نشریه علمی فناوری و گیاهان دارویی ایران
دوره۵- شماره ۲- پیاپند ۹-پائیز و زمستان ۱۴۰۱

تأثیر عمق کاشت و تغذیه بر ویژگی‌های کمی و کیفی گل زعفران

The effect of planting depth and fertilization on the quantitative and qualitative characteristics of saffron flowers

سید جلال آذری[۱]، علی سروش‌زاده*[۲]، جعفر نباتی[۳]، احسان اسکوئیان[۴]

۱. دانش آموخته دکتری، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران. ، (نگارنده مسئول)
۲. دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران .
۳. استادیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴. استادیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران (واحد شرق و شمال شرق)، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷ - شناسانهٔ برنمود رقمی:10.22092/mpt.2024.365315.1146

چکیده

آذری، س.ج.، سروش زاده، ع. نباتی، ج.، اسکوئیان، ا.، . تأثیر عمق کاشت و تغذیه بر ویژگی‌های کمی و کیفی گل زعفران
نشریه علمی فناوری وگیاهان دارویی ایران، دوره ۵ - شماره ۲- پیاپند ۹-پائیز و زمستان ۱۴۰۱ صفحه: ۱۳۰-۱۰۸

تغذیه و عمق کاشت نقش مهمی در کمیت و کیفیت زعفران دارند. در همین راستا پژوهشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۸ انجام شد. تغذیه به‌عنوان عامل اصلی شامل ۱- NPK (کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفات و پتاسیم بر اساس آزمون خاک) (شاهد) ۲- کودهای زیستی (BIO) (شامل باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم) ۳- کودهای شیمیایی (CHE) (شامل کودهای کلسیم، پتاسیم، برخی عناصر ریزمغذی و اسیدآمینه) و ۴- روش تلفیقی (BIO- CHE) (شامل کودهای زیستی و شیمیایی) و عمق کاشت به‌عنوان عامل فرعی (۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک اجزای تشکیل دهندهٔ گل شامل گلبرگ و مادگی (۴۷۴ $mg.m^{-2}$)، وزن خشک کلاله (۴۶/۴ $mg.m^{-2}$) و طول کلاله (۲۳/۳ mm) از برنامه تغذیه‌ای NPK به‌دست آمد. بیشترین سرعت ظهور گل (۱۴/۵ $Flower.day^{-1}$) از برنامه تغذیه‌ای NPK و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر بود. بیشترین مقدار کروسین مربوط به برنامه تغذیه‌ای BIO- CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر، پیکروکروسین مربوط به برنامه تغذیه‌ای CHE و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر و سافرانال مربوط به برنامه تغذیه‌ای NPK و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر بود. بیشترین وزن خشک برگ و بنه از برنامه تغذیه‌ای CHE و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر به‌دست آمد که نسبت به برنامه تغذیه‌ای NPK و همین عمق کاشت به‌ترتیب افزایش ۳۹/۹ و ۳۰/۹ درصدی ازنظر این خصوصیات را نشان داد. بنابراین کود زیستی برای تولید کنندگان و زعفران کاران در منطقه‌ی مورد آزمایش توصیه می‌شود.

واژه های کلیدی: باکتری، سافرانال، کلاله، کود شیمیایی، وزن خشک گل

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: (soroosh@modares.ac.ir)

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus*) دارای قدمتی ۳۵۰۰ ساله می‌باشد (Saxena, ۲۰۱۰) و در مناطق خشک و نیمه‌خشک با بارندگی کم سالیانه، زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم (Kafi, ۲۰۰۶) و در زمین‌هایی که دارای ارتفاع زیاد، شرایط آب و هوایی سرد می‌باشد، کشت و رشد می‌کند (Khilare et al., ۲۰۱۹). عملکرد زعفران بستگی زیادی به رشد بنه‌های دختری در فصل رشد قبل دارد (Renau-Morata et al., ۲۰۱۲). به‌طورکلی، ذخیره مواد غذایی در بنه‌های مادری، رشد زعفران را تعیین می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، بنه‌های مادری بزرگ‌تر، انرژی بیشتری به بنه‌های دختری در حال رشد می‌رسانند (Douglas et al., ۲۰۱٤). در سال ۱٤۰۱ کل سطح زیر کشت زعفران در کشور ۱۱۲ هزار هکتار بود که از این سطح زیر کشت ٤۰۸ تن زعفران برداشت شده است. بیشترین سطح زیر کشت و تولید زعفران در کشور در سال ۱٤۰۱ به‌ترتیب مربوط به استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی و خراسان شمالی بود (Anonymous, ۲۰۲۱). میانگین عملکرد سی ساله زعفران در کشور ۳/۲ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Koocheki *et al*., ۲۰۱۷). مهم‌ترین ترکیب‌های زیستی فعال زعفران شامل کروسین، کروستین، پیکروکروسین و سافرانال می‌باشند. عامل اصلی رنگ زعفران کروسین (Crocetin di-(β-gentiobiosyl) ester) است. کروسین با فرمول شیمیایی $C_{٤٤}H_{٦٤}O_{٢٤}$ یک گلیکوزید دی‌آپوکارتنوئیدی است که در آب حل می‌شود (Gresta *et al*., ۲۰۰۸). یکی از عوامل اصلی تعیین کننده کیفیت زعفران محتوی کروسین می‌باشد. طعم زعفران مربوط به پیکروکروسین است (٤-(β-D-glucopyranosyloxy)-۲,٦,٦-trimethyl-۱-cyclohexene-۱-carboxaldehyde) که یک مونوترپن آلدئیدی است. عطر زعفران به دلیل وجود سافرانال (۲,٦,٦-trimethyl-۱,۳-cyclohexadiene-۱-carboxaldehyde) با فرمول $C_{۱۰}H_{۱٤}O$ می‌باشد (Gresta *et al*., ۲۰۰۸).

