Journal of Soil Management and Sustainable Production

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Effect of potassium-solublizing bacteria biofertilizer on yield and yield components of wheat in comparison to chemical potassium fertilizer application

Zahra Saeidi[1], Hamid Madani[*2], Mohammad Hassan Shirzadi[3], Hossein Heidari Sharifabad[4]

1. Ph.D. Graduate of Agronomy, Jiroft Branch, Islamic Azad University, Jiroft, Iran. E-mail: zahrasaeedi67@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Agronomy, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: h-madani@iau-arak.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Jiroft Branch, Islamic Azad University, Jiroft, Iran. E-mail: mhshirzadi@gmail.com
4. Professor, Dept. of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: h.heidari1871@hotmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 07.14.2021
Revised: 04.24.2022
Accepted: 04.26.2022

Keywords:
Bio-fertilizer,
Grain yield,
Integrated fertilizer,
Wheat

ABSTRACT

Background and Objectives: The use of potassium solublizing bacteria (KSB) in soils containing an accumulation of insoluble and non-absorbable potassium by plants can help further solubility of these potassium mineral sources in the soil and thus the uptake of this element by the plant. Also, the application of KSB on the yield and yield components of wheat can prevent the overuse of potassium chemical fertilizers and instead predispose soil conditions for the development of plant nutrition. Therefore, the aim of this study was to determine the effect of application of KSB in comparison with the application of common potassium chemical fertilizers in the country's farms on quantitative and qualitative traits of wheat grain.

Materials and Methods: To study the effect of application of KSB on the yield of wheat cultivars in southern Kerman, Iran, this experiments were performed over two years in the form of split plots in a randomized complete block with three replications in the research farm of Islamic Azad University of Jiroft in loamy sand soil. Various wheat cultivars including Chamran 2, Barat and Khalil were located in the main plot and sources and amounts of calcium were at four levels: 1. Control (without fertilizers) 2. Application of chemical sulfate potassium (at the rate of 200 kg / ha based on soil test results 3. Half of the recommended chemical fertilizer at the rate of 100 kg/ha + consumption of KSB from the source of Potabarvar biofertilizer at the rate of 100 g/ha 4. KSB (at the rate of 100 g/ha as the seed treatment), were placed in sub-plots.

Results: The results showed that wheat cultivars showed different reactions to different levels and sources of fertilizer during the two years of the study. The highest grain yield in Chamran 2 cultivar was obtained by applying KSB at the rate of 8 t/ha. Application of KSB alone in Khalil cultivar and application of potassium solfate along with KSB in Barat cultivar produced 7.49 and 7.6 tons of grain per hectare, respectively, Whithout significant different by 8 tons per hectare. Application of KSB could significantly improve grain yield, spike length, number of grains per spike, grain nitrogen percentage and grain protein percentage.

Conclusion: The results showed that the applied KSB improved the quantitative and qualitative traits in wheat grain. Although the application

of potassium sulfate based on soil test results also had an effective role to increase wheat traits, but it is suggested that in agriculture based on sustainability in agriculture, potassium biofertilizer should be used with half of the recommanded potassium sulfate fertilizer. In addition to reducing the consumption of chemical fertilizers, this can be effective in reducing wheat production costs and farm health.

Cite this article: Saeidi, Zahra, Madani, Hamid, Shirzadi, Mohammad Hassan, Heidari Sharifabad, Hossein. 2023. Effect of potassium-solublizing bacteria biofertilizer on yield and yield components of wheat in comparison to chemical potassium fertilizer application. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 13 (1), 113-127.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJSMS.2023.19314.2032
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار

شاپا چاپی: ۱۲٦۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲

اثر کاربرد کود زیستی آزادکننده پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی پتاسیمی

زهرا سعیدی[۱]، حمید مدنی*[۲]، محمدحسن شیرزادی[۳]، حسین حیدری شریف‌آباد[٤]

۱. دانش‌آموخته دکتری زراعت، واحد جیرفت، دانشگاه آزاد اسلامی، جیرفت، ایران. رایانامه: zahrasaeedi67@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه زراعت، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران. رایانامه: h-madani@iau-arak.ac.ir
۳. استادیار گروه زراعت، واحد جیرفت، دانشگاه آزاد اسلامی، جیرفت، ایران. رایانامه: mhshirzadi@gmail.com
٤. استاد گروه زراعت، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: h.heidari1871@hotmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰٤/۲۳
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۰۲/۰٤
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۲/۰٦

واژه‌های کلیدی:
عملکرد دانه،
کوددهی تلفیقی،
کود زیستی،
گندم

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از باکتری‌های آزادکننده پتاسیم در خاک‌های حاوی پتاسیم غیرمحلول انباشته شده و غیرقابل‌جذب توسط گیاهان می‌تواند به حلالیت بیش‌تر این منابع معدنی پتاسیم خاک و در نتیجه جذب آن توسط گیاه کمک کند. هم‌چنین کاربرد باکتری‌های آزادکننده پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم می‌تواند از مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی پتاسیمی جلوگیری و به‌جای آن شرایط زیستی خاک را برای توسعه تغذیه گیاه مستعد نماید. بنابراین هدف از این مطالعه، تعیین اثر کاربرد کود زیستی آزادکننده پتاسیم در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی پتاسیمی رایج در کشور بر صفات کمی و کیفی دانه گندم بود.

مواد و روش‌ها: برای مطالعه تأثیر کاربرد کود زیستی پتاسیم بر عملکرد ارقام گندم در جنوب کرمان، آزمایش‌هایی طی دو سال و به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت در خاک با بافت شن لومی انجام شد. ارقام مختلف گندم شامل چمران ۲، برات و خلیل در کرت‌های اصلی و منابع و مقادیر پتاسیم در چهار سطح: ۱. شاهد (بدون مصرف کود) ۲. مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم (به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار براساس نتایج تجزیه خاک) ۳. نصف کود شیمیایی توصیه شده به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار + مصرف کود زیستی پتاسیمی از منبع کود زیستی پتابارور به صورت بذرمال به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار ٤. کود زیستی پتاسیم (به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار به صورت بذرمال)، در کرت‌های فرعی قرار داشتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ارقام گندم نان واکنش متفاوتی را به سطوح و منابع مختلف کودی طی دو سال مطالعه نشان دادند. بیش‌ترین عملکرد دانه در رقم چمران ۲ با مصرف کود زیستی

