



Effect of foliar application of bacteria and vitamins on growth and yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Elnaz Farajzadeh Memari Tabrizi¹

Corresponding Author, Department of Agronomy, Male.C, Islamic Azad University, Malekan, Iran.

E-mail: farajzadeh_e@malekaniau.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 23 December 2024

Received in revised form

27 October 2025

Accepted 24 December 2025

Published online 5 January 2026

Keywords:

Bacillus subtilis

Grain

New crops

Physiology

Pseudomonas fluorescens

ABSTRACT

Objective: The objective of the present study was to evaluate whether foliar application of plant-growth-promoting bacteria and vitamins can enhance growth, physiology, and yield of quinoa while reducing chemical inputs.

Methods: A field experiment (2023–2024) was conducted in a split-plot arrangement within a randomized complete-block design with three replications. Factor A (bacteria strains) included: no bacteria, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, and a combination of both strains. Factor B (vitamin concentrations) included 2, 4, and 6 g/L. Foliar sprays were applied twice during the growing season at two-week intervals, during the cooler evening hours (establishment and two weeks later). Measured traits included plant height, leaf area index (LAI), chlorophyll index, seed yield per plant, levels of cytokinin, auxin, gibberellin, seed protein, leaf soluble carbohydrate content, and total antioxidant capacity.

Results: ANOVA revealed significant effects of foliar bacteria and vitamin treatments on several traits, including plant height, LAI, phytohormone contents (auxin, cytokinin, gibberellin), chlorophyll index, and grain yield. The tallest plants reached about 110 cm with *Bacillus subtilis*, representing a 12.2% increase over the control. Vitamin applications, particularly at 150 mg/L, increased plant height by approximately 6.8% and improved LAI. Foliar treatments also elevated leaf auxin and cytokinin concentrations, with the highest auxin observed under *Bacillus subtilis* plus 150 mg/L vitamins (~81% increase). Combined bacterial and vitamin treatments generally outperformed single applications for chlorophyll synthesis and grain yield. Grain yield increased by about 23.15% with the *Bacillus subtilis*+ 150 mg/L vitamin treatment. Grain protein content was highest with *Bacillus subtilis* in year one.

Conclusion: Foliar application of growth-promoting bacteria (*B. subtilis* and *P. fluorescens*) in combination with vitamins beneficially affected quinoa growth, physiology, and yield, with the combination often outperforming individual treatments. The *Bacillus subtilis* and 150 mg/L vitamin regime most consistently enhanced plant height, LAI, hormone balance, chlorophyll content, grain yield, and grain protein. These results suggest that integrating bacterial and vitamin foliar sprays can reduce reliance on chemical inputs while improving quinoa productivity under field conditions.

Cite this article: Farajzadeh Memari Tabrizi, E. (2026). Effect of foliar application of bacteria and vitamins on growth and yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Journal of Crops Improvement*, 27 (4), 611-628.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.387508.2912>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.387508.2912>

Publisher: University of Tehran Press.



مطالعه تأثیر محلول پاشی برخی باکتری‌ها و ویتامین‌ها بر رشد و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa*)

الناز فرج‌زاده معماری تبریزی ✉

نویسنده مسئول، گروه زراعت، واحد ملکان، دانشگاه آزاد اسلامی، ملکان، ایران. رایانامه: farajzadeh_e@malekaniut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: با توجه به اهمیت کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، مطالعه حاضر به بررسی اثرات محلول پاشی باکتری‌ها و ویتامین‌ها بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد کینوا پرداخته است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳	روش پژوهش: تیمارها شامل سویه‌های مختلف باکتری‌ها (عدم کاربرد باکتری‌ها، کاربرد <i>Pseudomonas fluorescens</i> ، کاربرد <i>Bacillus subtilis</i> و کاربرد هر دو سویه باکتریایی) و غلظت‌های ویتامین‌های گروه ب (۲، ۴ و ۶ گرم در لیتر) بود. محلول‌های باکتریایی و ویتامینه به صورت محلول پاشی 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.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۰۵	محلول پاشی در ساعات خنک عصر انجام شد. این آزمایش در دو سال ۱۴۰۲-۱۴۰۴ به صورت اسپلیت پلات با طرح بلوک کامل تصادفی (RCBD) با سه تکرار و به صورت مزرعه‌ای انجام شد. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه در بوته، سیتو کینین، اکسین، جیبرلین، پروتئین دانه، محتوای کربوهیدرات‌های محلول برگ و کل محتوای آنتی اکسیدانی بود.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۳	یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته‌ها، شاخص سطح برگ، محتوای هورمون‌های گیاهی (اکسین، سیتو کینین و جیبرلین)، محتوای کلروفیل، و عملکرد دانه تحت تأثیر اثرات معنی دار محلول پاشی باکتری‌ها و ویتامین‌ها قرار گرفت. بیشترین افزایش در ارتفاع بوته‌ها (۱۱۰ سانتی‌متر) مربوط به تیمار <i>B. subtilis</i> بود که ۱۲/۲ درصد بیش‌تر از شاهد افزایش نشان داد. همچنین، محلول پاشی با ویتامین‌ها به ویژه در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش ۶/۸ درصد در ارتفاع بوته‌ها و بهبود شاخص سطح برگ گردید.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵	تیمارهای مختلف باعث افزایش معنی دار غلظت هورمون‌های گیاهی اکسین و سیتو کینین در برگ‌ها شدند. بیشترین غلظت اکسین در تیمار <i>B. subtilis</i> همراه با ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین مشاهده شد که ۸۱ درصد افزایش داشت. همچنین، ترکیبی از تیمارهای باکتریایی و ویتامین‌ها افزایش بیش‌تری نسبت به کاربرد جداگانه هر یک از آن‌ها داشت. در نهایت، عملکرد دانه کینوا به طور قابل توجهی تحت تأثیر ترکیب تیمارهای <i>B. subtilis</i> و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین قرار گرفت و افزایش ۲۲/۱۵ درصد نسبت به شاهد نشان داد. به علاوه، محلول پاشی با باکتری‌ها و ویتامین‌ها باعث افزایش محتوای پروتئین دانه‌ها نیز شد، به طوری که بیشترین میزان پروتئین دانه متعلق به تیمار <i>B. subtilis</i> در سال اول بود.
	نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب محلول پاشی باکتری‌ها و ویتامین‌ها می‌تواند به طور مؤثری ویژگی‌های رشدی و کیفیت محصول کینوا را بهبود بخشد که ممکن است ناشی از تأثیرات هم‌افزایی این دو عامل بر تولید هورمون‌های گیاهی و فرآیندهای فتوسنتزی باشد.
کلیدواژه‌ها: باسیلوس سوبتیلیس پسیدوموناس فلوروسنس دانه گیاهان زراعی جدید فیزیولوژی	

استناد: فرج‌زاده معماری تبریزی، الناز (۱۴۰۴). مطالعه تأثیر محلول پاشی برخی باکتری‌ها و ویتامین‌ها بر رشد و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa*).به زراعی کشاورزی، ۲۷ (۴)، ۶۱۱-۶۲۸. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.387508.2912>

۱. مقدمه

کینوا^۱ گیاهی بومی منطقه در آمریکای جنوبی است که در دهه های اخیر به عنوان نوعی گیاه زراعی با ارزش در سطح جهانی شناخته شده است. این گیاه در شرایط آب و هوایی مختلف به ویژه در مناطق خشک و سرد رشد می کند و توانایی مقاومت در برابر تنش های محیطی مانند خشکی، شوری و دماهای زیاد را دارد. این ویژگی ها باعث شده اند که کینوا به عنوان یک محصول مقاوم و مناسب برای کشاورزی در مناطق با شرایط محیطی سخت در نظر گرفته شود (مینه^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). کینوا به دلیل ارزش غذایی بالا، به ویژه ترکیب پروتئینی آن در دانه، توجه زیادی را در دنیا به خود جلب کرده است. دانه های کینوا حاوی تمام اسیدهای آمینه ضروری هستند که آن را به یک منبع پروتئینی کامل تبدیل می کنند و به همین دلیل برای گیاه خواران و کسانی که به دنبال منابع پروتئینی سالم هستند، بسیار ارزشمند است (گارسیا-پارا^۳، ۲۰۲۰). کینوا همچنین غنی از مواد مغذی دیگر از جمله ویتامین ها، مواد معدنی و فیبر است. دانه های این گیاه حاوی مقدار زیادی آهن، کلسیم، منیزیم و فسفر هستند که برای سلامت انسان و گیاهان ضروری می باشند. به طور کلی، کینوا به عنوان نوعی غذای سالم و مغذی با قابلیت های متعدد در صنایع غذایی و کشاورزی شناخته می شود و توجه خاصی به آن در برنامه های غذایی جهانی شده است (زولکادیر^۴، ۲۰۲۱). پتانسیل های کینوا در کشاورزی به دلیل ویژگی های زیستی و محیطی آن برجسته است. این گیاه قادر است در خاک های فقیر و مناطق با شرایط دشوار به خوبی رشد کند. همچنین، کینوا به عنوان نوعی گیاه مقاوم به خشکی شناخته شده است و به همین دلیل می تواند در مناطقی که با کمبود آب روبه رو هستند، کشت شود. در نتیجه، این گیاه می تواند نقش مهمی در مقابله با چالش های کشاورزی مرتبط با تغییرات اقلیمی و بحران های آب ایفا کند. به علاوه، تولید کینوا به دلیل رشد در شرایط سخت، به عنوان یک گزینه مناسب برای تأمین امنیت غذایی در مناطق آسیب پذیر از تغییرات اقلیمی مطرح شده است (پاتان^۵ و همکاران، ۲۰۲۳).