عوامل زیادی بر کیفیت کلاله زعفران تأثیر می‌گذارند که می‌توان به شرایط آب و هوایی و منشأ بنه (Cardone *et al*., ۲۰۱۹)، تراکم کاشت بنه (Koocheki and Seyyedi, ۲۰۱٦)، خصوصیات خاک (Behdani and Fallahi, ۲۰۱۵)، در دسترس بودن آب (Koocheki *et al*., ۲۰۱٦)، تغذیه (Fallahi and Mahmoodi, ۲۰۱۸) و روش تولید ارگانیک یا رایج (استفاده از کود و سموم شیمیایی) (Behdani and Hoshyar, ۲۰۱٦) اشاره کرد.

کودهای زیستی با تجزیه ماده آلی، حل کردن مواد معدنی و کمک به حاصلخیزی خاک، نقش مهمی در اکولوژی خاک ایفا می‌کنند. باکتری *Bacillus subtilis* بر کلیه صفات رویشی و زایشی زعفران تأثیر مثبت داشته، به‌گونه‌ای که این باکتری عملکرد کلاله خشک را ۱۲ درصد افزایش داده است (Eldin *et al*., ۲۰۰۸). در یک مطالعه بیان شده است که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات در مقایسه با کود شیمیایی، عملکرد کلاله و کروسین را

بهبود بخشیده است (Naghdi Badi *et al*., ۲۰۱۱). گزارش شده است که کلاله‌های ناشی از مزارع ارگانیک در مقایسه با غیرارگانیک دارای متابولیت‌های ثانویه، آنتی‌اکسیدان‌ها و خصوصیات سیتوتوکسی بالاتری هستند (Behdani and Hoshyar, ۲۰۱۶). تلقیح زعفران با قارچ *Rhizophagus intraradices*، محتوای کروستین، کروسین II و پیکروکروسین را در کلاله‌ها افزایش داده است (Caser *et al*., ۲۰۱۹). استفاده از کود آلی موجب افزایش میزان فنل، آنتوسیانین و فعالیت آنتی‌اکسیدانتی در زعفران شده است (Askary *et al*., ۲۰۲۳).

عمق کاشت مناسب، ضمن فراهم کردن شرایط بهینه برای سبز شدن گل، در محافظت بنه از سرما، گرما و خشکی مؤثر می‌باشد، اما کاشت عمیق‌تر، از سبز شدن گیاه جلوگیری می‌کند و می‌تواند عملکرد گیاه را کاهش دهد (Yildirim *et al*., ۲۰۱۶). در مورد عمق کشت مناسب زعفران برای افزایش عملکرد گل آن گزارش‌های متفاوتی ارائه شده است. در آزمایشی بیان شده است که کاشت بنه‌ها در عمق ۷/۵ سانتی‌متر باعث افزایش تعداد گل‌ها شده است (Nazir *et al*., ۲۰۰۰). در آزمایش دیگری عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر نسبت به عمق کاشت ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر از تعداد گل بالاتری برخوردار بوده است (Galavi *et al*., ۲۰۰۸).

