



The Effect of Drought Stress, Growth Regulator and Spraying by Zinc and Magnesium Nanoparticles on Morphological and Biochemical Traits on Periwinkle Herb (*Catharanthus roseus* (L.) G.DON)

Babak Sepehri¹ | Hamid Reza Tohidi Moghadam^{2✉} | Farshad Ghooshchi³ |
Meysam Oveysi⁴ | Pourang Kasraie⁵

1. Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran. E-mail: sepehri@iauvaramin.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran. E-mail: tohidi@iauvaramin.ac.ir
3. Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran. E-mail: ghooshchi@iauvaramin.ac.ir
4. Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran. E-mail: oveysi@iauvaramin.ac.ir
5. Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran. E-mail: kasraie@iauvaramin.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 12 October 2022
Received in revised form
26 January 2024
Accepted 3 April 2024
Published online 5 March
2025

Keywords:

Drought stress
Growth regulators
Magnesium
Periwinkle
Zinc

ABSTRACT

Objective: Periwinkle herb, with the scientific name (*Catharanthus roseus* (L.) G.DON), is one of the most important medicinal plants globally. Besides having aesthetic features and ornamental applications, the plants' leaves and root are rich in very important alkaloids. It is used in the chemotherapy of various cancers and the treatment of hypotension.

Methods: In order to investigate the effect of growth regulator and spraying by zinc and magnesium nanoparticles under the conditions of drought stresses on total alkaloids, anthocyanin, total chlorophyll, the weight of wet and dry branches contain alkaloids, and the number of lateral branches of the periwinkle herb, an experiment was arranged with a factorial layout based on a completely randomized design under greenhouse conditions during years 2020 and 2021 in Tehran, Iran. The first factor was the dryness factor using evaporation pans (at three levels of 40, 60 and 80 mm), the second factor comprised the growth regulators (Shahid, auxin, gibberellin, cytokinin each at a concentration of 50 ppm) and the third factor included the nanoparticles (control, Zn, and Magnesium, each at a concentration of 1 mg, and the combination of zinc and magnesium, each at a concentration of 0.5 mg) were applied.

Results: The results showed that in study of the effects of drought stress and spraying of zinc and magnesium nanoparticles on all investigated traits (total alkaloid, anthocyanin, total chlorophyll, fresh and dry weight of alkaloid-containing branches, and the number of lateral branches), there was a statistically significant difference at the level of 1% ($P \leq 0.01$). Also, in the investigation of the effects of growth regulators on investigated traits other than total alkaloid, a statistically significant difference was established at the level of 1% ($P \leq 0.01$). In the investigation of the mutual effects of drought stress and growth regulators on the fresh weight of alkaloids-containing branches, a statistically significant difference was established at the level of 1% ($P \leq 0.01$). The highest dry weight of aerial parts was observed under optimal irrigation conditions and under the influence of the gibberellin hormone (34.96 gr). However, in other cases, no statistically significant effect was observed on the target traits.

Conclusion: Drought stress revealed defense mechanisms such as anthocyanin pigments and secondary compounds, and total alkaloids also increased with increasing drought stress. The highest percentage of total alkaloids was obtained under severe drought stress (1.57%). The use of micronutrient fertilizers in nano form increased the accumulation of dry matter and secondary compounds, and the effect of magnesium was greater than the effect of zinc. In the application of hormones, the use of gibberellin hormone had a greater effect on the fresh and dry weight of shoots under optimal irrigation conditions and drought stress.

Cite this article: Sepehri, B., Tohidi Moghadam, H. R., Ghooshchi, F., Oveysi, M., & Kasraie, P. (2025). The Effect of Drought Stress, Growth Regulator and Spraying by Zinc and Magnesium Nanoparticles on Morphological and Biochemical Traits on Periwinkle Herb (*Catharanthus roseus* (L.) G.DON). *Journal of Crops Improvement*, 27 (1), 125-143. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.349779.2749>





بررسی اثر تنش خشکی، تنظیم‌کننده‌های رشد و محلول‌پاشی با نانوذرات روی و منیزیم بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه دارویی پروانش (*Catharanthus roseus* (L.) (G.DON)

بابک سپهری^۱ | حمیدرضا توحیدی مقدم^۲ | فرشاد قوشچی^۳ | میثم اویسی^۴ | پورنگ کسرای^۵

۱. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین، (پیشوا) ورامین، ایران، رایانامه: sepehri@iauvaramin.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین، (پیشوا) ورامین، ایران، رایانامه: tohidi@iauvaramin.ac.ir
۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین، (پیشوا) ورامین، ایران، رایانامه: ghooshchi@iauvaramin.ac.ir
۴. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین، (پیشوا) ورامین، ایران، رایانامه: oveysi@iauvaramin.ac.ir
۵. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین، (پیشوا) ورامین، ایران، رایانامه: kasraie@iauvaramin.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

هدف: گیاه دارویی پروانش با نام علمی (*Catharanthus roseus* (L.) G.DON) یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی در دنیا می‌باشد که علاوه بر داشتن برگ‌ها و گل‌های زیبا و کاربرد زینتی، در برگ‌ها و ریشه‌های خود دارای آلکالوئیدهای بسیار مهمی می‌باشد که در شیمی‌درمانی انواع سرطان‌ها و درمان افت فشار خون کاربرد دارد. **روش پژوهش:** این آزمایش به‌منظور بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد و محلول‌پاشی با نانوذرات روی و منیزیم بر شرایط تنش خشکی بر میزان آلکالوئید کل، آنتوسیانین، کلروفیل کل وزن تر و خشک سرشاخه‌های حاوی آلکالوئید و تعداد شاخه‌های جانبی گیاه دارویی پروانش در شرایط گلخانه‌ای، به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح‌های کاملاً تصادفی، طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در تهران صورت گرفت که عامل خشکی با استفاده از تشنگ تبخیر (در سه سطح ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر) عامل دوم تنظیم‌کننده‌های رشد (شاهد، اکسین، جیبرلین، ساینوکینین هرکدام به غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام) و عامل سوم نانوذرات (شاهد، روی، منیزیم، هرکدام به غلظت ۱ میلی‌گرم و ترکیب روی و منیزیم هرکدام ۰/۵ میلی‌گرم) اعمال گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در بررسی اثرات تنش خشکی و محلول‌پاشی نانوذرات روی و منیزیم بر کلیه صفات موردبررسی (آلکالوئید کل، آنتوسیانین، کلروفیل کل وزن تر و خشک سرشاخه‌های حاوی آلکالوئید و تعداد شاخه‌های جانبی) اختلاف آماری معنی‌داری در سطح یک درصد ایجاد شد. همچنین در بررسی اثرات تنظیم‌کننده‌های رشد نیز به‌غیر از آلکالوئید کل، بر روی سایر صفات موردبررسی، اثرات آماری معنی‌داری در سطح یک درصد ایجاد شد. در بررسی اثرات متقابل تنش خشکی و تنظیم‌کننده‌های رشد بر وزن تر سرشاخه‌های حاوی آلکالوئید تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد ایجاد شد. بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط آبیاری مطلوب و تحت تأثیر هورمون جیبرلین (۳۴/۹۶ گرم در بوته) مشاهده شد. اما در سایر موارد اثر آماری معنی‌داری بر صفات موردنظر مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: تنش خشکی، مکانسیم‌های دفاعی مانند رنگدانه‌های آنتوسیانین و ترکیبات ثانویه را از خود بروز داد و آلکالوئیدهای کل نیز با افزایش تنش خشکی افزایش یافت که بیش‌ترین درصد آلکالوئیدهای کل در تنش شدید خشکی (۱/۵۷ درصد) به‌دست آمد. مصرف کودهای ریزمغذی به‌صورت نانو باعث افزایش میزان تجمع ماده خشک و ترکیبات ثانویه شد و تأثیر منیزیم بیش‌تر از تأثیر روی بود. در کاربرد هورمون‌ها، مصرف هورمون جیبرلین اثر بیش‌تری در وزن تر و خشک شاخساره‌ها در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی داشت.

کلیدواژه‌ها:

پروانش
تنش خشکی
تنظیم‌کننده‌های رشد
روی
منیزیم

استناد: سپهری، بابک؛ توحیدی مقدم، حمیدرضا؛ قوشچی، فرشاد؛ اویسی، میثم و کسرای، پورنگ (۱۴۰۴). بررسی اثر تنش خشکی، تنظیم‌کننده‌های رشد و محلول‌پاشی با نانوذرات روی و منیزیم بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه دارویی پروانش (*Catharanthus roseus* (L.) G.DON). به‌زراعی کشاورزی، ۲۷ (۱)، ۱۲۵-۱۴۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.349779.2749>



۱. مقدمه

از آنجایی که مواد مؤثره موجود در داروهای گیاهی به‌علت همراه‌بودن آن‌ها با مواد دیگر پیوسته از یک حالت تعادل بیولوژیک برخوردار می‌باشد، لذا در بدن انباشته نشده و اثرات جانبی به بار نمی‌آورند و از این‌رو امتیاز و برتری قابل‌ملاحظه‌ای بر داروهای شیمیایی دارند (سپهری^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). در گیاهان دارویی میزان متابولیت از لحاظ اقتصادی مهم‌تر از محصول قسمت حاوی متابولیت گیاه است (سریولی^۲ و همکاران، ۲۰۰۳).

یکی از گیاهان دارویی زینتی مهم که امروزه به‌عنوان گیاه دارویی در جهان موردتوجه قرار گرفته، گیاه دارویی پروانش (پریوش) است، که با نام‌های علمی: کاتاراتوس رزئوس^۳ وینکا روزا^۴ و لوکنا روزا^۵ شناخته می‌شود. این گیاه که به تیره خرزهره^۶ تعلق دارد، نخستین بار توسط جرج دان نام‌گذاری شد (امیدیگی، ۱۳۸۸). پروانش از رده دولپه‌ای‌ها، زیررده پیوسته گلبرگ‌ها، راسته ژنتیانالز^۷، تیره خرزهره و جنس کاتاراتوس است (هیوود^۸، ۱۹۹۳). به‌علت وجود آلکالوئیدهای ارزشمند در پیکر رویشی و ریشه پروانش، در اکثر فارماکوپه‌ها به‌عنوان یک گیاه دارویی بسیار مهم معرفی شده است (عبدالجلیل^۹ و همکاران، ۲۰۰۷).

