نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد دهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱
شماره صفحه: ۲۳۰-۲۱۵
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2022.2566.1102

مقاله پژوهشی:

تأثیر کاربرد کود زیستی و شیمیایی پتاسیم و وزن بنه بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد گل زعفران (*Crocus sativus* L.)

حسن محمدقاسمی[۱]، مجید قربانی جاوید[۲*]، غلامعباس اکبری[۳]، سید محمد مهدی مرتضویان[۳]
۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان- دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران.
۲- استادیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان- دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران.
۳- دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان- دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران.
*نویسنده مسئول: *Email: mjavid@ut.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۶

چکیده
پتاسیم فراوان‌ترین کاتیون معدنی در بافت‌های گیاهی است که نقش اساسی در فرآیندهای فیزیولوژیک به ویژه رشد و متابولیسم گیاه ایفا می‌کند. به منظور بررسی اثرات کود زیستی و شیمیایی پتاسیم و وزن بنه بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکردی زعفران، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار در مزرعه پژوهشی زعفران دانشکدگان ابوریحان دانشگاه تهران در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو مقدار کود شیمیایی سولفات پتاسیم (۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به عنوان فاکتور اول، دو مقدار کود زیستی پتابارور-۲ (۰ و ۱۰۰ گرم در هکتار) به عنوان فاکتور دوم و دو وزن بنه کوچک (۵-۳ گرم) و بزرگ (۱۰-۸ گرم) به عنوان فاکتور سوم بودند. نتایج نشان داد که کاربرد کود زیستی و شیمیایی پتاسیم اثرات مثبتی بر صفات اندازه‌گیری شده داشت، به‌طوری که منجر به افزایش عملکرد گل از طریق افزایش تعداد گل، وزن تر گل و نیز وزن خشک کلاله گردید. کاربرد کود زیستی به تنهایی منجر به افزایش سه برابری تعداد گل در بنه بزرگ در مقایسه با بنه کوچک و شاهد شد. غلظت کربوهیدرات و پروتئین کل برگ و نیز آنتوسیانین گلبرگ تحت تأثیر کاربرد تلفیقی هر دو کود قرار گرفت و اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان داد. بطورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد بنه بزرگ به همراه آغشته نمودن آنها به کود زیستی پتاسیم و کاربرد پیش از کشت کود شیمیایی پتاسیم در افزایش عملکرد گل و بهبود خصوصیات فیزیولوژیک دخیل در رشد زعفران نقش مؤثری دارد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، پتابارور-۲، سولفات پتاسیم، کلاله زعفران، کربوهیدرات.

مقدمه

زعفران با نام علمی (*Crocus Sativus* L.) از خانواده زنبقیان و یکی از گران‌ترین گیاهان دارویی دنیا می‌باشد. با وجودی که ایران با تولید بیش از ۸۰ درصد زعفران جهان مقام اول را از نظر کمی و کیفی زعفران دارا است، اما میانگین عملکرد ۲۵ ساله آن چهار کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Karimi et al., 2001)، این در حالی است که بررسی‌های انجام شده در سایر کشورها نشان می‌دهد متوسط عملکرد زعفران در مراکش دو تا پنج کیلوگرم در هکتار، ایتالیا ۱۰ تا ۱۶ کیلوگرم در هکتار، اسپانیا شش تا ۲۹ کیلوگرم در هکتار، یونان چهار تا هفت کیلوگرم در هکتار، و هند دو تا هفت کیلوگرم در هکتار متغیر می‌باشد. از این رو میانگین عملکرد زعفران در واحد سطح در ایران به مراتب پایین‌تر از بسیاری از کشورها است. با وجود این به‌نظر می‌رسد که با بهره‌گیری مناسب عوامل تولید، میانگین عملکرد زعفران به ۱۱ کیلوگرم در هکتار قابل افزایش باشد (Perme et al., 2010). از فاکتورهای مؤثر بر رشد و عملکرد زعفران، اندازه بنه‌های مادری برای کشت می‌باشد (Hoseinifard et al., 2018). تحقیقات نشان داده است که برای کشت زعفران باید بنه‌های با وزن بالاتر از هشت گرم را انتخاب نمود، زیرا بنه‌های درشت نه تنها در همان سال اول تولید عملکرد مناسبی می‌کنند، بلکه از طریق بنه‌زایی بیشتر و تولید بنه‌های دختری درشت‌تر ظرفیت گل‌آوری و عملکرد مزرعه را برای سال بعد نیز افزایش می‌دهند (Ghobadi et al., 2015). یکی دیگر از راه‌های مهم در دستیابی به عملکرد بالاتر، تأمین مقدار کافی عناصر معدنی برای زعفران است. در کشت زعفران به‌طور معمول بین ۲۰ تا ۸۰ تن در هکتار کود حیوانی قبل از کاشت بنه زعفران به کار برده می‌شود، این در حالی است که هیچ گونه کود شیمیایی به خاک اضافه نمی‌شود و یا میزان مصرف آن بسیار اندک است (Kafi et al., 2006; Douglas et al., 2003). کمبود عناصر غذایی، باعث محدودیت رشد گیاه و در نهایت کاهش عملکرد خواهد شد. اما در این بین پتاسیم به عنوان عنصری که بیشترین وظایف فیزیولوژیک را در رشد و نمو گیاه دارد، همیشه نقش قابل توجهی در تولید پایدار عملکرد گیاه داشته است (Mahler et al., 1985). در خاک‌های ایران به دلیل بارش کم و عدم آبشویی[1] انتظار می‌رود که میزان پتاسیم بالا باشد اما به دلیل شنی بودن خاک و مواد آلی کم و عدم مصرف کودهای پتاسیمی و کاشت متوالی و بدون آیش محصولات مختلف، پتاسیم قابل دسترس خاک برای گیاه بسیار محدود می‌باشد (Malakouti et al., 2008). بنابراین کمبود پتاسیم حتی در خاک‌هایی که در ظاهر غنی از پتاسیم هستند و به‌ویژه در زمانی که برداشت از خاک قابل توجه باشد بروز می‌کند و عملکرد گیاه حتی بدون نشانه‌های ظاهری کمبود ممکن است کاهش یابد. مصرف کودهای شیمیایی به منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح، سبب ایجاد بحران آلودگی‌های محیط زیست است. امروزه استفاده از کودهای زیستی در جهت گام برداشتن به سوی کشاورزی پایدار و استفاده از اثرات مفید آنها رو به افزایش است (Omidi et al., 2009). یکی از مشکلات جذب پتاسیم توسط گیاه در خاک‌های رسی تثبیت شدن آن می‌باشد و همچنین در خاک‌های سبک نیز مشکل آبشویی این عنصر وجود دارد، به همین دلیل استفاده از کودهای غیر شیمیایی مانند کودهای زیستی که کاربرد آن‌ها میزان استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهد، می‌تواند گام مؤثری در جهت رسیدن به کشاورزی پایدار باشد. کودهای‌زیستی حاوی ریزموجودات مفید خاکزی از جمله قارچ‌ها، باکتری‌ها، اکتنومیست‌ها[2]یا مواد حاصله از متابولیت آنها می‌باشند که به روش مختلف رشد گیاه میزبان را زیاد می‌کنند. شاید حذف کامل کودهای شیمیایی از برنامه غذایی زعفران تصمیمی اشتباه باشد ولی می‌توان مقدار آن را کاهش داد. در تحقیقی مشخص شد که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، تعداد گل ۵/۵ درصد، وزن گل ۵/۶ درصد و وزن خشک کلاله ۸/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (Akrami et al., 2015).