در سال‌های اخیر ازیک‌طرف قیمت نهاده‌های شیمیایی افزایش یافته و از طرف دیگر اثرات نامطلوب این نهاده‌ها بر کیفیت خاک، محیط‌زیست و محصول شناخته شده است. از طرف دیگر با توجه به اینکه بنه‌های کوچک دور ریخته می‌شوند و یا در صورت استفاده از آن‌ها، این بنه‌ها تولید گل نمی‌کنند، هدف ما استفاده از این بنه‌ها و تبدیل آن‌ها به بنه‌های بزرگتر با استفاده از تغذیه و عمق کشت و تأثیر این کودها بر ویژگی‌های کمی و کیفی کلاله‌های زعفران بود. فرض بر این است که با برنامه تغذیه‌ای تلفیقی (شامل کودهای زیستی و شیمیایی) (BIO- CHE) و انتخاب عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر، زعفران از نظر کمی و کیفی عملکرد بهتری تولید کند.

مواد و روش‌ها

محل انجام آزمایش

این آزمایش در طی دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی: ۳۶ درجه شمالی؛ طول جغرافیایی: ۵۹ درجه شرقی؛ ارتفاع از سطح دریا: ۹۸۵ متر انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) در جدول ۱ ارائه شده است.

برنامه‌های غذایی و عمق کاشت به‌صورت آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار ارزیابی شد. کرت اصلی شامل برنامه غذایی در چهار سطح: ۱-NPK (کودهای شیمیایی پایه یا اصلی شامل نیتروژن، فسفات و پتاسیم بر اساس آزمون خاک) (شاهد) ۲- کودهای زیستی (BIO) (ترکیبی از باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

سال	بافت خاک	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	کل فسفر قابل‌دسترس ($mg.kg^{-1}$)	کل پتاسیم قابل‌دسترس ($mg.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	شاخص واکنش pH
سال اول	سیلتی- لومی	۰/۶۶	۰/۰۷	۱۳/۵	۱۳۸	۳/۴۵	۸/۱۲
سال دوم	سیلتی- لومی	۰/۶۷	۰/۰۹	۱۱/۱	۱۳۰	۳/۹۷	۸/۱۲

جدول ۲-محتویات کودهای شیمیایی (CHE) مورد استفاده

نام کود	تجزیه کودی
کلسیم	کلسیم Ca (CaO، 19%W/V)، نیتروژن N (N، 10%W/V)
پتاسیم	پتاسیم K (K_2O، 54%W/V)، فسفر P (P_2O_5، 45%W/V)
اسید آمینه	حاوی ۲۱ نوع اسید آمینه
برخی عناصر ریزمغذی	گوگرد (S، 3.2%W/V)، آهن (Fe EDTA، 0.6%W/V)، منگنز (Mn، 1.3%W/V)، روی (Zn، 1.36%W/V)، مس (Cu، 0.36%W/V)، بور (B، 1.48%W/V)، مولیبدن (Mo، 0.013%W/V) و ویتامین‌های گروه B و C

فسفات و پتاسیم) ۳- کودهای شیمیایی (CHE) (مخلوطی از کودهای کلسیم، پتاسیم، برخی عناصر ریزمغذی و اسیدآمینه) و ٤- روش تلفیقی (BIO- CHE) (کودهای زیستی و کودهای شیمیایی) و کرت فرعی شامل عمق کاشت در دو سطح ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر بود.

در برنامه تغذیه‌ای NPK قبل از کاشت بنه‌ها، کود نیتروژن (به فرم اوره (٤٦٪ N)) به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو نوبت، یکی قبل از گلدهی و دیگری یک ماه پس از گلدهی در هر مرحله ۵۰ درصد)، فسفر (به فرم سوپر فسفات تریپل (٤٦٪ P_2O_5) به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم (به فرم سولفات پتاسیم (سولفات پتاسیم شامل پتاسیم (K_2O) حداقل ۵۰ درصد وزنی، سدیم (NaCl) حداکثر دو درصد وزنی، گوگرد (S) حداقل ۱۷/۵ درصد وزنی و کلر (Cl) حداکثر دو و نیم درصد وزنی) به میزان ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار) بر اساس آزمون خاک روی سطح خاک پراکنده و سپس با خاک مخلوط گردیدند. در سال دوم نیز در مهر سال ۱۳۹۹ همانند مقادیر کودی سال اول در داخل جویچه‌ها کودها اضافه و با خاک مخلوط شد و سپس اولین آبیاری در سال دوم صورت

گرفت.

کودهای زیستی هر کدام هفت لیتر (بر اساس توصیه شرکت سازنده کود) در هکتار هم‌زمان با اولین آبیاری (قبل از گلدهی در تاریخ ۱۳۹۸/۰۷/۱۰ و ۱۳۹۹/۰۷/۱۶) اعمال گردیدند. این برنامه تغذیه‌ای شامل باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن شامل جنس‌های *Bacillus sp .sp ,Azospirillum sp ,Azotobacter sp*، با جمعیت 10^7 در هر میلی‌لیتر، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم شامل جنس‌های *Bacillus sp.* و *Pseudomonas sp.* با جمعیت 10^7 در هر بودند. محتویات کودهای شیمیایی (CHE) مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است.