محلول پاشی باکتری ها و فرآورده های آن ها بر روی برگ ها از روش های نوین در کشاورزی است که می تواند به بهبود رشد و عملکرد گیاهان کمک کند و در کنترل بیماری ها و آفات، بهبود جذب مواد مغذی و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش های محیطی مؤثر باشد (کورداتزاک^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). باکتری های مورد استفاده برای محلول پاشی بر روی برگ ها معمولاً از نوع باکتری های مفید و همزیست با گیاهان هستند که به طرق مختلف به گیاهان کمک می کنند. محلول پاشی باکتری ها بر روی برگ ها با استفاده از مکانیسم های مختلفی می تواند به گیاه کمک کند. باکتری ها می توانند هورمون های گیاهی مانند اکسین ها، سیتوکینین ها و جیبرلین ها تولید کنند. این هورمون ها در فرآیندهایی مانند تقسیم سلولی، توسعه ریشه ها و افزایش سطح فتوسنتز تأثیر دارند و می توانند رشد گیاه را تسریع کنند. باکتری ها می توانند به گیاه کمک کنند تا در برابر تنش های محیطی مانند خشکی، سرما و شوری مقاوم تر شود. برخی باکتری ها با تولید ترکیباتی مانند سالیسیلیک اسید یا پروتئین های مقاومتی می توانند پاسخ های دفاعی گیاه را تقویت کنند و از آسیب های ناشی از تنش ها جلوگیری کنند (افتیمیادو^۷ و همکاران، ۲۰۲۲). محلول پاشی ویتامین ها یکی از روش های مؤثر در کشاورزی است که می تواند به بهبود رشد و عملکرد گیاهان کمک کند. ویتامین ها به عنوان ترکیبات ضروری در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان نقش دارند و در بهبود سلامت گیاهان و افزایش بهره وری محصول

1. *Chenopodium quinoa*

2. Minh

3. Garcia-Parra

4. Zulkadir

5. Pathan

6. Kordatzaki

7. Efthimiadou

مؤثرند. ویتامین‌هایی همچون ویتامین A، C، E و B₁ به‌ویژه به تقویت رشد گیاهان، افزایش عملکرد و مقاومت در برابر بیماری‌ها و تنش‌های محیطی کمک می‌کنند (بوبکری^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). ویتامین A به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی به گیاهان کمک می‌کند تا از آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد جلوگیری کنند و همچنین فرآیند فتوسنتز را بهبود می‌بخشد. ویتامین C نیز با خصوصیات آنتی‌اکسیدانی خود در کاهش تنش اکسیداتیو مؤثر است و به افزایش رشد و عملکرد گیاهان کمک می‌کند. ویتامین E با محافظت از غشای سلولی و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی مانند گرما و خشکی به بهبود سلامت گیاه کمک می‌کند. از جمله ویتامین‌هایی که به‌تازگی موردتوجه قرار گرفته، ویتامین‌های گروه B می‌باشند که علاوه بر نقش تنش‌زدایی و افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌ها، می‌توانند با ورود به گیاه در پیشگیری از کمبود ویتامین‌ها و افزایش کیفیت مواد غذایی مورد استفاده انسان، مؤثر باشند. ویتامین‌های گروه B محلول در آب هستند که شامل تیامین (ب۱)، ریبوفلاوین (ب۲)، نیاسین (ب۳)، اسید پانتوتنیک (ب۵)، پیریدوکسین (ب۶)، بیوتین (ب۷)، اسید فولیک (ب۹) و کوبالامین (ب۱۲) می‌باشند (یونیس^۲ و همکاران، ۲۰۲۰).

از دیگر مکانیسم‌های اثر ویتامین‌ها می‌توان به تقویت سیستم ایمنی گیاه اشاره کرد. این ویتامین‌ها می‌توانند تولید ترکیبات دفاعی گیاه را تحریک کنند و از گیاه در برابر حملات پاتوژن‌ها و آفات محافظت کنند. همچنین محلول‌پاشی ویتامین‌ها می‌تواند به افزایش جذب مواد مغذی و بهبود فعالیت آنزیم‌های گیاهی کمک کند. این عوامل باعث افزایش رشد گیاه و عملکرد محصول می‌شوند. علاوه بر این، ویتامین‌ها به‌ویژه ویتامین‌های C و E می‌توانند از آسیب به کلروفیل و سایر رنگدانه‌های فتوسنتزی جلوگیری کنند و فرآیند فتوسنتز را بهبود ببخشند. در نتیجه، استفاده از محلول‌پاشی ویتامین‌ها در کشاورزی می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد گیاهان، افزایش کیفیت محصول و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری شود (امام^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). باکتری‌ها می‌توانند با تولید ترکیبات ضد قارچی و ضد باکتریایی مانند پلی‌کنیدهای ضد قارچی و هیدروژن پراکسید مانع از حمله پاتوژن‌ها به گیاه شوند. به‌عنوان مثال، *Pseudomonas fluorescens* و *Bacillus subtilis* می‌توانند از طریق تولید این ترکیبات، بیماری‌های قارچی و باکتریایی روی برگ‌ها را کنترل کنند (فریتاس^۴ و همکاران، ۲۰۲۳). باکتری‌های مفید می‌توانند با پاتوژن‌های گیاهی رقابت کنند و از چسبیدن آن‌ها به سطح برگ‌ها و سایر بخش‌های گیاه جلوگیری کنند. این باکتری‌ها به‌طور طبیعی از طریق رقابت برای فضا و منابع، یا تولید مواد آنتی‌بیوتیک مانند سیدروفور، توانایی پاتوژن‌ها را برای رشد کاهش می‌دهند (دواراجان^۵ و همکاران، ۲۰۲۰). باکتری‌هایی که قادر به ادامه حیات در شرایط نور مستقیم خورشید هستند، باید ویژگی‌های خاصی مانند تاب‌آوری در برابر اشعه ماورای بنفش (UV) و توانایی محافظت از خود در برابر شرایط محیطی سخت را داشته باشند. برخی از گونه‌های *Bacillus* مانند *Bacillus subtilis* و *Bacillus amyloliquefaciens* قادر به تحمل شرایط خشک و دمای بالا هستند و توانایی ادامه حیات در معرض نور خورشید را دارند. این گونه‌ها می‌توانند به تولید اسپور (اسپوریول) بپردازند که در برابر اشعه UV مقاوم است (کورداتزاک^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). برخی از این باکتری‌ها توانایی تولید مواد محافظتی مانند پروتئین‌های محافظ یا اسیدهای آمینه خاصی دارند که به آن‌ها کمک می‌کند در برابر تابش UV مقاومت کنند. *Pseudomonas fluorescens* یکی از باکتری‌های مقاوم به شرایط محیطی سخت است که می‌تواند در نور خورشید زنده بماند. این باکتری به‌دلیل تولید متابولیت‌های مختلف و توانایی در مقابله با

1. Boubakri
2. Younis
3. Emam
4. Freitas
5. Dorjey
6. Kordatzaki

تنش‌های مختلف، از جمله تابش UV، شناخته شده است (افتمیادو^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). باکتری‌های *Streptomyces* که معمولاً در خاک‌ها زندگی می‌کنند، می‌توانند در برابر شرایط خشک و تابش UV مقاومت نشان دهند. این باکتری‌ها قادر به تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات محافظی هستند که به آن‌ها در مقابله با اشعه ماورای بنفش کمک می‌کند (فریتاس^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). محلول پاشی باکتری‌ها و سویه‌های مقاوم به تابش خورشید در کشاورزی می‌تواند مزایای بسیاری داشته باشد، به‌ویژه در شرایطی که نور خورشید شدید است. استفاده از باکتری‌هایی مانند *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas fluorescens* می‌تواند به حفاظت از گیاهان در برابر بیماری‌ها، تقویت رشد گیاه و افزایش بهره‌وری کمک کند. این باکتری‌ها به دلیل تاب‌آوری در برابر نور خورشید می‌توانند به صورت محلول پاشی استفاده شوند، بدون این که در معرض تابش مستقیم خورشید آسیب ببینند (افتمیادو^۳ و همکاران، ۲۰۲۰).

ویتامین B₁، یا تیامین، در رشد سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه نقش دارد. این ویتامین می‌تواند گیاهان را در برابر برخی بیماری‌ها مقاوم‌تر کند. هم‌چنین ویتامین B₁₂ با نقش خود در متابولیسم گیاه و تقویت سیستم ایمنی، به رشد و توسعه گیاهان کمک می‌کند. ویتامین‌ها از طریق چندین مکانیسم مختلف عمل می‌کنند (گارسیا^۴ و همکاران، ۲۰۲۳). این ویتامین‌ها به عنوان کوآنزیم‌ها در واکنش‌های متابولیک شرکت کرده و فرآیندهای بیوشیمیایی گیاه را تسریع می‌کنند. آن‌ها به‌ویژه در متابولیسم انرژی، رشد سلولی و بهبود فتوسنتز مؤثرند. هم‌چنین ویتامین‌ها به عنوان آنتی‌اکسیدان‌هایی عمل می‌کنند که از آسیب سلولی ناشی از رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کنند و موجب حفظ سلامت گیاه می‌شوند (مصطفی^۵، ۲۰۲۰). با توجه به گفته‌های فوق، هدف از این بررسی، مطالعه تأثیر محلول پاشی فرآورده‌های باکتریایی و ویتامین‌ها، بر رشد و عملکرد کینوا بود.

۲. پیشینه پژوهش

از میان ترکیبات زیستی، باکتری‌های محرک رشد گیاه^۶ نقش بسیار مهمی در ارتقای عملکرد و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان دارند. این باکتری‌ها از طریق تولید فیتوهورمون‌هایی مانند ایندول استیک اسید^۷، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها، بهبود جذب عناصر غذایی (مانند نیتروژن و فسفر)، حل‌کنندگی فسفات و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی موجب رشد بهتر گیاه می‌شوند. در مطالعه‌ای مهم، لی^۸ و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که تلقیح کینوا با باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* 11B91 منجر به افزایش معنی‌دار طول ساقه و ریشه، مقدار کلروفیل، محتوای فسفر و وزن خشک در شرایط تنش شوری شد. این نتایج نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌های مفید می‌توانند از طریق تقویت کارایی فتوسنتز و بهبود وضعیت تغذیه‌ای، پتانسیل سازگاری کینوا را در محیط‌های شور افزایش دهند.

