نهمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین‌المللی فیزیولوژی گیاهی
9th National and 1st International Conference of Plant Physiology
۲۷–۲۹ بهمن ۱۴۰۴، دانشگاه گیلان
ISC

بررسی اثر تیوباسیلوس در سطوح مختلف گوگرد و کود دامی بر پاسخ‌های فیزیولوژیک کینوا (*Chenopodium quinoa*) در خاک‌های قلیایی

الهام اله بخش [۱]، علیرضا سیروس‌مهر*[۲]، عیسی خمری[۲]، ابراهیم شیرمحمدی[۳]، توحید باقرپور[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل / ۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل / ۳- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل/ ۴- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

*- نویسنده مسئول: Email: asirousmehr@uoz.ac.ir

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی نقش اکسایش زیستی گوگرد توسط میکروارگانیسم‌های هتروتروف خاک در بهبود بر پاسخ‌های فیزیولوژیک کینوا اجرا شد. آزمایش مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل اسپیلت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در پژوهشگاه زابل، در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. عامل اصلی، گوگرد در چهار سطح (۰، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار)، کود دامی در سطح عدم کاربرد و کاربرد (۲۰ تن در هکتار) و باکتری تیوباسیلیوس عامل فرعی نیز در سه سطح، عدم کاربرد، کاربرد کود بیولوژیک ترکیب سویه‌های T40, T95و کاربرد کود بیولوژیک تیوباسیلوس از جنس *Thiobacillus* SP بود. بیشترین مقدار کلروفیل‌کل (۱/۱۲۸میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، پروتئین برگ (۱۳/۰۷ درصد)، و عملکرد دانه (۱۳۰۴/۱کیلوگرم در هکتار) از تیمار کاربرد ۹۰۰کیلوگرم گوگرد در کود دامی و کود بیولوژیک بدست آمد. در عین حال به موازات کاهش مقدار گوگرد و عدم استفاده از تیمار کود دامی، مقادیر پرولین (۰/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) و ساپونین (۵/۹۰ درصد) برخلاف ویژگی‌های ذکر شده افزایش یافت. بنابراین کاربرد کودهای زیستی و آلی به‌جای کودهای شیمیایی، با بهبود کیفیت خاک و فعالیت میکروبی، بهره‌برداری از اراضی قلیایی را امکان‌پذیر کرده و در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و توسعه کشاورزی پایدار نقش کلیدی دارد.

مقدمه

ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک و میانگین بارندگی کم (حدود ۲۵۰ میلی‌متر) و تبخیروتعرق بالا مواجه است که منجر به تجمع املاح و قلیایی شدن خاک‌ها می‌گردد. این شرایط، حلالیت و جذب عناصر غذایی ضروری را محدود کرده و عملکرد و کیفیت محصولات را کاهش می‌دهد (سپاسی و همکاران، ۲۰۲۳). یکی از راهکارهای اصلاح این خاک‌ها، استفاده از گوگرد عنصری است که با اکسید شدن و تولید اسید سولفوریک، pH خاک را کاهش داده و قابلیت جذب عناصری مانند آهن و روی را افزایش می‌دهد. با این حال، اکسیداسیون گوگرد فرآیندی وابسته به فعالیت باکتری‌های شیمیولیتوتروف (مانند تیوباسیلوس) است. کاربرد مواد آلی (کود دامی) نیز می‌تواند با بهبود فعالیت میکروبی و کاهش موضعی pH، کارایی این سیستم را افزایش دهد. در چنین سیستم‌های اصلاح‌شده، انتخاب گیاه مناسب ضروری است. کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) به دلیل مقاومت به خشکی، شوری و قلیاییت، گزینه‌ای ایده‌آل برای کشت در این شرایط به‌شمار می‌رود.
با وجود مطالعات پراکنده، شکاف پژوهشی آشکاری در مورد اثر سینرژیستیک (هم‌افزایی) کاربرد توأم گوگرد، باکتری تیوباسیلوس و کود دامی بر شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد کینوا در خاک‌های قلیایی ایران وجود دارد. بنابراین، هدف این پژوهش ارزیابی اثر کاربرد تلفیقی این سه نهاده بر شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد کینوا در شرایط مزرعه‌ای خاک قلیایی زابل است.