برنامه تغذیه‌ای CHE در سه مرحله اعمال گردیدند که بر اساس توصیه شرکت سازنده کود می‌باشد. در مرحله اول، کلسیم به میزان سه لیتر در هکتار+ اسیدآمینه به میزان پنج لیتر در هکتار هم‌زمان با اولین آبیاری (۱۳۹۸/۰۷/۱۰) (قبل از گلدهی)، در مرحله دوم، پتاسیم به میزان سه لیتر در هکتار+ اسیدآمینه به میزان سه لیتر در هکتار+ عناصر ریزمغذی به میزان دو لیتر در هکتار هم‌زمان با آبیاری دوم (۱۳۹۸/۰۸/۰۶) (پس از گلدهی) به‌صورت کاربرد خاکی و در مرحله سوم محلول‌پاشی برگی پتاسیم به همراه اسیدآمینه با غلظت یک در هزار در اسفند ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اعمال گردیدند. در برنامه تغذیه‌ای تلفیقی نیز روش استفاده از کودهای زیستی و شیمیایی به‌صورت فوق‌الذکر بود. در تمامی تیمارها، کودها در هر دو سال مورد استفاده قرار گرفتند.

عملیات زراعی

پس از آماده‌سازی زمین و ایجاد جوی و پشته، زمین قطعه‌بندی گردید. ابعاد هر یک از کرت‌های اصلی(در چهار سطح) ۸/۵۰× ۱/۲ متر و ابعاد هر یک از کرت‌های فرعی(در دو سطح) ٤× ۱/۲ متر بود. در درون هر کرت ۸ ردیف، فاصله بین ردیف‌های کاشت نیم‌متر و طول هر ردیف ۱/۲ متر بود. به‌ترتیب دو و یک ردیف نکاشت بین دو کرت اصلی و فرعی در نظر گرفته شد. هر کرت با پشته‌هایی از سایر کرت‌ها به منظور جلوگیری از هر گونه اختلاط کودی جدا گردید. فاصله کاشت بنه‌ها روی ردیف ٤ سانتی متر و تراکم نهایی ۷۵ بنه در متر مربع بود. بین بلوک‌ها ۱/۵ فاصله در نظر گرفته شد. بنه‌های زعفران (۸-۵ گرم) در ۲۵ تیر ۱۳۹۸ (به دلیل بارندگی در استان خراسان رضوی امکان برداشت بنه‌ها جهت کاشت زودتر وجود نداشت) روی پشته‌ها کاشت شدند. آبیاری به صورت غرقابی و همزمان با اعمال برنامه‌های تغذیه‌ای انجام گرفت. به‌طور کلی پنج مرتبه آبیاری (در مهر، آبان، دی، بهمن و اسفند ماه) در طی فصل رشد زعفران صورت گرفت. در هر دو سال، مدیریت علف‌های هرز با دست صورت گرفت (وجین علف‌های هرز در مهر و بهمن هر یک از سال‌های آزمایش انجام شد).

خصوصیات مورد مطالعه

در انتهای فصل اول رشد گیاه (بهار ۱۳۹۹) خصوصیات مربوط به رشد برگ و بنه و در ابتدای فصل دوم رشد گیاه (پاییز ۱۳۹۹)

خصوصیات گلدهی گیاه مطالعه شد.

۱- خصوصیات گلدهی

در کشت زعفران، در سال اول با توجه به اینکه میزان گل‌دهی وابسته به میزان ذخیره بنه است و تیمارها نمی‌توانند روی گلدهی اثرگذار باشند، لذا ویژگی‌های گل در سال دوم (پاییز ۱۳۹۹) مورد بررسی قرار گرفت. در سال دوم (۱۴۰۰-۱۳۹۹) ابتدا تعداد گل‌ها در هر کرت شمارش و سپس گل‌ها برداشت شدند. به‌منظور جلوگیری از پژمردگی گل‌ها، راحتی در جدا کردن کلاله‌ها و اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی کلاله‌ها، گل‌ها در درون پلاستیک فریزر و در ظرف حاوی یخ قرار داده شدند و پس از انتقال به آزمایشگاه از درون ظرف یخ، گل‌ها بیرون آورده شدند. برای هر تکرار پنج گل انتخاب و گل‌ها به اجزاء خود تفکیک گردیدند (با توجه به اینکه خصوصیات دیگری که نمونه‌برداری به صورت تخریبی صورت گرفته بود که این خصوصیات در این مقاله آورده نشده است، لذا ما پنج گل را مورد بررسی قرار دادیم، از طرفی به دلیل اینکه در سال اول بنه‌های کوچک ۸-۵ گرم کشت شده بود عملکرد گل در سال دوم کم بود) و تعداد شاخه‌های هر کلاله شمارش (به دلیل اثر تغذیه بر تعداد انشعابات کلاله) و طول بلندترین کلاله اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در آون در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند و با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ گلبرگ، کلاله و خامه وزن شدند. وزن خشک گل از مجموع وزن خشک گلبرگ، کلاله و خامه بدست آمد.