در مطالعه‌ای دیگر، تستن^۹ و باکمن^{۱۰} (۲۰۱۳) به جداسازی و شناسایی گونه‌های *Bacillus* از خاک‌های اطراف ریشه کینوا پرداختند و مشخص کردند که این باکتری‌ها با دارا بودن ویژگی‌هایی مانند تولید IAA، فعالیت کی‌تینازی و توانایی حل فسفات، قادر به ارتقای رشد گیاه و بهبود سلامت خاک هستند. نتایج آن‌ها تأکید کرد که همزیستی ریزوسفری بین کینوا و باکتری‌های سودمند، عامل کلیدی در پایداری سیستم‌های تولید این گیاه است.

1. Efthimiadou
2. Freitas
3. Efthimiadou
4. Garcia-Parra
5. Mostafa
6. Plant growth promoting rhizobacteria
7. Indole acetic acid
8. Li
9. Testen
10. Backman

علاوه بر عوامل میکروبی، استفاده از ویتامین‌ها و ترکیبات محرک رشد طبیعی نیز در بهبود عملکرد فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان مؤثر شناخته شده است. ویتامین‌ها، به‌ویژه اسید آسکوربیک (ویتامین C)، نقش مهمی در تنظیم تعادل اکسید و احیا در سلول‌های گیاهی دارند و به‌عنوان آنتی‌اکسیدان قوی، از تخریب غشاهای سلولی در شرایط تنش جلوگیری می‌کنند. در همین راستا، حسین و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر محلول‌پاشی برگ‌ی اسید اسکوربیک، عصاره مورینگا و عصاره سورگوم را بر عملکرد و کیفیت دانه کینوا بررسی کردند. نتایج نشان داد که کاربرد این ترکیبات به‌طور معنی‌داری باعث افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز و عملکرد دانه شد. آنان نتیجه گرفتند که محلول‌پاشی ترکیبات طبیعی و ویتامینی، علاوه بر بهبود رشد، در تقویت سازوکارهای دفاعی گیاه نقش مؤثری دارد.

به‌طور مشابه، سوفی^۱ و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای دیگر گزارش کردند که محلول‌پاشی پرولین و روی بر گیاه کینوا، ضمن افزایش زیست‌توده، موجب ارتقای محتوای کلروفیل، پروتئین، ترکیبات فنولی و فعالیت‌های آنزیمی گردید. این پژوهش نشان داد که استفاده از محرک‌های رشد (نظیر اسیدهای آمینه و عناصر کم‌مصرف) می‌تواند فرآیندهای فیزیولوژیکی مرتبط با رشد را فعال سازد و بازده فتوسنتز را افزایش دهد. هرچند پرولین و روی در دسته ویتامین‌ها قرار نمی‌گیرند، اما از لحاظ نقش تحریک‌کننده متابولیسم سلولی مشابه عملکرد ویتامین‌ها عمل می‌کنند و می‌توانند بخشی از مکانیسم‌های مشابه را در کینوا فعال کنند.

در پژوهشی دیگر، بلای^۲ و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی اثر باکتری‌های *Bacillus licheniformis* و *Enterobacter asburiae* جداشده از ریزوسفر کینوا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که این سویه‌ها توانایی بالایی در حل فسفات و تحمل شوری داشته و می‌توانند به‌طور مستقیم موجب افزایش رشد و زیست‌توده گیاه شوند. هم‌چنین، بریتو^۳ و همکاران (۲۰۱۸) اثر تلقیح با باکتری *Azospirillum brasilense* را بر جوانه‌زنی و رشد اولیه چند گیاه از جمله کینوا بررسی کردند و بهبود معنی‌داری در شاخص‌های جوانه‌زنی و طول ریشه را گزارش نمودند. این مطالعات تأکید می‌کنند که نقش باکتری‌های سودمند تنها به خاک محدود نمی‌شود و در صورت استفاده از روش‌های محلول‌پاشی یا تلقیح بذر نیز اثرات قابل‌توجهی بر رشد گیاه دارند.

السید^۴ و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید، پاکلوبوترازول و عصاره جلبک در شرایط تنش خشکی توانست محتوای رنگدانه‌ها، کارایی فتوسنتز و عملکرد دانه را در کینوا افزایش دهد. این نتایج نشان می‌دهد که تحریک مسیرهای تنظیم‌کننده رشد از طریق ترکیبات آلی و طبیعی می‌تواند سازگاری گیاه را در شرایط تنش بهبود دهد.

در گیاهان هم‌خانواده با کینوا نیز نتایج مشابهی به‌دست آمده است. برای نمونه کومار^۵ و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی روی لوبیاء نشان دادند که کاربرد ترکیبی باکتری‌های محرک رشد و نانوروی از طریق محلول‌پاشی برگ، باعث بهبود معنی‌دار در شاخص‌های رشدی، جذب عناصر غذایی و عملکرد نهایی شد. این مطالعه تأکید می‌کند که ترکیب باکتری‌ها با مواد مغذی محلول در فرمولاسیون‌های برگ‌ی می‌تواند اثرات هم‌افزایی بر رشد گیاه ایجاد کند، زیرا باکتری‌ها کارایی جذب مواد محلول و فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه را افزایش می‌دهند.

زبون و همکاران (۲۰۲۳) نیز تأثیر محلول‌پاشی ویتامین‌های B و E را بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم بررسی

1. Sofy
2. Belay
3. Brito
4. El sayed
5. Kumar
6. *Phaseolus vulgaris*

نمودند. این پژوهش گران مشاهده نمودند که کاربرد این ویتامین ها، طول گل آذین، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را افزایش داد.

مصطفی (۲۰۲۰) تأثیر محلول پاشی ویتامین ها را بر خصوصیات بیوشیمیایی، رشد و گلدهی آفتابگردان مطالعه نمودند. ویتامین های مورد مطالعه در این بررسی شامل اسید آسکوربیک، آلفا توکوفرول و نیکوتین آمید با غلظت ۱۰۰ پی پی ام بود. نتایج بررسی این پژوهش گران نشان داد که بسیاری از پارامترها به طور معنی داری تحت تأثیر کاربرد هر سه ویتامین قرار گرفت. کاربرد آلفا توکوفرول بیشترین تعداد برگ، سطح برگ، طول دوره گلدهی، وزن خشک گل و محتوای کلروفیل و کربوهیدرات ها را در این گیاه تولید نمود. علیپور و محسن زاده (۲۰۱۲) کاربرد ویتامین ب کمپلکس را بر روی برخی از پارامترهای بیوشیمیایی آلوئه را بررسی نمودند. نتایج به دست آمده از بررسی این پژوهش گران نشان داد که کاربرد ویتامین ب کمپلکس باعث بهبود وزن تر، محتوای رنگدانه های فتوسنتزی، کل محتوای پروتئین و محتوای پرولین آلوئه را شد. یونیس و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر کاربرد پیرو دوکسین و تیامین را بر رشد و خصوصیات کمی و کیفی باقلا مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از بررسی این پژوهش گران نشان داد که محلول پاشی این دو ویتامین بر ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن خشک اندام هوایی، محتوای رنگدانه های فتوسنتزی، محتوای کربوهیدرات، اسیدهای آمینه و محتوای پرولین افزود. عملکرد و اجزای عملکرد دانه نیز با کاربرد ویتامین ها افزایش یافت. عشاقی^۱ و همکاران (۲۰۲۴) در ذرت، افزایش عملکرد ذرت را با کاربرد باکتری های افزایش دهنده رشد گیاهی را به دست آوردند. با توجه به گفته های فوق هدف از بررسی حاضر، مطالعه تأثیر محلول پاشی باکتری ها و ویتامین ها بر رشد و عملکرد کینوا بود.

به طور کلی، مرور مطالعات نشان می دهد که محلول پاشی برگ با ترکیبات زیستی نظیر باکتری های سودمند و ویتامین ها می تواند هم از طریق تحریک رشد مستقیم و هم از طریق افزایش مقاومت به تنش های محیطی، موجب بهبود رشد و عملکرد کینوا شود. به نظر می رسد استفاده هم زمان از این دو گروه عوامل (باکتری + ویتامین) می تواند اثر افزایشی^۲ ایجاد کرده و کارایی جذب عناصر، سنتز رنگدانه ها و تنظیم تعادل آنتی اکسیدانی را بهبود بخشد. چنین رویکردی در راستای توسعه کشاورزی پایدار و کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی بوده و می تواند در مناطق خشک و نیمه خشک که کینوا قابلیت رشد بالایی دارد، بسیار مؤثر واقع شود.

۳. روش شناسی پژوهش

مطالعه تأثیر محلول پاشی باکتری ها و ویتامین ها بر رشد و عملکرد کینوا را بررسی گردید این پژوهش به صورت آزمایش دو ساله در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملکان در سال های ۱۴۰۲-۱۴۰۳ 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 سویه های مختلف باکتری ها (عدم کاربرد باکتری ها، کاربرد *P. fluorescens*، کاربرد *B. subtilis* و کاربرد هر دو سویه باکتریایی) و غلظت های مختلف کود ویتامین های گروه ب (۲، ۴ و ۶ گرم در لیتر) بود. محلول پاشی در ساعات اولیه صبح یا عصر به منظور جلوگیری از تبخیر زیاد و افزایش کارایی انجام شد.