پتاسیم به میزان ۸ تن در هکتار حاصل شد. مصرف کود سولفات پتاسیم به تنهایی در رقم خلیل و مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم به همراه کود زیستی پتاسیم در رقم برات به ترتیب سبب تولید ۷/٤۹ و ۷/٦ تن دانه در هکتار شد که با تیمار برتر (۸ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کاربرد کود زیستی پتاسیم به‌کار رفته توانست موجب بهبود معنی‌داری در میزان عملکرد دانه، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، درصد نیتروژن دانه و درصد پروتئین دانه گردد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد، کود زیستی پتاسیم به‌کار رفته باعث بهبود صفات کمی و کیفی دانه گندم شد. هر چند مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم استفاده شده براساس نتایج آزمایش خاک نیز در افزایش صفات مذکور عیناً نقش مؤثری داشت اما پیشنهاد می‌شود در کشاورزی مبتنی بر رعایت اصول زیست‌محیطی، کود زیستی پتاسیم همراه با نیمی از کود شیمیایی سولفات پتاسیم استفاده شود که می‌تواند علاوه بر کاهش مصرف مقدار کودهای شیمیایی در کاهش هزینه‌های تولید و سلامت محصول گندم نان مؤثر باشد.

استناد: سعیدی، زهرا، مدنی، حمید، شیرزادی، محمدحسن، حیدری شریف‌آباد، حسین (۱۴۰۲). اثر کاربرد کود زیستی آزادکننده پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی پتاسیمی. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۳ (۱)، ۱۲۷-۱۱۳.

DOI: 10.22069/EJSMS.2023.19314.2032

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

تغذیه جمعیت در حال رشد جهان، که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر برسد، از چالش‌های قابل‌توجهی است که کشاورزی در قرن ۲۱ با آن روبرو خواهد شد (۱). برای تأمین غذای جمعیت در حال افزایش جهان، کشاورزی باید در آینده گسترده‌تر و پایدارتر باشد. بسیاری از خاک‌های کشاورزی مقدار کافی یک یا چند ماده مغذی ضروری گیاه را برای رشد بهینه نداشته و لازم است برای دست آوردن عملکرد بالاتر گیاهان، کشاورزان به‌طور فزاینده‌ای به کودهای با منبع شیمیایی روی آورند (۲)؛ در حالی‌که کودهای شیمیایی به رشد گیاه کمک می‌کنند، اما خواص خاک را بهبود نمی‌بخشند. کاملاً مشخص است که استفاده مداوم از کودهای شیمیایی، که عمدتاً از کود فسفری، کود نیتروژنی و کود پتاسیمی استفاده می‌شود، اثرات مضر بر محیط زیست دارد (۳). پتاسیم به عنوان یک ماده مغذی ضروری و یک ترکیب اصلی در تمام سلول‌های زنده در نظر گرفته می‌شود. به طور طبیعی، خاک‌ها بیش از هر ماده غذایی دیگر حاوی پتاسیم هستند. با این وجود بیش‌تر پتاسیم برای جذب گیاه در دسترس نیست. این درحالی است که استفاده از کودهای شیمیایی تأثیر قابل‌توجهی بر پایداری محیط زیست دارد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (KSB) می‌توانند مواد معدنی حاوی پتاسیم را حل کرده و پتاسیم نامحلول را به فرم‌های محلول پتاسیم موجود برای جذب گیاه تبدیل کنند. بسیاری از باکتری‌ها مانند *Acidothiobacillus ferrooxidans*، *Paenibacillus* spp، *Bacillus mucilaginosus*، *B. edaphicus* و *B. circulans* توانایی حل کردن مواد معدنی پتاسیم (به عنوان مثال، بیوتیت، فلدسپات، ایلیت، ماسکویت، ارتوکلاز و میکا) را دارند. باکتری‌های آزادکننده پتاسیم یا KSB معمولاً در همه خاک‌ها وجود دارد، اگرچه تعداد، تنوع و توانایی آن‌ها برای انحلال پتاسیم بسته به خاک و شرایط آب و هوایی متفاوت است. این باکتری‌ها می‌توانند مواد معدنی سیلیکاتی را حل کرده و از طریق تولید اسیدهای آلی و غیرآلی، اسیدولیز، واکنش‌های پلی‌ساکارید، کمپلکس، کلات و تبادل سبب آزادسازی پتاسیم شود. از این‌رو، مدیریت و مصرف کودهای زیستی حاوی KSB می‌تواند جایگزینی مؤثر برای کودهای شیمیایی باشد (٤).

پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند، استفاده از KSB اثرات مفیدی بر رشد گیاهان مختلف دارد و می‌تواند پتاسیم قابل‌جذب را در دسترس گیاه قرار دهد (۵، ٦ و ۷). بررسی‌ها نشان داده است کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی با کودهای بیولوژیک باعث بهبود رشد گیاه و در نهایت حصول بیش‌ترین عملکرد دانه گندم نسبت به مصرف جداگانه هر کدام از کودهای شیمیایی و بیولوژیک می‌شود (۸). کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی با کودهای زیستی توانسته است کاربرد کود شیمیایی را بدون افت عملکرد دانه ذرت تا ۵۰ درصد کاهش دهند (۹). بررسی‌های ساریخانی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از باکتری آزادکننده پتاسیم *Pseudomonas sp* سویه S10-3 در گوجه‌فرنگی نشان داد این شیوه تغذیه پتاسیم سبب افزایش محتوا و غلظت پتاسیم در بافت هوایی و هم‌چنین افزایش زیست‌توده گیاه نسبت به تیمار شاهد شد (۱۰).

پرمار (۲۰۱۰) نشان داد تلقیح بذر گندم با باکتری‌های آزادکننده پتاسیم سویه HWP47 سبب بهبود ٥١/٤٦ درصدی وزن خشک ریشه و ٤٤/٢٨ درصدی وزن خشک ساقه گردید. هم‌چنین تلقیح باکتری مذکور با کودهای شیمیایی به ترتیب ۲۲/۳۵ و ۷۳/٦٨ درصدی وزن خشک ریشه و ساقه را افزایش داد (۱۱). با توجه به این‌که محتوای پتاسیم کل در