بر این اساس کاربرد کود پتاسیم در بهبود کمی و کیفی زعفران مهم است و از آنجاکه تاکنون مطالعات

1- Leaching
2 Actenomist

کمی بر روی اثرات استفاده از کود زیستی پتاسیم بر زعفران شده است لذا در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف مطالعه تأثیر کود زیستی و شیمیایی پتاسیم و وزن بنه بر صفات فیزیولوژیک و عملکردی زعفران صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی زعفران دانشکدگان ابوریحان-دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت در جنوب شرق استان تهران با مختصات طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۲۹ متر از سطح دریا در سال زراعی۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. قبل از اجرای آزمایش از چندین نقطه مزرعه نمونه خاک از عمق ۳۰ سانتی متری تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مشخص شد (جدول۱). این آزمایش به‌صورت فاکتوریل[3]در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با هشت تیمار در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو مقدار کود شیمیایی سولفات پتاسیم (۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به عنوان فاکتور اول، دو مقدار کود زیستی پتابارور-۲ (۰ و ۱۰۰ گرم در هکتار) به عنوان فاکتور دوم و دو وزن بنه کوچک (۵-۳ گرم) و بزرگ (۱۰-۸ گرم) به عنوان فاکتور سوم بودند. کود زیستی پتابارور-۲ استفاده شده در تحقیق دارای مجموعه‌ای از موثرترین باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم به‌نام *Pseudomonas* spp. Strain s19-1 و*Pseudomonas* spp. Strain s14-3 می‌باشد که پیش از کشت با بذر یا بنه آغشته می‌گردد. جهت آماده سازی زمین در اواخر اردیبهشت ماه شخم عمیق، دیسک و تسطیح انجام شد و سپس با فاروئر جوی و پشته با فاصله ۲۵ سانتی‌متر ایجاد و کرت بندی (۲×۳ متر) صورت گرفت. تیمار کود شیمیایی پتاسیم از نوع سولفات پتاسیم و به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (بر اساس نیاز تغذیه‌ای مشخص شده در جدول آزمایش خاک) به صورت پیش کاشت در خاک کرت‌های مورد نظر استفاده شد. بنه‌های زعفران مورد نیاز این آزمایش از اکوتیپ مرغوب تربت حیدریه تهیه و پیش از کشت با استفاده از ترازوی دیجیتالی بنه‌ها به دو گروه کوچک و بزرگ تفکیک شدند و پس از جداسازی فلس‌ها و الیاف بنه با نسبت از قبل تعیین شده (۱۰۰ گرم در هکتار) با محلول کود پتابارور-۲ آغشته و برای کشت آماده شدند. بنه‌ها با فاصله ۱۰ سانتی متر روی ردیف در عمق ۱۵ سانتی متر و در اواخر خرداد کشت گردید. به منظور افزایش کلونی زایی باکتری‌ها در اطراف بنه، آبیاری پس از کشت انجام و سپس آبیاری تابستانه در اول شهریور انجام شد، ظهور اولین گل در اوایل آبان‌ماه و خاتمه گلدهی در اواسط آذرماه بود. در این تحقیق صفات عملکردی شامل تعداد گل روییده، وزن تر گل، وزن خشک کلاله و صفات فیزیولوژیک شامل آنتوسیانین گلبرگ، پروتئین محلول برگ و کربوهیدرات محلول کل برگ اندازه گیری شدند. هر روز صبح گل‌های هر کرت جداگانه شمارش و چیده شدند و بلافاصله وزن تر گل با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ بر حسب گرم اندازه گیری شدند. وزن خشک کلاله‌ها، پس از خشک شدن داخل آون الکتریکی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲ ساعت با استفاده از ترازوی دیجیتالی برحسب گرم محاسبه شد. پس از پایان گلدهی و رویش کامل برگ‌ها، نمونه‌برداری از برگ برای اندازه گیری صفات فیزیولوژیک موردنظر در اواسط بهمن‌ماه با اوج برگ-دهی از هر کرت و با شرایط یکسان انجام شد.

سنجش آنتوسیاین گلبرگ

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین ۰/۱ گرم گلبرگ تازه در۱۰ میلی‌لیتر محلول متانول اسیدی که شامل الکل متیلیک و اسیدکلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱ ، خوب ساییده شد و عصاره حاصل سانتریفوژ و محلول رویی به مدت یک شب در تاریکی قرار داده شد (Javid et al., 2022). جذب این ماده در طول موج ۵۵۰ نانومتر توسط دستگاه طیف سنج نوری مدلPerkinelmer-7800 خوانده شد. برای محاسبه غلظت آنتوسیانین از ضریب خاموشی معادل $^{-1}$ ۳۳۰۰۰cm مول استفاده گردید (Wagner, 1979). در رابطه ۱، A: جذب نمونه، b: عرض کووت و c: غلظت محلول مورد نظر می‌باشد. در نهایت غلظت آنتوسیانین برحسب میکرومول بر گرم وزن تر گلبرگ تازه محاسبه گردید.

$$A=\varepsilon bc$$ رابطه (۱)

3 -Factorial Experiment

جدول۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی تا عمق ۳۰ سانتی متری
Table 1. Physical and chemical properties of field soil (Depth 0-30 cm)

ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS/m)	پتاسیم قابل دسترس بعد از کوددهی (میلی گرم بر کیلو گرم) Available potassium after fertilizing (mg/kg)	پتاسیم قابل دسترس قبل از کوددهی (میلی گرم بر کیلو گرم) Available potassium before fertilizing (mg/kg)	فسفر قابل دسترس (میلی گرم بر کیلو گرم) Available phosphorus (mg/kg)	نیتروژن (میلی گرم بر کیلو گرم) Nitrogen (mg/kg)	بافت Texture	اسیدیته pH
0.4	1.7	137.1	115.2	29.1	0.08	لومی رسی Loamy clay	7.5

سنجش غلظت پروتئین کل

برای سنجش غلظت پروتئین کل برگ از روش برادفورد استفاده شد (Bradford, 1976). برای تهیه محلول برادفورد ابتدا ۱۰۰ میلی گرم از کوماسی بریلیانت بلو از نوع G-250 به۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد اضافه گردید. سپس محلول به خوبی هم زده و سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر ارتوفسفریک اسید ۸۵ درصد به محلول قبلی اضافه شد. حجم نهایی محلول را با آب مقطر به ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانده و در نهایت محلول تهیه شده را صاف کرده و در ظرف تیره‌رنگ در یخچال نگهداری شد. از ماده آلبومین سرم گاوی (BSA[1]) نیز برای تهیه محلول استاندارد در غلظت‌های صفر، ۱۰، ۲۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ میکرولیتر استفاده شد. در این روش با استفاده از محلول تریس، پروتئین از بافت تازه گیاهی استخراج و با محلول کوماسی برلیانت بلو رنگ‌آمیزی و سپس میزان جذب نوری این محلول در طول موج ۵۹۵ نانومتر در دستگاه طیف‌سنج نوری خوانده شد.

سنجش غلظت کربوهیدرات کل

برای سنجش کربوهیدرات‌های محلول کل از روش آنترون با کمی تصحیح استفاده شد (Javid et al., 2022). برای این منظور از هر گیاه در هر تیمار یک برگ کاملاً توسعه یافته برداشت و سپس پنج صدم گرم از بافت تازه در هاون چینی ساییده و پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد به آن اضافه شد. سپس قسمت بالای محلول را جدا کرده و رسوبات باقی مانده را دوباره توسط پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد شستشو داده و قسمت بالایی آن را به محلول قبلی اضافه می‌کنیم. عصاره استخراج شده را به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفوژ ۴۵۰۰ دور در دقیقه گذاشته و بعد از جدا کردن فاز بالایی مایع، عصاره الکلی حاصل را برای اندازه‌گیری کربوهیدرات استفاده می‌کنیم. به منظور تعیین قندهای محلول کل ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره را برداشته و به آن سه میلی لیتر آنترون (۱۵۰ میلی گرم آنترون خالص +۱۰میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۷۲ درصد) تازه تهیه شده اضافه شد، سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفته تا واکنش انجام و عصاره رنگی شود و پس از خنک شدن جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری[2] خوانده شد. از گلوکز خالص با غلظت‌های صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ پی پی ام به عنوان استاندارد استفاده شد.