تاکنون بیش از یکصد آلکالوئید از این گیاه استخراج گردیده که تعدادی از آن‌ها دارای اثرات فارماکولوژیک بوده و به‌عنوان دارو مورداستفاده قرار می‌گیرد (سجادی و دیدیر، ۱۳۷۹). آلکالوئیدها که از ملکول‌های نیتروژن‌دار با ماهیت قلیایی تشکیل شده‌اند، از قوی‌ترین مواد مؤثره گیاهی به‌شمار می‌روند. با توجه به تنوع زیاد، از آن‌ها در تهیه انواع دارو، به‌ویژه داروهای سیستم اعصاب مرکزی استفاده می‌شود (دوازده امامی، ۱۳۸۲). آلکالوئیدهای پروانش همگی به گروه تریپتوفان تعلق دارند. مهم‌ترین ترکیبات ثانویه در گیاه پروانش، آلکالوئیدهای نوع ایندول هستند که با توجه به ساختمان مولکولی به دو دسته آلکالوئیدهای منومر و دیمر تقسیم می‌شوند (سجادی و دیدیر، ۱۳۷۹).

مهم‌ترین آلکالوئیدهای این گیاه که در برگ‌ها ساخته و ذخیره می‌شوند، آلکالوئیدهای وین‌بلاستین^{۱۰} و وین کریستین^{۱۱} هستند که هردوی آن‌ها اثر آنتی‌نیوپلازی^{۱۲} (ضد تومور) دارند. این مواد در شیمی‌درمانی برخی سرطان‌ها نیز به‌کار می‌روند. آلکالوئید مهم دیگری نیز که در ریشه وجود دارد روباسین^{۱۳} (آجمالایسین) نامیده می‌شود که اثر آنتی‌فیبریلیک^{۱۴} داشته و سبب افزایش فشارخون می‌گردد (عبدالجلیل^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۷). سولفات وین‌بلاستین^{۱۶} که نام تجاری آن ولب^{۱۷} است، در بیماری‌های سرطان خون (لکومیا) تولید بی‌حد سلول‌های گلبول سفید را در بیماران کندتر می‌کند (لوپس^{۱۸}، ۱۹۷۷). با توجه به ارزش بالای آلکالوئیدهای وین‌بلاستین و وین کریستین و این‌که تنها راه تهیه این

1. Sepehri
2. Sreevali
3. Catharanthus roseus
4. Vinca rosea L.
5. Lochnera rosea REICHB
6. Apocynaceae
7. Gentianales
8. Heywood
9. Abdul jalil
10. Vinblastine
11. Vincristine
12. Anti neoplasia
13. Raubasine
14. Anti fibrilic
15. Abdul jalil
16. Vinblastine sulfate
17. Velb
18. Lewis

داروها، استخراج از گیاه پروانش بوده، هرگونه افزایشی در مقدار این آلکالوئیدها می‌تواند از جنبه اقتصادی، ارزش زیادی داشته باشد (سپهری، ۱۳۹۲). پروانش دارای سه واریته است که عبارتند از آلبا^۱ با گل‌های سفید، رزیوس^۲ با گل‌های صورتی، آسیلاتا^۳ با گل‌های سفید و صورتی که وسط آن لکه‌های ارغوانی مشاهده می‌شود که این سه واریته از بارزترین واریته‌های تجاری محسوب می‌شوند (امیدبیگی، ۱۳۸۸).

۲. پیشینه پژوهش

تنش خشکی عملکرد گیاهان زراعی را از طریق ممانعت از تولید بالقوه آن‌ها محدود می‌کند. اثرات خشکی بر گیاه پیچیده و متغیر است و به‌وسیله عوامل متعددی از جمله نوع خاک، الگوی ریشه‌دهی، تراکم بوته و عوامل بیماری‌زا تحت تأثیر قرار می‌گیرد (بویر^۴، ۱۹۹۶). یکی از اثرات تنش خشکی برهم‌زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است (لوویس^۵ و مک‌فالان، ۱۹۸۶). گیاهان در هنگام مواجهه با تنش خشکی با ایجاد یکسری تغییرات فیزیولوژیکی به تنش‌های مختلف پاسخ می‌دهند. تجمع مواد محلول در پاسخ به خشکی (تنظیم اسمزی) راهی برای حفظ آماس است (حسینی‌فرد^۶، ۲۰۲۲). با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف از طریق محلول‌پاشی می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید. تغذیه مناسب تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی به گیاه در تحمل تنش‌های مختلف کمک کند. با مصرف کودهای محتوی عناصر ریزمغذی اولاً عملکرد گیاه افزایش می‌یابد، ثانیاً افزایش غلظت این عناصر در محصولات کشاورزی نقش مهمی در افزایش کیفیت غذایی و بهبود سلامتی جامعه دارد (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۸). تنش آب اثر زیادی بر توزیع هورمون‌ها در گیاه به‌ویژه بر میزان سیتوکینین و آبسزیک‌اسید^۷ دارد. در نتیجه کمبود آب فعالیت سیتوکینین کاهش یافته، درحالی‌که فعالیت آبسزیک‌اسید افزایش می‌یابد. پیری ساقه‌ها در گیاه تحت تنش ممکن است به‌علت کاهش تأمین سیتوکینین از ریشه‌ها باشد. همچنین آبسزیک‌اسید در کنترل عکس‌العمل‌های همگام با کاهش پتانسیل آب غلظت هورمون‌های گیاهی نیز تغییر می‌کند. در هنگام تنش، سیتوکینین و اتیلن غالباً می‌توانند اثر آبسزیک‌اسید را وقتی زیاد می‌شود خنثی نماید (برادفورد^۸، ۱۹۹۵).

تغذیه برگ‌گی یکی از راه‌های مؤثر در برطرف کردن نیازهای گیاهان به عناصر کم‌مصرف است. اسپری مواد مغذی نه‌تنها عملکرد و کیفیت محصول را افزایش می‌دهد، بلکه می‌تواند مقادیر کاربرد کود خاکی را کاهش دهد (اسواید^۹، ۲۰۰۰). مطالعات زیادی نشان داده است که در مورد عناصری مثل بر، مس، منیزیم، منگنز و روی محلول‌پاشی به‌دلیل رفع سریع کمبود، کاهش سمیت ناشی از تجمع این عناصر در خاک و جلوگیری از تثبیت آن‌ها، روش مناسب‌تری نسبت به کاربرد در خاک است. محلول‌پاشی عناصر بر، مس، منیزیم، منگنز و روی از مصرف آن‌ها در خاک برای رفع سریع کمبود، کاهش سمیت ناشی از این عناصر در خاک و جلوگیری از تثبیت، مناسب‌تر است (کامبراتو^{۱۰}، ۲۰۰۴). نانو کودها هم‌چنین می‌توانند حلالیت بیش‌تری نسبت به دیگر کودها داشته باشند که این ویژگی در نانوذرات بی‌شکل در انحلال ترکیبات کم محلول مشاهده شده است. این نانوذرات بی‌شکل سینتیک انحلال سریع‌تری نسبت به ذرات در ابعاد معمولی نشان می‌دهند و

1. Var. alba
2. Var. roseus
3. Var. asillata
4. Boyer
5. Lewis
6. Hosseinifard
7. ABA
8. Bradford
9. Swiader
10. Camberato

زیست‌فراهمی ۵ را بر اثر افزایش نقطه اشباع (غلظتی از ماده در فاز محلول که با فاز جامد آن در تعادل است) افزایش می‌دهند (کاهال^۱، ۲۰۱۲).

عنصر روی (Zn) از جمله عناصر ضروری برای رشد گیاه است که در تشکیل اسیداین‌دول‌استیک دخالت دارد و رشد گیاه را تنظیم می‌کند و همچنین باعث فعال شدن بسیاری از آنزیم‌ها شده، برای سنتز کلروفیل و تشکیل کربوهیدرات‌ها، لازم و ضروری است. چون روی عنصری است که در داخل گیاه قادر به انتقال مجدد نیست، لذا محلول‌پاشی آن، مناسب‌تر می‌باشد (ویتوش^۲ و همکاران، ۱۹۹۴). این عنصر نقش مهمی در تولید بیومس بازی می‌کند. در ساختمان ۲۰۰ نوع آنزیم و پروتئین مشارکت دارد و کمبود آن فعالیت چندین آنزیم مهم از جمله فسفاتازها، الکل دی‌هیدروژناز، کربوکسی پپتیداز و RAN و DNA پلیمراز را کاهش می‌دهد (کاکماک^۳، ۲۰۰۸).

منیزیم نیز از عناصر پرمصرف و ضروری است که نقش مولکولی و فیزیولوژیکی عمده‌ای در گیاهان دارد و نقش کلیدی در فتوسنتز بازی می‌کند، به‌علاوه اتم مرکزی مولکول کلروفیل را تشکیل می‌دهد. منیزیم برای عملکرد بسیاری از آنزیم‌ها، از جمله ATP‌آز، پروتئین کیناز، فسفاتاز، گلوکاتایون سینتتاز و کربوکسیلاز ضروری است. بسیاری از آنزیم‌های کلیدی کلروپلاست به‌شدت از تغییرات کم در سطوح منیزیم تأثیر می‌پذیرند. بنابراین منیزیم نقش اساسی در واکنش‌های نوری و تاریکی فتوسنتز ایفا می‌کند (شاول^۴، ۲۰۰۲).

