



## Effect of Biological Fertilizers on the Yield and Some Morphological Characteristics of Saffron (*Crocus sativus* L.)

Shima Abdoshah<sup>1</sup>, Davood Bakshi<sup>2\*</sup> and Mohammad Bagher Farhangi<sup>3</sup>

### Article type:

Research Article

### Article history:

Submitted: 23 July 2023

Revised: 11 October 2023

Accepted: 21 October 2023

Available Online: 23 October 2023

### How to cite this article:

Abdoshah, Sh., Bakshi, D., and Farhangi, M. B. (2023). Effect of Biological Fertilizers on the Yield and Some Morphological Characteristics of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, 11(3), 243-255.

DOI: 10.22048/jsat.2023.407644.1497

### Abstract

Applying chemical fertilizers has traditionally been employed to enhance saffron cultivation yields. However, their excessive usage has not only failed to increase yields significantly but has also resulted in soil element depletion and environmental pollution. In the context of sustainable agriculture, the use of biofertilizers presents an alternative approach. Biofertilizers play a crucial role in reducing the dependency on chemical fertilizers by aiding in the mobilization of mineral elements within the soil, ultimately leading to heightened yield levels. Therefore, due to the importance of increasing the yield of saffron as a strategic export and medicinal plant, an experiment was conducted in a randomized complete block design format with three replications in the research farm of the Semnan Natural Resources Department during the year 2022. Iron-zinc (FeZn), potassium (K), phosphorus (P) biofertilizers, and their combination together with the control (total of 8 treatments) were experimental treatments and applied as fertigation in the middle of February 2022. The studied traits included flowering period, number of flowers, fresh and dry flower weight, fresh and dry weight of stigma, height and diameter of stigma tip, number and length of leaves, and leaf chlorophyll content. The field soil was analyzed before the experiment, and it was a saline calcareous soil with alkaline pH and high levels of nutritional elements, which does not need chemical fertilizers for saffron cultivation. Mean comparisons showed that biofertilizers caused a significant increase ( $p < 0.05$ ) in all traits except length and number of leaves, height, and stigma diameter compared to the control. This research showed that the combined application of K and FeZn biofertilizers had the best results. So that the highest values of the number of flowers ( $175 \text{ number.plot}^{-1}$ ), fresh weight of flowers ( $72.61 \text{ g.plot}^{-1}$ ), dry weight of flowers ( $7.92 \text{ g.plot}^{-1}$ ), length of flowering period (21 days), chlorophyll *a* content ( $0.728 \text{ mg.g}^{-1}$  of leaf fresh weight), total chlorophyll content ( $5.97 \text{ mg.g}^{-1}$  leaf fresh weight), stigma fresh weight ( $4.28 \text{ g.plot}^{-1}$ ) and stigma dry weight ( $0.804 \text{ g.plot}^{-1}$ ) were recorded in the K+FeZn treatment. Overall, the cultivation of saffron with biofertilizers improved most of the quantitative and qualitative traits of saffron by affecting the

<sup>1</sup> -Ph.D. Candidate, Department of Horticultural Sciences, College of Agricultural Science, Guilan University, Rasht, Iran

<sup>2</sup> -Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, College of Agricultural Science, Guilan University, Rasht, Iran

<sup>3</sup> -Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agricultural Science, Guilan University, Rasht, Iran



Corresponding author: [bakshi-d@guilan.ac.ir](mailto:bakshi-d@guilan.ac.ir)

uptake of nutrients, and the combined use of biofertilizers can significantly increase saffron yield through synergistic effects.

**Keywords:** Flower yield, Growth promoting bacteria, Iron-zinc biofertilizer, Potassium biofertilizer, Stigma.

## مقاله پژوهشی

# تأثیر کودهای حاوی باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد گل و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی

## زعفران (*Crocus sativus* L.)

شیمای عبدالشاه<sup>۱</sup>، داود بخشی<sup>۲\*</sup> و محمدباقر فرهنگی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱ مرداد ۱۴۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۹ مهر ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۲۹ مهر ۱۴۰۲

عبدالشاه، ش.، بخشی، د.، و فرهنگی، م. ب. (۱۴۰۲). تأثیر کودهای حاوی باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد گل و برخی ویژگی‌های

فیزیولوژیکی زعفران (*Crocus sativus* L.). زراعت و فناوری زعفران، ۱۱(۳)، ۲۴۳-۲۵۵.

## چکیده

کودهای زیستی با پویاسازی عناصر معدنی، نیاز به کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهند و منجر به افزایش عملکرد می‌شوند. از این رو با توجه به اهمیت افزایش عملکرد زعفران، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی اداره منابع طبیعی سمنان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کودهای زیستی فروزینک بارور، پتابارور-۲، فسفات بارور-۲ و ترکیب آن‌ها با هم در کنار شاهد (۸ تیمار) بودند که به صورت کودآبیاری در اواسط بهمن ماه ۱۴۰۰ در دو سطح صفر و نیم لیتر در هکتار اعمال شدند. صفات مورد بررسی شامل تعداد گل، وزن گل تازه و خشک، وزن تر و خشک کلاله، طول کلاله و قطر نوک کلاله، طول دوره گلدهی، تعداد برگ و محتوای کلروفیل برگ بودند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کودهای زیستی باعث افزایش معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) در تمامی صفات به جز تعداد برگ، طول کلاله و قطر نوک کلاله در مقایسه با شاهد شدند. صفات مورد بررسی بهترین نتایج خود را تحت کاربرد ترکیبی کودهای زیستی فروزینک بارور و پتابارور-۲ نشان دادند. به طوری که بیشترین مقادیر تعداد گل (۱۷۵ عدد در متر مربع)، وزن تر گل (۷۲/۶۱ گرم در متر مربع)، وزن خشک گل (۷/۹۲ گرم در متر مربع)، طول دوره گلدهی (۲۱ روز)، محتوای کلروفیل  $a$  (۰/۷۲۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، محتوای کلروفیل کل (۵/۹۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، وزن تر کلاله (۴/۲۸ گرم در مترمربع) و وزن خشک کلاله (۰/۸۰۴ گرم در مترمربع) در تیمار توام فروزینک بارور و پتابارور-۲ به دست آمد که به ترتیب ۳/۱، ۳/۶، ۳/۴، ۱/۱، ۲/۱، ۱/۵، ۳ و ۳/۱ برابر شاهد بود. به طور کلی کودهای زیستی با اثر بر افزایش حلالیت عناصر غذایی و قابل دسترس کردن آن‌ها برای گیاه باعث بهبود صفات کمی زعفران شدند و کاربرد توام کودهای زیستی نیز عملکرد گل و کلاله زعفران را به طور معنی‌داری افزایش داد.