برای تعیین نرمال بودن داده ها از نرم افزار Minitab استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 صورت گرفت. نمودارها با نرم افزار Excel رسم شده و میانگین ها نیز با استفاده از آزمون

1 Bovine Serum Albumin

2 Spectrophotometer

LSD و در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تعداد گل

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد هر یک از اثرات اصلی کاربرد کود زیستی، کود شیمیایی و وزن بنه در سطح ۱٪ و اثرات متقابل آنها به جز اثر متقابل کود شیمیایی در اندازه بنه (b×c) که معنی دار نبود در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌داری هستند. مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه حاکی از آن است که سطح دوم کود شیمیایی در سطح دوم کود زیستی بر روی بنه‌های بزرگ ($a_2b_2c_2$) اثر بیشتری نسبت به بنه‌های کوچک داشته و اختلاف بین بنه‌های کوچک و بزرگ معنی‌دار است. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد بیشترین اثر بر تعداد گل مربوط به تیمار کاربرد ۱۰۰ گرم کود زیستی و عدم کاربرد کود شیمیایی در سطح بنه‌های بزرگ ($a_2b_1c_2$) (۱۶ عدد گل در متر مربع) و کم‌ترین تعداد گل نیز مربوط به تیمار شاهد ($a_1b_1c_1$) (سه گل در متر مربع) بود که در واقع بین این دو تیمار ۱۸ درصد تفاوت وجود داشت (شکل ۱). بر اساس نتایج موجود می‌توان اینگونه استباط نمود که اثر کاربرد تلفیقی کود زیستی و شیمیایی پتاسیم، منجر به افزایش پتاسیم قابل دسترس در خاک از طریق عملکرد باکتری‌های سودوموناس می‌گردد. این باکتری‌ها با تخریب کانی‌های پتاسیم‌دار، این عنصر را از کانی آزاد کرده و به شکل قابل استفاده برای گیاه در می‌آورند، در واقع باکتری‌های سودوموناس با تولید اگزوپلی ساکاریدهای متعدد، به‌ویژه اسیداگزالیک و اسیدسیتریک، توانایی فعالیت در محدوده وسیعی از نمک و اسیدیته، قابلیت استفاده از منابع متعدد کربوهیدراتی در حل کنندگی و آزاد سازی پتاسیم را دارا می‌باشند (Parajapati & Mpdi, 2012). بنظر می‌رسد با کاربرد کود شیمیایی پتاسیم اصولاً مقداری از آن جذب بار منفی بین ورقه‌های رس شده و مازاد آن در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، بنابراین کاربرد تلفیقی کود زیستی و شیمیایی پتاسیم می‌تواند پتاسیم تثبیت شده در لایه‌های رس را آزاد و برای استفاده بیشتر زعفران مهیا نماید. پس از جذب مقدار بیشتری پتاسیم توسط زعفران، یون پتاسیم با تجمع در ریشه و بنه زعفران باعث منفی‌تر شدن فشار اسمزی و جذب آب می‌گردد که در نهایت به باز شدن روزنه و وقوع عمل تبادلات فتوسنتزی می‌انجامد، که این افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی و در پی آن افزایش شیره سلولی در گیاه می‌تواند افزایش تعداد گل در تیمار کاربرد تلفیقی منابع پتاسیمی را توجیه نماید. از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهد که تیمار تلفیقی $a_2b_1c_2$ با عدم کاربرد کود شیمیایی و استفاده از کود زیستی بیشترین اثر را بر تعداد گل داشته است. بنابراین اینگونه می توان استنباط کرد که حداقل مقدار پتاسیم موجود در خاک نیز توسط باکتری‌های آزاد کننده استفاده شده و در اختیار گیاه قرار گرفته است و وجود مقدار بیشتر کود شیمیایی پتاسیم ممکن است نتیجه عکس در فعالیت باکتری‌های موجود در کود زیستی داشته باشد.

باتوجه به اینکه کود پتابارور دو حاوی باکتری‌های حل کننده پتاسیم است که ترکیبات نامحلول پتاسیم موجود در خاک اطراف ریشه را تجزیه کرده و با رهاسازی این یون باعث جذب بهینه پتاسیم می‌شوند به همین دلیل پتاسیم بیشتری را به گیاه می‌رساند و دلیل میزان بیشینه تعداد گل در این تیمار قابل توجیه است، و همینطور نتایج نشان می‌دهد بنه‌های بزرگ اثر بهتری نسبت به بنه‌های کوچک بر تعداد گل داشته است در واقع بنه‌های بزرگ‌تر رشد رویشی بالاتری داشته و در نتیجه میزان فتوسنتز برگ‌های کاتافیلی (برگ‌های اولیه) و ذخیره بالاتر مواد غذایی در بنه منجر به افزایش تولید گل و عملکرد آن می‌شود. از آنجا که وزن بنه یکی از عوامل اصلی تعیین کننده میزان گلدهی و عملکرد زعفران می‌باشد (Molina et al., 2005) از این رو افزایش وزن بنه مادری موجب بهبود تعداد گل نیز می‌شود که کاملاً با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (Ansariyan Mahabadi et al., 2018). محققان دیگر نیز نتایج به‌دست آمده را تأیید می‌کنند و تأثیر مثبت وزن بنه بر پتانسیل گلدهی افزایش عملکرد گل زعفران را گزارش کردند (Arsalan et al., 2006; Mashayekhi et al., 2006). دلیل افزایش عملکرد زعفران در صورت استفاده از بنه‌های بزرگ‌تر را میتوان به تقسیم سلولی بالاتر و سریع‌تر و درنتیجه تسریع در وقوع مراحل فنولوژیکی تولید گل نیز نسبت داد (Molina et al., 2004).

جدول۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کود پتاسیم و وزن بنه بر صفات عملکردی زعفران

Table 2. Analysis of variance (mean of squares) for the effects of potassium fertilizer treatments and corm weight on saffron yield traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد گل Number of flower	وزن تر گل Fresh weight of flower	وزن خشک کلاله Dry weight of stigma
تکرار Replicate	2	0.29^{ns}	0.011^{ns}	0.0014^{ns}
کود زیستی Bio-fertilizer (a)	1	192.61**	87**	1.025**
کود شیمیایی Chemical fertilizer (b)	1	20.63**	38**	0.00026^{ns}
وزن بنه Corm weight (c)	1	73.50**	34**	1.640**
a×b	1	42.64**	1.5**	0.540**
a×c	1	6*	3.2**	0.0042^{ns}
b×c	1	0.16^{ns}	8**	0.0013 ^{ns}
a×b×c	1	10.61**	5**	0.00026 ^{ns}
خطا (Error)	14	0.81	0.042	0.0025
ضریب تغییرات (%cv)	-	10.14	11	8.52

ns, * و **: به ترتیب به معنای عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک وپنج درصد است.

ns, *, and **: represent non-significant, significant at 5% and 1% levels, respectively.