یکی از راه‌های افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر در شرایط تنش استفاده از روش پرایمینگ است (مورونگو^۵ و همکاران، ۲۰۰۳). پرایمینگ باعث افزایش سبز شدن بذر در دامنه‌ای از شرایط محیطی تنش‌زا، از قبیل تنش شوری، خشکی و دما می‌شود (دمیرکایا^۶ و همکاران، ۲۰۰۶). پرایمینگ می‌تواند باعث رشد سریع‌تر گیاهچه (هریس^۷، ۲۰۰۱). افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، تحمل گیاه به خشکی از طریق توسعه ریشه‌ها تحت شرایط متغیر محیطی (عیسوند و همکاران، ۱۳۹۰) گل‌دهی زودتر و افزایش کمی و کیفی عملکرد (آدرنیا و عیسوند، ۱۳۹۲؛ حسینی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۷) و افزایش جذب مواد غذایی (اشرف^۸، ۲۰۰۲) شود. خیساندن بذر با مطلوب‌ترین غلظت هورمون‌های رشد گیاهی، افزایش جوانه‌زنی و همچنین افزایش کارایی رشد و عملکرد را در پی دارد (جاوید^۹ و همکاران، ۲۰۲۲). هورمون‌های گیاهی که به‌طور معمول برای پرایمینگ استفاده می‌شود، اکسین (این‌دول‌استیک‌اسید^{۱۰}، این‌دول‌بوتیریک‌اسید^{۱۱}، نفتالین‌استیک‌اسید^{۱۲})، جیبرلین‌ها، کینتین، آبسزیک‌اسید پلی‌آمین‌ها، اتیلن و سالیسیلیک‌اسید می‌باشد (افضل^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۶).

هم‌چنین مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی از عوامل مهم تأثیرگذار بر رشد و نمو گیاهچه محسوب می‌شوند به‌طوری‌که اکسین درونی برای نمو ریشه ضروری است. تیمار اکسین خارجی سبب القاء تشکیل ریشه‌های جانبی و ریشه‌های نابه‌جا می‌شود، البته غلظت بهینه اکسین برای تشکیل ریشه‌های جانبی و نابه‌جا باهم متفاوت است (شیفلین^{۱۴}، ۲۰۰۳).

1. Chahal
2. Vitosh
3. Cakmak
4. Shaul
5. Murungu
6. Demir Kaya
7. Harris
8. Ashraf
9. Javid
10. IAA
11. IBA
12. NAA
13. Afzal
14. Schiefelbein

هورمون‌های گیاهی از عوامل مؤثر بر فعالیت‌های مختلف رشد، نمو و خواب بذر هستند. جیبرلین‌ها شامل گروهی از هورمون‌ها هستند که بیش‌ترین دخالت مستقیم را در کنترل و تسهیل جوانه‌زنی بذر دارند. افزایش سنتز و آزادسازی هورمون جیبرلیک‌اسید در بذر موجب تجزیه نشاسته بذر و تبدیل آن به مواد قابل‌استفاده جنین می‌شود و جوانه‌زنی شروع می‌شود. نقش اصلی هورمون جیبرلین که توسط جنین بذر ترشح می‌شود، فعال‌نمودن ژن کدکننده آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی بذر به‌ویژه آنزیم استفاده از آلفا آمیلاز است (افضل^۱ و همکاران، ۲۰۰۶). حفظ حد مطلوب و بهینه اکسین در سلول و انتقال قطبی آن در گیاه برای شکل‌گیری الگوهای نموی، حیاتی و ضروری می‌باشد. هم‌چنین همانند اکسین، سیتوکینین‌ها نیز تنظیم‌کننده‌های مهمی در رشدونمو گیاهان به‌شمار می‌آیند. به‌طور مشخص اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها دارای وظایف مشخص و مهمی در رشدونمو گیاه هستند و از آنجایی که هر دو هورمون به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد، قابلیت سنتز در بیش‌تر قسمت‌های گیاه و داشتن وظیفه سیگنالینگ در فرایند نمو دارند، بنابراین از این جهت میان‌کنش اکسین و سیتوکینین در فرایندهای توسعه‌ای و نمو بسیار مورد اهمیت است. به‌عنوان مثال برای شکل‌گیری و حفظ مریستم‌ها که بنیان کل پیکره گیاه را تشکیل می‌دهند، تعامل اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها لازم است (سو^۲ و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به اهمیت آلکالوئیدهای گیاه مذکور در شیمی‌درمانی و درمان انواع سرطان‌ها و به‌منظور معرفی و شناخت بیش‌تر خصوصیات فیزیولوژیکی و دارویی آن و نیز شرایط کم آبی حاکم بر کشورمان، پیدا کردن راه‌کارهای مناسب جهت افزایش خصوصیات کمی و کیفی گیاه در شرایط تنش خشکی از مهم‌ترین اهداف این پژوهش می‌باشد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳.۱. آزمایش

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار و طی دو سال انجام شد. آزمایش مذکور طی دو سال که آزمایش اول در اوایل فروردین‌ماه سال ۱۳۹۹ و آزمایش دوم نیز در اوایل فروردین‌ماه ۱۴۰۰ در شرایط گلخانه‌ای در منطقه شمیرانات تهران انجام شد.

۳.۲. گونه مورد مطالعه پروان

از نوع رزیوس گل صورتی (کاتارانتوس رزیوس)^۳ بوده که بذرهای آن از مرکز اصلاح بذر کرج تهیه گردیدند.

۳.۳. تیمارهای مورد استفاده و روش اعمال آن‌ها

آزمایش مذکور، به‌صورت سه عاملی که عامل اول تنظیم‌کننده‌های رشد (A) شامل چهار سطح شاهد (آب مقطر a₀) و هورمون‌های اکسین (a₁)، جیبرلین (a₂) و سیتوکینین (a₃) هر کدام به غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام، عامل دوم محلول‌پاشی نانوذرات (B) نیز شامل چهار سطح شاهد (b₀) روی (b₁) و منیزیم (b₂) هر کدام با غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر و مخلوط روی و منیزیم (b₃) (هر کدام با غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر) و عامل سوم تنش خشکی (C) از طریق تشتک تبخیر در سه سطح مشتمل بر ۴۰ میلی‌متر (c₀)، ۶۰ میلی‌متر (c₁) و ۸۰ میلی‌متر (c₂).

1. Afzal

2. Su

3. Catharanthus roseus (L.) G.DON

۴.۳. پرایمینگ بذور

ابتدا بذرها به مدت ۲۴ ساعت در چهار سطح شاهد (آب مقطر a_0) و هورمون‌های اکسین (a_1)، جیبرلین (a_2) و سایتوکینین (a_3) به غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام و در داخل پتری‌دیش پرایم شدند. در این نوع از پرایمینگ بذر، توده بذری مورد نظر به واسطه قرار گرفتن در معرض هورمون و یا سایر مواد تنظیم‌کننده رشدی به منظور ارتقاء فعالیت‌های زیستی پیش از قرار گرفتن در بستر بذر تحت تیمار قرار گرفتند. در این روش نوع هورمون به کار رفته و غلظت آن نقشی دارای اهمیت در نتیجه حاصله بر عهده دارند، به طوری که انتخاب نوع هورمون و غلظت آن در مورد گونه‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد.

۵.۳. کاشت، داشت و برداشت

پس از پرایمینگ، ابتدا بذرها در مجاورت هوای آزاد قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند سپس در داخل جعبه‌های (سینی‌های) مخصوص کاشت که هر جعبه کاشت به ابعاد $53 \times 31 / 5$ سانتی‌متر، تعداد ۱۰۴ حفره کاشت، قطر حفره‌ها $3/2$ سانتی‌متر و ارتفاع حفره‌ها $5/5$ سانتی‌متر کشت گردیدند. خاک کاشت مخلوطی از کوکوپیت و پیت‌ماس به نسبت مساوی و کشت به صورت غیرمستقیم صورت گرفت. به این معنی که در مرحله سه برگی، گیاهان از داخل جعبه کاشت به داخل گلدان منتقل شدند. جهت کشت گیاهان در داخل گلدان برای هر تکرار چهار گلدان در نظر گرفته شد و در داخل هر گلدان دو بوته کاشته شد و با توجه و در مجموع تعداد کل گلدان‌ها در هر سال ۵۷۶ عدد در نظر گرفته شد. ارتفاع گلدان‌ها ۴۰ سانتی‌متر و قطر دهانه هر گلدان ۲۰ سانتی‌متر در گلدان صورت گرفت.

محلول‌پاشی نانوذرات در چهار سطح شاهد (b_0) نانوذرات اکسید روی (ZnO NPs) (b_1) با غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر، نانوکود منیزیم تک‌عنصره (b_2) با غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر و مخلوط روی و منیزیم (b_3) (هر کدام به غلظت ۵/۰ میلی‌گرم در لیتر) طی دو مرحله در هر سال صورت گرفت. مرحله اول در مرحله چهار تا شش برگی و مرحله دوم قبل از گل‌دهی گیاهان صورت گرفت.

اعمال تنش خشکی نیز از طریق تشتک تبخیر در سه سطح مشتمل بر ۴۰ میلی‌متر (c_0)، ۶۰ میلی‌متر (c_1) و ۸۰ میلی‌متر (c_2) پس از استقرار گیاهان در گلدان آغاز و تا مرحله برداشت ادامه یافت. عملیات برداشت مربوط به سال اول اواسط مهرماه ۱۳۹۹ و عملیات برداشت مربوط به سال دوم در اواسط مهرماه ۱۴۰۰ صورت گرفت. در مرحله برداشت، گیاهان از سطح خاک و از ناحیه طوقه چیده شدند.

۶.۳. اندازه‌گیری صفات

قبل و پس از برداشت ابتدا صفات بیولوژیک، سپس صفات بیوشیمیایی گیاه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن تر سرشاخه‌های دارای برگ‌های حاوی آلکالوئید اندازه‌گیری گردید. در زمان اوج گل‌دهی از برگ‌های جوان گیاه که دارای بیش‌ترین میزان آلکالوئید بودند نمونه‌برداری شد. گزارش‌ها نشان داده که برداشت گیاه در زمان تمام گل^۱ بیش‌ترین میزان آلکالوئیدهای گیاه به‌ویژه آلکالوئیدهای وین‌بلاستین و وین‌کریستین را دارا می‌باشد (لاتا، ۲۰۰۷). نمونه‌ها مدت یک هفته در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آن قرار داده شدند. سپس وزن خشک سرشاخه‌ها توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. وزن خشک دقیق زمانی حاصل می‌شود که با گذشت زمان، دیگر کاهش وزن در گیاه مشاهده نگردد.