**کلمات کلیدی:** عملکرد گل، کلاله، محتوای کلروفیل.

۱- دانشجوی دکتری علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

\*- نویسنده مسئول: [bakhshi-d@guilan.ac.ir](mailto:bakhshi-d@guilan.ac.ir)

## مقدمه

زعفران با نام علمی *Crocus sativus* L. یکی از گیاهان دارویی بومی و ارزشمند ایران است که تولید سالانه آن در سراسر جهان بیش از ۴۵۰ تن در سال است (Moallem Banhangi et al., 2021) و بیش از 90 درصد تولید جهانی این محصول به کشور ایران اختصاص دارد (Kothari et al., 2021). زعفران به دلیل دارا بودن بیش از ۱۰۰ ترکیب فعال بیولوژیکی (Hourani, 2022) کاربردهای ویژه در صنایع داروسازی، آرایشی-بهداشتی و غذایی پیدا کرده است. این کاربردها و همچنین کارایی اقتصادی بالاتر آن نسبت به دیگر گیاهان در الگوی کشت، لزوم توجه ویژه به مسائل تولید زعفران را بیش از پیش روشن می‌نماید (Gol Mohammadi et al., 2010).

با وجود این که ایران در بین کشورهای تولیدکننده زعفران جایگاه نخست را از نظر سطح زیرکشت و میزان تولید سالانه دارد، ولی میانگین عملکرد آن (حدود ۳/۵ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با میانگین عملکرد جهانی این محصول کم بوده و به طور قابل توجهی کمتر از میانگین عملکرد در اروپا (حدود ۵ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد (Tabatabaeian et al., 2020). با توجه به این که، بالاترین کیفیت زعفران جهان مربوط به کشور ایران است (Mokhtari et al., 2014) و تقاضا برای این محصول در بازارهای جهانی رو به افزایش می‌باشد (Cardone et al., 2021)، بازنگری در روش‌های تولید و مدیریت به‌زراعی و توسعه فن‌آوری‌های نوین آن جهت افزایش و بهبود کمی و کیفی این محصول حائز اهمیت است.

افزایش چشمگیر تولید مواد غذایی نیازمند استفاده از مقادیر بالای کودهای شیمیایی است (Kianimanesh et al., 2021)؛ اما وجود اقلیم خشک و نیمه‌خشک در بیشتر مناطق کشور و بالا بودن میزان کربنات‌ها و شاخص واکنش در خاک باعث اختلال

در جذب بهینه برخی عناصر و کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Menemizadeh et al., 2014). از طرفی، نتیجه استفاده بیش از اندازه از کودهای شیمیایی در سال‌های گذشته آلودگی‌های محیط زیست و به ویژه آلودگی منابع خاک و آب بوده که زنجیره‌وار به منابع غذایی انسان‌ها راه یافته و سلامت جوامع بشری را مورد تهدید قرار داده است (Naghdi Badi et al., 2011). کاهش این مخاطرات زیست محیطی همگام با افزایش عملکرد گیاهان زراعی نیازمند تکنیک‌های نوین زراعی است. از جمله این تکنیک‌ها، بررسی و ارزیابی جامعه زنده و فعال خاک به منظور شناسایی ریزموجودات خاکری سودمند و استفاده از آن‌ها به عنوان کودهای زیستی است (Sarikhani & Amini, 2020).

بهره‌برداری از ریزجانداران سودمند به‌عنوان کودهای زیستی به دلیل نقش احتمالی آنها در ایمنی مواد غذایی و تولید پایدار محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای در بخش کشاورزی برخوردار است (Itelima et al., 2018). کود زیستی شامل یک یا چند نوع میکروارگانیسم سودمند خاکری و یا فرآورده متابولیت آن‌ها می‌باشد که می‌تواند در ناحیه اطراف ریشه و یا بخش‌های داخلی گیاه مستقر شده و با افزایش عرضه و فراهمی عناصر غذایی برای گیاه میزبان، رشد آن را تقویت کند (Omidi et al., 2009; Vessey, 2003). همچنین برخی از این کودها دارای فعالیت آن‌تاگونیستی در برابر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زای گیاهی نیز هستند (Ren et al., 2020) و می‌توانند در طی فرایند زیستی، عناصر را تبدیل به مواد افزایش‌دهنده رشد همچون ویتامین‌ها و هورمون‌ها کرده و باعث افزایش بهره‌وری و عملکرد شده (Vessey, 2003) و با کاهش مصرف کودهای شیمیایی به حفظ محیط زیست (Ebrahimi et al., 2022) نیز کمک کنند.