اغلب خاک‌های زراعی کشور در حد کافی است و محدودیت پتاسیم در این خاک‌ها ناشی از کمبود پتاسیم قابل‌جذب می‌باشد (۱۲)، بنابراین استفاده از باکتری‌های آزادکننده پتاسیم می‌تواند به حلالیت بیش‌تر پتاسیم انباشت شده در خاک و سهولت جذب و انتقال آن در گیاه کمک کند. هم‌چنین مصرف تلفیقی باکتری‌های آزادکننده پتاسیم و کودهای شیمیایی پتاسیمی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط اقلیمی جنوب استان کرمان می‌تواند از مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی پتاسیمی مانند سولفات‌پتاسیم جلوگیری و به‌جای آن شرایط زیستی خاک را برای توسعه تغذیه گیاه مستعد نماید. بنابراین هدف از این مطالعه، تعیین اثر کاربرد کود زیستی آزادکننده پتاسیم در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی پتاسیمی رایج در کشور بر صفات کمی و کیفی دانه گندم بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ و ۱۳۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت انجام شد (مختصات جغرافیایی منطقه: ۵۷ درجه و ٤٨ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ٦٠١ متر از سطح دریا). از نظر اقلیمی این منطقه دارای آب و هوای نیمه گرم و نیمه مرطوب می‌باشد (۱۳). هم‌چنین در سال‌های انجام آزمایش و در طول دوره رشد گیاه، میانگین دما و بارندگی به ترتیب ۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۵ میلی‌متر بود. کرت اصلی سه رقم گندم آبی شامل رقم چمران ۲، برات و خلیل (بذرهای سازگار با آب و هوای منطقه) و کرت فرعی آزمایش چهار سطح منابع و مقادیر کود پتاسیم شامل: F1 شاهد (بدون مصرف کود) F2: مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار براساس نتایج تجزیه خاک F3: نصف کود شیمیایی توصیه‌شده به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار + مصرف کود زیستی پتاسیم‌دار از منبع کود زیستی پتابارور به‌صورت بذرمال به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار و F4: کود زیستی یا همان کود زیستی حاوی باکتری‌های آزادکننده پتاسیم به تنهایی از منبع کود زیستی پتابارور (به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار به‌صورت بذرمال) بودند. جمعیت باکتری‌های فعال در این کود ۱۰۸ CFU/g بود. قابل ذکر است که کوددهی در هر دو سال انجام گرفت. بنابراین در هر سال در مجموع ۱۲ تیمار با سه تکرار جمعاً ٣٦ کرت مورد بررسی قرار گرفت. قبل از انجام آزمایش در هر دو سال و از دو مزرعه مجزا اما مجاور به هم، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، نمونه خاک مرکب تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت نمونه خاک تهیه شده از زمین مورد آزمایش، در هر دو سال، پس هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، به آزمایشگاه منتقل و بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مانند پی‌اچ به روش الکترود شیشه‌ای و کالومل در خمیر اشباع، در نسبت ۱ : ۲/۵ خاک به آب (١٤)، بافت خاک به‌روش هیدرومتر (۱۵)، غلظت عناصر آهن و روی در عصاره‌های گیاهی با استفاده از دستگاه جذب اتمی (١٦)، ماده آلی به‌روش واکلی- بلاک (۱۷)، هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی در عصاره اشباع (۱۸) فسفر قابل استفاده به روش اولسن (۱۹) و پتاسیم به‌روش استات‌آمونیوم تعیین‌گردید (جدول ۱).

مطابق با نتایج تجزیه شیمیایی خاک (جدول ۱) میزان فسفر و نیتروزن خاک با استفاده از کاربرد مقادیر ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره طی سه مرحله ترمیم گردید. در خصوص عنصر پتاسیم نیز با توجه به

این‌که میزان این عنصر به شکل قابل‌جذب در خاک از حداقل لازم برای زراعت گندم برخوردار بود (بین ۱۰۵ تا ۱۰۷ قسمت در میلیون) بنابراین شرایط خاک مزرعه آزمایشی برای بررسی بهتر فعالیت کودهای زیستی محلول‌کننده پتاسیم کاملاً محیا بوده و تیمارهای مقادیر کود شیمیایی پتاسیم نیز بر این اساس تعیین گردیدند.

بنابراین به‌منظور آماده‌سازی زمین، عملیات خاکورزی قبل از کاشت شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین مطابق با شیوه‌های توصیه شده و فنی انجام و با توجه به ابعاد کرت‌هایی آزمایشی و براساس نتایج تجزیه خاک، مقادیر ۹ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل (معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به همراه ۳ کیلوگرم کود اوره پایه (معادل ۵۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت یکنواخت در کل زمین مورد آزمایش قبل از کرت‌بندی توزیع و با کمک دیسک با خاک مخلوط و زیر خاک قرار گرفت. کود اوره سرک نیز در دو نوبت دیگر به مقدار ٦ کیلوگرم (معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در مرحله پنجه‌زنی و به مقدار ٦ کیلوگرم (معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در مرحله ساقه‌دهی مورد استفاده قرار گرفت .

ابعاد هر کرت آزمایشی ۱۲ مترمربع (٦×۲ متر) و فاصله بین بلوک‌ها ٤ متر در نظر گرفته شد. کشت بذرهای گندم از طبقه بذر گواهی شده و به شیوه دستی و با دقت لازم بر اساس ٤۰۰ دانه بذر در مترمربع در هر دو سال در تاریخ ۱۰ آذرماه (مطابق عرف محل) انجام شد. آبیاری به صورت نشتی و براساس عرف منطقه تا پایان دوره رشد و نمو هر هشت روز یک بار انجام شد. میزان آب مصرفی در سطح این آزمایش ۳٦۰ مترمکعب معادل ٦۰۰۰ مترمکعب در هکتار بود.

پس از وقوع مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، نمونه‌برداری از هر کرت با حذف نیم متر از حاشیه هر کرت انجام شد که برای این کار بوته‌های گندم به‌طور کامل از سطح زمین قطع گردیدند و پس از انتقال به آزمایشگاه صفات طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. صفات غلظت نیتروژن و پروتئین دانه تنها در سال دوم مورد سنجش قرار گرفتند. اندازه‌گیری نیتروژن به روش کجدال انجام شد (۲۰). میزان پروتئین دانه با استفاده از رابطه (درصد نیتروژن*۵/۷) محاسبه شد (۲۱).

داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹,۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای این منظور ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس تجزیه واریانس داده‌ها انجام و چون اثر سال در تجزیه مرکب معنی‌دار بود اقدام به تجزیه نتایج هر سال به‌صورت جداگانه شد که مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Some physical and chemical properties of soil used in the experiment.