جهت استخراج و اندازه‌گیری آلکالوئید کل از روش یانواون استفاده گردید (زارع‌زاده و همکاران، ۱۳۷۹). برای این منظور ابتدا ۳ گرم پودر نمونه گیاهی با ۱۵ تا ۲۰ میلی‌لیتر آمونیاک در داخل ارلن مخلوط و پس از ۲۰ دقیقه مقدار ۳۰ میلی‌لیتر کلروفرم به آن اضافه گردید. محلول حاصل به مدت ۲/۵ ساعت بر روی همزن با سرعت ۵۰ الی ۶۰ دور در دقیقه به‌خوبی مخلوط، سپس نمونه‌ها را توسط قیف چینی که داخل آن کاغذ صافی قرار داده شده و با استفاده از خلأ صاف و هر ارلن را مجدداً توسط ۱۰ میلی‌لیتر کلروفرم شسته و روی قیف را نیز توسط ۵ میلی‌لیتر کلروفرم شست‌وشو داده شد. لازم به ذکر است که تمام مراحل زیر هود انجام شد. بعد از این که نمونه‌ها در داخل ارلن صاف شدند، آن‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با روتاری در دمای ۶۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس حجم کلروفرم را به حدود ۱۵ میلی‌لیتر رسانده و از روتاری خارج نموده و دوباره حجم آن‌ها کنترل شد و در صورتی که حجم کم‌تر از حد مقرر باشد با استفاده از کلروفرم مجدداً به ۱۵ میلی‌لیتر رسانده شود. سپس محتویات ارلن را در دکانتور ریخته و با ۱۵ میلی‌لیتر اسید تارتاریک ۲ درصد مخلوط کرده، سپس از آن محلول آبی را از آلی جدا کرده و محلول آبی جدا شده را زیر هواکش دوباره توسط آمونیاک ۲۵ درصد قلیایی کرده و pH آن کنترل شد (تا حدود ۹ pH). سپس دو بار و هر بار ۲۰ میلی‌لیتر کلروفرم به محلول آبی اضافه کرده و کلروفرم‌های به‌دست‌آمده بر روی حمام آب گرم در زیر هواکش تبخیر شدند. به هر یک از ارلن‌ها ۱۰ میلی‌لیتر استیک‌اسید گلاسیال اضافه کرده و مدت ۱۰ دقیقه صبر کرده تا آلکالوئیدها در آن به‌خوبی حل شدند. سپس توسط قطره‌چکان سه قطره معرف کریستال ویولت به هر یک از ارلن‌ها اضافه کرده و با پرکلریک‌اسید ۰/۱ نرمال تیترا شدند. در نقطه پایان تیتراسیون رنگ کریستال ویولت از بنفش به آبی تغییر کرد. با توجه به این که آلکالوئیدهای موجود در یک گیاه معمولاً از نظر فرمولی شبیه به هم می‌باشند، معمولاً برای تعیین وزن ملکولی آلکالوئیدها، وزن ملکولی میانگین آلکالوئیدهای متداول در آن در نظر گرفته شد. مقدار آلکالوئیدها را با توجه به میانگین وزن ملکولی آن‌ها محاسبه گردید.

$$N \times ml = (M \times mg) / eq$$

که در آن، N: نرمالیته اسید پرکلریک ۰/۱ نرمال، ml: میزان اسید مصرف شده برحسب میلی‌لیتر، M: جرم ملکولی اسید پرکلریک ۱۰۰، eq: میانگین وزن ملکولی آلکالوئیدها = ۵۲۸/۸۴۷ می‌باشد.

در نتیجه میزان کل آلکالوئیدها برحسب میلی‌گرم در ۳ گرم نمونه مصرف‌شده به‌دست می‌آید. سپس با محاسبه از طریق تناسب، درصد آلکالوئید در برگ به‌دست می‌آید (سپهری و همکاران، ۱۳۹۲).
برای سنجش آنتوسیانین‌ها از روش Wagner (1979) استفاده شد.
برای محاسبه غلظت برحسب میکرومول، ضریب خاموشی (ε) ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول استفاده گردید (تقوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

ضریب خاموشی (برحسب سانتی‌متر بر میکرومول) $ew = 33000 \text{ [cm}^2/\text{mol]}$

برای سنجش کلروفیل موجود در برگ‌ها از روش لیچن تالر^۱، ۱۹۸۷ و آرنون^۲ استفاده شد. مقدار کلروفیل a و b و کلروفیل a+b از فرمول زیر محاسبه گردید (عابدی و همکاران، ۱۳۹۸).

$$Chl_a = (12/25 \times A_{663} - 2/79 \times A_{645})$$

$$Chl_b = (21/21 \times A_{645} - 5/1 \times A_{663})$$

$$Chl_{a+b} = (7/15 A_{663} + 18/71 A_{645})$$

محاسبات آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS (نسخه 9.1) و به‌منظور بررسی یکنواختی واریانس

داده‌های دو سال آزمایش از آزمون بارتلت^۱ استفاده شد. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن^۲ استفاده و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل^۳ انجام گرفت.

۴. یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از اثرات سطوح تنش خشکی، هورمون‌های گیاهی و عناصر ریزمغذی نتایج تجزیه واریانس وزن تر و خشک سرشاخه‌های حاوی مواد مؤثره و کلروفیل کل در جدول (۱) آمده است. در این آزمایش، در اعمال تنش خشکی و نیز اثرات ساده محلول‌پاشی نانوذرات روی و منیزیم بر کلیه صفات مورد مطالعه (آلکالوئید کل، آنتوسیانین، کلروفیل کل وزن تر و خشک سرشاخه‌های حاوی آلکالوئید و تعداد شاخه‌های جانبی)، اثر آماری معنی‌داری در سطح ۱ درصد مشاهده شد. در بررسی اثرات تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نیز به‌غیر از آلکالوئید کل، بر روی سایر صفات مورد بررسی، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۱ درصد ایجاد شد. همچنین در بررسی اثرات متقابل آبیاری و هورمون‌های گیاهی نیز بر روی سرشاخه‌های حاوی آلکالوئید اختلاف آماری در سطح یک درصد ایجاد شد. اما در سایر موارد، هیچ اثر آماری معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده گیاه پروانش تحت تأثیر سطوح تنش خشکی، هورمون گیاهی و محلول‌پاشی روی و منیزیم

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر سرشاخه	وزن خشک سرشاخه	کلروفیل کل	آنتوسیانین	آلکالوئیدهای کل
آبیاری	۲	۳۲۰۵ **	۱۳۵۲ **	۵/۴ **	۰/۵۶ **	۵/۹۷ **
هورمون‌های گیاهی	۳	۲۴۴۸/۵۷ **	۲۵۰/۱ **	۰/۰۷۴ **	۰/۰۶۶ **	۰/۰۱۵ ns
عناصر ریزمغذی	۳	۳۲۶/۰۵ **	۱۹۸/۱ **	۰/۰۲۲ **	۰/۰۲۷ **	۰/۰۹۳ **
آبیاری × هورمون‌های گیاهی	۶	۳۴/۹۶ **	۵/۶۱ ns	۰/۰۰۶۶ ns	۰/۰۰۱۴ ns	۰/۰۰۰۷۹ ns
آبیاری × عناصر ریزمغذی	۶	۳/۰۷ ns	۳/۴۳ ns	۰/۰۰۰۱۹ ns	۰/۰۰۰۲۷ ns	۰/۰۰۰۲۷ ns
هورمون‌های گیاهی × عناصر ریزمغذی	۹	۳/۱۹ ns	۱/۶۷ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۰۶۶ ns	۰/۰۰۰۵۹ ns
آبیاری × هورمون‌های گیاهی × عناصر ریزمغذی	۱۸	۰/۲۷ ns	۰/۴۴ ns	۰/۰۰۰۱۹ ns	۰/۰۰۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۴۱ ns
خطای آزمایشی	۹۶	۱۰/۶۷	۸/۹۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۹۱	۰/۰۱۳
ضریب تغییرات (درصد)	۷/۹۳	۱۳/۶	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۳

ns و ** به ترتیب نشانه اختلاف آماری در سطح آماری ۵ و ۱ درصد و اختلاف آماری غیر معنی‌دار.

همچنین نتایج آزمون بارتلت (جدول ۲) حاکی از آن بود که صفات طی دو سال نتایج مشابهی را نشان دادند به همین دلیل میانگین دو سال نتایج هر صفت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به این‌که طرح مذکور در قالب طرح پایه‌ی کاملاً تصادفی بوده و در شرایط گلخانه‌ای و طی دو سال صورت گرفت، لذا به‌منظور یکنواختی داده‌ها از آزمون بارتلت استفاده شده و نتایج آن در سطح معنی‌داری ۵ درصد در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲. جدول نتایج آزمون بارتلت

ردیف	صفت	$P \leq 0.05$
۱	وزن تر سر شاخه	۰/۵
۲	وزن خشک سر شاخه	۰/۲۸
۳	کلروفیل کل	۰/۸۹
۴	آلکالوئید کل	۰/۵۶
۵	آنتوسیانین	۰/۵

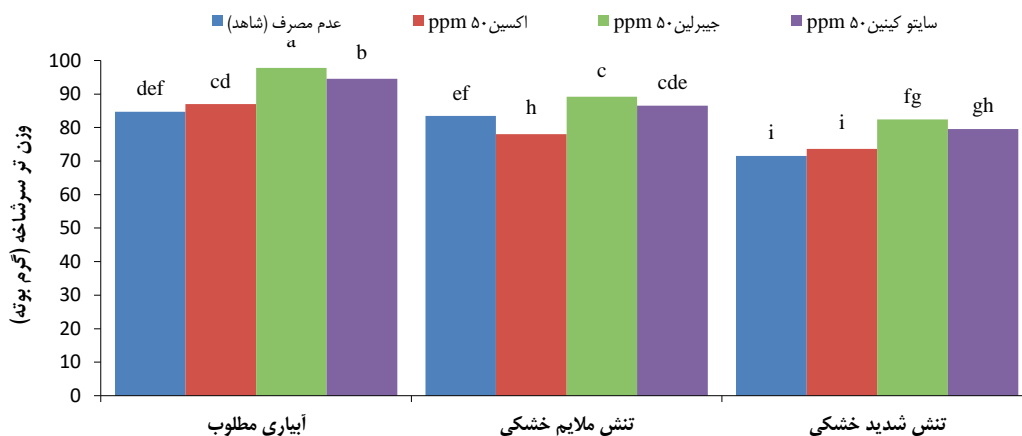
1. Bartlett's Test
2. Duncan's multiple range test
3. Excel