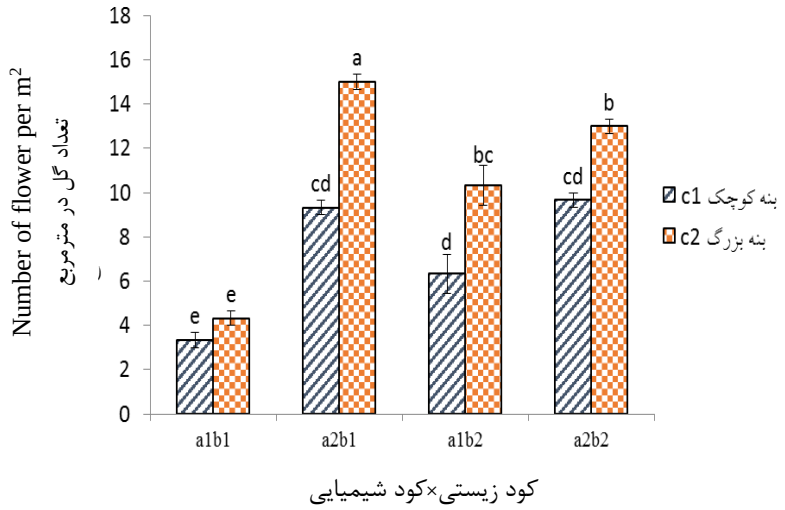
وزن تر گل

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات ساده تیمارهای کود شیمیایی سولفات پتاسیم (b)، کود زیستی پتاسیم(a) و وزن بنه (c) بر وزن تر گل معنی‌دار می‌باشند، همچنین اثرات متقابل کود زیستی در کود شیمیایی (a×b)، کود زیستی در وزن بنه (a×c)، کود شیمیایی در اندازه بنه (b×c) و کود زیستی، کود شیمیایی در وزن بنه (a×b×c) با شاهد اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان می‌دهند. مقایسه میانگین اثرات متقابل حاکی از آن بود که بیشترین اثر بر وزن تر گل مربوط به تیمار کاربرد همزمان ۱۰۰ گرم در هکتار کود زیستی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی در سطح بنه‌های بزرگ ($a_2b_2c_2$) با ۲۰ گرم در متر مربع و کمترین میزان وزن تر گل مربوط به تیمار شاهد در بنه‌های کوچک ($a_1b_1c_1$) با ۱۰ گرم در متر است، که اختلاف بین بیشترین و کمترین وزن تر گل ۵۰ درصد می‌باشد (شکل ۲). نقش کاربرد بنه‌های مادری بزرگ در بهبود صفات گل نیز توسط ایزدی و همکاران گزارش شده است (Izadi et al., 2020). همچنین نتایج نشان داد که کاربرد همزمان کود زیستی و شیمیایی پتاسیم با بالاترین سطح در هر دو نوع بنه منجر به افزایش وزن تر گل گردید که با تحقیقات کوچکی و همکاران که بیان کردند کودهای شیمیایی و زیستی اثر تقریباً یکسانی را بر وزن تر گل زعفران دارند (Koocheki et al., 2011) کاملاً تطابق دارد. پتاسیم تبادلی حاصل از باکتری‌های زیستی بعلاوه کود شیمیایی نقش بارزی در افزایش وزن تر گل دارند زیرا در طول دوره تقسیم

سلولی ممکن است پتاسیم برای شل شدن دیواره سلولی و بزرگ شدن سلول لازم باشد (Ollat et al., 2002) و احتمالاً نقش اصلی پتاسیم در بزرگ شدن سلولی (سلول اولیه گل) از طریق نقش آن در شل شدن دیواره سلولی و تنظیم پتانسیل اسمزی باشد. تجمع پتاسیم و مواد جامد محلول (آسمولیت‌ها) در سلول‌های درون بافت گل، منجر به افزایش در فشار اسمزی بافت و همچنین حرکت آب به درون سلول‌ها و افزایش تورژسانس بافت می‌شود. افزایش پتاسیم ممکن است از این طریق باعث افزایش حجم و وزن تر گل شود (El-Hammady et al., 1994). اثر مثبت کود زیستی بر وزن تر گل می‌تواند ناشی از این باشد که باکتری‌های موجود در این کود با تغییر اسیدیته احتمالاً عناصر غذایی بیشتری را به‌صورت محلول در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Glick,1995; Han et al., 2006) و با تولید بیشتر مواد فتوسنتزی در افزایش تولید و به تبع آن افزایش وزن تر گل موثر بوده است (Kucey, 1988).

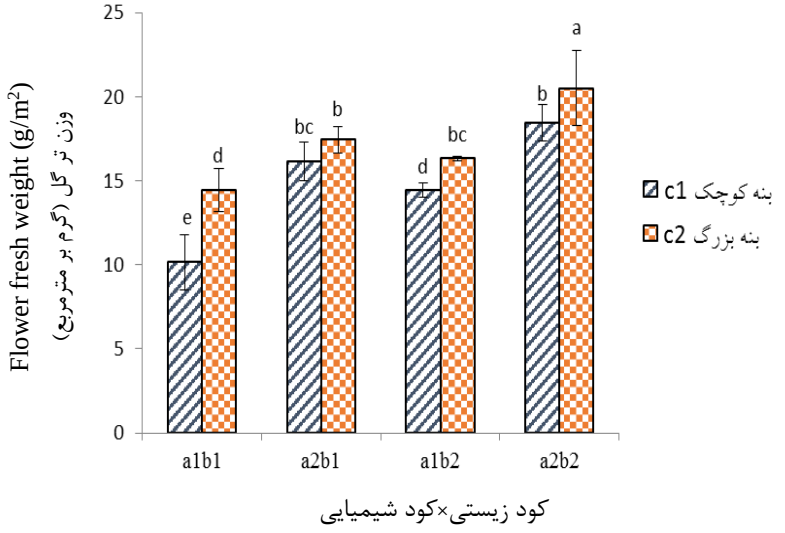
وزن خشک کلاله

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثرات متقابل دوگانه کود شیمیایی و کود زیستی نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان می‌دهد. اما اثر متقابل سه‌گانه کود زیستی در کود شیمیایی سولفات پتاسیم در وزن بنه (a×b×c) اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان نداد. از بین اثرات اصلی نیز تیمار کود زیستی (a) و وزن بنه (c) در سطح یک درصد معنی دار است و تیمار کود شیمیایی(b) اختلاف معنی‌داری نشان نداد. مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه (شکل۳) نشان داد که تیمار a_1b_2 پتاسیم عملکرد به مراتب بهتری را نسبت به تیمار a_2b_1 دارد و بین آنها اختلاف معنی‌داری وجود داشت ولی بین تیمارهای a_2b_1 , a_2b_2 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. از بین تیمارهای فوق تیمار a_1b_2 با (۰/۳۲ گرم در متر مربع) بیشترین وزن خشک کلاله و a_1b_1 (۰/۱۸ گرم در متر مربع) را داشتند. پتاسیم تبادلی حاصل از کاربرد تیمار تلفیقی کود زیستی و شیمیایی در انتقال املاح به مخازن گیاه، از طریق نقش آن در بارگیری و عدم بارگیری آوند آبکش مؤثر است (Lang, 1983)، بخش عمده ترکیبات تشکیل دهنده کلاله زعفران که مربوط به وزن آن می‌باشد شامل ۸/۶۳ درصد پتاسیم، ۲ درصد قند کل، هشت درصد گلوکز و ۱۴ درصد پروتئین می‌باشد (Behnia, 2012)، همانطور که مشخص است وجود پتاسیم تبادلی نقش مهمی در انتقال قندکل و پروتئین (از عوامل اصلی افزایش وزن کلاله) دارد، در واقع در طی رشد و نمو گل زعفران، کلاله‌های زعفران یک مقصد بسیار قوی برای پتاسیم است که در واقع می‌توان گفت پتاسیم انتقال مواد غذایی (اساساً ساکارز و آمینواسید) را از منابع به مخزن‌های قوی (کلاله‌ها) تحریک می‌کند و با توجه به اینکه اثرات مثبت پتاسیم بر کربوهیدرات‌های محلول کل و پروتئین به اثبات رسیده است، به نظر می‌رسد که افزایش وزن خشک کلاله در تیمار تلفیقی کود زیستی در کود شیمیایی قابل توجیه است. در واقع افزایش فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد بنه‌ها از طریق کودهای شیمیایی از جمله پتاسیم موجب نمو و رشد بیشتر بنه می‌شود که این فرآیند با افزایش انتقال مواد به مخزن‌های گیاهی و فعال شدن جوانه‌های بیشتر روی بنه‌های دختری و تولید بنه‌های درشت‌تر و همچنین افزایش تعداد آن‌ها، بهبود ظرفیت گلدهی و وزن خشک کلاله می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که اثر اصلی وزن بنه بر صفت وزن خشک کلاله معنی‌دار شده است (شکل ۴) و بنه‌های درشت c1 (۸-۱۰ گرم) بالاترین وزن خشک کلاله (۰/۲۲ گرم بر مترمربع) را در مقایسه با بنه کوچک به خود اختصاص داد. که نتایج پژوهش حاضر با دستاوردهای سایر محققین مطابقت دارد (Ansaryan Mahabadi et al., 2019).