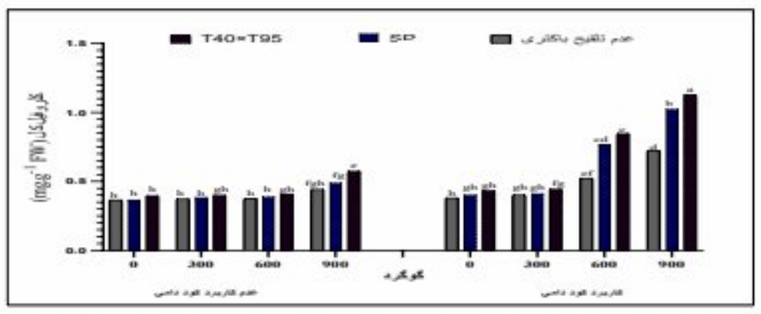
مواد و روش‌ها

این پژوهش در پژوهشگاه زابل واقع در زهک اجرا شد، این شهرستان در ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا و درموقعیت جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه پهنای شمالی قرار دارد. میانگین رطوبت نسبی هوا ۳۸ درصد، و تبخیر و تعرق بالقوه ۴۱۹۶ میلی‌متر محاسبه شده است (اقتباس از سایت سازمان هواشناسی کشور). آزمایش به صورت فاکتوریل اسپیلت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. عامل اصلی شامل مقادیر مختلف کود گوگرد در چهار سطح (۰، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار)، کود دامی در سطح عدم کاربرد و کاربرد (۲۰ تن در هکتار کود دامی) و باکتری تیوباسیلیوس نیز در سه سطح، عدم استفاده از تیوباسیلوس، کاربرد کود بیولوژیک حاوی مایع تلقیح باکتری تیوباسیلوس از ترکیب سویه‌های Thiobacillus Strain T40, T95 و کاربرد کود بیولوژیک حاوی مایع تلقیح باکتری تیوباسیلوس از جنس Thiobacillus SP عامل فرعی بود. کشت بذور مورد استفاده (رقم تیتیکاکا) به صورت ردیفی انجام و هر کرت آزمایشی با ابعاد ۲×۳ متر و دارای ۵ ردیف کشت بود. اندازه گیری مقدار کلروفیل کل، به روش آرنون (۱۹۶۷)، اندازه‌گیری پروتئین برگ به روش کجدال (Bremner and Mulvaney., 1965)، میزان ساپونین به روش کوزیل (Koziol., 1991) و سنجش غلظت پرولین در برگ با استفاده از روش بتس، (۱۹۷۳) انجام شد. جهت محاسبه عملکرد دانه، با رعایت اثر حاشیه‌ای دانه‌ها با ترازوی دقیق آزمایشگاهی توزین شدند. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار Mstatc نسخه ۲/۱، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شدند. شکل‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار GraphPad Prism ترسیم شد.

نتایج و بحث

کلروفیل کل

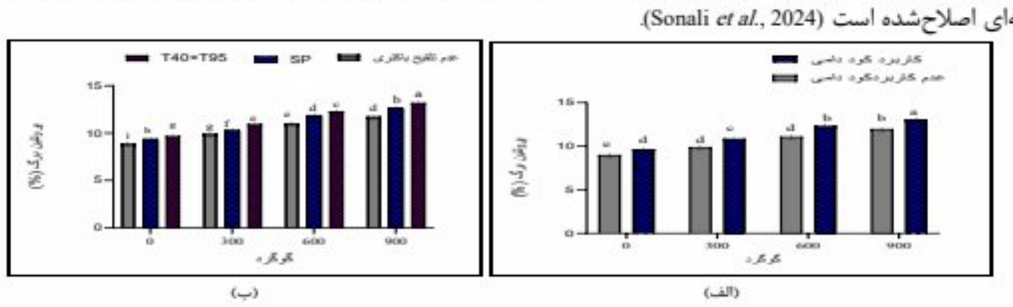
مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین غلظت کلروفیل کل (۱/۱۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) از تیمار ترکیبی ۹۰۰ کیلوگرم گوگرد، کود دامی و تیوباسیلوس (T40+T95) حاصل شد که افزایش نسبت به تیمار شاهد (۰.۳۶۵ میلی‌گرم بر گرم) را نشان داد (شکل۱). این بهبود کمّی چشمگیر، مؤید اثر هم‌افزایی این نهاده‌هاست که از طریق اصلاح pH خاک، افزایش جذب ریزمغذی‌ها و تأمین بهتر عناصر غذایی، سنتز کلروفیل را ارتقا داد. بنابراین، موفقیت تیمار ترکیبی در غلبه بر این محدودیت‌ها و بهبود معنی‌دار کلروفیل، بر کارایی راهکار مدیریت تلفیقی تأکید می‌کند (Taaime *et al.*, 2023).