در آن تأثیر کودهای زیستی فروزینک بارور، پتابارور-۲ و فسفات‌ها بارور-۲ بر عملکرد کمی زعفران مورد مطالعه قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار؛ مجموعاً ۲۴ کرت ۱ در ۲ متر در یک مزرعه زعفران یک‌ساله در محل نهالستان اداره منابع طبیعی شهرستان سمنان (طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۲۶° و ۵۳° شرقی و ۳۵' و ۳۵° شمالی و ارتفاع ۱۱۱۶ متر از سطح دریا) انجام شد. برای آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از شروع آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه مرکب تهیه و ویژگی‌های آن به روش استاندارد اندازه‌گیری شد (Carter & Gregorich, 2007). طبق نتایج آنالیز خاک که در جدول ۱ آمده است، خاک مورد بررسی خاک آهکی با محتوای کربن آلی کم، دارای واکنش قلیایی و قابلیت هدایت الکتریکی بالا بود.

کاربرد تلفیقی باکتری‌های محرک رشد همراه با کودهای آلی در زعفران، بیشترین عملکرد خشک کلاله و خامه را به دنبال داشت (Aalizadeh et al., 2021). نتایج بررسی اثر کود زیستی و جهت قرارگیری بنه‌ها در خاک بر برخی ویژگی‌های زراعی زعفران نشان داد که، کود زیستی بر صفات وزن خشک گل و گلبرگ و وزن تر کلاله مؤثر بوده است (Tabrizi & Azizi, 2019). بررسی اثرات کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد گل زعفران نشان داد که کاربرد کود زیستی پتابارور-۲، به علت افزایش حالیت پتاسیم در خاک، علاوه بر افزایش صفات فیزیولوژیک و عملکرد، منجر به کاهش مصرف کود شیمیایی خواهد شد (Mohammad Ghasemi et al., 2022).

با توجه به اهمیت تولید گیاه دارویی زعفران و مصارف گسترده آن در صنایع مختلف و همچنین نیاز به بررسی‌های بیشتر درباره‌ی کودهای زیستی به‌ویژه کود زیستی آهن و روی، پتاسیم، فسفر و اثرات توأم آن‌ها بر رشد و عملکرد این گیاه، این پژوهش با هدف دستیابی به عملکرد کمی مطلوب انجام شد و

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

Table 1- Physicochemical characteristics of the research field soil

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی							
Physical and chemical characteristics							
شاخص واکنش pH	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS.m <sup>-1</sup> )	کل کربنات-های خنثی شونده TNV (%)	کربن آلی O.C (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت Texture
7.58	4.14	40	0.8	60	28	12	لوم رسی شنی Sandy clay loam
عناصر تغذیه‌ای							
Nutritional elements (mg.kg <sup>-1</sup> )							
سدیم N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	آهن Fe	منگنز Mn	مس Cu
800	65	390	1440	9120	4.4	6.8	0.56
1.58							

فاصله بوته روی ردیف ۵ سانتی‌متر کاشته شده بودند. فاصله بین

گیاهان در ۵ ردیف با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر و

(Porra, 2002) محاسبه شد (معادلات ۱، ۲ و ۳).

$$\text{Chlorophyll } a (\mu\text{g.Ml}^{-1}) = (12.25 (A_{663.6}) - 2.55 (A_{646.6})) \times V (\text{mL}) \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll } b (\mu\text{g.mL}^{-1}) = (20.31 (A_{646.6}) - 4.91 (A_{663.6})) \times V (\text{mL}) \quad (2)$$

$$\text{Total Chlorophyll } (\mu\text{g.mL}^{-1}) = 17.76 (A_{646.6}) + 7.34 (A_{663.6}) \times V (\text{mL}) \quad (3)$$

که در این روابط A شدت جذب نور در طول موج های ۶۶۳/۶، ۶۴۶/۶ نانومتر و V حجم سوپرناتانت (محلول رویین پس از سانتریفیوژ) است.

در آبان ماه ۱۴۰۱، گلدهی آغاز شده و حدود سه هفته به طول انجامید. گل ها روزانه پیش از طلوع آفتاب و با در نظر گرفتن اثر حاشیه ای، از یک متر مربع میانی کرت های آزمایشی جمع آوری شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از شمارش گل ها، وزن تر گل ها و وزن تر کلاله با ترازوی دیجیتال ثبت و طول کلاله تا محل اتصال کلاله ها و قطر نوک کلاله با کولیس دیجیتال اندازه گیری شد. سپس بلافاصله در خشک کن الکتریکی و در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۰ دقیقه خشک شدند و وزن خشک گل و وزن خشک کلاله نیز با ترازوی دیجیتال اندازه گیری شد.

تجزیه واریانس داده ها با نرم افزار SAS و مقایسه میانگین ها بر اساس آزمون توکی ( $p \leq 0.05$ ) انجام شد.

## نتایج و بحث

### خصوصیات برگ

خصوصیات برگ شامل اندازه گیری تعداد برگ و محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای کودی به کار برده شده بر روی صفات تعداد برگ اثر معنی دار نداشت، ولی بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی دار بود ( $p \leq 0.01$ ) (جدول ۲).