Zn ($mg.kg^{-1}$)	Fe ($mg.kg^{-1}$)	N Total (%)	K ($mg.kg^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	OC (%)	بافت خاک Texture	سال Year
1.8	9.8	0.128	107	5.4	1.38	7.9	0.63	شن لومی Loamy Sand	2017
1.3	9.4	0.130	105	5.1	1.38	7.9	0.60	شن لومی Loamy Sand	2018

نتایج و بحث

طول سنبله در سال اول آزمایش تحت اثر معنی‌دار رقم در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل رقم در کود در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها درسال دوم آزمایش نشان داد تمامی اثرات مورد بررسی شامل اثرات اصلی رقم، کود و اثر متقابل رقم در کود بر طول سنبله بدون ریشک معنی‌دار گردید (جدول ۲). در هر دو سال آزمایش بیش‌ترین میزان این صفت از رقم برات در شرایط کاربرد کود شیمیایی و کاربرد تلفیقی کود شیمیایی با کود زیستی به‌دست آمد (شکل ۱).

استفاده از تیمارهای کودی باعث افزایش طول سنبله در گیاه گردید، که علت این افزایش را می‌توان تحریک ریزجانداران خاک و عرضه مداوم و پایدار عناصر غذایی به گیاه دانست. محفوظ و شرف‌الدین (۲۲) در بررسی خود نشان دادند مخلوط کودهای زیستی شامل (آزوسپیریلوم لیپوفروم و نیتروژنوباکتر) به همراه کودهای شیمیایی پرمصرف موجب افزایش مشخصه‌های رشد از جمله ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌ها، وزن تر علوفه و وزن خشک گیاه در مقایسه با اثر کودهای شیمیایی به تنهایی می‌شود. استفاده از کودهای زیستی باعث افزایش فتوسنتز و در نتیجه رشد اندام هوایی می‌شود و از طریق فراهم کردن عناصر تغذیه‌ای و آب قابل‌دسترس بیش‌تر می‌تواند باعث افزایش رشد طول ریشک و برگ پرچم شود و برگ پرچم به علت فاصله اندک منبع به مخزن و ریشک نیز به واسطه تداوم فتوسنتز پس از گرده افشانی و فاصله اندک به مخزن نقش بسیار مؤثری در پر شدن دانه دارند، پس بهبود در صفاتی از این دست در حصول عملکرد حداکثری نقش به‌سزایی دارد (۲۳).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از سال اول آزمایش نشان داد اثر رقم و اثر متقابل رقم در کود بر تعداد دانه در سنبله در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. در سال دوم نیز اثر رقم، کود و اثر متقابل رقم در کود بر میزان این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در کود نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین ارقام و سطوح کودی مختلف می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در کود در دو سال زراعی نشان داد بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله در سال اول از رقم برات در تیمار کودی تلفیق کود شیمیایی با کود زیستی به‌دست آمد که با تیمارهای کاربرد کود شیمیایی رقم برات، کاربرد کود زیستی رقم برات و کاربرد کود شیمیایی رقم خلیل اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. نتایج مقایسه میانگین سال دوم نیز نشان‌دهنده برتری رقم برات در شرایط کاربرد تلفیقی کود شیمیایی با کود زیستی و هم‌چنین برتری رقم برات در کاربرد کود زیستی به‌تنهایی می‌باشد که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۲). دلیل کاهش تعداد دانه در سنبله در شرایط کاربرد کود شیمیایی به‌تنهایی را می‌توان این‌گونه بیان کرد کودهای شیمیایی بیش‌تر جنبه رویشی گیاه را تقویت کرده و بنابراین قسمت اعظم انرژی گیاه صرف رشد رویشی شده که باعث می‌شود رشد زایشی کاهش پیدا کند و به دنبال آن تعداد دانه و عملکرد اقتصادی گیاه نیز کاهش یابد (۲٤).

استفاده از سیستم تلفیقی کود آلی و شیمیایی باعث می‌شود در ابتدای دوره رشد، کود شیمیایی عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه را فراهم کند و پس از آن در طول دوره رشد با آزاد شدن تدریجی عناصر ضروری کود آلی گیاه از این عناصر در طول دوره رشد استفاده نماید و بنابراین رشد زایشی گیاه در کنار رشد رویشی آن تقویت می‌گردد (۲۵). در مطالعه اثر کود پتاسیم بر گیاه آفتابگردان گزارش شد وجود پتاسیم کافی سبب حفظ فعالیت فتوسنتز و

تولید مواد فتوسنتزی می‌شود و بدین‌ترتیب با توجه به نقش پتاسیم در انتقال اسمولیت‌ها و مواد غذایی، افزایش تعداد دانه در طبق با کاربرد پتاسیم قابل توجیه است (۲٦). در آزمایش کودهای آلی و غیرآلی بر گیاه ذرت گزارش شد مصرف هم‌زمان کودهای آلی و شیمیایی نسبت به مصرف جداگانه آن‌ها، ویژگی‌های فیزیکی خاک را بهبود بخشیده و شرایط بهتری را برای جذب عناصر غذایی و عرضه مواد پرورده به بلال، به عنوان اصلی‌ترین مخزن گیاه فراهم می‌آورد (۲۷).

عملکرد دانه در سال اول آزمایش تنها تحت‌تأثیر برهمکنش دو عامل رقم و سطوح کودی مختلف در سطح یک درصد قرار گرفت اما در سال دوم آزمایش اثر رقم، کود و اثر متقابل دو عامل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و کود در سال اول آزمایش (شکل ۳) نشان داد بیش‌ترین عملکرد دانه در رقم چمران ۲ با مصرف کود زیستی پتاسیم به میزان ۸ تن در هکتار حاصل شد. مصرف کود سولفات پتاسیم به‌تنهایی در رقم خلیل و مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم به همراه کود زیستی پتاسیم در رقم برات به ترتیب سبب تولید ۷/٤۹ و ۷/٦ تن دانه در هکتار شد که با تیمار برتر (۸ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در سال دوم آزمایش، رقم چمران ۲ رفتار مشابهی همانند سال اول آزمایش داشت و بیش‌ترین عملکرد دانه در این رقم از مصرف کود زیستی پتاسیم به میزان ٦/۳٦ تن در هکتار حاصل شد. این درحالی است که رقم برات و خلیل رفتار متفاوتی از سال اول نسبت به سال دوم آزمایش به سطوح مختلف کودی نشان دادند. به‌طوری که عملکرد دانه رقم برات در تمام سطوح مختلف کودی بالاترین میزان بوده و تفاوت معنی‌داری با هم نشان ندادند. این درحالی است که بیش‌ترین عملکرد رقم خلیل (٦/۲۲ تن در هکتار) مربوط به تیمار کودی شاهد یعنی مصرف کود شیمیایی قبل کاشت براساس آزمون خاک حاصل شد.