شکل(۱) مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌جانبه گوگرد، کود دامی و باکتری (CDE)، بر مقدار کلروفیل کل در برگ کینوا

پروتئین برگ

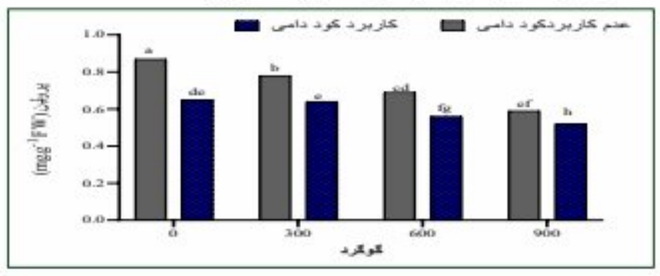
بیشترین میزان پروتئین برگ کینوا (۱۳/۰۷٪) با کاربرد تلفیقی ۹۰۰ کیلوگرم گوگرد، کود دامی و بیولوژیک به‌دست آمد که نسبت به شاهد (۸/۹۱٪) افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل۲). این بهبود قابل‌توجه را می‌توان به اثر هم‌افزایی این عوامل نسبت داد که عمدتاً از دو مسیر، ۱) بهبود جذب نیتروژن از طریق اسیدی‌سازی خاک توسط گوگرد و تیوباسیلوس و آزادسازی تدریجی نیتروژن از کود دامی و ۲) تأمین مستقیم گوگرد به عنوان عنصر ساختمانی اسیدهای آمینه گوگرددار عمل کرده است. بنابراین، افزایش پروتئین برگ احتمالاً پیامد همزمان بهبود تغذیه نیتروژنی و تأمین گوگرد در محیط ریشه‌ای اصلاح‌شده است (Sonali *et al.*, 2024).



شکل(۲) مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد در کود دامی (الف) و گوگرد در باکتری (ب)، بر درصد پروتئین در برگ کینوا

پرولین در برگ

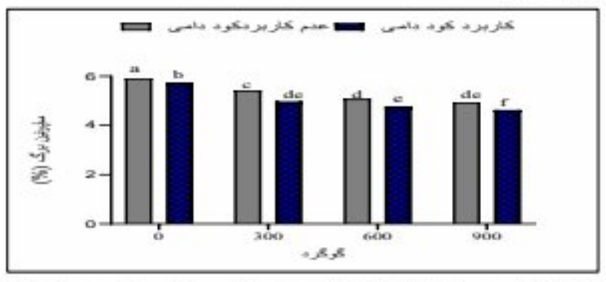
نتایج مقایسه میانگین بر غلظت پرولین در برگ کینوا نشان داد که، غلظت پرولین برگ با افزایش مصرف گوگرد و کود دامی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد (۰/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) و کمترین مقدار در تیمار ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد همراه با کود دامی (۰/۵۹ میلی‌گرم برگرم وزن‌تر) مشاهده شد (شکل۳). کاهش در تجمع پرولین، نشان‌دهنده تخفیف موفقیت‌آمیز تنش‌های محیطی توسط تیمارهای اصلاحی است. بنابراین کاهش پرولین بازتابی از بهبود سلامت گیاه و کاهش تنش در نتیجه مدیریت تلفیقی خاک است.