۱.۴. وزن تر سرشاخه‌های حاوی آلکالوئید

وزن تر سرشاخه‌ها تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای آبیاری، مصرف هورمون و عناصر ریزمغذی و برهم‌کنش دو گانه سطوح آبیاری و مصرف هورمون قرار گرفت (جدول ۱). بیش‌ترین وزن تر سرشاخه (۸۸ گرم در بوته) در مصرف هم‌زمان عناصر روی و منیزیم به‌دست آمد که نسبت به تیمار عدم مصرف ۱۰ درصد افزایش داشت (شکل ۱). هم‌چنین در تمام سطوح آبیاری، مصرف هورمون اسید جیبرلین باعث افزایش معنی‌دار وزن تر سرشاخه نسبت به سایر هورمون‌ها شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن تر سرشاخه (۹۷/۸۳ گرم در بوته) در تیمار آبیاری مطلوب و مصرف جیبرلین به‌دست آمد (شکل ۲).



شکل ۱. مقایسه میانگین‌های وزن تر سر شاخه گیاه پروانش تحت تأثیر محلول‌پاشی نانوکود روی و منیزیم طی دو سال آزمایش. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.



شکل ۲. مقایسه میانگین‌های وزن تر سر شاخه‌های گیاه پروانش تحت تأثیر سطوح تنش خشکی × هورمون‌های گیاهی طی دو سال آزمایش. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

۲.۴. وزن خشک سرشاخه‌های حاوی آلکالوئید

وزن خشک سرشاخه‌ها نیز تحت تأثیر اثرات اصلی سطوح آبیاری، مصرف هورمون و عناصر ریزمغذی قرار گرفت (جدول ۱). وزن خشک سرشاخه متأثر از سطوح آبیاری کاهش یافت به نحوی که تنش ملایم و شدید خشکی باعث کاهش ۲۰ و ۳۸

درصدی وزن خشک سرشاخه نسبت به آبیاری مطلوب شد. همچنین نتایج نشان داد که مصرف جیبرلین و سایتوکینین باعث افزایش وزن خشک ساقه شدند، به طوری که هر دو هورمون به ترتیب با میانگین‌های ۲۴/۲ و ۲۳/۹ گرم در بوته در گروه برتر قرار داشتند که نسبت به هورمون اکسین و تیمار عدم مصرف، به ترتیب ۱۱ و ۲۲ درصد افزایش نشان داد. اگرچه هر دو عنصر ریزمغذی به تنهایی باعث افزایش وزن خشک سرشاخه‌ها شد، اما تیمار برتر متعلق به استفاده هم‌زمان دو عنصر روی و منیزیم (۲۴/۸ گرم در بوته) بود، به طوری که نسبت به تیمار روی، منیزیم و تیمار شاهد، افزایشی ۸، ۱۵ و ۲۱ درصدی داشت (جدول ۳).

۳.۴. کلروفیل کل

نتایج حاکی از آن بود که میزان کلروفیل کل تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری، هورمون‌های گیاهی و عناصر ریزمغذی قرار گرفت (جدول ۱). نتایج نشان داد تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل کل شد، به نحوی که تنش ملایم و شدید باعث کاهش ۱۴ و ۲۷ درصدی کلروفیل کل نسبت به آبیاری مطلوب شد. در بین هورمون‌های اعمال‌شده، جیبرلین موجب افزایش چشم‌گیری در میزان کلروفیل کل شد، به نحوی که گیاهان تیمار شده با جیبرلین نسبت به گیاهان بدون تیمار، چهار درصد کلروفیل کل بیش‌تری داشتند همچنین، علاوه بر نقش مثبت و معنی‌دار هر یک از عناصر ریزمغذی مورد استفاده در افزایش کلروفیل کل، استفاده هم‌زمان این دو عنصر نیز باعث افزایش کلروفیل کل شد و با میانگین ۲/۱۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر، در گروه برتر قرار گرفت (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های وزن خشک سرشاخه و کلروفیل گیاه پروانش کل تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری، هورمون‌های گیاهی و محلول‌پاشی روی و منیزیم

کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم)	وزن خشک سرشاخه (گرم در بوته)	تیمار
	سطوح آبیاری (میلی‌متر)	
۲/۴۲ a	۲۷/۳۶ a	۴۰ میلی‌متر تبخیر (آبیاری مطلوب)
۲/۰۸ b	۲۱/۹۲ b	۶۰ میلی‌متر تبخیر (تنش ملایم خشکی)
۱/۷۵ c	۱۶/۷۴ c	۸۰ میلی‌متر تبخیر (تنش شدید خشکی)
	هورمون‌های گیاهی (پی‌پی‌ام)	
۲/۰۳ d	۱۸/۶ c	عدم مصرف (شاهد)
۲/۰۶ c	۲۱/۲ b	اکسین (۵۰ پی‌پی‌ام)
۲/۱۳ a	۲۴/۲ a	جیبرلین (۵۰ پی‌پی‌ام)
۱/۲ b	۲۳/۹ a	سایتوکینین (۵۰ پی‌پی‌ام)
	عناصر ریزمغذی (میلی‌گرم بر لیتر)	
۲/۰۵ d	۱۹/۴ d	شاهد
۲/۰۹ b	۲۲/۸ b	روی (۱ میلی‌گرم بر لیتر)
۲/۰۷ c	۲۰/۹ c	منیزیم (۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر)
۲/۱۱ a	۲۴/۸ a	روی (۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر) + منیزیم (۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

۴.۴. آنتوسیانین

نتایج حاکی از آن بود که میزان آنتوسیانین گیاه تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری، هورمون‌های گیاهی و عناصر ریزمغذی قرار گرفت (جدول ۱). نتایج نشان داد تنش خشکی باعث افزایش میزان آنتوسیانین شد، به نحوی که تنش ملایم و شدید باعث افزایش ۳۰ و ۱۳ درصدی آنتوسیانین نسبت به آبیاری مطلوب شد. در بین هورمون‌های اعمال‌شده، جیبرلین موجب افزایش چشم‌گیری در میزان آنتوسیانین شد به نحوی که گیاهان تیمار شده با جیبرلین نسبت به گیاهان بدون تیمار، سه

درصد آنتوسیانین بیش‌تری داشتند. همچنین، علاوه بر نقش مثبت و معنی‌دار هر یک از عناصر ریزمغذی مورد استفاده در افزایش آنتوسیانین، استفاده هم‌زمان این دو عنصر نیز باعث افزایش آنتوسیانین شد و با میانگین $۰/۶۵$ میلی‌مول در سانتی‌متر، در گروه برتر قرار گرفت (جدول ۴).

۵.۴. آلکالوئید کل

درصد آلکالوئیدهای کل تحت تأثیر اثر اصلی آبیاری و عناصر ریزمغذی تغییرات معنی‌داری داشت (جدول ۱). بیش‌ترین درصد آلکالوئیدهای کل در تنش شدید خشکی ($۱/۵۷$ درصد) به‌دست آمد که نسبت به تنش ملایم خشکی و آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۱۹ و ۴۴ درصد افزایش نشان داد (شکل ۳). با مصرف عناصر ریزمغذی تغییرات محسوسی در میزان آلکالوئیدهای کل گیاه مشاهده شد، به‌طوری‌که تیمار مصرف هم‌زمان روی و منیزیم ($۱/۲۹$ درصد) بیش‌ترین درصد آلکالوئیدهای کل را دارا بود (جدول ۴). همچنین بین تیمار مصرف روی یا منیزیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ۳. مقایسه میانگین‌های آلکالوئید کل برگ پروانش تحت تأثیر سطوح آبیاری.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های کلروفیل کل، آنتوسیانین و آلکالوئید کل گیاه پروانش تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری، هورمون‌های گیاهی و محلول‌پاشی روی و منیزیم

تیمار	آنتوسیانین (میکرومول بر گرم وزن تر)	آلکالوئید کل (درصد)
سطوح آبیاری (میلی‌متر)		
۴۰ میلی‌متر تبخیر (آبیاری مطلوب)	۰/۵۱ c	۰/۸۷c
۶۰ میلی‌متر تبخیر (تنش ملایم خشکی)	۰/۶۳ b	۱/۲۶b
۸۰ میلی‌متر تبخیر (تنش شدید خشکی)	۰/۷۳ a	۱/۵۷a
هورمون‌های گیاهی (پی‌پی‌ام)		
عدم مصرف (شاهد)	۰/۶۲ bc	
اکسین (۵۰ پی‌پی‌ام)	۰/۶۱ c	
جیبرلین (۵۰ پی‌پی‌ام)	۰/۶۴ a	
سایتوکینین (۵۰ پی‌پی‌ام)	۰/۶۲ b	
عناصر ریزمغذی (میلی‌گرم بر لیتر)		
شاهد	۰/۵۹ c	۱/۱۷ c
روی (۱ میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۶۳ b	۱/۲۳ b
منیزیم (۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۶۲ b	۱/۲۴ ab
روی (۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر) + منیزیم (۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۶۵ a	۱/۲۹ a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

۵. بحث

محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی با افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، نقش مؤثر در فعالیتهای سلولی با فعال شدن بیش از ۳۵ آنزیم مختلف در گیاه و همچنین افزایش فتوسنتز برگ، می‌تواند منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک گیاهان گردد (کلانتر احمدی و دزفولی، ۱۳۹۸). عنصر روی با افزایش هورمون اکسین و عنصر منیزیم با نقش داشتن در فرایند فتوسنتز (عبید و الحادثی^۱، ۲۰۱۳). باعث افزایش رشد سلولی، افزایش سطح برگ و در نهایت باعث افزایش رشد رویشی شده که این خود باعث افزایش عملکرد زیستی در گیاه می‌شود.