ژانگ و کانگ (۲۰۱٤) گزارش نمودند استفاده از سویه‌های مختلف باکتری آزادکننده پتاسیم در تنباکو منجر به افزایش وزن خشک گیاه و جذب پتاسیم و نیتروژن شد. هم‌چنین این پژوهش‌گران گزارش نمودند استفاده از این سویه‌های باکتریایی به همراه کودهای معدنی افزایش بیش‌تر رشد و عملکرد گیاه را سبب گردید (۲۸). این بررسی‌ها اثبات می‌کنند که یکی از دلایل افزایش عملکرد در این مطالعات به افزایش میزان جذب پتاسیم و آب در گیاه مربوط می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس درصد نیتروژن و پروتئین دانه نشان داد ارقام مختلف از نظر میزان نیتروژن و پروتئین اختلاف معنی‌داری داشته و اثر متقابل رقم و کود نیز بر این صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین اثر متقابل دو فاکتور، درصد نیتروژن دانه در رقم برات در تمام سطوح کودی بالا بود و تحت‌تأثیر معنی‌دار کود مصرفی قرار نگرفت (شکل ٤). این درحالی است که در رقم چمران ۲، مصرف کود پتاسیم زیستی، سبب افزایش معنی‌دار درصد نیتروژن دانه شده به‌طوری‌که درصد نیتروژن در این رقم از ۰/۰۹ درصد در سطح کودی شاهد، به ۰/۲۷ درصد در تیمار کود زیستی افزایش معنی‌داری یافت. درصد نیتروژن در رقم خلیل نیز تحت‌تأثیر معنی‌دار کود مصرفی قرار نگرفت. عنصر پتاسیم علاوه بر دخالت در افزایش عملکرد و کیفیت دانه در گندم، در جذب عناصر، به‌خصوص نیتروژن نقش مؤثری را ایفا می‌کند و به همین دلیل میزان نیتروژن گیاه تحت شرایط کاربرد این عنصر افزایش می‌یابد. طی پژوهشی دیگر بالاترین مقدار نیتروژن دانه زمانی حاصل شد که از تلقیح بذور با باکتری آزوسپیریلوم استفاده گردید. این پژوهش‌گران،

دلیل این افزایش را قابلیت دسترسی بیش‌تر به عناصر غذایی توسط باکتری آزوسپیریلوم دانستند و نیز بیان نمودند با کاربرد سویه‌های باکتری آزوسپیریلوم، محتوای نیتروژن دانه نسبت به شاهد افزایش یافت.

مقایسه میانگین اثر متقابل کود و رقم نشان داد ارقام واکنش متفاوتی به تیمار کودی اعمال شده نشان دادند. مصرف کود پتاسیم در سه تیمار مصرفی در مقایسه با شاهد منجر به افزایش درصد پروتئین دانه در رقم چمران ۲ شد. در رقم برات بیش‌ترین درصد پروتئین در تیمار مصرف کود شیمیایی پتاسیم حاصل شد. هم‌چنین مصرف کود زیستی پتاسیم در رقم خلیل منجر به حصول بیش‌ترین درصد پروتئین دانه نسبت به شاهد در این رقم گردید (شکل ۵). هم‌چنین کاربرد پتاسیم در محیط رشد گیاه، جذب نیتروژن و درصد پروتئین دانه را افزایش می‌دهد و اضافه کردن پتاسیم کافی، سرعت انتقال نیتروژن از اندام رویشی به دانه را افزایش می‌دهد (۲۹).

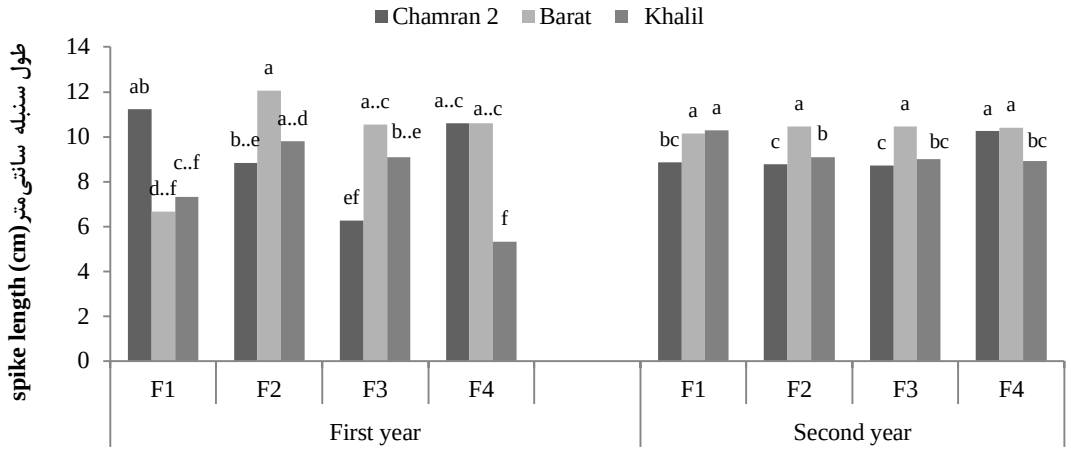
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی گندم.

Table 2. Analysis of variance of quantitative and qualitative traits of wheat.

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Average of squares							
		طول سنبله *spike length*		تعداد دانه در سنبله Grain/Spike		عملکرد دانه Grain yield		درصد نیتروژن دانه % Grain nirtogen	درصد پروتئین دانه % Grain protein
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال دوم Second year	سال دوم Second year
تکرار Rep	2	18.49**	0.004 ns	29.64 ns	0.43 ns	2.74 ns	0.44 ns	0.001 ns	0.06 ns
رقم Cultivar	2	15.80**	4.59**	199.76**	556.11**	2.08 ns	9.01**	0.02**	0.68**
خطای a Error a	4	0.46	0.001	93.68	0.65	0.42	0.11	0.0006	0.02
کود Fertilizer	3	3.14 ns	0.63 **	57.84 ns	76.29**	2.01 ns	1.25**	0.0008 ns	0.02 ns
رقم × کود Cultivar× Fertilizer	6	22.18**	1.16**	348.72**	137.37**	9.94 **	2.22**	0.03**	1.06 **
خطای b Error b	18	3.21	0.03	18.72	1.51	0.64	0.11	0.002	0.07
درصد ضریب تغییرات %CV		19.71	12.84	11.33	8.37	13.71	12.93	2.18	2.98