شکل(۳) مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد درکود دامی بر مقدار پرولین در برگ کینوا

ساپونین

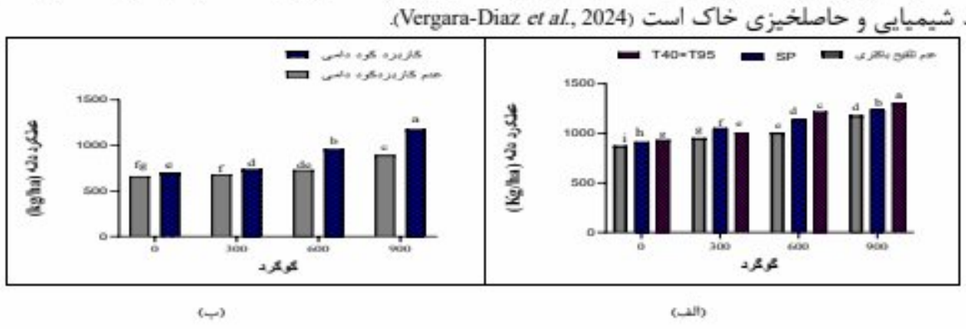
نتایج نشان داد تیمار ترکیبی گوگرد، کود دامی و تیوباسیلوس به‌طور معنی‌داری غلظت ساپونین (عامل ضدتغذیه‌ای) در برگ کینوا را کاهش داد. بیشترین مقدار (۵/۹۰٪) در شاهد و کمترین (۴/۶۰٪) در تیمار ۹۰۰ کیلوگرم گوگرد با کود دامی مشاهده شد(شکل۴). از آنجا که ساپونین یک متابولیت دفاعی در پاسخ به تنش است، کاهش آن مستقیماً حاکی از کاهش تنش محیطی در اثر اصلاح خاک است. این بهبود احتمالاً از طریق بهبود تغذیه‌ای و کاهش نیاز گیاه به سازوکارهای دفاعی پرهزینه حاصل شده است. بنابراین، مدیریت تلفیقی یادشده نه‌تنها عملکرد، بلکه کیفیت خوراکی علوفه را با کاهش مواد ضدتغذیه‌ای بهبود می‌بخشد (Camacho *et al.*, 2020).



شکل(۴) مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد درکود دامی بر مقدار ساپونین در برگ کینوا

عملکرد دانه

بررسی نتایج نشان داد اثر متقابل گوگرد و کود دامی بر عملکرد دانه کینوا معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد (۱۳۰۴/۱ کیلوگرم در هکتار) از تیمار ترکیبی کاربرد ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و تیوباسیلوس از ترکیب سویه‌های T40×T95 و کمترین مقدار آن (۶۶۱/۲ کیلوگرم در هکتار) از تیمار عدم کاربرد گوگرد و باکتری (شاهد) حاصل شد (شکل۵). این بهبود چشمگیر ناشی از اثر هم‌افزایی این دو نهاده است که از طریق بهبود فتوسنتز (با افزایش کلروفیل) و تأخیر در پیری برگ، دوره پر شدن دانه را طولانی‌تر و انتقال مواد به دانه را افزایش داد. بنابراین، دستیابی به حداکثر عملکرد مستلزم اصلاح هم‌زمان شرایط شیمیایی و حاصلخیزی خاک است (Vergara-Diaz *et al.*, 2024).



شکل(۵) مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد در کود دامی (الف) و گوگرد در باکتری (ب)، بر عملکرد دانه کینوا

منابع

Taaime, A., El-Mourid, M., and Benlhabib, O. (2023). Optimization of macronutrients for improved grain yield of quinoa in semi-arid regions. *Frontiers in Plant Science*, 14: 114-128. doi:10.3389/fpls.2023.1146658

Camacho, D., Frazao, R., Fouillen, A., Nanci, A., Lang, B.F., Apte, S.C., Baron, C., and Warren, L.A. (2020). New insights into *Acidithiobacillus thiooxidans* sulfur metabolism through coupled gene expression, solution chemistry, microscopy, and spectroscopy analyses. *Frontiers in Microbiology*, 11: 411-423. doi:10.3389/fmicb.2020.00411

Sonali, Grewal, S.K., Gill, R.K., and Chandora, R. (2024). Exploring the role of carbon and nitrogen metabolism in *Chenopodium quinoa* (Willd.) from the commencement of grain growth until maturity. *Plant Growth Regulation*, 103: 177–191.

Vergara-Diaz, O., Velasco-Serrano, E., Invernon-Garrido, A., Katamadze, A., Yoldi-Achalandabaso, A., Serret, M.D., and Vicente, R. (2024). Quinoa panicles contribute to carbon assimilation and are more tolerant to salt stress than leaves. *Journal of Plant Physiology*, 292: 76-83.