تنش خشکی با افزایش مقاومت روزنه‌ای، کاهش محتوی آب نسبی برگ و در ادامه آن کاهش فتوسنتز برگ همراه است که این عوامل منجر به کاهش اجزای عملکرد زیستی و شاخساره‌های گیاه می‌گردد (اقدام^۲ و همکاران، ۲۰۱۹؛ صباغ^۳ و همکاران، ۲۰۱۹).

عملکرد زیستی از چند جنبه دارای اهمیت است. از طرفی به دلیل این که دربرگیرنده عملکرد اسانس است و می‌تواند از لحاظ اقتصادی موردتوجه قرار گیرد. از نظر فیزیولوژیکی نیز عملکرد زیستی معادل تولید خالص کل می‌باشد. بنابراین گیاهانی دارای عملکرد بالایی خواهند بود که با توجه به شرایط رشد خود از عوامل تولید بهترین استفاده را داشته و مواد فتوسنتزی بیشتری را در اندام‌های خود تجمع دهند و داری بیش‌ترین تولید خالص باشند. دلیل افزایش تولید ماده خشک در گیاهان تحت تیمار آبیاری مطلوب، گسترش بیش‌تر و دوام بهتر سطح برگ است که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی به منظور استفاده هرچه بیش‌تر از نور دریافتی و تولید ماده خشک می‌گردد که نتیجه این گزارش با این پژوهش مطابقت دارد.

در آزمایشی دیگر مداح^۴ و همکاران (۲۰۰۶) اثر متقابل سطوح آبیاری و هورمون بر وزن تر شاخساره معنی‌دار بود که به نظر می‌رسد جیبرلین که به‌عنوان یک هورمون گیاهی، با تأثیر بر مریستم‌های رویشی و زایشی موجب افزایش تعداد ساقه در بوته می‌گردد که در شرایط آبیاری مطلوب، این فرایند تسهیل شده است. گزارش شده میزان بالای اکسین در طولیل شدن و تقسیم سلولی دخالت داشته و مانع از رشد رویشی گیاه می‌شود.

بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر غذایی بر مقدار رنگدانه‌های گیاه پروانش نشان داد بالاترین مقدار در ترکیب محلول‌پاشی روی و منیزیم و کم‌ترین مقدار در شرایط عدم محلول‌پاشی مشاهده شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری میان کاربرد تک‌به‌تک روی و منیزیم نسبت به یکدیگر وجود ندارد، با این حال به نظر می‌رسد ترکیب هر دو به‌صورت هم‌افزایی باعث افزایش مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی شدند.

به‌طورکلی گیاه در شرایط عدم محدودیت رطوبتی محتوی کلروفیل بالاتری داشت، که این میزان کلروفیل می‌تواند منجر به افزایش توان فتوسنتزی گیاه گردد. تنش خشکی با شکسته‌شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل و توقف تولید آن همراه است که این عمل به‌دلیل تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش آمینواسیدها همچون پرولین می‌باشد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۱). مطالعات نشان می‌دهد در شرایط تنش خشکی میزان آبسزیک‌اسید در برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها افزایش می‌یابد. در این شرایط آبسزیک‌اسید سرعت فتوسنتز و مقدار کلروفیل برگ را کاهش می‌دهد. همچنین در شرایط تنش خشکی و در نتیجه آن بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش تبادلات گازی میزان و سرعت فتوسنتز کاهش

می‌باید، در این شرایط محتوای کلروفیل نیز کاهش می‌یابد (ردی^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). از طرفی تنش خشکی با بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش تبادلات گازی میزان فتوسنتز را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در این شرایط میزان کلروفیل و سایر رنگدانه‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به ماهیت مشابه کلروفیل a و کلروفیل b دلایل کاهش این دو در شرایط تنش خشکی مشابه می‌باشد. بررسی دیگر پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد محلول‌پاشی عناصر روی و منیزیم منجر به افزایش مقدار کلروفیل برگ می‌گردد، به‌نظر می‌رسد این افزایش به‌دلیل نقش مؤثر عناصر روی و منیزیم در فعالیت‌های متابولیسمی سلولی همچون فعالیت آنزیم‌ها، کوآنزیم‌ها، پروتئین‌ها و . باشد (کلانتر احمدی و دزفولی، ۱۳۹۸؛ قربانی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). عنصر روی برای فعالیت انواع گوناگون آنزیم لازم است و کمبود آن موجب به‌هم‌ریختگی در سوخت‌وساز قندها و ساخت پروتئین‌ها می‌شود. گیاهانی که با کمبود روی روبه‌رو هستند، فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز و فروکتوز ۱ و ۶ بیس فسفاتاز به‌شدت کاهش می‌یابد (بالاجی^۳ و همکاران، ۲۰۱۷).

منیزیم در فعال کردن آنزیم‌های فتوسنتزی دکربوکسیلاز و دهیدروژناز موردنیاز است. گزارش شده گیاهانی که تحت تیمار منیزیم قرار می‌گیرند فعالیت فتوسنتزی بهتری دارند که ناشی از افزایش کلروفیل برگ می‌باشد (عبید و الحادثی^۴، ۲۰۱۳). افزایش محتوای کلروفیل به‌دنبال کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد با افزایش دور آبیاری می‌تواند توجیهی برای بهبود رشد و زیست‌توده گیاهان زراعی باشد. اسید جیبرلیک باعث افزایش مقدار کلروفیل می‌شود ولی به‌دلیل افزایش سطح برگ توسط آن، مقدار کلروفیل نسبت به واحد سطح کاهش می‌یابد (رسولی و جوانمردی^۵، ۲۰۱۰). که در این آزمایش نیز با افزایش سطح برگ در اثر کاربرد هم‌زمان عناصر ریزمغذی و هورمون‌های گیاهی به‌کار رفته می‌تواند دلیلی بر عدم اختلاف آماری معنی‌داری در اثرات متقابل آن‌ها باشد.

در آزمایش دیگر، (سدردی و همکاران، ۱۴۰۰) عنوان کردند تیمارهای محلول‌پاشی عناصر غذایی در دو زمان محلول‌پاشی و در سه سال متوالی، بر آنتوسیانین موجود در میوه انگور تأثیر معنی‌داری داشت. هم‌چنین توپچی خسروشاهی^۶ و همکاران (۲۰۱۹) در آزمایش بر روی گلرنگ^۷ مشاهده کردند که اثرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها سبب اختلاف آماری معنی‌داری در غلظت آنتوسیانین نسبت به تیمار شاهد گردید. میزان متابولیت‌های ثانویه در برخی گیاهان تحت خشکی افزایش می‌یابد. افزایش آنتوسیانین‌ها در برگ و ریشه گیاهان تیمار شده با خشکی نشان می‌دهد که راهبردهای غیرآنزیمی نیز نقش مهمی در غلبه بر تنش اکسیداتیو دارند. آنتوسیانین‌ها به‌عنوان یک رنگیزه آنتی‌اکسیدانی، تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهند (زمانی و همکاران، ۱۳۹۲).

بررسی مقاله‌ها نشان می‌دهد که اثر تنش آب بر متابولیت‌های ثانویه گیاهی یک پدیده خاص گونه‌ای است و بستگی به شدت تنش دارد (اظهر^۸ و همکاران، ۲۰۱۱). اثرهای مثبت محدودیت آب، به‌سنتز متابولیت‌های ثانویه، فعالیت‌های آنزیمی و تجمع مواد محلول مربوط می‌شود (سینگ سانگوان^۹، ۲۰۰۱). برای گیاهان معطر و دارویی، خشکی باعث تغییرات قابل‌توجهی در عملکرد و ترکیب‌های متابولیت‌های آن‌ها می‌شود (بتاید^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۹). به‌طوری‌که عملکرد متابولیت‌های ثانویه بخشی از سیستم دفاعی گیاه در برابر تنش‌های محیطی محسوب می‌شود. شرایط تنش،

1. Reddy
2. Ghorbani
3. Balaji
4. Obaid and Al-Hadethi
5. Rasouli and Javanmardi
6. Toopchi Khosroshahi
7. Tinctorius Carthamus
8. Azhar
9. Singh-Sangwan
10. Bettaieb

باعث تسریع بیوسنتز این ترکیب‌ها می‌شود (عز^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). در بررسی دیگر نتایج بر روی گیاه پروانش نشان داد که با افزایش غلظت تنظیم‌کننده رشد ایندولاستیک‌اسید^۲ میزان آجمالیسین کم شد. همچنین مشاهده شد که استفاده از غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده رشد ایندولاستیک‌اسید بر میزان آجمالیسین تأثیر معکوس داشته، به گونه‌ای که استفاده از غلظت‌های بیش‌تر این تنظیم‌کننده رشد باعث کاهش آجمالیسین شد. همچنین بررسی نتایج حاصل نشان داد که افزایش غلظت این تنظیم‌کننده رشد از ۰/۱ به ۱ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش معنی‌دار میزان آلکالوئید کل در هر دو گروه کشت بافت و کشت سوسپانسیونی شد. بررسی تأثیر نوع کشت و استفاده هم‌زمان از تنظیم‌کننده رشد ایندولاستیک‌اسید بر میزان آلکالوئید کل نیز از اختلاف بی‌معنی در سطح احتمال ۰/۵ درصد خبر می‌دهد، یعنی استفاده هم‌زمان از تنظیم‌کننده رشد ایندولاستیک‌اسید در کشت سوسپانسیونی و کشت بافت باعث افزایش معنی‌دار میزان آلکالوئید کل شد (کاظم‌زاده حقیقی^۳ و همکاران، ۲۰۲۰).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در واکنش به تنش خشکی در مرحله رویشی، مکانسیم‌های دفاعی مانند رنگدانه‌های آنتوسیانین و ترکیبات ثانویه را از خود بروز داد. آلکالوئیدهای کل با افزایش تنش خشکی افزایش یافت و در نتیجه کیفیت اسانس گیاه پروانش در اثر تنش خشکی بیش‌تر شد. مصرف کودهای ریزمغذی به‌صورت نانو باعث افزایش میزان تجمع ماده خشک و ترکیبات ثانویه شد، اگرچه تأثیر منیزیم تا حدودی بیش‌تر از روی بود. همچنین سایر شاخص‌های رشد با کاربرد روی و منیزیم در مقایسه با شاهد از مقادیر بالاتری برخوردار بود. کاربرد منیزیم میزان کلروفیل و شاخص‌های فتوسنتزی را افزایش داد که این افزایش به‌ویژه در شرایط تنش خشکی می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه شود. همچنین کاربرد منیزیم موجب افزایش میزان کلروفیل برگ گردید که نشان‌دهنده اهمیت کاربرد عناصر ریزمغذی در افزایش میزان کلروفیل و بالابردن شاخص‌های فتوسنتز است. مصرف هورمون جیبرلین باعث افزایش وزن تر و خشک شاخساره‌ها در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی بود که در نتیجه به‌عنوان مناسب‌ترین تنظیم‌کننده رشد گیاه (در بین سه هورمون استفاده‌شده) در واکنش به این صفات در این آزمایش توصیه می‌شود که احتمالاً به‌علت افزایش شاخص‌های فتوسنتزی و تثبیت دی‌اکسید کربن باشد.