گیاه کینوا در شرایط طبیعی خاک مزرعه و تحت مدیریت کشاورزی استاندارد کشت شد. زمین مزرعه پیش از کاشت آماده سازی و کوددهی مناسب انجام شد. بذور کینوا از مرکز تحقیقات خسرو شهر تهیه شدند. بذرها در اواسط اردیبهشت ماه در عمق ۳ سانتی متری خاک کشت شدند و در فواصل زمانی هر هفته یکبار آبیاری گردید. تراکم کاشت در این بررسی ۲۵ بوته

1. Eshaghi
2. Synergistic effect

در مترمربع بود. برای کنترل آفات و بیماری‌ها از روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی متناسب با شرایط مزرعه استفاده شد. خصوصیات خاک محل موردبررسی در جدول (۱) و شرایط اقلیمی منطقه در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک)

بافت	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	کربن آلی (درصد)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام)	پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام)	نیترژن کل (درصد)
لومی-شنی	۰/۲۲	۸/۱	۰/۸۳	۸/۲۰	۲۱۴/۵۰	۰/۰۴

جدول ۲. شرایط اقلیمی در سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ محل اجرای آزمایش

خصوصیات آب‌وهوایی						
جمع بارش (میلی‌متر)		جمع ساعات آفتابی		میانگین حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)		
۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۲	۱۴۰۳	
۴۶/۰۱	۸۹/۶۲	۲۴۲/۸	۲۵۰/۶	۱۸/۸	۱۴۰/۳	فروردین
۴۶/۵۲	۳۲/۶۱	۲۷۷/۶	۲۶۸/۴	۲۳/۶	۲۳/۳	اردیبهشت
۰/۷	۳۵	۲۹۷/۹	۲۵۲/۳	۲۹/۸	۳۰/۴	خرداد
۰	۰	۳۵۲/۹	۳۴۸/۱	۳۴/۵	۳۵	تیر
۰/۰۱	۰	۳۶۹/۳	۳۷۳/۳	۳۷	۳۵/۶	مرداد
۰	۲	۳۴۳/۹	۳۲۸/۲	۳۲/۸	۳۴/۱	شهریور
۱۳/۶۳	۳	۲۲۲/۱	۲۷۳/۳	۳۴/۹	۲۶/۵	مهر
۱۱/۰۲	۱۱	۱۸۵/۸	۱۹۲/۸	۲۰/۳	۱۵/۷	آبان
۱۷	۱۷/۶۱	۱۷۲/۲	۱۵۰/۴	۱۳/۹	۱۰/۳	آذر
۱۱/۶۱	۱۵/۲۲	۱۴۸/۵	۹۶/۴	۱۲/۲	۷/۱	دی
۵۶/۵۲	۱۳/۳۳	۱۲۵/۱	۱۶۷/۴	۹/۵	۷/۱	بهمن
۴/۶	۵/۸	۲۰۳/۱	۱۹۶/۸	۱۲/۴	۱۱/۷	اسفند

محل‌های باکتریایی و ویتامینه از مرکز تحقیقات کشاورزی خسرشهر تهیه شدند و به‌صورت محلول‌پاشی بر روی برگ‌های گیاه در دو نوبت در فواصل زمانی دو هفته یک‌بار در طول فصل رشد (استقرار بوته‌ها در مرحله ۵-۶ برگی و دو هفته بعد). و در ساعات خنک عصر انجام شد تا جذب ترکیبات بیش‌تر و تبخیر کم‌تری انجام شود. در مجموع دو بار محلول‌پاشی در سال اول و دو بار دیگر در سال دوم انجام شد.

برای ارزیابی اثرات محلول‌پاشی باکتری‌ها و ویتامین‌ها، پارامترهای زیر مورد ارزیابی قرار گرفت.

ارتفاع بوته از محل طوقه تا انتهای بوته، از پنج بوته اندازه‌گیری شد. سپس میانگین اعداد برحسب سانتی‌متر مدنظر قرار گرفت و در محاسبات آماری استفاده شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ، پس از برداشت بوته‌ها، با استفاده نسبت وزن به سطح نمونه‌های برگی برداشت‌شده از پنج بوته سطح برگ یک بوته محاسبه شد. در زمان برداشت نهایی گل آذین بوته‌های موجود در مساحتی معادل ۱ مترمربع برداشت و پس از خرمکوبی وزن دانه‌های حاصله به‌عنوان عملکرد دانه در واحد منظور و به مترمربع تبدیل شد. در مرحله قبل از گلدهی، برای اندازه‌گیری شاخص محتوای کلروفیل از دستگاه SPAD-502 ساخت شرکت Konica Minolta استفاده شد. این دستگاه با استفاده از سنجش 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 به‌صورت عمودی بر روی سطح برگ قرار گرفت و پس از تاباندن نور به برگ، عدد شاخص کلروفیل ثبت شد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان کل قندهای محلول در برگ با استفاده از روش تغییر داده‌شده شلیگل^۱ (۱۹۵۶)

استفاده شد. برای تعیین مقدار هورمون سیتوکینین و جبرلین آزاد، سنجش از طریق اسپکتروفتومتری انجام شد. بدین منظور ۰/۵ گرم وزن تر گیاه کینوا را توزین و با ۱۵ میلی لیتر از محلول استخراج شامل متانول، کلروفرم، آمونیوم هیدروکسید (۳:۱۲:۵) مخلوط و در هاون ساییده شد. سپس به محلول همگن حاصل ۶ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد و فاز آبی برای تبخیر متانول روی هیتر منتقل شد. فاز آبی روی اسیدیته ۷ تنظیم گردید. سپس مقدار ۴ میلی لیتر اتیلن استات به فاز آبی اضافه شد. فاز اتیلن استات به یک پتری دیش با قطر ۱۵ سانتی متر 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 یک میلی لیتر NaOH یک نرمال شست و شو و در نهایت NaOH را جمع و به لوله مخصوص انتقال داده شد. برای سنجش با اسپکتروفتومتر HACH مدل DR6000 با طول موج ۲۶۰ نانومتر تنظیم گردید. برای محاسبه مقدار هورمون ها از منحنی استاندارد تهیه شده برای سیتوکینین استفاده و مقادیر به دست آمده برای سیتوکینین بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر ثبت شد (طغیانی و همکاران^۱، ۲۰۱۶). به منظور اندازه گیری میزان جبرلین، ۰/۵ گرم بافت برگ در ۲/۵ میلی لیتر اتانول ساییده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و سپس یک قطره اسید کلردریک (۰/۱ مولار) به محلول اضافه شد. محلول حاصل به قیف جداکننده منتقل و ۱۰ میلی لیتر اتیل استات به آن اضافه و به مدت دو دقیقه به خوبی تکان داده شد. سپس ۱۰ میلی لیتر بافر فسفات سدیم با اسیدیته ۷/۴ به آن اضافه شد. پس از تکان دوبار و تشکیل دو فاز، فاز رنگی دور ریخته شد و ۳ میلی لیتر اسید کلردریک (۳/۷ مولار) و ۳ میلی لیتر بافر فسفات سدیم (اسیدیته ۷/۴) به ۳ میلی لیتر از فاز آبی اضافه و جذب نمونه ها در طول موج ۲۵۴ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. به منظور تعیین میزان جبرلین، منحنی استاندارد با استفاده از غلظت های معلوم جبرلین تهیه شد (دورجی و همکاران^۲، ۲۰۱۷).

برای استخراج اکسین از روش اصلاح شده ماندال^۳ و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد. برای اندازه گیری اکسین اندام های هوایی در مرحله آغاز گلدهی مقدار ۰/۲۵ گرم بافت تر نمونه ها توزین و در یک میلی لیتر اتانول ۸۰ درصد درون هاون چینی ساییده تا محلولی همگن به دست آمد. محلول حاصل به درون ظرف مخصوص ۱/۵ میلی لیتری ریخته شد (به دلیل فتواکسید شدن اکسین استخراج باید به دور از نور انجام بگیرد). 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 سانتی گراد درون بن ماری قرار گرفت و در ادامه محلول به مدت ۱۰ دقیقه در دور 3000 rpm سانتریفیوژ شد. محلول رویی بعد از سانتریفیوژ جدا سازی شد و به درون لوله آزمایش انتقال یافت و درب لوله ها با ورقه آلومینیومی پوشیده شد. سپس ۰/۸ میلی لیتر عصاره استخراج شده از ریشه یا اندام های هوایی در مرحله قبل درون یک لوله آزمایش ریخته شد سپس ۱/۶ میلی لیتر معرف سالکوفسکی به هر لوله آزمایش اضافه گردید لوله های آزمایش برای کامل شدن واکنش به مدت ۱۵ دقیقه در بن ماری در دمای ۵۰-۴۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت با کامل شدن واکنش اکسیداسیون کمپلکس صورتی رنگی که نتیجه اکسید شدن اکسین توسط کلرید فریک در حضور اسید پرکلریک است تشکیل شد پس از آماده شدن محلول ها جذب نمونه ها در طول موج ۵۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتری تعیین شد. محلول بلانک ۶/۱ میلی لیتر معرف سالکوفسکی با ۰/۸ میلی لیتر الکل استفاده گردید در نهایت مقدار اکسین بر حسب میکروگرم در گرم بافت گیاهی گزارش شد. مقدار پروتئین کل دانه در مرحله رسیدگی دانه با استفاده از روش Bradford و خوانش جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر بر حسب استاندارد BSA تعیین شد. داده های به دست آمده از آزمایش های مختلف با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۶.۰.۳) و تحلیل واریانس بررسی شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد ($P \leq 0.05$) انجام شد.

۴. یافته‌ها

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات موردبررسی ارتفاع بوته‌های کینوا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرهای ساده محلول‌پاشی باکتری و ویتامین‌ها قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته‌های کینوا تحت تأثیر محلول‌پاشی باکتری‌ها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته کینوا با ۱۱۰ سانتی‌متر در تیمار کاربرد *B. subtilis* به‌دست آمد که در مقایسه با عدم کاربرد باکتری به میزان ۱۲/۲ درصد افزایش داشت. تیمارهای کاربرد *P. fluorescens* و کاربرد هر دو سویه باکتریایی نیز افزایش معنی‌داری را در این صفت موجب شد (جدول ۴). در بررسی حاضر محلول‌پاشی ویتامین‌ها نیز به‌طور مؤثری بر ارتفاع بوته‌های کینوا افزود (جدول ۵). در مطالعه حاضر تیمار کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین به میزان ۶/۸ درصد بر ارتفاع بوته‌های کینوا افزود، اما کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین و کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. با این وجود، تیمار کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین، سایر تیمارهای رشدی را نیز بهبود بخشید. به‌طوری‌که سطح برگ‌های کینوا نیز تحت تأثیر کاربرد ویتامین‌ها بهبود یافت. در تیمار کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین‌های گروه ب سطح برگ‌های کینوا ۴/۲ بود که در مقایسه با عدم کاربرد ویتامین به میزان ۱۳/۷ درصد بیش‌تر بود. همچون ارتفاع بوته، تیمارهای کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین تأثیر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ کینوا نداشت (جدول ۶). در بررسی حاضر غلظت هر دوی این ترکیبات درون گیاه، با کاربرد ویتامین‌ها افزایش یافت. به‌طوری‌که با توجه به مقایسه میانگین‌های غلظت سیتوکینین در برگ‌ها (جدول ۶)، تیمار کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین افزایشی ۱۶/۶ درصدی را در غلظت سیتوکینین برگ‌های کینوا باعث شد. علاوه بر آن غلظت اکسین نیز با کاربرد ویتامین‌ها افزایش یافت، هرچند که تأثیر ویتامین‌ها بر محتوای اکسین برگ‌ها وابسته به تیمار کاربرد ویتامین‌ها نیز بود. به‌طوری‌که تداخل مثبتی بین تیمار ویتامین‌ها و باکتری‌ها از نظر غلظت اکسین مشاهده شد. بیش‌ترین غلظت اکسین در برگ‌های کینوا با ۱/۲ میکرومول در گرم وزن تر برگ در سال اول در تیمار کاربرد *B. subtilis* + ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین به‌دست آمد و محتوای اکسین را به میزان ۸۱ درصد افزایش داد که افزایش قابل‌ملاحظه‌ای به‌شمار می‌رود. با این وجود در سال دوم بررسی، میزان تغییرات ناشی از اعمال تیمارهای موردبررسی کم‌تر بود (جدول ۷).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات موردبررسی در کینوا