برای محاسبه سرعت ظهور گل از معادله ۱ استفاده گردید (Koochek *et al*., ۲۰۱۶):

معادله ۱

$$FR = \sum_{i=1}^{n} NFi/DAFFi$$

در این معادله FR سرعت ظهور گل، NFi تعداد گل برداشت‌شده در هر چین و DAFFi تعداد روز بعد از ظهور اولین گل و n تعداد روزهای برداشت گل می‌باشد.

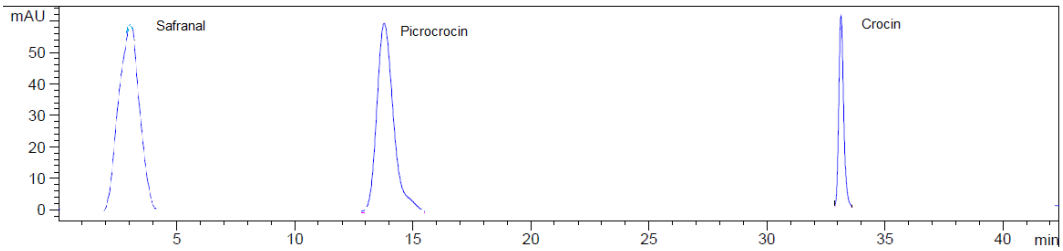
۲- تعداد بنه و وزن خشک بنه و برگ

در پایان فصل رشد سال اول (۱۳۹۹-۱۳۹۸) (خردادماه ۱۳۹۹) ، برای هر تکرار نیم مترمربع برای تعیین تعداد بنه و وزن خشک بنه و برگ برداشت شد. تعداد بنه‌های دختری شمارش و سپس بنه‌ها و برگ‌ها در آون در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده و وزن شدند. از تقسیم وزن خشک کل بنه‌ها بر تعداد بنه نیز میانگین وزن خشک هر بنه محاسبه شد.

۳- خصوصیات شیمیایی کلاله

برای بررسی ویژگی‌های شیمیایی ابتدا کلاله‌های مربوط به سه تکرار هر تیمار باهم مخلوط و خشک شدند و سپس در یک ظرف شیشه‌ای تیره در دمای چهار درجه سانتی‌گراد تا زمان عصاره‌گیری نگه‌داری شدند. برای اندازه‌گیری متالبولیت‌های ثانویه از روش‌های Lozano *et al*.,۱۹۹۹ و Abdullaev *et al*., ۲۰۰۲ به کار برده شد.

در شکل ۱ کاروتوگرام HPLC خصوصیات شیمیایی زعفران آورده شده است. در برنامه



شکل ۱- کاروتوگرام HPLC کروسین و پیکروکروسین در غلظت ۱۰۰ ماکرو گرم بر گرم و سافرانال در غلظت ۳/۳ ماکرو گرم بر گرم به ترتیب در طول موج های ۴۴۰، ۲۵۰ و ۳۱۰ نانومتر.

تغذیه‌ای NPK و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر به دلیل عدم وجود نمونه کافی کلاله مقدار سافرانال گزارش نشده است.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ۹.٤ مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات کمی گل

تعداد گل

در این آزمایش تعداد گل کمی ظاهر شد که باعث کاهش عملکرد گل و کلاله شد و به همین دلیل عملکرد کلاله بر حسب میلی گرم در متر مربع آورده شد. احتمالاً تعداد گل کم به‌دلیل استفاده از بنه‌های کوچک (۸-۵ گرم) می‌باشد. زیرا به طور معمول بنه‌هایی که بیش از ۸ گرم وزن دارند گل تولید می‌کنند و تیمارهای مورد استفاده نتوانسته‌اند به خوبی باعث افزایش وزن بنه‌ها و عملکرد گل‌ها شوند. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، اثر تغذیه، عمق کاشت و برهمکنش تغذیه و عمق کاشت بر تعداد گل در واحد سطح معنی‌دار بود. بیشترین تعداد گل تحت تأثیر تغذیه و عمق کاشت از برنامه تغذیه‌ای NPK و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر حاصل شد که با برنامه تغذیه‌ای CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ٤). برنامه تغذیه‌ای NPK در مقایسه با برنامه تغذیه‌ای CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر افزایش ٤/۹۳ درصدی ازنظر تعداد گل در واحد سطح نشان داد (جدول ٤). برنامه تغذیه‌ای NPK و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر نسبت به برنامه‌های تغذیه‌ای BIO و BIO- CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر که دارای کمترین تعداد گل در واحد سطح بودند، افزایش ۹۳/۳ درصدی ازنظر این شاخص را نشان داد (جدول ٤).