با توجه به اقلیم خشک و فقر مواد آلی خاک اغلب نقاط کشور عزیزمان، کاربرد نانو کودها به‌صورت محلول‌پاشی و نیز استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، می‌تواند نقش به‌سزایی در افزایش راندمان تولید انواع محصولات کشاورزی، به‌ویژه گیاهان دارویی ایفا نماید. ضمن این‌که با عنایت به اهمیت و ارزش آلکالوئیدهای گیاه دارویی پروانش و پرهزینه‌بودن استخراج آلکالوئیدهای آن باید بیش‌تر به جامعه کشاورزی معرفی گردد.

۷. تشکر و قدرانی

از حمایت‌های اساتید بزرگوار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین (پیشوا) که برای اجرای طرح مذکور یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع، توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- اسماعیلی‌منزه، علی؛ امیدی، حشمت و بستانی، عبدالامیر (۱۳۹۱). تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد، پرولین، رنگدانه‌های فتوسنتزی، آب نسبی برگ چند ژنوتیپ گلرنگ (*Carthamus tinctorius*). پژوهش آب در کشاورزی، ۲۶ (۲)، ۱۸۷-۱۹۶.
- امیدبیگی، رضا (۱۳۸۸). تولید و فرآوری گیاهان دارویی. مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.
- آزرنیا، محسن و عیسوند، حمیدرضا (۱۳۹۲). بررسی اثر هیدرو پرایمینگ و پرایمینگ هورمونی بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود در شرایط دیم و آبی. نشریه تولید گیاهان زراعی، ۶ (۴)، ۱۸-۱.
- باقری زنون، ابراهیم (۱۳۸۲). تاریخ تحولات علوم کشاورزی ایران (از دوره باستان تا عصر حاضر). تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- پازکی، علیرضا؛ قاضی پیرکوهی، محمد؛ شیرانی راد، امیر حسین؛ بیگدلی، محسن و حبیبی، داوود (۱۳۹۰). تغییرات درصد و عملکرد اسانس گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum L.*) تحت تأثیر کاربرد مقادیر نیتروژن، منیزیم و منگنز. نشریه یافته‌های نوین کشاورزی، ۶ (۱۶)، ۵-۱.
- تقوی‌زاده یزدی، محمد احسان؛ خارا، جلیل؛ حسیندخت، محمد رضا؛ صادق‌نیا، حمیدرضا؛ اسماعیلی‌زاده بهابادی، صدیقه؛ امیری، محمد صادق و درودی، مجید (۱۳۹۹). سنجش و ارزیابی ترکیبات فیتوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه *Rheum turkestanicum* Janisch. دانشگاه علوم پزشکی مشهد. مجله مطالعات علوم پزشکی، ۳۱ (۲)، ۸۱-۷۵.
- حسینی‌فرد، مرجان سادات؛ قربانی جاوید، مجید؛ اله دادی، ایرج و سلطانی، الیاس (۱۳۹۷). تأثیر پرایمینگ هورمونی و وزن بنه بر عملکرد گل و خصوصیات بنه‌های دختری زعفران در سال اول. زراعت و فناوری زعفران، ۶ (۱)، ۳-۱۵.
- دوزده امامی، سعید (۱۳۸۲). کاربرد گیاهان دارویی. انتشارات نصح اصفهان.
- زارع‌زاده، عباس؛ خلدبرین، بهمن؛ مرادشاهی، علی؛ باباخانو، پرویز و رجائی، هما (۱۳۷۹). تغییرات مقدار کل آلکالوئیدهای گیاه دارویی عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi*) در واکنش به مقادیر مختلف کود ازته. نشریه پژوهش و سازندگی، ۶ (۱)، ۱۱۲-۶۱.
- زمانی، زهرا؛ نیاکان، مریم و قربانلی، مهلقا (۱۳۹۲). بررسی اثر بوتریسین برون‌زا بر میزان ترکیبات فنلی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و نیترات ردوکتاز دانه رست گیاه بنگ دانه (*Hyoscyomus niger*) تحت شرایط تنش خشکی. مجله فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۸ (۳۱)، ۷۸-۹۰.
- سپهری، بابک (۱۳۹۲). بررسی اثرات بررسی انواع بستر کاشت و دو گونه قارچ میکوریزا بر رشد، عملکرد و محتوای آلکالوئیدهای گیاه دارویی پروانش (*Catharanthus roseus (L.) G. DON*). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. به راهنمایی حمیدرضا دورودیان. تهران: دانشگاه آزاد واحد ورامین (پیشوا)، دانشکده کشاورزی.
- سجادی، ابراهیم و دیدیر، هالارد (۱۳۷۹). مقایسه‌ی اندام‌های مختلف گیاه پروانش از لحاظ تولید آلکالوئیدهای ایندول. انتشارات پژوهش و سازندگی، ۳ (۱۳)، ۳۳-۳۰.
- سدری، محمد حسین؛ کرمی، فرهاد و اوستان، صابر (۱۴۰۰). اثر نیتروژن، روی، بور و منیزیم و زمان محلول‌پاشی بر کیفیت و کمیت انگور دیم (*Rainfed Grapevine M.*). نشریه پژوهش‌های خاک، ۳۵ (۲)، ۱۵۴-۱۳۵.
- عابدی، زهرا؛ نجفی زرنی، حمید؛ عمادی، سید مصطفی و باقری، نادعلی (۱۳۹۸). ارزیابی روابط بین صفات زراعی و فیزیولوژیکی سویا و گروهبندی ژنوتیپ‌های سویا تحت تأثیر کاربرد گوگرد. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی، ۱۱ (۲۹)، ۱۴۲-۱۳۴.

عیسوند، حمید رضا؛ آذرنیا، محسن؛ نظریان فیروزآبادی، فرهاد و شرفی، رضا (۱۳۹۰). بررسی اثر جیبرلین و آبسزیک‌اسید بر سبز شدن و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی بذر و گیاهچه نخود در شرایط دیم و آبی. *مجله علوم گیاهان زراعی ایران*، ۴۲ (۴)، ۷۸۹-۷۹۷.

کلانتر احمدی، سید احمد و شوشی دزفولی، احمد علی (۱۳۹۸). اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد و کیفیت روغن دانه کلزا (*Brassica napus L.*) رقم هایولا ۴۰۱ در شرایط تنش خشکی. *نشریه علوم زراعی ایران*، ۲۱ (۳)، ۲۳۷-۲۵۱.

ملکوتی، محمدجعفر و طهرانی، محمدمهدی (۱۳۷۸). نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات، عناصر خرد با تأثیر کلان. تهران: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

References

- Abdul Jaleel, C., Gopi, R., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., & Panneerselvam, R. (2007). Antioxidant potentials and malic acid accumulation in *Catharanthus roseus* after treatment with gibberellic acid. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 60, 195-200. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.06.009>.
- Jaleel, C. A., Gopi, R., Sankar, B., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sridharan, R., & Panneerselvam, R. (2007). Studies on germination, seedling vigour, lipid peroxidation and proline metabolism in *Catharanthus roseus* seedlings under salt stress. *South African Journal of Botany*, 73(2), 190-195.
- Abedi, Z., Najafi zarrini, H., Emadi, S. M., & Bagheri, N. (2019). Evaluation of Relationship between Agronomical and Physiological Traits of Soybean and Grouping of Soybean Genotypes under Different Amount of Sulfur Application. *Journal of Crop Breeding*, 11, 134-142. (In Persian).
- Afzal, I., Basra, S. H. M., Ahmad, N., Cheema, M. A., Warraich, E. A., & Khaliq, A. (2006). Effect of priming and growth regulator treatments on emergence and seedling growth of hybrid maize. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4(2), 303-306.
- Aghdam, A. M., Sayfzadeh, S., Rad, A. S., Valadabadi, S. A., & Zakerin, H. R. (2019). The assessment of water stress and delay cropping on quantitative and qualitative traits of rapeseed genotypes. *Industrial Crops and Products*, 131, 160-165.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
- Ashraf, M., Karim, F., & Rasul, E. (2002). Interactive effects of gibberellic acid (GA₃) and salt stress on growth, ion accumulation and photosynthetic capacity of two spring wheat (*Triticum aestivum L.*) cultivars differing in salt tolerance. *Plant Growth Regulator*, 36(1), 49-59.
- Azarnia, M., & Eisvand, H. R. (2013) (a). Effects of Hydro and Hormonal Priming on Yield and Yield Components of Chickpea in irrigated and rain-fed conditions. *Crop Production Journal*, 6(4), 1-18. (In Persian).
- Azhar, N., Hussain, B., Ashraf, M. Y., & Abbasi, K. Y. (2011). Water stress mediated changes in growth, physiology and secondary metabolites of desi ajwain (*Trachyspermum ammi L.*). *Pakistan Journal of Botany*, 43(9), 15-19.
- Bagheri zanzvaz, E. (2003). *The history of developments agricultural sciences history Iran (from antiquity until now)*. Tehran: university of Tehran publications. (In Persian).
- Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannes, W. A., Kchouk, M. E., & Marzouk, B. (2009). Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. *Scientia Horticulturae*, 120(2), 271-275.
- Boyer, J. S. (1996). Advances in drought tolerance in plants. *Advances in Biotechnology Advances*, 56, 187- 218.
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302, 1-17.
- Camberato, J. J. (2004). Foliar application on sugar beet. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12, 120-126.
- Chahal, A.S., Madgulkar, A.R., Kshirsagar, S.J., Bhalekar, M.R., Dikpati, A., & Gawli, P. (2012). Amorphous nanoparticles for solubility enhancement. *Journal of Advanced Pharmaceutical Science*, 2, 167-178.
- Davazdah Emami, S. (2002). *Medicinal plants application*. Esfahan: Esfahan nasouh publications. (In Persian).
- Demir Kaya, M., Okçu, G., Atak, M., Çikili, Y., & Kolsarici, O. (2006). Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus L.*). *European Journal of Agronomy*, 24, 291-295.