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	شاخص سطح برگ	شاخص کلروفیل	عملکرد دانه	سیتوکینین	اکسین	جیبرلین	پروتئین دانه	محتوای کربوهیدرات‌های محلول برگ	کل محتوای آنتی اکسیدانی
سال	۱	۴/۷۸ ns	۰/۴۶ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۱۵ ns	۱۱۶/۱ ns	۲/۳۹**	۲۸/۶*	۰/۱۶ ns
تکرار در سال	۴	۵۷/۳۸ ns	۰/۱ ns	۳/۶۹ ns	۰/۰۴ ns	۰/۹۱ ns	۰/۰۰۸ ns	۱۵/۶۷ ns	۰/۲۵ ns	۴/۶ ns	۵/۲ ns
باکتری A	۳	۶۸۳/۱۳**	۴/۹۲**	۳۰/۷**	۱/۹۹**	۴۶/۲ ns	۰/۲۷**	۲۸۳۷**	۶/۴۵**	۶۰۰**	۸۶۹ ns
LAB	۳	۷۰/۲ ns	۰/۱۷ ns	۳/۱۱ ns	۰/۰۵ ns	۷/۹**	۰/۰۱۱ ns	۱۷۸ ns	۱/۲۵**	۷/۵۷ ns	۲۳/۶ ns
خطای اصلی	۱۲	۴۶/۹	۰/۳۸	۲/۴۸	۰/۰۲۸	۱/۲۸	۰/۰۰۵	۷۵/۱۱	۰/۲۲	۴/۳۸	۴/۳۷
ویتامین B	۳	۲۶۰/۱۹**	۱/۱۶*	۱۳/۳۶**	۰/۴۵**	۳۱/۵۴**	۰/۰۴*	۱۴۰۹**	۱/۷۷**	۱۸/۶۳ ns	۱۶/۴ ns
LB	۳	۱۵/۴۱ ns	۰/۲۱ ns	۲/۴۴ ns	۰/۱۷*	۱/۴۹ ns	۰/۰۱۳ ns	۲۶۹ ns	۰/۱۶ ns	۸/۸۱ ns	۳/۴ ns
AB	۹	۴۳/۰۹ ns	۰/۰۵ ns	۱/۴۳ ns	۰/۱۳**	۳/۴۸ ns	۰/۰۲۶*	۱۶۲ ns	۰/۱۳ ns	۱۹/۲۵*	۶۲/۸*
LAB	۹	۲۸/۵۷ ns	۰/۳۵ ns	۵/۹۵*	۰/۰۵۱ ns	۱/۸۹ ns	۰/۰۲۶*	۱۵۸ ns	۰/۲۲ ns	۶/۹۳ ns	۴/۷۹
خطای فرعی	۴۸	۴۳/۰۵	۰/۳۵	۲/۶۴	۰/۰۵۶	۴/۲۷	۰/۰۱۱	۱۲۸	۰/۳۸	۸/۶۶	۸/۸۸
ضریب تغییرات (درصد)	۶/۲۶	۱۵/۳۸	۶/۴	۷/۹۸	۱۳/۹	۱۱/۹۹	۴/۲۱	۳/۶۶	۱۷/۳۸	۱۶/۷	

ns و * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری

A = تیمار باکتری، B = تیمار ویتامین و L = سال

جدول ۴. مقایسه میانگین های صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی باکتری

محلول پاشی باکتری	ارتفاع بوته (سانتی متر)	شاخص سطح برگ	جیبرلین (میلی گرم در گرم وزن تر)
شاهد	۹۸/۱۷c	۳/۳c	۲۵۴/۴c
<i>P. fluorescens</i>	۱۰۳/۵b	۳/۸۴b	۲۶۹b
<i>B. subtilis</i>	۱۱۰a	۴/۳۸a	۲۷۸a
<i>P. fluorescens</i> × <i>B. Subtilis</i>	۱۰۶ab	۴/۰۵ab	۲۷۶a

جدول ۵. مقایسه میانگین های صفات مورد بررسی تحت تأثیر سطوح مختلف محلول پاشی ویتامین ها

ویتامین ها (میلی گرم بر لیتر)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	شاخص سطح برگ	محتوای سیتوکینین (میلی گرم بر گرم وزن تر)	محتوای جیبرلین (میلی گرم بر گرم وزن تر)	محتوای پروتئین دانه (درصد)
صفر	۱۰۲b	۳/۷b	۱۳/۸۲b	۲۶۴b	۱۶/۶۹b
۵۰	۱۰۳b	۳/۸b	۱۴/۷۶b	۲۶۸b	۱۶/۸۵b
۱۰۰	۱۰۴b	۳/۷۸b	۱۴/۷۵b	۲۶۵b	۱۶/۷۴b
۱۵۰	۱۰۹a	۴/۲۲a	۱۶/۱۲a	۲۸۱a	۱۷/۲۹a

جدول ۶. مقایسه میانگین های صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمار محلول پاشی باکتری در دو سال

سال	محلول پاشی باکتری	کاربرد ویتامین (میلی گرم بر لیتر)	شاخص محتوای کلروفیل (cci)	محتوای اکسین (میلی گرم بر گرم وزن تر)
۱	شاهد	۰	۳۳/۱۳f	۰/۷۱h
		۵۰	۳۳/۹۲d-f	۰/۷۴gh
		۱۰۰	۲۴d-f	۰/۷۵gh
		۱۵۰	۳۴/۳۹c-f	۰/۸۳c-h
	<i>P. fluorescens</i>	۰	۲۵/۱۲b-f	۰/۸e-h
		۵۰	۲۵/۲۱b-f	۰/۸۲c-h
		۱۰۰	۲۵/۶۶b-f	۰/۸۶b-h
		۱۵۰	۲۶/۹۴a-d	۰/۸۱d-h
	<i>B. subtilis</i>	۰	۲۵/۲۳b-f	۱/۰۱b-d
		۵۰	۲۴/۸۹b-f	۱b-e
		۱۰۰	۲۶/۱۹b-f	۰/۸۵b-h
		۱۵۰	۲۶/۱۳b-f	۱/۲۹a
	هر دو	صفر	۲۶/۲b-f	۱/۰۴b
		۵۰	۳۷/۸۷ab	۰/۹۹b-e
		۱۰۰	۳۴/۲۱c-f	۶/۹۳b-g
		۱۵۰	۳۷/۶۴ab	۰/۸۲c-h
۲	شاهد	صفر	۳۳/۱۲f	۰/۷h
		۵۰	۳۳/۶ef	۰/۷۵gh
		۱۰۰	۳۴/۰۸d-f	۰/۷۵gh
		۱۵۰	۳۳/۹۲d-f	۰/۸۶b-h
	<i>P. fluorescens</i>	صفر	۳۳/۸d-f	۰/۷۷f-h
		۵۰	۲۵/۵۶b-f	۰/۷۷f-h
		۱۰۰	۲۵/۷۵b-f	۰/۸۴b-h
		۱۵۰	۲۶/۴۵b-e	۰/۹۷b-f
	<i>B. subtilis</i>	صفر	۳۴/۳۶c-f	۱/۰۲bc
		۵۰	۲۶/۹a-d	۰/۸۷b-h
		۱۰۰	۲۵/۷b-f	۱b-e
		۱۵۰	۲۴/۵۹a	۱b-e
	هر دو	صفر	۲۶b-f	۰/۹۸b-f
		۵۰	۳۳/۸۹d-f	۰/۸d-h
		۱۰۰	۳۷/۴۱a-c	۰/۸۶b-h
		۱۵۰	۲۶/۳۴b-f	۰/۹۲b-g

جدول ۷. مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی تحت تأثیر محلول‌پاشی باکتری در دو سال

سال	محلول‌پاشی باکتری	محتوای سیتوکلینین (میلی گرم بر گرم وزن تر)	محتوای پروتئین (درصد)
۱	شاهد	۱۳/۰۶c	۱۶/۲۵c
	<i>P. fluorescens</i>	۱۴/۵۱b	۱۶/۷۸b
	<i>B. subtilis</i>	۱۷/۱a	۱۷/۹۸a
	هر دو	۱۴/۸۱b	۱۷/۱۹b
۲	شاهد	۱۳/۸۹c	۱۶/۲۵c
	<i>P. fluorescens</i>	۱۵/۴۹b	۱۶/۷۷b
	<i>B. subtilis</i>	۱۵/۵۳b	۱۷b
	هر دو	۱۵/۵۳b	۱۶/۹۱b

در مطالعه حاضر تیمار محلول‌پاشی باکتری‌ها افزایش معنی‌داری را در شاخص سطح برگ‌های کینوا باعث گردید. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی تمامی تیمارهای کاربرد باکتری‌ها به‌صورت محلول‌پاشی، افزایش معنی‌داری را در شاخص سطح برگ‌های کینوا باعث شد، اما بیش‌ترین میزان افزایش با ۳۰ درصد در تیمار کاربرد هر دو سویه باکتریایی به‌دست آمد (جدول ۵). غلظت هورمون‌های اکسین، سیتوکلینین و جیبرلین تحت تأثیر کاربرد باکتری‌ها افزایش یافت. براساس نتایج حاصل شده، تیمارهای کاربرد *B. subtilis* و کاربرد هر دو سویه باکتریایی افزایش معنی‌داری را در محتوای جیبرلین باعث گردید. این دو تیمار به‌ترتیب سبب افزایش ۲۲/۶ و ۲۱/۲ درصدی در محتوای جیبرلین شد (جدول ۵). پاسخ محتوای سیتوکلینین به محلول‌پاشی باکتری‌ها، وابسته به سال مورد مطالعه بود. در سال اول بیش‌ترین محتوای سیتوکلینین با ۱۷/۱ میکرومول در گرم وزن تر در تیمار کاربرد *B. subtilis* به‌دست آمد. در این تیمار، در سال دوم هر سه تیمار کاربرد *P. fluorescens*، کاربرد *B. subtilis* و کاربرد هر دو سویه باکتریایی افزایش معنی‌دار و مشابهی را در محتوای سیتوکلینین باعث گردید و این صفت را تا ۲۱ درصد افزایش داد. درحالی‌که در سال اول بررسی تیمار کاربرد *B. subtilis* به میزان ۳۱/۵ درصد بر محتوای سیتوکلینین در برگ‌های کینوا افزود (جدول ۸).

