربرد آنها برای افزایش رشد و بهره‌وری این گیاه دارویی مورد تأیید قرار گرفت.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاون محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی ملکان قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی از این تحقیق نشان می‌دهد که کاربرد هورمون اکسین و نانو اسیدهیومیک به‌طور معناداری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه دارویی سنبل‌الطیب تأثیر گذاشت. هورمون اکسین موجب افزایش وزن خشک برگ‌ها و ریشه‌ها، شاخص محتوای کلروفیل و محتوای سیتوکنین، به‌ویژه در غلظت‌های ۳۰ پی‌پی‌ام و ۴۵ پی‌پی‌ام گردید. نانو اسیدهیومیک نیز به‌طور معناداری وزن خشک برگ‌ها و ریشه‌ها، شاخص کلروفیل و محتوای قندهای محلول را افزایش داد، به‌ویژه در غلظت ۶ گرم در

References

- Batool, A., Li, S., Yue, D., Ullah, F., Zhao, L., Cheng, Z., Wang, C., Duan, H., Lv, G., ul Haq, Z., Ahmed, K., Gui, Y., Zhu, L., Xiao, Y. and Xiong, Y., 2024. Root-to-shoot signaling positively mediates source-sink relation in late growth stages in diploid and tetraploid wheat. *BMC Plant Biology*, 24: 492. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05046-z>
- Celik, H., Katkat, A.V., Asik, B.B. and Turan, M.A., 2010. Effect of foliar-applied humic acid to dry weight and mineral nutrient uptake of maize under calcareous soil conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(1): 29-38. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2011.528490>
- El-Labban, H.M., Menesy, F., Kotb, S.A., Fetouh, M.I. and Naga, N.M., 2016. Effect of nano fertilization, chemical and humic acid on the vegetative growth, chemical composition and oil yield of *Cuminum cyminum* L. *Menoufia Journal of Plant Production*, 1(3): 177-199. <http://dx.doi.org/10.21608/mjppf.2016.176663>
- Gomes, G.L.B. and Scortecci, K.C., 2021. Auxin and its role in plant development: structure, signalling, regulation and response mechanisms. *Plant Biology*, 23(6): 894-904. <https://doi.org/10.1111/plb.13303>
- Gowthamchand, N.J. and Sujaina, M., 2023. A review on humic substances: Their significance in agriculture as stimulations of plant physiological growth and development. *The Pharma Innovation Journal*, 12(7): 177-184. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2023/vol12issue7S/PartC/S-12-6-112-776.pdf>
- Jamil, M., Saher, A., Javed, S., Farooq, Q. and Shakir, M., 2021. A review on potential role of auxins in plants, current applications and future directions. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 18(1): 11-16. <https://sde.hal.science/hal-03601670v1>
- Khorasaninejad, S., Alizadeh Ahmadabadi, A. and Hemmati, K., 2018. The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. *Scientia Horticulturae*, 239: 314-323.
- Kurepa, J. and Smalle, J.A., 2022. Auxin/cytokinin antagonistic control of the shoot/root growth ratio and its relevance for adaptation to drought and nutrient deficiency stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4): 1933. <https://doi.org/10.3390/ijms23041933>
- Mandal, S.M., Mondal, K.C., Dey, S. and Pati, B.R., 2007. Optimization of cultural and nutritional conditions for Indole 3-acetic Acid (IAA) production by a *Rhizobium* sp. isolated from root nodules of *Vigna mungo* (L.) Hepper. *Research Journal of Microbiology*, 2(3): 239-246. <https://scialert.net/abstract/?doi=jm.2007.239.246>
- McIntyre, K.E., Bush, D.R. and Argueso C.T., 2021. Cytokinin regulation of source-sink relationships in plant-pathogen interactions.

- Frontiers in Plant Science, 12: 677585.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.677585>
- Mytych, W. and Aebisher, D., 2022. *Valeriana officinalis* - a review. European Journal of Clinical and Experimental Medicine, 20(3): 260-265.
<http://dx.doi.org/10.15584/ejcem.2022.3.2>
 - Noaema, A.H., Alabdulla, S.A. and Alhasany, A.R., 2020. Impact of foliar application of seaweed extract and nano humic acid on growth and yield of wheat varieties. International Journal of Agricultural and Statistical Sciences, 16(1): 1169-1174.
<https://connectjournals.com/03899.2020.16.1169>
 - Ogunyale, O.G., Fawibe, O.O., Ajiboye, A.A. and Agboola, D.A., 2014. A review of plant growth substances: their forms, structures, synthesis and functions. Journal of Advanced Laboratory Research in Biology, 5(4): 152-168.
<https://media.neliti.com/media/publications/279098-a-review-of-plant-growth-substances-thei-36f4403a.pdf>
 - Riseh, R.S., Hassanisaadi, M., Vatankhah, M., Varma, R.S. and Kumar Thakur, V., 2024. Nano/micro- structural supramolecular biopolymers: Innovative networks with the boundless potential in sustainable agriculture. Nano-Micro Letters, 16(1): 147.
<https://doi.org/10.1007/s40820-024-01348-x>
 - Roychoudhry, S. and Kepinski, S., 2024. Auxin in root development. Cold Spring Harbor Perspectives in Biology, 14(4): a039933.
<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a039933>
 - Schlegel, H.G., 1956. Die verwertung organischer sauren durch chlorella in lincht. Planta, 47(5): 510-515.
<https://doi.org/10.1007/BF01935418>
 - Shah, Z.H., Rehman, H.M., Akhtar, T., Alsamadany, H., Hamooh, B.T., Mujtaba, T., Daur, I., Al Zahrani, Y., Alzahrani, H.A.S., Ali, S., Yang, S.H. and Chung, G., 2018. Humic substances: Determining potential molecular regulatory processes in plants. Frontiers in Plant Science, 9: 263.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00263>
 - Ünyayar, S., Topcuoglu, S.F. and Ünyayar, A. 1996. A modified method for extraction and identification of Indole-3-Acetic Acid (IAA), Gibberellic Acid (GA3), Absciscic Acid (ABA) and zeatin produced by Phanerochaete chrysosporium ME446. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 22(3-4): 105-110.
 - Xiong, Q., Wang, S., Chen, X., Jing, J., Jin, Y., Li, H., Zhang, C., Jiang, Y. and Ye, X., 2024. Nano-sized humic acid improves phosphate fertiliser efficiency in chilli pepper. Pedosphere, in press.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.pedsph.2024.09.007>
 - Zain, N., Zainal, M., Abu Bakar, T., Zakaria, S., Mukhtar, N. and Naher, L., 2022. Efficacy of auxin foliar application on the growth and yield of green Romaine (*Lactuca sativa* L. var. Jericho) grown under nutrient film technique (NFT) hydroponic system. Earth Environmental Science, 1102(1): 012012.
<http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1102/1/012012>
 - Zhaoa, Z., Wanga, C., Yua, X., Tian, Y., Wanga, W., Zhanga, Y., Baia, W., Yangc, N., Zhanga, T., Zhenga, H., Wang, Q., Lua, J., Leia, D., Hea, X., Chena, K., Gaoa, J., Liua, X., Liua, S., Jianga, L., Wangb, H. and Wan, J., 2022. Auxin regulates source-sink carbohydrate partitioning and reproductive organ development in rice. PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences), 119(36): e2121671119.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2121671119>