- Eisvand, H. R., Azarnia, M., Nazarian Firozabadi, F., & Sharafi, R. (2011a). Effect of Priming by gibberlin and abcsisic acid on emergence and some seedling physiological characters of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dry and irrigated conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(4), 789-797. (In Persian).
- EL Sabagh., A., Sorour, S., Omar, A. E., Islam, M. S., Ueda, A., Saneoka, H., & Barutçular, C. (2015, September). *Soybean (Glycine Max L.) growth enhancement under Water Stress Conditions*. International Conference on Chemical, Agricultural and Biological Sciences (CABS-2015). Istanbul, Turkey. doi.org/10.17758/ERPUB.ER915116.
- Esmaeili monazah, A., Omidi, H., & Bostani, A. (2012). The effect of drought stress on yield and yield components, proline, photosynthetic pigmens and RWC of (*Carthamus tinctorius*) of genotypes. *Research of Water in Agriculture*, 26(2), 187-196. (In Persian).
- Ezz, E., Aziz, E. E., Hendawy, S. F., & Omer, E. A. (2009). Response of *Thymus vulgaris* L. to salt stress and alar (B9) in newly reclaimed soil. *Journal of Applied Sciences Research*, 5(12), 2165-2170.
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Rehman, H., & Saleem, B. A. (2008). Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving chilling. *Journal of Agronomy Crop Science*, 194, 55-60.
- Ghorbani, P., Eshghi, S., Ershadi, A., Shekafandeh, A., & Razzaghi, F. (2019). The Possible Role of Foliar Application of Manganese Sulfate on Mitigating Adverse Effects of Water Stress in Grapevine. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(13), 1550-1562.
- Harris, D. B. S. R., aghuwanshi, G. S., Gangwar, S. C., Singh, K. D., Joshi, A., Rashid, H., & Hollington, P. A. (2001). Participatory evaluation by farmers of on farm seed priming in wheat in India Nepal and Pakistan. *Experimental Agriculture*, 37,403-415.
- Heywood, V. H. d. (1993). *Flowering plants of the world*. New York: Oxford University press.
- Hoseinifard, M. S., Ghorbani Javid, M., Allahdadi, I., & Soltani, E. (2018). The Effect of hormone priming and corm weight on the yield of flowers and characteristics of daughter corms of saffron in the first year. *Saffron Agronomy and Technology*, 6(1), 3-15. doi: 10.22048/jsat.2017.62317.1196. (In Persian).
- Hosseinifard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, L., & Garnczarska, M. (2022). Contribution of Exogenous Proline to Abiotic Stresses Tolerance in Plants: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 5186. https://doi.org/10.3390/ijms23095186.
- Javid, M. G., Hoseinifard, M. S., Allahdadi, I., & Soltani, E. (2022). Hormonal priming with BAP and GA3 induces improving yield and quality of saffron flower through promotion of carbohydrate accumulation in corm. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 205-215. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10286-y.
- Kalantar ahmadi, S. A., & Dezfouli, A. A. (2019). Effects of foliar application of micronutrients on seed yield and oil quality of canola (*Brassica napus* L. cv. Hyola401) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(3), 237-253. (In Persian).
- Kazemzadeh Haghghi, A., Sobhanian, H., Bakhshi Khaniki, G. R., & Ebrahimi, M. A. (2021). Evaluation of the hormonal treatments effect on biosynthesis of *Catharanthus roseus* (L) G. Don. indol alkaloids in tissue culture, suspension culture and field culture. *Journal of Developmental Biology*, 13(1), 1-13.
- Lata, B. (2007) Cultivation, mineral nutrition and seed production of (*Catharanthus roseus* L. G. Don) in the temperate climate zone. *Phytochemistry Reviews*, 6, 403-410.
- Lewis, D. C., & Macfalane, J. D. (1986). Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) and the diagnosis of manganese deficiency by plant tissue and seed analysis. *Australian Journal of Agricultural Research*, 37, 567-572.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
- Madah, S., Falahyan, F., Sabakhporand, F., & Andchalpyan, H. (2006). Effect of salicylic acid on yield and yield components and instruction of chickpea plant. *Journal of Plant Science*, 62(1), 61-70.
- Malakoti, M., & Tehrani, M. (2000). *The Role of Micronutrients on Yield and Qualify Increasing of Crops*. Tehran: Publications of Tarbiat Modarres University. (In Persian).
- Murungu, F. S., Nyamugafata, P., Chiduza, C., Clark, L. J., & Whalley, W. R. (2003). Effects of seed priming aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.). *Soil and Tillage Research*, 74, 161-168.

- Obaid, E. A., & Al-Hadethi M. A. E. (2013). Effect of Foliar Application with Manganese and Zinc on Pomegranate Growth, Yield and Fruit Quality. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 5(1), 41-45.
- Omidbeigi, R. (2009). Production and processing of herbs. Mashhad: Qods Razavi Press. (In Persian).
- Pazoki, A. R., Ghazi pirkouki, M., Shirani rad, A. H., Bigdeli, M., & Habibi, D. (2011). Essential Oil Percent and Essential Oil Yield of Basil (*Ocimum Basilicum* L.) Changes Affected by Nitrogen, Magnesium And Manganese Amounts. *New findings in Agriculture*, 16(6), 1-5. (In Persian).
- Rasouli-Sadaghiani, M. H., Hassani, A., Barin, M., Rezaee Danesh, Y., & Sefidkon, F. (2010). Effects of AM fungi on growth, essential oil production and nutrients uptake in basil. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(21), 2222-2228.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189-1202.
- Sajjadi, A., & Didier, H. (2000). Comparison of various plant organs of periwinkle in terms of producing indole alkaloids. Tehran: *Research and Construction Publication*. (In Persian).
- Schieffelbein, J. W. (2003). Cell-fate specification in the epidermis: A common patterning mechanism in the root and shoot. *Current Opinion in Plant Biology*, 6, 74-78.
- Sedri, H., Karami, F., & Avestan, S. (2021). Effect of Nitrogen, Zinc, Boron, and Magnesium and Time of Foliar Application on Quality and Quantity of Rainfed Grapevine M. *Journal of Soil Research*, 35(2), 135-154. (In Persian).
- Sepehri, B., Doroodian, H. R., Nemati, N., & Zarghami, R. (2013). Effects of mycorrhiza type and seedbed soil on total alkaloids, vinblastine and vincristine of periwinkle (*Catharanthus roseus*). *International Journal of AgriScience*, 3(6), 2228-6322.
- Sepehri, B., Doroodian, H. R., & Nemati, N. (2012). The effects of types of seedbed soils and two types of mycorrhiza on growth, yield and content of alkaloids of periwinkle (*Catharanthus roseus* (L.) G. DON). Master thesis. Tehran: Varamin Azad University (Pishva), Faculty of Agriculture. (In Persian).
- Shaul, O. (2002). Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *BioMetals*, 15, 309-323.
- Singh-Sangwan, N., Farooqi, A. H. A., Shabih, F., & Sangwan, R. S. (2001). Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, 34, 3-21.
- Swiader, J. M. (2000). Micronutrient fertilizer recommendation for vegetable crop. *Horticulture Facts*. Urbana: University of Illinois Press.
- Taghavizadeh Yazdi, M. E., Khara, J., Husaindokht, M. R., Sadeghnia, H., Esmaeilzadeh Bahabadi, S., Amiri, M. S., & Darrudi, M. (2020). Assessment of Phitochemical components and antioxidants activity of *Rheum turkestanicum* Janisch. *Studies in Medical Sciences*, 31(2), 75-81. (In Persian).
- Toopchi Khosroshahi, J., Salehi Lisar, S. Y., Ghasemi Golazani, K., & Motefakker Azad, R. (2019). The effect of polyamines on the antioxidant responses of the plant (*Tinctorius Carthamus*) under drought stress conditions. *Journal of Plant Production Research*, 26(2), 157-171.
- Vitosh, M. L., Warncke, D. D., & Lucase, R. E. (1994). *Zinc determines of crop and soil science*. Michigan: Michigan state university Extension.
- Wagner, G. J. (1979). Content and vacuol/extra vacuole distribution of neutral sugar, free amino acid and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology*, 64, 88-93.
- Zamani, Z., Niakan, M., & Gorbanly, M. (2013). Effect of exogenous putrescine in phenolic composition, antioxidant enzymes and nitrate reductase of *Hyosyamus niger* under drought stress. *Journal of Iran, Plant Ecophysiology. Research*, 3, 78-90. (In Persian).
- Zarezadeh, A., Khaldbirin, B., Moradshahy, A., Babakhanlou, P., & Rajai, H. (2000). Changes in the total amount of alkaloids in medicinal plant of (*Physalis alkekengi*) in response to different amounts of nitrogen fertilizer. *Journal of Agricultural Science*, 37, 54-59. (In Persian).