جدول ۸. مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه تحت تأثیر کاربرد ویتامین‌ها و باکتری به‌صورت محلول‌پاشی

محلول‌پاشی باکتری‌ها	کاربرد ویتامین (میلی گرم در لیتر)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	کل محتوای آنتی‌اکسیدانی (درصد)	کل محتوای کربوهیدرات‌ها (میلی گرم در گرم وزن خشک)
شاهد	صفر	۹۵/۴۸g	۱۶/۲f	۱۳/۱۵e
	۵۰	۹۸/۴۸e-g	۱۵/۹۵f	۱۳/۰۲e
	۱۰۰	۹۷/۹۲fg	۱۶/۸۷ef	۱۰/۴۳c
	۱۵۰	۱۰۰/۸ef	۱۷/۴۷ef	۱۲/۲۳c
<i>P. fluorescens</i>	صفر	۱۰۱/۸d-f	۱۷/۲۷ef	۱۶/۶۲d
	۵۰	۱۰۰/۲۲ef	۱۶/۹۲ef	۱۲/۵۲e
	۱۰۰	۱۰۲/۱de	۱۸/۳۷de	۱۲/۹۳e
	۱۵۰	۱۱۰a-c	۱۹/۱cd	۱۰/۵e
<i>B. subtilis</i>	صفر	۱۰۳/۹c-e	۱۹/۹cd	۲۱/۳۷a-c
	۵۰	۱۰۹/۵bc	۲۰/۷۲c	۲۲/۱۲ab
	۱۰۰	۱۱۳/۸ab	۲۰/۷c	۱۹/۳۲b-d
	۱۵۰	۱۱۷a	۲۴/۷۸a	۱۸/۲۷cd
هر دو	صفر	۱۰۸b-d	۲۲/۲۷b	۲۱/۱۸a-c
	۵۰	۱۰۳/۵c-e	۲۰/۴۵c	۲۱/۰۲a-c
	۱۰۰	۱۰۴/۴cd	۲۳/۳۳ab	۲۳/۰۳a
	۱۵۰	۱۱۰/۴a-c	۲۰/۲۸c	۲۳/۳۷a

در بررسی حاضر شاخص محتوای کلروفیل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول پاشی باکتری و ویتامین‌ها در دو سال مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). در این بررسی بیش‌ترین شاخص محتوای کلروفیل با ۲۹/۵ CCI در تیمار کاربرد *B. subtilis* + عدم کاربرد ویتامین و در سال دوم حاصل شد. در سال دوم در مردادماه، میزان تابش خورشیدی بیش‌تر بود (جدول ۲)، درحالی‌که دمای خنک‌تری حاکم بود که این شرایط می‌تواند به تولید بیش‌تر کلروفیل در سال دوم کمک کند که البته بسته به شرایط متفاوت خواهد بود. در سال دوم در این تیمار شاخص محتوای کلروفیل در مقایسه با شاهد به میزان ۲۷/۷ درصد بیش‌تر بود. در سال اول بررسی بیش‌ترین شاخص کلروفیل با ۲۷/۸ و ۲۷/۶ CCI در دو تیمار کاربرد هر دو سویه باکتریایی و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین و کاربرد هر دو سویه باکتریایی به‌همراه کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین حاصل شد. در این دو تیمار شاخص محتوای کلروفیل در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به میزان ۲۰/۳ درصد بیش‌تر بود (جدول ۷).

برهم‌کنش تیمارهای محلول پاشی باکتری‌ها و ویتامین‌ها، در صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). با مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه کینوا تحت تأثیر محلول پاشی باکتری‌ها و ویتامین‌ها مشاهده شد که بیش‌ترین عملکرد دانه با ۱۱۷/۰۵ گرم در تیمار کاربرد *B. subtilis* هم‌زمان با کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین به‌دست آمد که در مقایسه با شاهد به میزان ۲۳/۱۵ درصد بیش‌تر بود (جدول ۸). با توجه به این نتایج، ترکیبی از تیمارهای مورد بررسی، بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد دانه در بوته داشت. با این وجود کاربرد جداگانه هر یک از تیمارهای مورد مطالعه به‌تنهایی نیز افزایش معنی‌داری را در عملکرد دانه باعث شد. در بین سطوح کاربرد ویتامین، تنها کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌داری را باعث گردید. با این وجود کاربرد جداگانه تمامی سطوح باکتری‌ها به‌تنهایی افزایش معنی‌داری را در این صفت باعث گردید (جدول ۸). اما بررسی حاضر نشان داد که علاوه بر عملکرد محصول، کیفیت محصول نیز با کاربرد فرآورده باکتریایی و ویتامین‌ها افزایش می‌یابد. در بررسی حاضر کاربرد فرآورده باکتریایی، محتوای پروتئین دانه کینوا را افزایش داد. در سال اول بیش‌ترین محتوای پروتئین دانه با ۱۷/۹ درصد، متعلق به تیمار کاربرد *B. subtilis* بود که در مقایسه با عدم کاربرد فرآورده باکتریایی، به میزان ۱۸ درصد بیش‌تر بود. در سال دوم تمامی تیمارهای باکتریایی افزایش مشابهی را از نظر آماری در محتوای پروتئین دانه کینوا باعث شدند (جدول ۸). محلول پاشی ویتامین‌ها نیز بر محتوای پروتئین دانه کینوا افزود. با محلول پاشی ویتامین‌ها، بیش‌ترین محتوای پروتئین دانه با ۱۷/۲ درصد در کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین به دست آمد، که در مقایسه با شاهد به میزان ۸/۹ درصد بیش‌تر بود (جدول ۶).

در بررسی حاضر کل محتوای آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر برهم‌کنش سطوح ویتامین و کود زیستی قرار گرفت (جدول ۳). در این بررسی، بیش‌ترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار *B. subtilis* و کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین به‌دست آمد. پس از این تیمار بیش‌ترین محتوای آنتی‌اکسیدانی مربوط به تیمار هر دو کود زیستی و کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین‌ها بود. این درحالی‌است که کاربرد انفرادی ویتامین‌ها، تأثیری بر کل محتوای آنتی‌اکسیدانی نداشت، اما کاربرد انفرادی کودهای زیستی افزایش معنی‌داری را در خاصیت آنتی‌اکسیدانی باعث گردید که هرچند این افزایش به مراتب کم‌تر از کاربرد هم‌زمان این کودها با ویتامین‌ها بود. به‌طوری‌که کاربرد دو کود زیستی به‌صورت هم‌زمان، به میزان ۲۷ درصد بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی افزود. درحالی‌که کاربرد هم‌زمان کود زیستی *B. subtilis* همراه با ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین‌ها، به میزان ۵۲/۴۶ درصد بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی افزود. این افزایش در خاصیت آنتی‌اکسیدانی با کاربرد ویتامین‌ها و کود زیستی را می‌توان مرتبط با افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در تولید آنتی‌اکسیدانت‌ها دانست (جدول ۸). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از بررسی حاضر، بیش‌ترین میزان محتوای کربوهیدرات‌ها در صورت کاربرد *P. fluorescens* و *B. subtilis* همراه با کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم ویتامین‌ها حاصل شد که در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به میزان ۷۵/۵ و

و ۷۷/۸ درصد بیش‌تر بود. درحالی‌که کاربرد انفرادی ویتامین‌ها تأثیر منفی بر کل محتوای کربوهیدرات‌ها نداشت. برخلاف معنی‌دار بودن برهم‌کنش تیمارها در این صفت، بی‌شک تأثیر کاربرد باکتری‌ها بر محتوای کربوهیدرات‌ها به مراتب بیش‌تر از ویتامین‌ها بود (جدول ۸).

۵. بحث

براساس نتایج، محلول‌پاشی با باکتری و ویتامین‌ها افزایش معنی‌داری را در ارتفاع بوته باعث شد. بررسی‌ها نشان داده است که باکتری‌ها موادی را تولید می‌کنند که منجر به تحریک رشد گیاه می‌شود. از جمله این ترکیبات می‌توان به هورمون اکسین اشاره داشت. باکتری‌های محرک رشد، مقادیر قابل‌توجهی اکسین تولید می‌کنند که رشد گیاه را تحریک می‌کنند (کشپرا^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). اکسین آزادشده توسط باکتری‌ها، به‌طور مستقیم در اختیار اندام هوایی گیاه قرار می‌گیرد که به‌طور مؤثری می‌تواند در تحریک رشد سلول‌ها به‌کار گرفته شود (وینا کوماری^۲، ۲۰۲۲). ویتامین‌ها نیز و به‌ویژه ویتامین‌های گروه B، نقش مهمی را در افزایش فعالیت‌های آنزیمی مانند فعالیت آنزیم‌های درگیر در ساخت‌وساز و رشد دارند (جها^۳ و صراف^۴، ۲۰۱۵). علاوه بر آن ویتامین‌ها با تسهیل در فرآیندهای بیوشیمیایی، باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و افزایش میزان تولید اسمیلات‌ها، باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (فیتز پاتریک^۵ و چاپمن^۶، ۲۰۲۰).