کرت ها یک متر و فاصله بین بلوک ها دو متر در نظر گرفته شد. تیمارهای آزمایش شامل کود زیستی فروزینک بارور، حاوی باکتری *Pseudomonas japonica* سویه های FZ29-1 و FZ21-1 با شمارش (CFU.mL<sup>-1</sup>) 10<sup>7</sup> تا 10<sup>8</sup>، کود زیستی پتا بارور-۲، حاوی باکتری های *Pseudomonas koreensis* strain S14 و *Pseudomonas vancoverensis* strain S19 با شمارش (CFU.mL<sup>-1</sup>) 10<sup>7</sup> تا 10<sup>8</sup>، و کود زیستی فسفات بارور-۲، حاوی باکتری های *Pseudomonas putida* strain P13 و *Pantoea agglomerans* strain P5 با شمارش (CFU.mL<sup>-1</sup>) 10<sup>7</sup> تا 10<sup>8</sup> بودند که از شرکت زیست فناوری سبز تهیه شدند. دستور مصرف هر سه کود نیم لیتر در هکتار (0.5 L.ha<sup>-1</sup>) بود. کودها در دو سطح صفر و نیم لیتر در هکتار به صورت انفرادی یعنی؛ کود زیستی فروزینک بارور (FeZn)، پتا بارور-۲ (K) و فسفات بارور-۲ (P) و ترکیبی شامل P+K، P+FeZn، K+FeZn و K+P+FeZn بود؛ به طوری که مجموعاً در کنار شاهد (سطح بدون کود) ۸ تیمار را شامل می شدند.

با توجه به تفاوت هایی که در وقوع رویدادها در چرخه زندگی زعفران با توجه به محل رویش آن وجود دارد (Kumar et al., 2009)، تیمارها در مرحله میانی رشد بنه های دختری و تکمیل ریشه ها (Koocheki et al., 2015) به صورت کودآبیاری در اواسط بهمن ماه ۱۴۰۰ اعمال شدند.

نمونه برداری از برگ زعفران، در دهم فروردین ماه با انتخاب تعدادی از بنه ها به طور تصادفی انجام و تعداد برگ های آن شمارش شده و سپس جهت اندازه گیری محتوای کلروفیل a و b و کلروفیل کل آماده شدند. رنگیته های برگ به روش آرنون (Arnon, 1949) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Varian Cary scan 100) اندازه گیری شد. سپس محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل با استفاده از روش پرا

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس محتوی کلروفیل *a* و *b* و کلروفیل کل زعفران پس از کاربرد کودهای زیستیTable 2- Analysis of variance for chlorophyll *a*, *b* and total chlorophyll content after biofertilizer application

میانگین مربعات Mean squares					
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد برگ Number of leaves	کلروفیل <i>a</i> Chlorophyll <i>a</i>	کلروفیل <i>b</i> Chlorophyll <i>b</i>	کلروفیل کل Total chlorophyll
بلوک Block	2	1.29 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>
کودهای زیستی Biofertilizers	7	0.8 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>**</sup>	0.006 <sup>**</sup>	1.52 <sup>**</sup>
خطا Error	14	0.8	0.004	0.0004	0.23
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	13.06	11.83	7.47	9.68

\*\* : معنی‌دار در سطح  $p \leq 0.01$ . <sup>ns</sup>: غیر معنی‌دار.\*\* Significant at  $p \leq 0.01$  levels. <sup>ns</sup>: not significant.

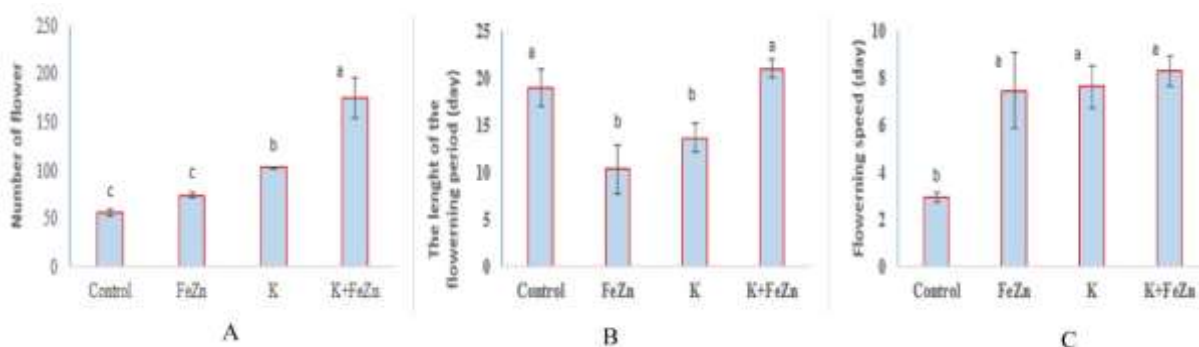
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای کودی به کار برده شده بر روی تعداد برگ معنی‌دار نبود که با نتایج پژوهش خیری و همکاران (Kheiry et al., 2017) مطابقت دارد (Kheiry et al., 2017) با حضور باکتری‌های محرک رشد، ترشح هورمون‌های ایندول استیک اسید و سیتوکینین افزایش یافته و منجر به افزایش تقسیم سلولی و توسعه ریشه، افزایش میزان کلروفیل و به دنبال آن افزایش فتوسنتز در گیاه می‌شود (Leylasi & Marand & Sarikhani, 2018) با توجه به نقش آهن و روی در متابولیسم کلروفیل به عنوان کوفاکتور در بسیاری از آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز و تنفس (Bybordy & Mamedov, 2010)؛ این عناصر می‌توانند باعث افزایش کلروفیل و تجمع متابولیت‌ها در اندام‌های هوایی شوند (Arif et al., 2012).