طول کلاله

اثر اصلی تغذیه بر طول کلاله معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین طول کلاله در برنامه تغذیه‌ای NPK به‌دست آمد که با برنامه تغذیه‌ای BIO تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲). برنامه تغذیه‌ای NPK نسبت به برنامه تغذیه‌ای BIO- CHE که دارای کمترین

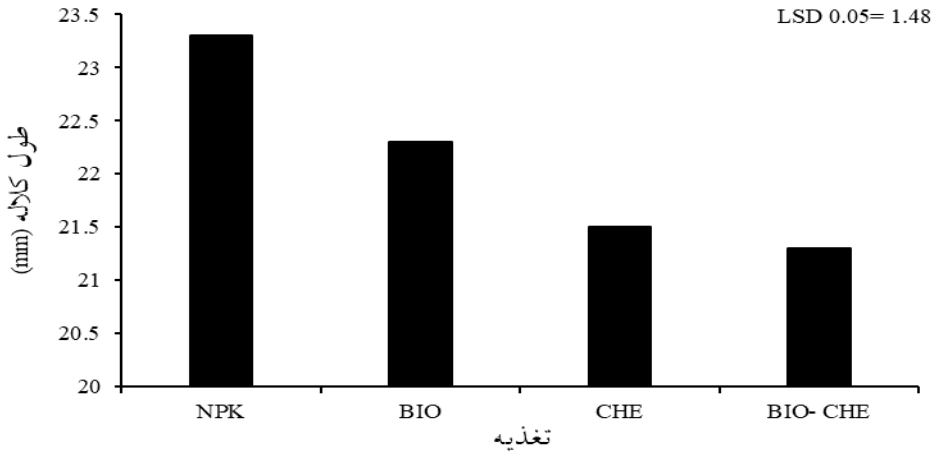
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تغذیه و عمق کاشت بر شاخص‌های مورد مطالعه در زعفران.

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد گل	تعداد شاخه هر کلاله	طول کلاله	سرعت ظهور گل	وزن خشک گل	وزن خشک گلبرگ	وزن خشک کلاله	وزن خشک خامه
بلوک	۲	۰/۱۴^{ns}	۰/۰۰۱۷^{ns}	۶/۴۲*	۰/۷۱^{ns}	۱۰/۰۰^{ns}	۷/۶۳^{ns}	۵/۸۲^{ns}	۰/۴۸^{ns}
تغذیه	۳	۳/۳۶**	۰/۰۰۱۷^{ns}	۵/۳۳*	۸۴/۱**	۷۴۴۵**	۵۸۷۶**	۱۲۰**	۴/۱۳**
خطای اصلی	۶	۰/۱۷	۰/۰۰۱۷	۳/۰۷	۱/۰۲	۱۱۰۱	۸۹۰	۱۱/۷	۰/۲۶
عمق کشت	۱	۰/۸۹**	۰/۰۰۱۷^{ns}	۰/۶۷^{ns}	۳۶/۶**	۴/۱۷^{ns}	۶۳/۴^{ns}	۳۴/۱^{ns}	۰/۰۹^{ns}
تغذیه× عمق کشت	۳	۶/۴۱**	۰/۰۰۱۷^{ns}	۰/۵۸^{ns}	۷۹/۲**	۶۵۲^{ns}	۴۸۱^{ns}	۲۵/۸^{ns}	۲/۷۶*
خطا	۸	۰/۰۷	۰/۰۰۱۷	۰/۹۲	۱/۴۱	۲۷۲	۱۷۵	۱۰/۹	۰/۵۳
ضریب تغییرات (درصد)		۱۹/۴	۱/۳۶	۴/۳۵	۲۳/۵	۳/۸۵	۳/۴۷	۸/۱۶	۱۰/۸

***، ** و ^{ns}: به‌ترتیب نشانگر معنی دار بودن در سطوح احتمال یک، پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار می‌باشد.