کاربرد ویتامین‌ها در بررسی حاضر، بر شاخص سطح برگ افزود. مطالعات نشان داده که سطح برگ‌ها وابسته به تولید برگ‌ها و رشد برگ‌هاست. تولید برگ‌ها به‌شدت تحت تأثیر کاربرد سیتوکینین قرار می‌گیرد، درحالی‌که رشد برگ‌ها وابسته به حضور اکسین است (لیو^۷ و همکاران، ۲۰۲۴). با توجه به نتایج حاصل به‌نظر می‌رسد مهم‌ترین دلیل افزایش سطح برگ‌های کینوا در اثر کاربرد ویتامین‌ها، افزایش غلظت هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین بود. چرا که بررسی‌ها نشان داده است که ویتامین‌ها نقش مهمی در تولید هورمون‌های گیاهی برعهده دارند (نسرین^۸ و همکاران، ۲۰۲۲)، حتی توسط تعدادی از پژوهش‌گران، ویتامین‌ها جهت تحریک تولید هورمون‌های گیاهی به‌کار گرفته شده‌اند تا رشد گیاه و مقاومت گیاهان به تنش‌ها را بهبود بخشند (پورسل^۹ و همکاران، ۲۰۱۳).

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که محتوای هورمون‌های اکسین، سیتوکینین و جیبرلین گیاه با محلول‌پاشی باکتری بر روی برگ‌ها افزایش می‌یابد. این پاسخ را می‌توان با دو مکانیسم مستقیم و غیر مستقیم باکتری‌ها بر محتوای هورمون‌های گیاهی توجیه نمود. در روش مستقیم، باکتری‌ها به‌طور مستقیم با آزادسازی هورمون‌های گیاهی بر ارگانیسم‌های اطراف خود تأثیر می‌گذارند. بررسی‌ها نشان داده است که هورمون‌های رشدی آزادشده در اثر فعالیت باکتری‌ها، می‌توانند باعث تحریک رشد سلول‌های گیاهی شوند (کشپرا^{۱۰} و پاندورانگ^{۱۱}، ۲۰۲۱). اما علاوه بر آن، کاربرد باکتری‌ها به‌طور غیر مستقیم نیز می‌تواند میزان هورمون‌های گیاهی را درون گیاه افزایش دهد. باکتری‌ها باعث تحریک تولید هورمون‌های رشدی در گیاهان می‌شوند. باکتری‌هایی مانند سودوموناس‌ها با تامین مواد غذایی بر میزان تولید

1. Kshipra and Pandurang
2. VeenaKumari
3. Jha
4. Saraf
5. Fitzpatrick
6. Chapman
7. Liu
8. Nasreen
9. Pourcel
10. Kshipra
11. Pandurang

هورمون های گیاهی در گیاهان می افزاید (سرکار^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). اما به دلیل محلول پاشی باکتری ها، تأمین مواد غذایی را نمی توان عامل اصلی تحریک تولید هورمون های گیاهی توسط باکتری ها دانست. بلکه باکتری ها به طور مستقیم با آزادسازی هورمون های گیاهی و ترکیبات ثانوی محرک رشد بر روی برگ ها، می تواند باعث تحریک تولید هورمون های گیاهی درون گیاه شود (وینا کوماری^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). در یک مطالعه فریتاس و همکاران (فریتاس^۳ و همکاران، ۲۰۲۳) تأثیر محلول پاشی باکتری های افزایش دهنده رشد گیاهی به صورت محلول پاشی را بر روی برگ های گیاه^۴ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که محلول پاشی باکتری ها، میزان هورمون های رشد را در این گیاه افزایش می دهد. این پژوهش گران اظهار داشتند که از جمله مواد موجود در عصاره حاصل از فعالیت باکتری ها که بر میزان تولید هورمون های گیاهی درون گیاه تأثیر می گذارد، می توان به ترکیبات فنولیکی اشاره داشت که ثابت شده است که تعدادی از این ترکیبات میزان تولید هورمون ها را افزایش می دهد (دورجی^۵ و همکاران، ۲۰۱۷).

نتایج این مطالعه نشان می دهد که ترکیبی از دو تیمار محلول پاشی باکتری های محرک رشد و ویتامین ها، افزایش بیشتری را در مقایسه با کاربرد هر یک از تیمارهای باکتریایی و ویتامین به تنهایی داشت. در این زمینه گارسیا^۶ و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر کاربرد ویتامین ها به صورت محلول پاشی بر روی شاخص کلروفیل برگ های کاهو را مطالعه و افزایش شاخص محتوای کلروفیل این گیاه را با کاربرد ویتامین ها به صورت محلول پاشی گزارش نمودند. از سوی دیگر، فریتاس^۷ و همکاران (۲۰۲۳) نیز شاخص محتوای کلروفیل برگ های *Megathyrus maximus* را با کاربرد فرآورده های باکتریایی گزارش نمودند.

عملکرد دانه با کاربرد باکتری ها و ویتامین ها افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط سایر پژوهش گران گزارش شده است، (امام^۸ و همکاران، ۲۰۱۱). افزایش ۲۶ درصدی عملکرد دانه بذرک را با محلول پاشی ویتامین های ب و ث گزارش نمودند. تولید و رشد دانه ها توسط هورمون های رشدی کنترل می شوند. هورمون هایی مانند سیتوکینین و اکسین، با افزایش تقسیم سلولی و تحریک رشد سلول ها، مقدمات افزایش تولید دانه ها را فراهم می آورند (دویون و همکاران، ۲۰۱۶). از سوی دیگر، افزایش تولید کلروفیل با محلول پاشی فرآورده باکتریایی ویتامین ها نیز می تواند عاملی در افزایش تولید محصول باشد. چرا که بررسی ها نشان داده که رابطه نزدیکی بین محتوای کلروفیل برگ ها و عملکرد محصول وجود دارد (وو^۹ و همکاران، ۲۰۱۵).

۶. نتیجه گیری نهایی و پیشنهادات

در این بررسی ارتفاع بوته های کینوا در اثر محلول پاشی با باکتری *Bacillus subtilis* و کاربرد ۱۵۰ میلی گرم در لیتر ویتامین ها افزایش یافت. این تیمار به تنهایی موجب افزایش ۱۲/۲ درصدی ارتفاع نسبت به شاهد شد و مشخص گردید که باکتری ها با تولید هورمون هایی مانند اکسین، عامل تحریک رشد سلولی بوده اند. همچنین کاربرد ویتامین ها نیز با افزایش فعالیت آنزیم های درگیر در رشد و افزایش تولید اسمولیت ها، در افزایش ارتفاع بوته نقش مؤثری ایفا کرد. در

1. Sarkar
2. Veena Kumari
3. Freitas
4. *Megathyrus maximus*
5. Dorjey
6. Garcia-Parra
7. Freitas
8. Emam
9. Wu

شاخص سطح برگ نیز ترکیب تیمار *B. subtilis* و ویتامین B با دز ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، بهترین پاسخ را به‌همراه داشت، به‌طوری‌که میزان سطح برگ ۱۳/۷ درصد افزایش یافت. این افزایش با ارتقای غلظت هورمون‌های رشد نظیر اکسین و سیتوکینین در برگ‌ها همراه بود که نقش کلیدی در تقسیم و رشد سلولی ایفا می‌کنند. از نظر شاخص محتوای کلروفیل، بیش‌ترین مقدار در تیمار *B. subtilis* بدون کاربرد ویتامین در سال دوم حاصل شد (CCI ۲۹/۵) که در مقایسه با شاهد ۲۷/۷ درصد افزایش داشت. این افزایش می‌تواند ناشی از شرایط اقلیمی مناسب و اثر هم‌افزای تیمارهای بیولوژیک باشد. همچنین تیمار ترکیبی باکتری‌ها و ویتامین‌ها نیز در افزایش محتوای کلروفیل مؤثر بود و از سوی دیگر، با تحریک سنتز ترکیبات فنولیکی و هورمون‌ها، فتوسنتز گیاه بهبود یافت. از دیدگاه عملکرد دانه، تیمار ترکیبی *B. subtilis* و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین بیش‌ترین عملکرد را با ۱۱۷/۰۵ گرم به دست داد که نسبت به شاهد ۲۳/۱۵ درصد افزایش نشان داد. تیمارهای انفرادی نیز اثر مثبتی بر عملکرد داشتند اما تیمار ترکیبی، تأثیر هم‌افزایی نشان داد. این افزایش عملکرد با افزایش محتوای کلروفیل، فعالیت فتوسنتزی و غلظت هورمون‌ها مرتبط بود. از نظر کیفیت دانه نیز، تیمارهای بررسی‌شده تأثیر مثبت داشتند. بیش‌ترین محتوای پروتئین با ۱۷/۹ درصد در تیمار *B. subtilis* ثبت شد (۱۸ درصد افزایش نسبت به شاهد). همچنین کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین‌ها نیز محتوای پروتئین را تا ۱۷/۲ درصد افزایش داد (۸/۹ درصد بیش‌تر از شاهد). این نتایج اهمیت نقش تغذیه‌ای و تحریک‌کننده این تیمارها را در بهبود کیفیت محصول نشان می‌دهد. در خصوص محتوای آنتی‌اکسیدانی دانه، تیمار ترکیبی *B. subtilis* و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ویتامین بالاترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی را ایجاد کرد (افزایش ۵۲/۴۶ درصد نسبت به شاهد). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات ثانویه به‌عنوان عامل اصلی این پاسخ مطرح شدند. در نهایت، محتوای کربوهیدرات نیز در اثر تیمار ترکیبی باکتری‌ها و دزهای بالاتر ویتامین (۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) به میزان قابل‌توجهی افزایش یافت (به‌ترتیب ۷۵/۵ و ۷۷/۸ درصد بیش‌تر از شاهد). این افزایش نیز به نقش کلیدی باکتری‌ها در تحریک فتوسنتز و متابولیسم گیاه نسبت داده شد. مطالعه حاضر نشان داد که محلول‌پاشی باکتری‌های محرک رشد به‌ویژه *B. subtilis* و ویتامین‌های گروه B، به‌صورت منفرد و به‌ویژه به‌صورت ترکیبی، قادرند به‌طور معنی‌داری باعث بهبود شاخص‌های رشد (ارتفاع بوته، سطح برگ) افزایش شاخص‌های فیزیولوژیکی (کلروفیل، هورمون‌های رشد)، بهبود عملکرد دانه و ارتقای کیفیت دانه از نظر پروتئین، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای کربوهیدرات‌ها شوند. بنابراین، استفاده هم‌زمان از این تیمارها می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد زیستی و پایدار برای افزایش بهره‌وری و کیفیت محصولات زراعی به‌ویژه کینوا توصیه شود.