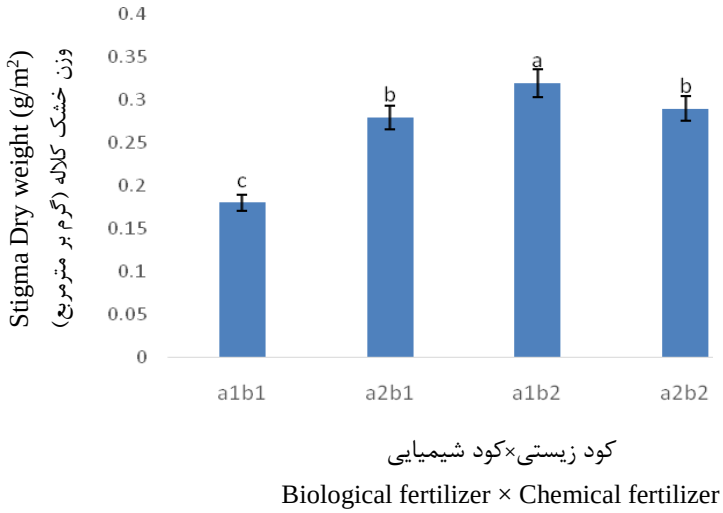
شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه کود زیستی پتاسیم (a1=۰گرم در هکتار و a2= ۱۰۰گرم در هکتار)، کود شیمیایی پتاسیم (b1=۰ کیلوگرم در هکتار و b2= ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و وزن بنه(c1= بنه کوچک و c2= بنه بزرگ) بر تعداد گل زعفران

Fig 1. The mean comparison of the triple interaction effect of potassium biological fertilizer (a1= 0 g/ha, a2= 100 g/ha), potassium chemical fertilizer (b1= 0kg/ha, b2= 200 kg/ha), and corm weight (c1= small corm, c2= big corm) on number of the saffron flower



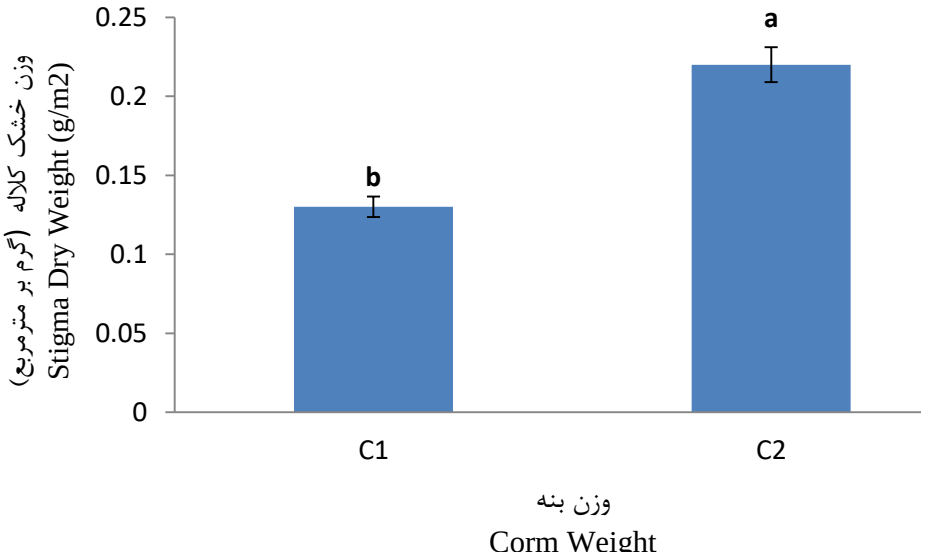
شکل۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه کود زیستی پتاسیم (a1=۰گرم در هکتار و a2= ۱۰۰گرم در هکتار)، کود شیمیایی پتاسیم (b1=۰ کیلوگرم در هکتار و b2= ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و وزن بنه(c1= بنه‌های کوچک و c2= بنه‌های بزرگ) بر وزن تر گل زعفران

Fig 2. The mean comparison of the triple interaction effect of potassium biological fertilizer (a1= 0 g/ha, a2= 100 g/ha), potassium chemical fertilizer (b1= 0kg/ha, b2= 200 kg/ha), and corm weight (c1= small corm, c2= big corm) on fresh weight of the saffron flower



شکل۳. مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه کود زیستی پتاسیم (a1=۰گرم در هکتار و a2= ۱۰۰گرم در هکتار) و کود شیمیایی پتاسیم (b1=۰ کیلوگرم در هکتار و b2= ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر وزن خشک کلاله

Fig 3. The mean comparison of the dual interaction effect of potassium biological fertilizer (a1= 0 g/ha, a2= 100 g/ha) and potassium chemical fertilizer (b1= 0 kg/ha, b2= 200 kg/ha) on the dry weight of stigma



شکل۴. مقایسه میانگین اثر اصلی وزن بنه (c1= بنه‌های کوچک، ۵-۳ گرم و c2= بنه‌های بزرگ، ۸-۱۰ گرم) بر وزن خشک کلاله

Fig 4. The mean comparison of the main effect of corm weight (c1= small corm, 3-5 g, c2= big corm, 8-10 g) on the dry weight of stigma

کربوهیدرات کل

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه کود زیستی در کود شیمیایی پتاسیم در وزن بنه (a×b×c) بر غلظت کربوهیدرات محلول کل با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان داد، این نتایج حاکی از آن است که کود شیمیایی پتاسیم، کود زیستی پتابارور-۲ و همچنین وزن بنه اثرات مثبتی را بر غلظت کربوهیدرات‌های کل برگ زعفران داشته‌اند. مقایسه میانگین (شکل ۵) نشان داد که کاربرد پتاسیم هم نوع زیستی و نیز شیمیایی آن در

هر دو نوع بنه در مقایسه با عدم کاربرد کود پتاسیم تأثیر افزایشی بر کربوهیدرات‌های محلول کل برگ زعفران داشتند، هرچند بین تیمارهای $a_2b_2c_1$ و $a_2b_2c_2$اختلاف معنی‌داری از لحاظ میزان غلظت این صفت وجود نداشت. این نتایج نشان داد تیمار $a_1b_2c_1$ بیشترین غلظت هیدرات‌های کربن کل برگ (mg/g ۱/۳۴fw) و تیمار $a_1b_1c_1$ کم‌ترین آن (۱/۲۲mg/g fw) را داشته است.

جدول۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کود پتاسیم و وزن بنه بر صفات فیزیولوژیک زعفران

Table 3. Analysis of variance (mean of squares) for the effect of potassium fertilizer treatments and corm weight on saffron physiological traits

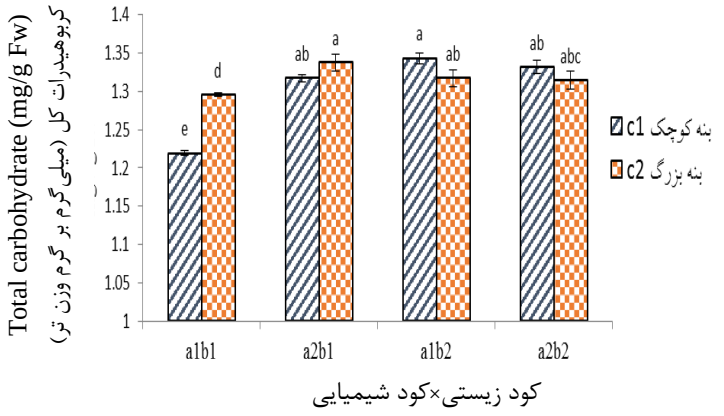
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کربوهیدرات کل برگ Leaf total carbohydrates	پروتئین برگ Leaf protein	آنتوسیانین گلبرگ Petal anthocyanin
تکرار Replicate	2	0.000028^{ns}	0.04^{ns}	0.015^{ns}
کود زیستی Bio-fertilizer (a)	1	0.0058**	2.52**	0.55**
کود شیمیایی Chemical fertilizer (b)	1	0.0071**	2640.14**	0.06*
وزن بنه Corm weight (c)	1	0.0010**	81.25**	0.0031 ^{ns}
b×a	1	0.0088**	181.6**	0.63**
c×a	1	0.00083**	287.2**	0.0039^{ns}
c×b	1	0.0073**	1083.3**	0.0024 ^{ns}
c×b×a	1	0.0015**	687.04**	0.0032 ^{ns}
خطا (Error)	14	0.0000079	0.18	0.0044
ضریب تغییرات (%cv)	-	6.24	7.45	4.54

ns ,* و **: به ترتیب به معنای عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است

ns, * and **: represent non-significant, significant at 5% and 1% level, respectively