طول کلاله بود، افزایش ۸/۵۸ درصدی ازنظر این خصوصیت را نشان داد (شکل ۲). برنامه تغذیه‌ای NPK در مقایسه با برنامه تغذیه‌ای BIO افزایش ٤/۲۹ درصدی ازنظر طول کلاله را نشان داد (شکل ۲).

NPK (کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک)، BIO (کودهای زیستی)؛ CHE (کودهای شیمیایی شامل مخلوطی از کودهای کلسیم، پتاسیم، برخی عناصر ریزمغذی و اسیدآمینه) و BIO- CHE (روش



شکل ۲- اثر تغذیه بر طول کلاله در سال دوم در زعفران.

تلفیقی شامل کودهای شیمیایی و کودهای زیستی) و عمق کشت (۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر).

سرعت ظهور گل

اثر تغذیه و عمق کاشت و برهمکنش آن‌ها بر سرعت ظهور گل معنی‌دار بود (جدول ۳). یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های کاشت زعفران، برداشت گل‌های آن می‌باشد. هرچه میزان سرعت ظهور گل‌ها بیشتر باشد نشان‌دهنده یکنواختی گلدهی و کمتر بودن تعداد روز بین ظهور اولین و آخرین گل می‌باشد. هرچه سرعت ظهور گل‌ها بیشتر باشد به دلیل کاهش تعداد دفعات برداشت، میزان هزینه‌های برداشت کمتر می‌شود و به دنبال آن هزینه‌های کارگری جهت برداشت گل‌ها کمتر می‌شود. بیشترین سرعت ظهور گل از برنامه تغذیه‌ای NPK و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر به‌دست آمد (جدول ٤). برنامه تغذیه‌ای CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر که در رتبه دوم ازنظر سرعت ظهور گل بود، در مقایسه با تیمار برتر (برنامه تغذیه‌ای NPK و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر)، کاهش ۳٤/۸ درصدی ازنظر سرعت ظهور گل را نشان داد (جدول ٤). به‌طورکلی برای برنامه‌های تغذیه‌ای NPK و CHE، عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر و برای برنامه‌های تغذیه‌ای BIO و BIO- CHE، عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر از سرعت ظهور گل بالاتری برخوردار بودند (جدول ٤).

سرعت ظهور گل همبستگی بالایی با تعداد گل (**r/۸۷=۰) دارد (جدول ۵)؛ یعنی هرچه تعداد گل بالاتر باشد، سرعت ظهور گل نیز بیشتر خواهد بود.

وزن خشک گل، گلبرگ، کلاله و خامه

اثر تغذیه بر وزن خشک گل، گلبرگ و کلاله معنی‌دار بود (جدول ۳). ازنظر وزن خشک خامه اثر تغذیه و برهمکنش تغذیه در عمق کاشت معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک گل و گلبرگ از برنامه تغذیه‌ای NPK به‌دست آمد که با برنامه‌های تغذیه‌ای BIO و BIO- CHE تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳ الف و ب). بیشترین وزن خشک کلاله از برنامه تغذیه‌ای NPK به‌دست آمد که

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون صفات کمی و کیفی گل زعفران، تعداد و وزن خشک بنه و برگ در زعفران.

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱. تعداد گل	۱											
۲. تعداد کلاله	-۰/۰۵^{ns}	۱										
۳. طول کلاله	۰/۰۴^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۱									
۴. سرعت ظهور گل	۰/۸۷**	-۰/۰۵^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۱								
۵. وزن خشک گل	-۰/۱۳^{ns}	۰/۳۷^{ns}	۰/۴۰^{ns}	-۰/۰۰۵^{ns}	۱							
۶. وزن خشک گلبرگ	-۰/۱۷^{ns}	۰/۳۰^{ns}	۰/۳۸^{ns}	-۰/۰۶^{ns}	۰/۹۸**	۱						
۷. وزن خشک کلاله	۰/۱۲^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۰/۲۸^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۰/۵۱*	۰/۳۲^{ns}	۱					
۸. وزن خشک خامه	۰/۲۵^{ns}	۰/۴۳*	-۰/۰۹^{ns}	۰/۲۵^{ns}	-۰/۳۴^{ns}	-۰/۴۵*	۰/۱۲^{ns}	۱				
۹. تعداد بنه	-۰/۰۵^{ns}	-۰/۰۷^{ns}	-۰/۱۷^{ns}	-۰/۰۶^{ns}	-۰/۰۸^{ns}	-۰/۰۴^{ns}	-۰/۱۷^{ns}	-۰/۱۷^{ns}	۱			
۱۰. وزن خشک بنه‌ها	۰/۳۶^{ns}	۰/۳۵^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۵۷**	-۰/۰۳^{ns}	-۰/۰۶^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۴۰^{ns}	-۰/۰۸^{ns}	۱		
۱۱. وزن خشک هر بنه	۰/۱۹^{ns}	۰/۳۲^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۳۷^{ns}	۰/۰۳^{ns}	-۰/۰۳^{ns}	۰/۱۴^{ns}	۰/۳۵۵^{ns}	-۰/۷۱**	۰/۷۵**	۱	
۱۲. وزن خشک برگ	-۰/۲۵^{ns}	۰/۱۹^{ns}	-۰/۳۳^{ns}	-۰/۰۷^{ns}	-۰/۴۱*	۰/۲۵^{ns}	-۰/۰۸^{ns}	۰/۲۵^{ns}	-۰/۱۰^{ns}	۰/۴۲*	۰/۴۱*	۱