۷. تشکر و قدردانی

از حمایت‌های پرسنل محترم مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملکان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. فهرست منابع

- Alipoor, M., & Mohsenzadeh, S. (2012). Effect of Vitamin B Complex on some Biochemical Parameters of *Aloe vera* L. under Nickel and Cadmium Stress. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, 2, 107-115.

- Belay, A. (2020). Plant growth enhancement using rhizospheric halotolerant phosphate-solubilizing bacterium *Bacillus licheniformis* QAI and *Enterobacter asburiae* QF11 isolated from *Chenopodium quinoa* Willd. *Microorganisms*, 8(6), 948.
- Boubakri, H., Gargouri, M., Mliki, A., Faïçal Brini, Chong, J., & Jbara, M. (2016). Vitamins for enhancing plant resistance. *Planta*, 244, 56-63.
- Brito, T. S., Schons, D. C., Ritter, G., Netto, L. A., Eberling, T., Pan, R., & Guimarães, V. F. (2018). Growth promotion by *Azospirillum brasilense* in the germination of rice, oat, brachiaria and quinoa. *Journal of Experimental Agriculture International*, 22(1), 1-9.
- Devarajan, H., Muthukrishnan, G., Truu, J., Truu, M., Ostonen, I., & Kizhaeral, S. (2021). The foliar application of rice phyllosphere bacteria induces drought-stress tolerance in *Oryza sativa* (L.), *Plants*, 10, 67-73.
- Dorjey, S., Dolkar, K., & Sharma, R. (2017). Plant growth promoting Rhizobacteria *Pseudomonas*: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 1335-1344.
- Dursun, A., Ekinçi, M., & Figen Dönmez, M. (2010). Effects of foliar application of plant growth promoting bacterium on chemical contents, yield and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 42(5), 3349-3356.
- Efthimiadou, M., Katsenios, N., Chanioti, S., Giannoglou, M., Djordjevic, N., & Katsaros, G. (2020). Effect of foliar and soil application of plant growth promoting bacteria on growth, physiology, yield and seed quality of maize under Mediterranean conditions. *Agriculture*, 10, 45-53.
- Salama, A. M., Seleem, E., Abd El Salam, R., & Ghoniem, A. (2021). Response of quinoa plant grown under drought stress to foliar application with salicylic acid, paclobutrazol and algae extract. *Scientific Journal of Agricultural Sciences*, 3(2), 87-104.
- Emam, M. M., El-Sweify, A. H., & Helal, N. M. (2011). Efficiencies of some vitamins in improving yield and quality of flax plant. *African Journal of Agricultural Research*, 6(18), 4362-4369.
- Eshaghi, E., Mousae, S., Hendiyani, A., Habibi Khav, A., & Nosrati, A. (2024). Evaluation of the potential of multi-trait PGPR isolates as inoculants for maize (*Zea mays* L.) growth. *Iranian Journal of Microbiology*, 16, 812-826.
- Fitzpatrick, T., & Chapman, M. (2020). The importance of thiamine (vitamin B1) in plant health: From crop yield to biofortification. *Journal of Biological Chemistry*, 295, 12002-12013.
- Freitas, G., Moreira, A., & Falaci Prudencio, M. (2023). Foliar spray inoculation with plant growth promoting bacteria associated with nitrogen doses in *Megathyrsus maximus* cv. BRS Zuri. *Agronomy*, 13, 64-76.
- Garcia, A., Pradi Vendruscolo, E., Ferreira de Lima, A., de Castro Seron, C., Battistuzzi Martins, M., & Rodrigues Sant' Ana, G. (2023). Effect of B vitamins on lettuce plants subjected to saline stress. *Agronomia Colombiana*, 41(1), 1-6.
- García-Parra, M.A., Roa-Acosta, D.F., Stechauner-Rohringer, R., GarcíaMolano, F., Bazile, D., & Plazas-Leguiza, N. (2020). Effect of temperature on the growth and development of quinoa plants (*Chenopodium quinoa* Willd.): A review on a global scale. *Sylwan*, 11, 34-43.
- Hussain, M., Ashraf, M., Usman, M., Yousaf, M., & others. (2022). Application of natural and synthetic growth promoters improves the productivity and quality of quinoa crop through enhanced photosynthetic and antioxidant activities. *Crop Protection*, 157, 105234.
- Khorrami, N., Jamei, R., Darvishzadeh, R., & Hosseini Sarghin, S. (2020). Effect of salinity stress on hormones of auxin, gibberellin, physiological, morphological and anatomical characteristics of *Hibiscus esculentus* L. *Iranian Journal of Plant Biology*, 11, 153-167.
- Kordatzaki, G., Katsenios, N., Giannoglou, B., Varvara Andreou, Chanioti, S., George Katsaros, Savvas, D., & Efthimiadou, A. (2022). Effect of foliar and soil application of plant growth promoting bacteria on kale production and quality characteristics. *Scientia Horticulturae*, 301, 73-79.
- Kshipra, G., & Pandurang, P. (2021). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(04), 882-886.
- Kumar Jha, M., & Saraf, M. (2015). Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): a review. *Journal of Agricultural Research and Development*, 5(2), 0108-0119.
- Kumar, S. (2023). Nano-zinc and plant growth-promoting bacteria is a sustainable alternative for improving productivity and agronomic biofortification of common bean. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 77.

- Li, J., Guo, X., Cai, D., Xu, Y., & Wang, Y. (2023). *Bacillus amyloliquefaciens* 11B91 inoculation enhances the growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salt stress. *PeerJournal*, 11, e15925.
- Liu, L., Salifu Yahaya, B., Jing, Li., & Wu, F. (2024). Enigmatic role of auxin response factors in plant growth and stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 5, 87-94.
- Minh, N., Hoang, D., Van Loc, N., & Viet Long, N. (2020). Effects of plant density on growth, yield and seed quality of quinoa genotypes under rain-fed conditions on red basalt soil regions. *Australian Journal of Crop Science*, 14(12), 1977-1982.
- Mostafa, M. (2020). Effect of foliar application of some vitamins and irrigation intervals on vegetative growth, flowering, and some biochemical constituents of *Helianthus annuus* L. plants. *Scientific Journal of Agricultural Sciences*, 2 (2), 1-8.
- Mostafa, N. (2020). Effect of foliar application of some vitamins and irrigation intervals on vegetative growth, flowering, and some biochemical constituents of *Helianthus annuus* L. plants. *Scientific Journal of Agricultural Sciences*, 2 (2), 1-8.
- Nasreen, A., Ghosh, R. K., Ali, M., Rahman, T., & Akhter, S. (2022). Estimation of thiamine, riboflavin and niacin content in jute leaves. *GSC Advanced Research and Reviews*, 13(1), 116-124.
- Orhana, E., Esitkena, A., Ercisli, S., Turanb, M., & Sahin, F. (2006). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Scientia Horticulturae*, 111, 38-43.
- Pathan, S., Ndunguru, G., Clark, K., & Ayele, G. (2023). Yield and nutritional responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes to irrigated, rainfed, and drought-stress environments. *Sec. Crop Biology and Sustainability*, 7, 47-56.
- Pourcel, L., Moulin, M., & Fitzpatrick, T. B. (2013). Examining strategies to facilitate vitamin B1 biofortification of plants by genetic engineering. *Frontiers in Plant Science*, 4, 47-56.
- Sarkar, B., Kumar, C., Pasari, S., Goswami, B., & Koshariya, A. K. (2022). Review on pseudomonas fluorescens: a plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Positive School Psychology*, 8, 91-103.
- Sofy, M. R., Sharaf, A. E. M., & Fouda, H. M. (2016). Effect of foliar application of proline and zinc on growth, yield and some metabolic activities of *Chenopodium quinoa* plants. *International Journal of Advanced Research*, 4(1), 1701-1717.
- Testen, A. L., & Backman, P. A. (2013). Plant growth-promoting characteristics of *Bacillus* species associated with *Chenopodium quinoa*. Virginia Tech Repository.
- Toghyani, M., Ehsanpour, A., Shariati, M., & Emamzadeh, R. (2016). The study of Auxin and Cytokinin changes and somaclonal variation in regenerated plant and callus of tobacco (*Nicotiana rustica* L.). *Plant Research*, 29, 385-394.
- VeenaKumari, D., Vickram, A. S., & Sridharan, T. B. (2020). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) *Pseudomonas stutzeri* from forest soil: A Review. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7, 67-73.
- Wu, X., Tang, Y., Li, C., Wu, C., & Huang, G. (2015). Chlorophyll fluorescence and yield responses of winter wheat to waterlogging at different growth stages. *Plant Production Science*, 18, 284-294.
- Younis, A.S.M., Sadak, S., Bakry, B., & Ramadan, A. (2020). Foliar application influence of pyridoxine and thiamine on growth, qualitative and quantitative traits of faba bean grown in sandy soil. *American-Eurasian Journal of Agronomy*, 13 (2), 30-38.
- Younis, A.S.M., Sadak, S.H., Bakry, B.A., & Ramadan, A. (2020). Foliar application influence of pyridoxine and thiamine on growth, qualitative and quantitative traits of faba bean grown in sandy soil. *American-Eurasian Journal of Agronomy*, 13 (2), 30-38.
- Zeboon, N., & Baqir, H. (2023). The Effect of Vitamin B9 and E on the Yield and Its Components of the Wheat Crop. *Fifth International Conference for Agricultural and Environment Sciences*, 1158.
- Zulkadir, G. (2021). The effects of various row spacing and sowing periods on the plant properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(3), 1857-1867.