فراهمی پتاسیم حاصل از کاربرد تلفیقی کود زیستی و کود شیمیایی در افزایش قند برگ مؤثر است، در واقع پتاسیم با فعال سازی آنزیم سوکروز فسفات سینتتاز (آنزیم کلیدی در سنتز ساکارز) محتوای قند را در برگ افزایش می‌دهد (Wang et al., 2003). با افزایش میزان پتاسیم، میزان تثبیت دی اکسیدکربن به دلیل کارکرد مطلوب روزنه‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان فتوسنتز افزایش یافته و بدین ترتیب تولید کربوهیدرات در برگ‌ها افزایش می‌یابد (Kholdbarin & Islamzadeh., 2005). به طورکلی پتاسیم سبب تولید، تجمع و انتقال هیدرات‌های کربن می‌شود (Heidari Sharif Abad., 2004). بین تولید نشاسته و قند و مقدار پتاسیم رابطهٔ مثبتی وجود دارد. پتاسیم فعالیت دیاستازی و قندسازی را در گیاه افزایش می‌دهد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد استفاده از کودهای پتاسه تحمل گیاه را نسبت به تنش‌ها افزایش داده و میزان نشاسته و کربوهیدرات گیاه را افزایش می‌دهد (Shomali et al., 2007). کمبود پتاسیم، ظهور بسیاری از آنزیم‌های مهم و مؤثر در ساخت پیروات (فسفوانول پیروات کربوکسیلاز، فسفوانول پیروات کربوکسی‌کیناز، آنزیم مالیک) و متابولیسم قند (گلوکز شش فسفات دهیدروژناز، نشاسته سنتتاز) را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Shin & Pettigrew, 1999; Schachtman., 2004). پتاسیم

باعث افزایش میزان مواد فتوسنتزی در گیاه می‌شود و این افزایش تولید مواد پرورده می‌تواند علاوه بر تولید عملکرد بیشتر باعث تولید بیشتر قندهای محلول برگ شود. نتایج نشان می‌دهد که کود شیمیایی نسبت به کود زیستی میزان قندهای محلول را بیشتر افزایش داده است هر چند اختلاف آنها معنی‌دار نیست. باتوجه به اینکه کودهای زیستی با تغییر شرایط اطراف ریزوسفر تا حدودی میزان پتاسیم بالاتری را به گیاه می‌رساند ولی اثر مثبت سولفات پتاسیم می‌تواند تا حدودی ناشی از اثر مثبت بخش گوگرددار آن باشد زیرا گوگرد باعث افزایش رشد رویشی خصوصاً بافت‌های فتوسنتزی گیاه و افزایش غلظت کربوهیدرات کل می‌شود که این موضوع با نتیجه سایر محققین مطابقت دارد (Serraj and Sinclair., 2002).



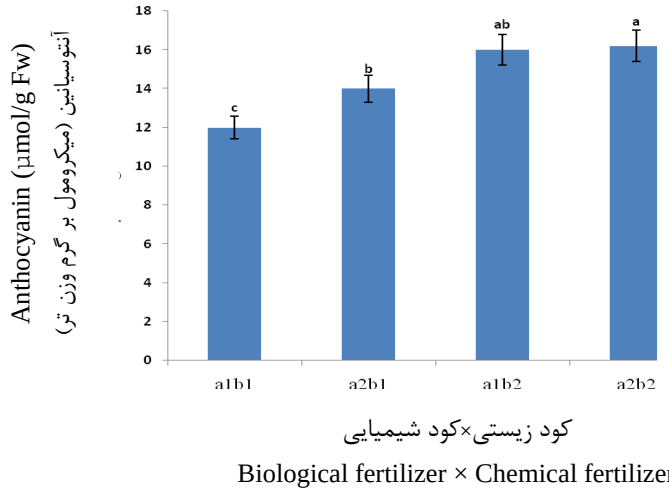
شکل۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه کود زیستی پتاسیم (a1=۰گرم در هکتار و a2= ۱۰۰گرم در هکتار)، کود شیمیایی پتاسیم (b1=۰ کیلوگرم در هکتار و b2= ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و وزن بنه(c1= بنه‌های کوچک و c2= بنه‌های بزرگ) بر غلظت کربوهیدرات کل

Fig 5. The means comparison of the triple interaction effects of potassium biological fertilizer (a1= 0 g/ha, a2= 100 g/ha), potassium chemical fertilizer (b1= 0kg/ha, b2= 200 kg/ha) and corm weight (c1= small corm, c2= big corm) on total carbohydrate

آنتوسیانین گلبرگ

با توجه به اطلاعات حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) تنها از بین اثرات متقابل فقط اثر دوگانه مصرف همزمان کود زیستی و کود شیمیایی (a×b) در سطح یک درصد با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد و بقیه اثرات تلفیقی نیز هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان ندادند. اثرات ساده تیمارها مانند اثر کود شیمیایی سولفات پتاسیم و کود زیستی پتاسیم در سطح پنج درصد با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد، در حالی که اثر ساده اندازه بنه اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان نداد. در واقع اینگونه می‌توان توجیه نمود که بزرگی یا کوچکی بنه اثر خاصی بر میزان آنتوسیانین گلبرگ زعفران ندارد. مقایسه میانگین (شکل ۶) اثر دوگانه منابع پتاسیم بر آنتوسیانین نشان داد بین تیمارهای a_2b_2 با a_1b_2 اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، اما بین این دو تیمار ذکر شده و تیمار a_2b_1 اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بیشترین اثر از بین تیمارها بر میزان آنتوسیانین مربوط به تیمار a_2b_2 با (۱۶ میکرومول بر گرم وزن تر گلبرگ) و کم‌ترین میزان آنتوسیانین نیز مربوط به تیمار a_1b_1 با (۱۲میکرومول بر گرم وزن تر گلبرگ) بود. ساخته شدن آنتوسیانین و تجمع آن در بافت‌های گیاهی تحت تأثیر عامل‌های مختلفی از جمله میزان هیدرات‌های کربن (گلوکز، آرابینوز و گالالکتوز) موجود در بافت‌ها قرار می‌گیرد (Taiz & Zeiger., 2006). به عبارت دیگر توسعهٔ رنگدانه‌های یاخته و ساخت آنتوسیانین با بالا رفتن میزان کربوهیدرات‌ها نسبت مستقیم داشته و هر عاملی که بتواند روی افزایش، جذب یا ساخته شدن قندها مؤثر باشد، باعث افزایش میزان آنتوسیانین کل در گیاه می‌شود (Vitrac et al., 2000). آنتوسیانین‌ها گلیکوزیدهایی هستند که در اثر هیدرولیز، یک مولکول قند و حلقه آگلیکون (آنتوسیانیدین) آزاد می‌کنند و ترکیبات فنولی اصلی مسئول رنگ قرمز ارغوانی هستند. ۳-گلیکوزید، ۳ و ۵ – دی گلیکوزیدهای

دلفینیدین، سیانیدین و پلارگونیدین آنتوسیانین‌های اصلی در تعیین رنگ می‌باشند (Hasnaoui et al., 2011). کوددهی پتاسیم سبب افزایش رنگ قرمز و افزایش آنتوسیانین می‌شود. پتاسیم در مسیر ساخت آنتوسیانین‌ها مهم بوده و به احتمال زیاد به عنوان یک کوفاکتور عمل می‌کند و باعث فعال شدن آنزیم‌هایی مانند UDP گالاکتوز و فلاونوئید ۳- او- گلیکوزیل (Nava et al., 2008) می‌شود، همچنین در طی تحقیقاتی مشخص شد که کاربرد پتاسیم ارتباط زیادی با فعالیت پلی فنول اکسیداز و پراکسیداز دارد، که احتمالاً کاربرد پتاسیم باعث افزایش ترکیبات فنولی و آنتوسیانین و درنتیجه افزایش شدت میزان آنتوسیانین می‌شود (Soarcs et al., 2005). باتوجه به توضیحات داده شده و از آنجایی که آنتوسیانین در اثر هیدرولیز قندها تولید می‌شوند افزایش آن با کاربرد همزمان کود زیستی و کود شیمیایی پتاسیم قابل توجیه است، زیرا کاربرد همزمان کود زیستی و کود شیمیایی باعث جذب بیشتر پتاسیم نسبت به زمانی که هر کدام از این کودها بطور منفرد مصرف شد می‌شود. در طی این آزمایش محرز گردید که پتاسیم به شدت در افزایش قندهای محلول زعفران مؤثر است، بنابراین اختلاف معنی‌دار تیمار کاربرد تلفیقی کود زیستی و شیمیایی پتاسیم بر میزان آنتوسانین کلاله زعفران کاملاً توجیه پذیر است.