ns و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

ns and ** not significant and P<0.01, respectively

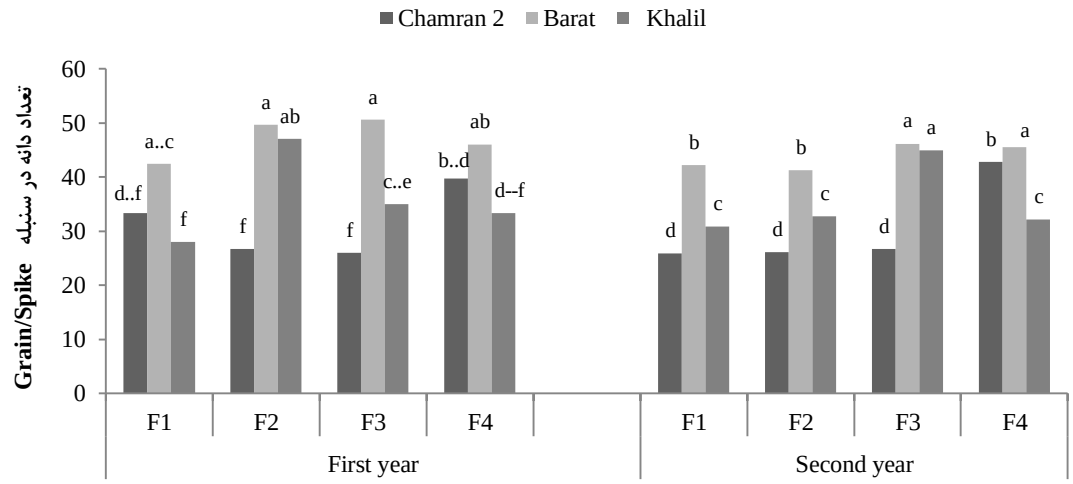


Diffrent levels of fertilizer سطوح مختلف کودی

F1. Coltrol- non fertilizer F2. Potassium sulfate fertilizer (based on soil test results) F3. Half recommended fertilizer based on soil test results plus Potassium bio fertilizer and F4. Potassium bio fertiliz

شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و سطوح کودی بر طول سنبله گندم طی دو سال.

Figure 1. Comparison of the average interaction of cultivar and fertilizer levels on wheat spike length during two years.

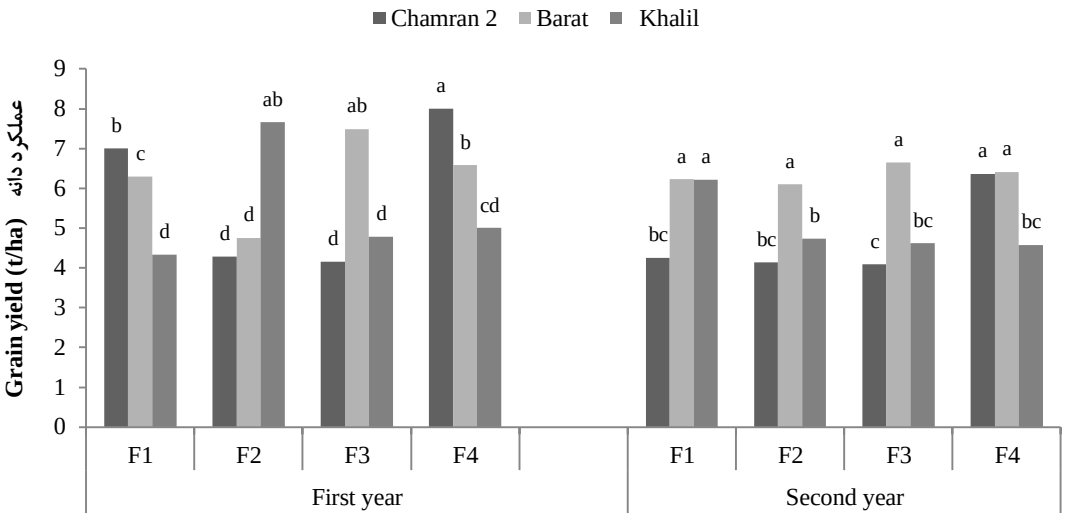


Different levels of fertilizer سطوح مختلف کودی

F1. Coltrol- non fertilizer F2. Potassium sulfate fertilizer (based on soil test results) F3. Half recommended fertilizer based on soil test results plus Potassium bio fertilizer and F4. Potassium bio fertili

شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و سطوح کودی بر تعداد دانه در سنبله گندم طی دو سال.

Figure 2. Comparison of the average interaction of cultivar and fertilizer levels on wheat grain/ spike during two years.

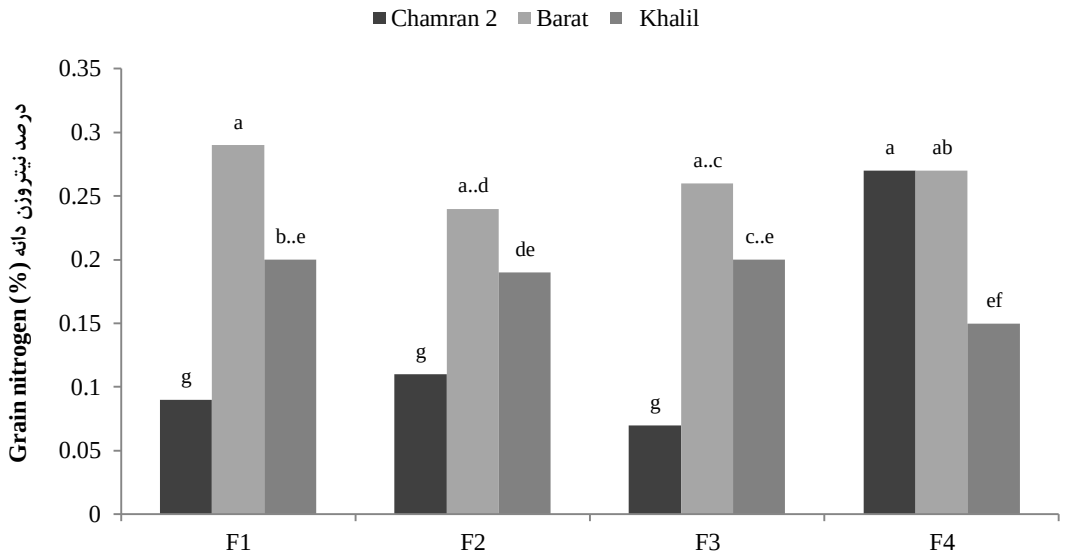


Different levels of fertilizer سطوح مختلف کودی

F1. Coltrol- non fertilizer F2. Potassium sulfate fertilizer (based on soil test results) F3. Half recommended fertilizer based on soil test results plus Potassium bio fertilizer and F4. Potassium bio fertili

شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و سطوح کودی بر عملکرد دانه گندم طی دو سال.