#### خصوصیات کمی گل

آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کودهای زیستی بر تعداد گل، عملکرد ترگل، عملکرد خشک گل و طول زمان گلدهی معنی‌دار بود ( $p \leq 0.01$ ). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که به کار بردن کودهای زیستی باعث افزایش معنی‌دار

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل *a* در نتیجه کاربرد ترکیبی کود زیستی پتابارور-۲ و فروزینک بارور (K+FeZn) با مقدار ۰/۷۲۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر بود که با مقدار کلروفیل *a* در برخی تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری نداشت و همچنین کمترین مقدار کلروفیل *a* نیز در شاهد به دست آمد که با مقدار کلروفیل *a* در سطح کودی پتابارور-۲ (K) و فسفات‌بارور-۲ (P) اختلاف معنی‌داری نداشت. مقایسات میانگین کلروفیل *b* نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل *b* با مقدار ۰/۳۲۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تیمار تلفیقی کودهای زیستی مشاهده گردید که با تیمار فسفات‌بارور-۲ (P) اختلاف معنی‌داری نداشت و همچنین کمترین مقدار کلروفیل *b* نیز در تیمار پتابارور-۲ (K) مشاهده شد. در مورد کلروفیل کل مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل کل در تیمار ترکیبی کود زیستی پتابارور-۲ و فروزینک بارور (K+FeZn) مشاهده شد که با برخی تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری نداشت و همچنین کمترین مقدار کلروفیل کل نیز در شاهد مشاهده شد که با تیمار کودی پتابارور-۲ و فسفات‌بارور-۲ (P+K) اختلاف معنی‌داری نداشت.

( $p \leq 0.05$ ) همه این صفات در مقایسه با شاهد شد.



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های محتوی کلروفیل *a* (الف)، *b* (ب) و کلروفیل کل زعفران (ج) پس از کاربرد کودهای زیستی حروف همانند روی ستون‌ها نشان‌دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار است. Control، K، P، FeZn به ترتیب نشان‌دهنده شاهد، تیمار کود زیستی پتآبارور-۲، فسفات‌آبارور-۲ و فروزینک‌آبارور و علامت + بین آن‌ها نشان‌دهنده کاربرد ترکیبی آن‌هاست.

Figure 1- Mean comparisons of chlorophyll *a* (A), *b* (B), and total chlorophyll content (C) after biofertilizer application The same letter above the columns indicates a non-significant difference. Control, K, P, and FeZn indicate control, Pota BARVAR-2, Phosphate BARVAR-2, and Ferozinc BARVAR biofertilizer treatment, respectively, and + mark between them indicates their combined application.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای کودهای زیستی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک

Table 3- Analysis of variance of the effect of biofertilizer application on some physiological characteristics of saffron

میانگین مربعات									
Mean squares									
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد گل Number of flowers	وزن تر گل Fresh weight of flower	وزن خشک گل Dry weight of flower	وزن تر کلاله Fresh weight of stigma	وزن خشک کلاله Dry weight of stigma	طول کلاله Stigma height	قطر کلاله Stigma diameter	طول زمان گلدهی Length of flowering period
بلوک Block	2	407.79*	98.27 <sup>ns</sup>	0.57 <sup>ns</sup>	0.1 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	6.54 <sup>ns</sup>
کود زیستی Biofertilizer	7	4000.2**	685.33**	8.66**	2.59**	0.08**	2.65 <sup>ns</sup>	<sup>ns</sup> 0.06	36.42**
خطا Error	14	103.88	47.23	0.53	0.12	0.004	2.26	0.04	3.49
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	9.38	14.95	14.39	13.47	12.93	5.18	10.98	12.22

\*\* و \* معنی‌دار در سطح  $p \leq 0.01$  و  $p \leq 0.05$ . <sup>ns</sup>: غیر معنی‌دار.  
\*\* and \* significant at  $p \leq 0.01$  and  $p \leq 0.05$ . <sup>ns</sup>: not significant.

مترمربع) و طول دوره گلدهی (۲۱ روز) در تیمار ترکیب کود زیستی پتآبارور-۲ و فروزینک‌آبارور (K+FeZn) به دست آمد. اثر مثبت کود زیستی بر تعداد گل، وزن تر و خشک گل، وزن تر و خشک کلاله با نتایج پژوهش‌های دیگر (Akbarian et al., 2012؛ Ghanbari et al., 2019؛ Esmaeilian et al., 2022؛

نتایج مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی بر صفات بررسی شده در جدول ۳ نشان داده شده است. هرچند اثرات مثبت کود زیستی فسفات‌آبارور-۲ در نتایج مقایسه میانگین‌ها مشهود است، اما بیشترین مقادیر تعداد گل (۱۷۵ عدد در متر مربع)، وزن تر گل (۷۲/۶۱ گرم در متر مربع)، وزن خشک گل (۷/۹۲ گرم در



(Mohammad Ghasemi et al., 2022) نیز مطابقت دارد.

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای کودهای زیستی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی.

Table 4- Mean comparisons of the effect of biofertilizer application on some physiological characteristics of saffron.