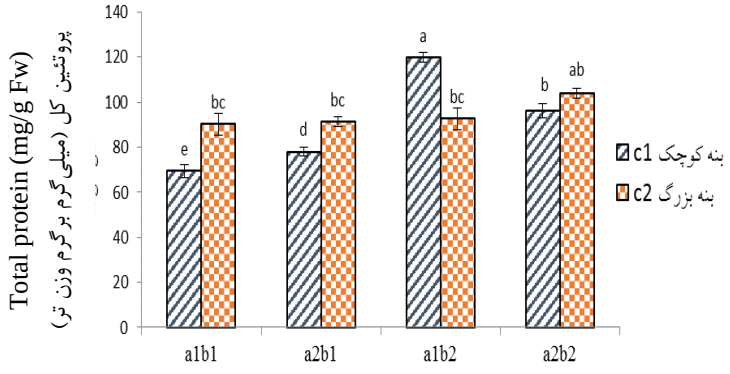
شکل۶. مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه کود زیستی پتاسیم (a1=۰گرم در هکتار و a2= ۱۰۰گرم در هکتار) و کود شیمیایی پتاسیم (b1=۰ کیلوگرم در هکتار و b2= ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر آنتوسیانین گلبرگ

Fig 6. The mean comparison of the dual interaction effect of potassium biological fertilizer (a1= 0 g/ha, a2= 100 g/ha) and potassium chemical fertilizer (b1= 0 kg/ha, b2= 200 kg/ha) on anthocyanin of petal

محتوای پروتئین کل

بر طبق جدول تجزیه واریانس اثر تلفیقی سه‌گانه تیمارهای کود زیستی پتاسم، کود شیمیایی و وزن بنه (a×b×c) بر محتوای پروتئین کل با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری را درسطح یک درصد نشان داد (جدول ۳) که حاکی از آن است که هنگام کاربرد کود زیستی و شیمیایی پتاسیم میزان پروتئین تولیدی در گیاه با اندازه بنه در ارتباط است. تیمار تلفیقی کاربرد کود شیمیایی و عدم کاربرد کود زیستی در شرایط بنه کوچک ($a_1b_2c_1$) بیشترین تأثیر را بر میزان پروتئین برگ زعفران داشت (۱۲۰ mg/gfw) و کمترین غلظت پروتیئن کل نیز مربوط به تیمار شاهد با کاربرد بنه کوچک $a_1b_1c_1$ (۶۹ mg/g fw) بود. در تیمار تلفیقی سه‌گانه در غلظت پروتئین بنه‌های کوچک و بزرگ اختلافی مشاهده نشد (شکل ۷). واضح است که در روش استفاده تلقیقی از کود زیستی و کود شیمیایی سولفات پتاسیم هر دو باعث افزایش پتاسیم تبادلی خاک می‌شوند و گیاه این پتاسیم را به راحتی جذب می‌کند، زیرا در هنگام پروتئین‌سازی دخالت پتاسیم در فرآیندهایی مانند جابجایی اسیدآمینه و اتصال tRNA به ریبوزوم دلیل افزایش پروتئین بیان شده است (Ruiz and Romero, 1999). پتاسیم نقشی اساسی در فعالیت آنزیم سازی، سنتز پروتئین، تنظیم اسمزی، تعادل کاتیونی-آنیونی و تحمل تنش دارد

(Marschner, 2012). همچنین با توجه به معنی‌دار بودن اثرات متقابل تیمار سه‌گانه (a×b×c) می‌توان بیان کرد که دریافت پتاسیم اثر مهمی بر میزان پروتئین دارد زیرا تحرک بالای این عنصر موجب فعال شدن بسیاری از آنزیم‌های مؤثر بر فرآیندهای متابولیکی مهمی چون فتوسنتز و سنتز پروتئین می‌شود (Von Uexkull,1978). عنوان شده است پتاسیم در فعال‌سازی تعداد زیادی از آنزیم‌های فتوسنتزی، ساختن پروتئین‌ها، متابولیسم اکسیداتیو و تعادل بار الکتریکی غشاهای سلولی نقش دارد (Parajapati & Mpdi., 2012). احتمالاً با افزایش گوگرد آزاد شده توسط کود سولفات پتاسیم، و همچنین میزان گوگردی که باکتری‌های موجود در کود زیستی با توجه به کاهش اسیدیته خاک به گیاه می‌رسانند جذب فسفر افزایش یافته که در نتیجه به دلیل فراهمی فسفر لازم برای ساخت آدنوزین تری فسفات (ADP)، انجام تنفس سلولی و افزایش میزان پروتئین را به دنبال داشته است. بطور کلی می‌توان گفت پتاسیم در ساخت ترکیبات پلیمری در گیاه نقش اساسی دارد. در گیاهانی که دچار کمبود پتاسیم می‌باشند، قندهای ساده، ترکیبات نیتروژنه محلول و اسیدهای آمینه انباشته شده و از مقدار نشاسته و پروتئین برگ‌ها کاسته می‌شود (Maynard.,2007).



شکل۷. مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه کود زیستی پتاسیم (a1=۰گرم در هکتار و a2= ۱۰۰گرم در هکتار)، کود شیمیایی پتاسیم (b1=۰ کیلوگرم در هکتار و b2= ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و وزن بنه(c1= بنه‌های کوچک و c2= بنه‌های بزرگ) بر غلظت پروتئین کل

Fig 7. The mean comparison of the triple interaction effect of potassium biological fertilizer (a1= 0 g/ha, a2= 100 g/ha), potassium chemical fertilizer (b1= 0kg/ha, b2= 200 kg/ha), and corm weight (c1= small corm, c2= big corm) on total protein

نتیجه‌گیری

بطور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد کاربرد پتاسیم به خصوص در قالب کود زیستی آن اثرات مثبتی بر بهبود گل انگیزی و افزایش تعداد گل در هر دو گروه بنه‌های زعفران به خصوص بنه‌های کوچک (۵-۳ گرم) داشت. همچنین افزایش وزن تر گل در کاربرد تلفیقی کود زیستی و شیمیایی به ویژه در بنه‌های بزرگ (۱۰-۸ گرم) مشهود بود. افزایش وزن خشک کلاله به عنوان جزء مهم عملکرد زعفران متأثر از کاربرد کود شیمیایی قرار گرفت، هرچند کود زیستی نیز در مقایسه با شاهد باعث افزایش معنی‌دار این صفت عملکردی گردید. کاربرد سولفات پتاسیم در تلفیق با کود زیستی بیشترین تأثیر را بر افزایش غلظت هیدرات‌های کربن کل، پروتئین کل برگ و محتوای آنتوسیانین گلبرگ داشت. بنابراین در اکثر صفات اندازه‌گیری شده کود زیستی تأثیری برابر با کود شیمیایی داشته است و جهت حصول حداکثر عملکرد گل و کیفیت زعفران در

واحد سطح، مصرف کود زیستی به تنهایی (۱۰۰ گرم در هکتار) یا مصرف تلفیقی آن با مقادیر کمتر کود شیمیایی سولفات پتاسیم توصیه می‌شود. بنابراین استفاده از بنه‌های بزرگ همراه با کاربرد کود پتاسیم زیستی به جای کودهای شیمیایی علاوه بر بهبود عملکرد در زعفران، نویدبخش کشاورزی پایدار و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی خواهد بود.

منابع

Akrami, M. R., Malakouti, M. J., & Keshavarz, P. (2015). Study of flower and stigma yield of saffron as affected by potassium and zinc fertilizers in Khorasan Razavi Province. *Journal of Saffron Research, 2* (1), 85-96. [In Persian].

Ansariyan Mahabadi, S., Alahdadi, I., Ghorbani Javid, M., & Soltani, E. (2018). Effects of Salicylic Acid and Application Methods on Daughter Corm Yield and Physiological Characteristics of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research, 6* (2), 203-218. [In Persian].

Ansaryan Mahabadi, S., Alahdadi, I., Ghorbani Javid, M., & Soltani, E. (2019). Effect of corm priming with salicylic acid and mother corm weight on flowering and qualitative characteristics of saffron stigma. *Saffron Agronomy and Technology, 7* (1), 41-53. [In Persian].