Figure 3. Comparison of the average interaction of cultivar and fertilizer levels on wheat grain yield during two years.

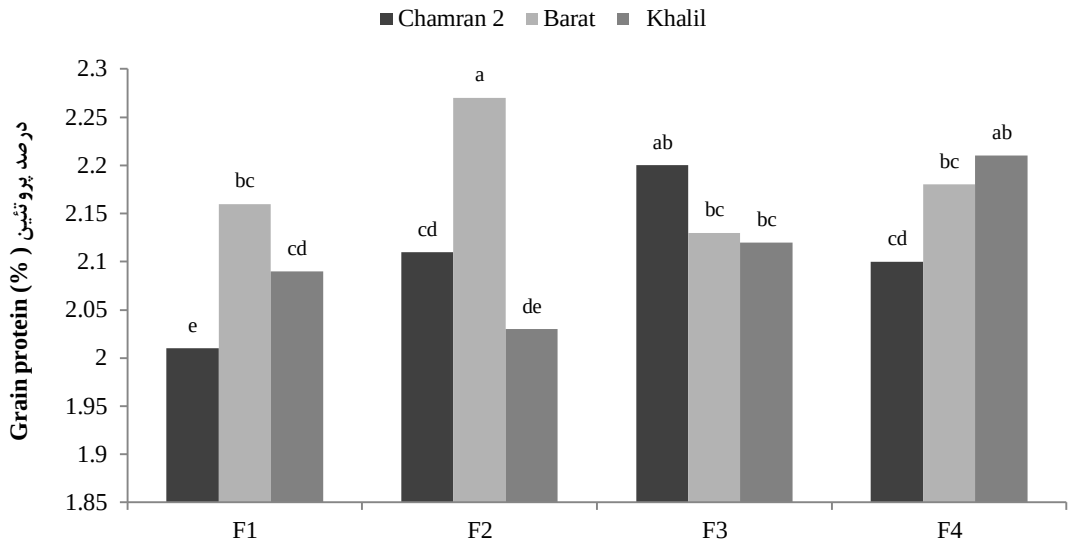


Different levels of fertilizer سطوح مختلف کودی

F1. Coltrol- non fertilizer F2. Potassium sulfate fertilizer (based on soil test results) F3. Half recommended fertilizer based on soil test results plus Potassium bio fertilizer and F4. Potassium bio fertiliz

شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و سطوح کودی بر درصد نیتروژن دانه گندم طی دو سال.

Figure 4. Comparison of the average interaction of cultivar and fertilizer levels on wheat grain nitrogen (%) during two years.



F1. Coltrol- non fertilizer F2. Potassium sulfate fertilizer (based on soil test results) F3. Half recommended fertilizer based on soil test results plus Potassium bio fertilizer and F4. Potassium bio fertilize

شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و سطوح کودی بر درصد پروتئین دانه گندم طی دو سال.

Figure 5. Comparison of the average interaction of cultivar and fertilizer levels on wheat grain protein (%) during two years.

نتیجه‌گیری

کاربرد کودهای زیستی حاوی باکتری‌های آزادکننده پتاسیم (KSB) در ترکیب با کودهای معدنی رایج مانند سولفات پتاسیم می‌تواند سبب کاهش مقدار مصرف کودهای شیمیایی پتاسیمی و کاهش هزینه‌های تولید گردد. اگرچه برخی سویه‌های باکتریایی آزادکننده پتاسیم می‌توانند رشد گیاه را تحریک نمایند و به افزایش عملکرد منجر شوند، اما لازم است این گونه باکتری‌ها و کودهای زیستی حاوی آن‌ها تحت شرایط مزرعه، در بافت‌های مختلف خاک، شرایط محیطی متفاوت و ارقام مختلف گیاهی مورد آزمایش قرار گیرند. نتایج آزمایش نشان داد ارقام مختلف گندم ممکن است واکنش‌های متفاوتی به مصرف سطوح مختلف کود پتاسیم‌دار نشان دهند. آن‌چه که در نتایج این بررسی مشهود بود، تأثیر کاربرد کود زیستی پتاسیم به‌کار رفته در بهبود نسبی صفات کمی و کیفی دانه گندم در مقایسه با مصرف کود شیمیایی بود. که هر چند مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم موجب افزایش بیش‌تر صفات زراعی و عملکرد محصول گندم شد ولی در کشاورزی مبتنی بر رعایت اصول زیست محیطی، کاربرد کود زیستی محلول‌کننده پتاسیم همراه با کود شیمیایی سولفات پتاسیم یا همان روش تلفیقی می‌تواند شیوه مناسب‌تری برای کاهش مقدار کودهای شیمیایی و کاهش هزینه‌های تولید و البته سلامت مزرعه و محصول باشد.