تیمار کود زیستی	تعداد گل	طول زمان گلدهی	وزن تر گل	وزن خشک گل	وزن تر کلاله	وزن خشک کلاله
Biofertilizer treatment	Number of flowers (per m <sup>2</sup> )	Flowering period (day)	Fresh weight of flower (g.m <sup>-2</sup> )	Dry weight of flower (g.m <sup>-2</sup> )	Fresh weight of stigma (g.m <sup>-2</sup> )	Dry weight of stigma (g.m <sup>-2</sup> )
شاهد Control	56 <sup>e</sup>	19 <sup>ab</sup>	19.87 <sup>e</sup>	2.3 <sup>d</sup>	1.41 <sup>e</sup>	0.258 <sup>e</sup>
پتابارور-۲ K	103.33 <sup>bcd</sup>	13.66 <sup>bcd</sup>	40.94 <sup>b</sup>	4.55 <sup>bc</sup>	2.27 <sup>cde</sup>	0.48 <sup>bcd</sup>
فسفات‌ه بارور-۲ P	115.33 <sup>bc</sup>	15.33 <sup>bcd</sup>	45.67 <sup>b</sup>	5.62 <sup>b</sup>	2.5 <sup>bcd</sup>	0.568 <sup>bcd</sup>
فروزینک بارور FeZn	74.66 <sup>de</sup>	10.33 <sup>d</sup>	36.98 <sup>bc</sup>	3.51 <sup>cd</sup>	1.62 <sup>de</sup>	0.395 <sup>de</sup>
فسفات‌ه بارور-۲+پتابارور-۲ P+K	129.33 <sup>b</sup>	16.66 <sup>abc</sup>	50.96 <sup>b</sup>	5.82 <sup>ab</sup>	3.35 <sup>ab</sup>	0.591 <sup>bc</sup>
پتابارور-۲+فروزینک بارور K+FeZn	175 <sup>a</sup>	21 <sup>a</sup>	72.61 <sup>a</sup>	7.92 <sup>a</sup>	4.28 <sup>a</sup>	0.804 <sup>a</sup>
فسفات‌ه بارور-۲+فروزینک- بارور P+FeZn	91.66 <sup>cd</sup>	13.66 <sup>bcd</sup>	45.88 <sup>b</sup>	5.08 <sup>bc</sup>	562 <sup>bcd</sup>	0.437 <sup>cde</sup>
فسفات‌ه بارور-۲+پتابارور- ۲+فروزینک بارور P+K+FeZn	123.33 <sup>b</sup>	12.66 <sup>cd</sup>	54.73 <sup>ab</sup>	6 <sup>ab</sup>	3.03 <sup>bc</sup>	0.633 <sup>ab</sup>

حروف همانند روی اعداد در هر ستون نشان‌دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار است.

Means with the same letter(s) in each column indicate a non-significant difference.

انتقال مواد حاصل از فتوسنتز، باعث افزایش ماده خشک شود.

#### خصوصیات کمی کلاله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد ترکیب کود زیستی پتا بارور-۲ و فروزینک بارور (K+FeZn) بر عملکرد وزن تر و خشک کلاله معنی‌دار بود ( $p \leq 0.01$ ) (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین مقدار عملکرد وزن تر کلاله در تیمار مصرف تلفیقی کود زیستی پتا بارور-۲ و فروزینک بارور (K+FeZn) با ۴/۲۸ گرم در مترمربع حاصل شد که با تیمار ترکیب کود زیستی پتابارور-۲ و فسفات‌ه بارور-۲ (P+K) اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین عملکرد در شاهد مشاهده شد. اثر ترکیب کود زیستی پتابارور-۲ و فروزینک بارور (K+FeZn) بر

شاید بتوان یکی از دلایل افزایش عملکرد و دیگر صفات مربوط به گلدهی را به اثرات مثبت پتاسیم آهن و روی بر سیستم فتوسنتزی گیاه نسبت داد. باکتری‌های موجود در کودهای زیستی با تغییر اسیدیته احتمالاً عناصر غذایی بیشتری را به صورت محلول در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Han & Lee, 2006) و با تولید بیشتر مواد فتوسنتزی، در افزایش تولید و به تبع آن افزایش وزن تر گل مؤثرند. بین مقدار کافی روی در گیاه و تولید آنزیم کربونیک انیدراز رابطه‌ای مستقیم وجود دارد. این آنزیم نقش مهمی در فتوسنتز گیاه دارد. پتاسیم نیز با تشکیل کلروفیل مرتبط بوده و به انتقال قند و نشاسته کمک می‌کند (Tabatabaeian et al., 2020) و می‌تواند از طریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان کلروفیل، فعالیت فتوسنتزی و

اسیدیته محیط ریشه و تولید سیدروفورها عناصر غذایی بیشتری را برای جذب در اختیار گیاه قرار داده‌اند (Itelima et al., 2018) و در گیاه نیز با تولید بیشتر مواد فتوسنتزی وزن تر و خشک کلاله افزایش یافته است. نتایج پژوهش حاضر با دست‌آوردهای محمدقاسمی و همکاران (Mohammad Ghasemi et al., 2022) مطابقت دارد. طول کلاله زعفران تحت تأثیر مصرف کودهای زیستی قرار نگرفت که با نتایج پژوهش علی‌پور میانه‌دهی و همکاران مطابقت دارد (Alipour Miandehi et al., 2014).

### نتیجه‌گیری

باتوجه به شرایط بیشتر مزارع به دلیل مصرف بیش از اندازه برخی کودهای شیمیایی، محتوای عناصر غذایی در خاک‌ها افزایش یافته اما گیاهان همچنان به دلیل عدم جذب این عناصر به دلیل نافرهمی و یا غلظت نامتعادل عناصر در خاک. عملکرد مناسبی ندارند. کودهای زیستی با پویاکردن و فراهم سازی عناصر برای گیاه و تعدیل تنش‌ها در ناحیه ریشه از جمله غلظت نامتعادل عناصر می‌توانند در افزایش عملکرد مفید باشند. از مجموع نتایج به دست آمده در این پژوهش مشخص می‌شود که کود زیستی به‌ویژه مصرف توامان آن‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد گل و کلاله زعفران را تحت تأثیر قرار داد. بنابراین، می‌توان با توصیه به کاربرد کودهای زیستی در مزارع زعفران ضمن ارتقای عملکرد در راستای کشاورزی پایدار گام برداشت.