Arsalan, N., Gubruz, B., Dpek, A., Ozcan, S., Sarthan, E., Daeshian, A., & Moghaddasi, M. (2006). The effect of corm size and different harvesting times on saffron regeneration. *In proceedings 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology, 28-30th October 2006. Mashhad. Iran. Pp*, 113-117. [In Persian].

Behnia, M. (2012). Saffron: planting history, consumption, botany, chemistry, production, processing, standard and recovery. *University Tehran press, 506p.* [In Persian].

Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for quantitation of microgram of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry Quantities*, 72, 248-254.

Carroll, N. V., Longley, R. W., & Roe, J. H. (1956). The determination of glycogen in liver and muscle by use of anthrone reagent. *Journal of Biology and Chemistry*, 220, 583-593.

Douglas, M., & Perry, N. (2003). Growing saffron. The world's most expensive spice. *New Zealand Crop Food Research, No. 20. 4 p.*

El-Hammady, A. M., Khalifa, A. S., & Montasser, A. S. (1994). Effect of potash fertilization on Seewy date palms. II. Effect on yield and fruit quality. *Egyptian Journal of Horticulture, 18* (2), 199-210.

Glick, B. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 41, 109–117.

Ghobadi, F., Ghorbani Javid, M., & Sorooshzadeh, A. (2015). Evaluation of yield and growth characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) under effect of planting date and corm size in Varamin plain. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 32* (5), 857-867. [In Persian].

Han, H., Supanjani, S., & Lee, K. (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), 130-136.

Hasnaoui, N., Jbir, R., Mars, M., Trifi, M., Kamal-Eldin, A., Melgarejo, P., & Hernandez, F. (2011). Organic acids, sugars, and anthocyanins contents in juices of Tunisian pomegranate fruits. *International Journal of Food Properties*, 14, 741–757.

Hoseinifard, M. S., Ghorbani Javid, M., Allahdadi, I., & Soltani, E. (2018). The Effect of hormone priming and corm weight on the yield of flowers and characteristics of daughter corms of saffron in the first year. *Saffron Agronomy and Technology, 6* (1), 3-15. [In Persian]

Heidari Sharif Abad, H. (2004). Plant and Nutrients. *Payam Noor University Press.* [In Persian].

Izadi, N., Sorooshzadeh, A., & Mokhtassi-bidgoli, A. (2020). Effects of Mother Corm Weights and Nutrients Solution and Methionine Concentrations on Emergence Rate of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research, 7* (2), 235-249. [In Persian].

Javid, M.G., Hoseinifard, M.S., Allahdadi, I. & Soltani, E. (2022). Hormonal Priming with BAP and GA3 Induces Improving Yield and Quality of Saffron Flower Through Promotion of Carbohydrate Accumulation in Corm. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 205–215.

Kafi, M., Koocheki, A. R., Rashed Mohassel, M. H., & Nassiri, M. (2006). Saffron,

production and processing. *Science Publishers, New Hampshire, 244 p.*

Karimi, G., Hosseinzadeh, H., & Khaleghpanah, P. (2001). Study of antidepressant effect of aqueous and ethanolic extract of *Crocus sativus* in mice. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 4, 11-15.

Kholdbarin, B., & Islamzadeh, T. (2005). Mineral nutrition plants, *Vol 1. Shiraz University Publication.*

Koocheki, A., Tabrizi, L., Jahani, M., & Mohammad-Abadi, A. A. (2011). Performance on saffron agronomic characteristics and corm under different planting patterns and high corm density. *Journal of Horticultural Science*, 42, 379-392.

Kucey, R. (1988). Effect of *Penicillium bilaji* on the sail and uptake of P and micronutrients from soil by wheat. *Canadian Journal of Soil Sciences*, 68, 261-270.

Lang, A. (1983). Turgor- related translocation. *Plant, Cell and Environment*, 6, 683-689.

Mahler, R., Sabbe, W., Mapples, R., & Hornby, Q. (1985). Effect on soybean yield of late soil potassium fertilizer application. *Arkansas Farm Research*, 34, 1-11.

Malakouti, M.J., Keshavarz, P., & Karimian, N. (2008). A comprehensive approach towards identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable agriculture. *Tarbiat Modares University Press. Tehran, Iran. 755 p.* [In Persian].

Marschner, P. **(**2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants. *3rd edition. Academic Press, London, UK. Pp, 178-189.*

Mashayekhi, K., Soltani, A., & Kamkar, B. (2006). The relationship between corm weight and total flower and leaf numbers in saffron. *In proceedings 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology, 28-30th October 2006. Mashhad. Iran. Pp, 93-96.*

Maynard, A. (2007). Research needs and priorities related to the environmental, Health and safety aspects of the engineered nanoscale materials. Published by project on emerging nanotechnologies. *Woodro wilson International center for scholars. Washington, DC.*

Molina, R., Garcı`a-Luis, A., Coll, V., Ferrer, C., & Valero, M. (2004). Flower formation in the saffron (*Crocus sativus* L.) The role of temperature. *Acta Horticulturae,* 650, 39–47.

Molina, R., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J., & Garcia-Luice, A. (2005). Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.) *Scientia Horticulturae*, 103, 361-379.

Nava, G., Dechen, A. R., & Nachtigall, G. R. (2008). Nitrogen and potassium fertilization affect apple fruit quality in southern brazil. *Soil Science and Plant Analysis,* 39, 96–107.

Ollat, N., Diakou-Verdin P., Carde, J. P., Barrieu, F., Gaudillere, J. P., & Moing, A. (2002). Grape berry development: a review. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin,* 36, 109-131.

Omidi, H., Naghdi Badi, H. A., Golzad, A., Torabi, H., & Footoukian, M. H. (2009). The Effect of Chemical and Bio-fertilizer Source of Nitrogen on Qualitative and Quantitative Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Medicinal Plants, 8* (30), 98–109.

Parajapati, K. B., & Mpdi, H. A. (2012). Isolation and solation characterization of potassium solobilization bacteria from ceramic industry soil. *CIB Technology Microbiology, 1* (2-3), 8-14.

Perme, Z., Mohebi, R., Nabizade, A., & Hosseini, M. (2010). Export capacity and Target Bazaars of Iranian Saffron. *Journal of Stound Research Economics*, 51, 59-95.

Pettigrew, W. (1999). Potassium deficiency increases specific leaf weights and leaf glucose levels in field-grown cotton. *Agronomy Journal*, 91, 962-968.

Ruiz, J. M., & Romero, L. **(**1999) Nitrogen efficiency and metabolism in grafted melon. *Scientia Horticulturae,* 81, 113-123.

Serraj, R., & Sinclair, T. (2002). Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions. *Plant, Cell and Environment,* 25, 333-341.

Shin, R., & Schachtman, D. (2004). Hydrogen peroxide mediates plant root cell response to nutrient deprivation. *National Academy of Science of the USA*, 101, 8827– 8832.

Shomali, R., Abdolzadeh, A., Haddadchi, A., & Sadeghipour, H. R. (2007). Effect of different potassium and iron concentration on growth, ion contents and some biochemical parameters in rice. *Journal of Agriculture Science and Natural Research, 14* (5), 64-77. [In Persian].

Soarcs, A. G., Trugo, L. C., Botrl, N., & Souza, L. F. S. (2005). Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comusus* L.) by per-harvest soil application of potassium. *Postharvest Biology and Technology*, 35,201- 207.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). Plant Physiology, (4th Edition). *Sinauer Associates, Sunderland, Mass: 623p.*

Vitrac, X., Larronde, F., Krisa, S., Decendit, A., Deffieux, G., & Mérillon, J. M. (2000). Sugar sensing and Ca^{2+} calmodulin requirement in Vitis vinifera cells producing anthocyanin. *Phytochemistry*, 53, 659-665.

Von Uexkull, H. (1978). Potash and rice production in Asia. *Potash Review Subject Cereal,*

Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free acids, and anthocyanin in protoplast. *Plant physiology*, 64, 88-93.

Wang, X. D., Yu, Z. W., & Wang, D. (2003). Effect of potassium on flag leaf proteinases activity and kernel quality in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, *29* (2), 285-289

COPYRIGHTS

© 2022-2023 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)