منابع

1. Dastorani, M., Gholamalalipour Alamdari, E., Biabani, A., Avarseji, Z., & Habibi, M. (2019). Study the several herbicides effect on weeds control and yield of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Weed Science, 14 (1), 83-95. [In Persian]
2. Dart, P. (1977). Infection and development of leguminous nodules. P 367-472. In R.W.F., Hardy, and W.S. Silver, A Treatise on Dinitrogen Fixation, Section III: Biology ed. New York John Wiley.
3. Ahemad, M., & SaghirKhan, M. (2010). Comparative toxicity of selected insecticides to Pea plants and growth promotion in response to insecticide-tolerant and plant growth promoting *Rhizobium leguminosarum.* Crop Protection, 29 (4), 325-329. **doi:10.1016/j.cropro. 2010.01.005.**
4. Calabrese, E. J. (2005). Paradigm lost, paradigm found: The reemergence of hormesis as a fundamental dose–response model in the toxicological sciences. *Environmental Pollution*, 138 (3), 378-411. **Doi: 10.1016/j.envpol.2004.10.001.**
5. Arruda, J. S., Lopes, N. F., & Moura, A. B. (2001). Behavior of *Bradyrhizobium japonicum* strains under different herbicide concentrations. *Planta Daninha,* 19 (1), 111-117. **DOI: 10.1590/S0100-83582001000100013.**
6. Baraldi, E., Mari, M., Chierici, E., Pondrelli, M., Bertolini, P., & Pratella, G. C. (2003). Studies on Thiabendazole resistance of *Penicillium expansum* of pears: pathogenic fitness and genetic characterization. *Journal of Plant Pathology,* 52, 362-370. **Doi: 10.1046/ j.1365-3059.2003.00861.x.**
7. Migliore, L., Rotini, A., & Thaller, M. C. (2013). Low doses of Tetracycline trigger the *E. Cola* growth: A case of hormetic response. *Dose Response*, 11 (4), 550-557.
8. Abbasian, A., & Rashed Mohasel, M. H. (2017). Community structure and Species diversity of Chickpea weeds in application of Imazethapyr and Trifuralin. *Applied Agricultural Research,* 29 (1), 39-45. [In Persian]
9. Emami, A. (1996). Methods of plant analysis. Agricultural Research and Education Organization. Soil & Water Research Institute. Technical Issue, 982, 202. [In Persian]
10. Sarikhani, M. R., Oustan, S., Ebrahimi, M., & Aliasgharzad, N. (2018). Isolation and identification of potassium-releasing bacteria in soil and assessment of their ability to release potassium for plants. *European Journal of Soil Science*. 69 (6), 1078-1086. **Doi: 10.1111/ ejss. 12708.**
11. Parmar, P. (2010). Isolation of potassium solubilizing bacteria and their inoculation effect on growth of wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.). M.Sc. thesis submitted to CCS Haryana Agricultural Uuniversity, Hisar.
12. Fulladosa, E., Murat, J. C., Bollinger, J. C., & Villaescusa, I. (2007). Adverse effects of organic arsenical compounds towards Vibrio fischeri bacteria. *The Science of the Total Environment*, 377 (2-3), 207-213. **Doi: /10.1016/ j.scitotenv.2006.12.044.**
13. Herridge, D. F., Peoples, M. B., & Boddey, R. M. (2008). Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant and Soil*, 311, 1-18. **doi: 10.1007/s11104-008-9668-3.**
14. Ferreira, T. C., Aguilar, J. V., Souza, L. A., Justino, G. C., Aguiar, L. F., & Camargos, L. S. (2016). pH effects on nodulation and biological nitrogen fixation in *Calopogonium mucunoides*. *Brazilian Journal of Botany*, 39 (4), 1015-1020. **doi: 10.1007/s40415-016-0300-0.**
15. Bostrom, M. L., & Berglund, O. (2015). Influence of pH-dependent aquatic toxicity of ionizable pharmaceuticals on risk assessments over environmental pH ranges. *Water Research Journal*, 72, 154-161. **doi: 10.1016/j.watres. 2014.08.040.**
16. Kust, C. A., & Strockmeyer, E. B. (1971). Effects of Trifluralin on growth, nodulation and anatomy of soybeans. *Weed Science,* 19, 147-152.

17. György, E., Mara, G., Máthé, I., Laslo, E., Márialigeti, K., Albert, B., Oancea, F., & Lányi, S. (2010). Characterization and diversity of the nitrogen fixing microbiota from a specific grassland habitat in the *Ciuc Mountains*. Romanian *Biotechnological Letters*, 15 (4), 5474-5481.
18. Miri, A. A., Avarseji, Z., Gholamalalipour Alamdari, E., & Nakhzari Moghaddam, A. (2020). Effect of pre-planting and post-vegetative herbicides and cultivars on yield and yield components of pea. *Journal of Crop Production*, 12 (4), 187-198. [In Persian]
19. Brain, P., & Cousens, R. (1989). An equation to describe dose responses where there is stimulation of growth at low doses. *Weed Research*, 29, 93-96. **Doi:10.1111/j.1365-180.1989.tb00845.x.**
20. Mahfouz, S. A., & Sharaf-Edin, M. A. (2007). Effect of mineral vs. Biofertilizer on growth, yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *International Agrophysics*. 21, 361-366.
21. Flores, F. J., & Garzon, C. D. (2013). Detection and assessment of chemical hormesis on the radial growth *in vitro* of Oomycetes and fungal plant pathogens. *Dose-Response*, 11, 361-373. **doi: 10.2203/dose-response.12-026.Garzon.**
22. Bagherani, N., Galeshi, S., Zeinali, E., & Arzanesh, M. H. (2014). Evaluation of Trifluralin, Metribuzin and Imazethapyr herbicides effects on *Bradyrhizobium japonicum* isolates growth. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 4 (3), 251-268. [In Persian]
23. Anderson, A., Baldock, J. A., Rogers, S. L., Bellotti, W., & Gill, G. (2004). Influence of Chlorsulfuron on rhizobial growth, nodule formation and nitrogen fixation with Chickpea. Australian *Journal of Agricultural Research*, 55, 1059-1070. **Doi:10.1071/AR03057.**
24. Laranjo, M., Young, J. P. W., & Oliveira, S. (2012). Multilocus sequence analysis reveals multiple symbiovars within *Mesorhizobium* species. *Systematic and Applied Microbiology*, 35, 359-367. **doi: 10.1016/j.syapm. 2012.06.002.**
25. Lin, S., Pi, Y., Long, D., Duan, J., Zhu, X., Wang, X., He, J., & Zhu, Y. (2022). Impact of Organic and Chemical Nitrogen Fertilizers on the Crop Yield and Fertilizer Use Efficiency of Soybean–Maize Intercropping Systems. *Agriculture*, 12 (9), 1428. **doi:10.3390/ agriculture12091428.**
26. Bittner, L., Kluver, N., Henneberger, L., Muhlenbrink, M., Zarfl, C., & Escher, B. I. (2019). Combined ion-trapping and mass balance models to describe the pH-dependent uptake and toxicity of acidic and basic pharmaceuticals in zebrafish embryos (*Danio rerio*). *Environmental Science and Technology*, 53 (13), 7877-7886. **doi:10.1021/acs. est.9b02563.**
27. Druin, P., Sellmani, M., Prevost, D., Fortin, J., & Antoun, H. (2010). Tolerance to agricultural pesticides of strains belonging to four genera of Rhizobiaceae. Journal *Environmental Science and Health*, 45, 780-788. **doi: 10.1080/03601234.2010.515168.**
28. Haiyan, N., Li, N., Qiu, J., Chen, Q., & He, J. (2018). Biodegradation of Pendimethalin by *Paracoccus* sp.13. *Current Microbiology*, 75, 1077-1083. **doi: 10.1007/s00284-018-1494-0.**
29. Nour, S. M., Cleyet-Marel, J. C., Normand, P., & Fernandez, M. P. (1995). Genomic heterogeneity of strains nodulating chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and description of *Rhizobium mediterraneum* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 45, 640-648. **doi: 10.1099/00207713-45-4-640.**