عملکرد ماده خشک کلاله با ۰/۸۰۴ گرم در مترمربع نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که با تیمار تلفیق همه کودهای زیستی (P+K+FeZn) اختلاف معنی‌داری نداشت. بنابراین بالاترین میزان تر و خشک کلاله در تیمار کاربرد کود زیستی پتابارور-۲ و فروزینک‌بارور (K+FeZn) به دست آمد و کمترین میزان تر و خشک کلاله نیز در شاهد (به ترتیب ۱/۴۱ و ۰/۲۵۸ گرم در مترمربع) مشاهده شد (شکل ۱).

بخش عمده ترکیبات تشکیل دهنده کلاله زعفران شامل ۸/۶۳ در صد پتاسیم، ۲ در صد قند کل، ۸ در صد گلوکز و ۱۴ در صد پروتئین می‌باشد (Bahnia, 2012). وجود پتاسیم تبادل‌ی نقش مهمی در انتقال قند کل و پروتئین (از عوامل اصلی افزایش وزن کلاله) دارد (Tabatabaeian et al., 2020). در واقع می‌توان گفت پتاسیم انتقال مواد غذایی (اساساً ساکارز و آمینواسید) را از منابع به مخزن‌های قوی (کلاله‌ها) تحریک می‌کند (Mohammad Ghasemi et al., 2022). همچنین عنصر روی برای تولید کلروفیل، تشکیل کربوهیدرات و تولید سنتز نشاسته ضروری بوده و نقش مثبتی در متابولیسم دارد و باعث بهبود رشد ریشه می‌شود و متابولیسم کربوهیدرات را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Alloway, 2004). عنصر آهن نیز در فعالیت‌های مختلفی مانند فتوسنتز، تنفس، ساخت کلروفیل و بسیاری از واکنش‌های آنزیمی در گیاهان دخالت دارد (Chaudhary et al., 2022). از این رو به نظر می‌رسد باکتری‌های موجود در ترکیب دو کود زیستی پتابارور-۲ و فروزینک‌بارور (K+FeZn) با ترشح اسیدهای آلی و کاهش

### منابع

Aalizadeh, M.B., Makarian, H., Ebadi, A., & Shafaroodi, A. (2021). Evaluation of the effect of different fertilizer treatments on yield and some reproductive traits of saffron (*Crocus sativus* L.) in the climatic conditions of Ardabil.

*Journal of Saffron Research*, 9(1), 11-27. (In Persian with English Summary). <http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2020.3299.1130>. Akbarian, M., Heidari Sharifabad, M., Noormohammadi, H., & Darvish Kojouri, F.

- (2012). The effect of potassium, zinc and iron foliar application on the production of saffron (*Crocus sativus* L.). *Annals of Biological Research*, 3(12), 5651-5658. <http://scholarsresearchlibrary.com/archive.html>.
- Alipoor Miandehi, Z., Mahmodi, S., Behdani, M.A., & Sayyari, M.H. (2014). Effect of manure, bio- and chemical fertilizers and corm size on saffron (*Crocus sativus* L.) yield and yield components. *Journal of Saffron Research*, 1(2), 73-84. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22077/jsr.2013.435>.
- Alloway, B.J. (2004). Zinc in Soils and Crop Nutrition. IZA Publications. International Zinc Association, Brussels. 1-116. <https://doi.org/10.1093/ref:odnb/90917>.
- Arif, M., Asifshahzad, M., Bashir, F., Tasneem, M., Yasin, G., & Iqbal, M. (2012). Boron, zinc and microtone effects on growth, chlorophyll contents and yield attributes in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 11(48), 10851-10858. <https://doi.org/10.5897/AJB12.393>.
- Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in (*Beta vulgaris* L.) *Plant Physiology*, 24, 1-15.
- Bahnia, M.R. (2012). Saffron: History of Cultivation, Consumption, Botany, Chemistry, Production, Processing, Standard and Marketing. Tehran University Printing and Publishing Institute, Iran.
- Bybordy, A., & Mamedov, G. (2010). Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2(1), 94-103. <https://doi.org/10.15835/nsb213531>.
- Cardone, L., Castronuovo, D., Perniola, M., Cicco, N., & Candido, V. (2021). Saffron (*Crocus sativus* L.), the king of spices: An overview. *Scientia Horticulturae*, 272, 109560. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109560>.
- Carter, M.R., & Gregorich, E.G. (2007). Soil Sampling and Methods of Analysis. CRC press.
- Chaudhary, P., Singh, S., Chaudhary, A., Sharma, A., & Kumar, G. (2022). Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 13, 930340. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.930340>.
- Ebrahimi, M., Pouyan, M., Shahi, T., Fallahi, H.R., Hoseini, S., Ragh Ara, H., & Branca, F. (2022). Effects of organic fertilizers and mother corm weight on yield, apocarotenoid concentration and accumulation of metal contaminants in saffron (*Crocus sativus* L.). *Biological Agriculture & Horticulture*, 38(2), 73-93. <https://doi.org/10.1080/01448765.2021.1987987>.
- Esmailian, Y., Amiri, M.B., Tavassoli, A., Caballero-Calvo, A., & Rodrigo-Comino, J. (2022). Replacing chemical fertilizers with organic and biological ones in transition to organic farming systems in saffron (*Crocus sativus*) cultivation. *Chemosphere*, 307, 135537. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135537>.
- Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G.R., van Ruth, S.M., & Aghighi, S. (2019). The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and antioxidant activity in saffron (*Crocus sativus* L.) by different nutritional regimes. *Industrial Crops and Products*, 135, 301-310. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.064>.
- Gol Mohammadi, F., Motamed, M.K., & Miri, F. (2010). A look at the importance and uses of saffron medicinal plant and its export in South Khorasan. National Conference of Medicinal Plants. Iran, 11-12 March 2010. <https://sid.ir/paper/820728/fa>.
- Han, H., Supanjani, S., & Lee, K.D. (2006). Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. *Plant, Soil and Environment*, 52(3), 130-146. <https://doi.org/10.17221/3356-PSE>.

- Hourani, W. (2022). Effect of fertilizers on growth and productivity of saffron: a review. *Agronomy Research*, 20. <https://doi.org/10.15159/AR.22.082>.
- Itelima, J.U., Bang, W.J., Onyimba, I.A., & Egbere, O.J. (2018). A review: biofertilizer; a key player in enhancing soil fertility and crop productivity. *Microbiology and Biotechnology Reports*, 2(1), 22-28. <http://directresearchpublisher.org/aboutjournal/drjafs>.
- Kheiry, A., Parsa, H., Sani Khani, M., & Razavi, F. (2018). Effect of bio-fertilizers and nitrogen on quantitative and qualitative characteristics of petal in saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, 6(3), 309-322.
- Kianimanesh, K., Lebaschi, M., Jaimand, H., Abdoss, K., & Tabaei-Aghdaei, S.R. (2021). The changes in yield, biochemical properties and essential oil compounds of saffron (*Crocus sativus* L.) plants treated with organic and inorganic fertilizers under dryland farming system. *Medicinal Plants and By-Products*, 1, 37-44. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2020.352052.1262>.
- Koocheki, A., & Seyyedi, S.M. (2015). Phonological stages and formation of replacement corms of saffron (*Crocus sativus* L.) during growing period. *Journal of Saffron Research*, 3(2), 134-154. <https://doi.org/10.22077/jsr.2015.290>.
- Kothari, D., Kumar, R., & Thakur, R. (2021). Saffron (*Crocus sativus* L.): gold of the spices-a comprehensive review. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 62, 661-677. <https://doi.org/10.1007/s13580-021-00349-8>.
- Kumar, R., Singh, V., Devi, K., Sharma, M., Singh, M.K., & Ahuja, P.S. (2009). State of art of saffron (*Crocus sativus* L.) agronomy: A comprehensive review. *Food Reviews International*, 25, 44-85. <https://doi.org/10.1080/87559120802458503>.
- Leylasi Marand, M., & Sarikhani, M.R. (2018). Inoculation of plant growth promoting bacteria on yield, stomatal conductance and chlorophyll index of corn under potassium deficiency. *Water and Soil*, 32(3), 559-572. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i3.69251>.
- Menemizadeh, Z., Ghasemi, M., & Sadrabadi Hachir, R. (2014). A review on the role and importance of foliar nutrition in saffron. Iran, National Conference of Medicinal Plants. 7 May 2015.
- Moallem Banhangi, F., Rezvani Moghaddam, P., Asadi, G.A., & Khorramdel, S. (2021). Do corm seeding rate and planting depth influence growth indicators of saffron (*Crocus sativus* L.)? *Industrial Crops and Products*, 174, 114145. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114145>.
- Mokhtari, M., Kochchi, A., & Nasiri Mahalati, M. (2014). Meta-analysis of qualitative research (coloring power) of saffron in Iran and the world. In Fourth National Saffron Conference, Qaenat, Iran, 13 November 2014, p. 9.
- Mohammad Ghasemi, H., Ghorbani Javed, M., Akbari, G., & Mortazavian, M. (2022). The effect of potassium biological and chemical fertilizer application and corm weight on the physiological characteristics and yield of saffron flowers. *Saffron Research Journal*, 10(2), 215-230. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22077/jsr.2022.2566.1102>.
- Naghdi Badi, H., Omidi, H., Golzad, A., Torabi, H., & Fotookian, M.H. (2011). Change in crocin, safranal and picrocrocin content and agronomical characters of saffron (*Crocus sativus* L.) under biological and chemical of phosphorous fertilizers. *Medicinal Plants*, 10(40), 58-68. (In Persian with English Summary).
- Omidi, H., Naghdi Badi, H., Golzad, A., Torabi, H., & Footoukian, M. (2009). The effect of chemical

- and bio fertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Medicinal Plants*, 8(30), 98-109. (In Persian with English Summary).
- Porra, R.J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, 73, 149-156. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1020470224740>.
- Ren, X., Zhang, Q., Zhang, W., Mao, J., & Li, P. (2020). Control of aflatoxigenic molds by antagonistic microorganisms: Inhibitory behaviors, bioactive compounds, related mechanisms, and influencing factors. *Toxins*, 12(1), 24. <https://doi.org/10.3390/toxins12010024>.
- Sarikhani, M.R., & Amini, R. (2020). Biofertilizer in sustainable agriculture: Review on the researches of biofertilizers in Iran. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(1), 329-365. (In Persian with English Summary).
- Tabatabaeian, J., Hassanian Badi, S., & Kadkhodae, A. (2020). Effect of micronutrient foliar application on quantitative and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, 8(2), 147-163. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22048/jsat.2019.179188.1342>.
- Tabrizi, L., & Azizi, E. (2019). Effects of biofertilizers and corm direction in soil on some agronomic traits of saffron. *Saffron Research*, 7(2), 311-323. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22077/jsr.2019.1808.1069>.
- Vessey, J.K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571-586. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1026037216893>.