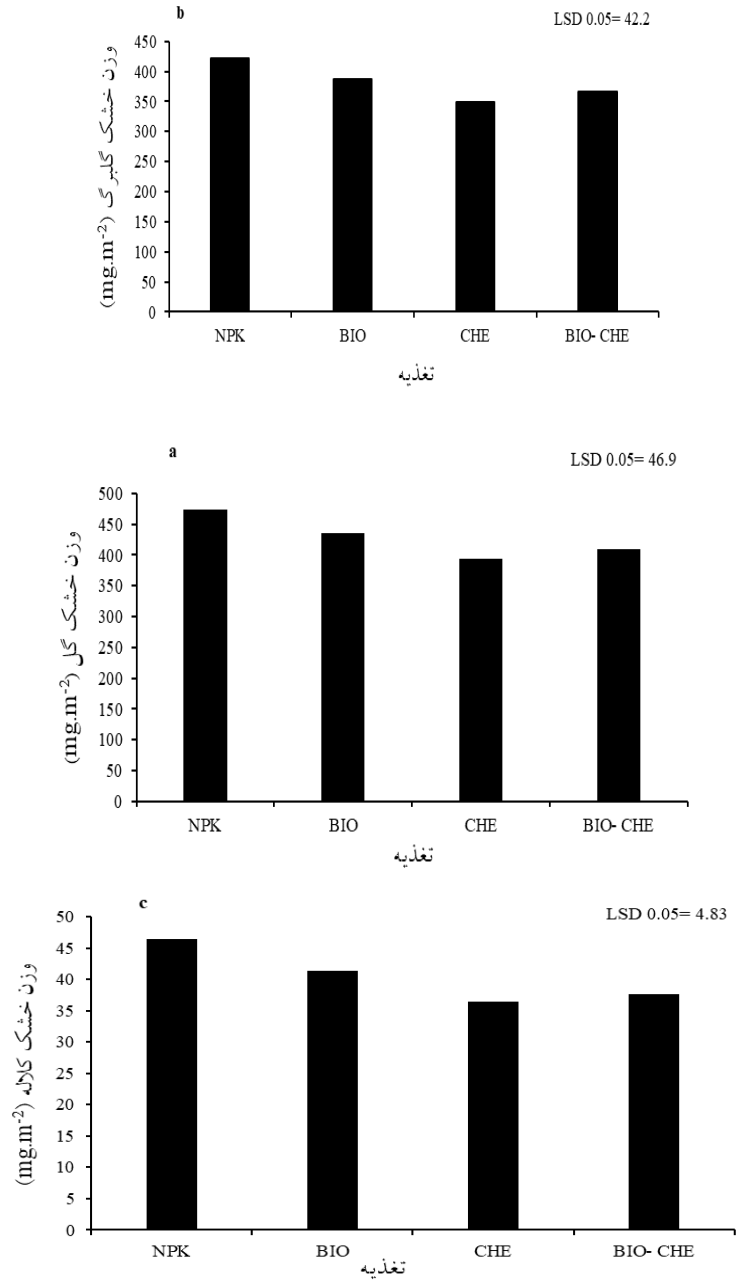
^{ns} * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

با برنامه تغذیه‌ای BIO تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳ ج). از طرف دیگر، برنامه تغذیه‌ای NPK نسبت به برنامه تغذیه‌ای BIO به‌ترتیب افزایش ۸/۰۲، ۸/۰۶ و ۱۰/۸ درصدی ازنظر وزن خشک گل، گلبرگ و کلاله را نشان داد (شکل ۳).

NPK (کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک)، BIO (کودهای زیستی)؛ CHE (کودهای شیمیایی شامل مخلوطی از کودهای کلسیم، پتاسیم، برخی عناصر ریزمغذی و اسیدآمینه) و BIO- CHE (روش تلفیقی شامل کودهای شیمیایی و کودهای زیستی).

نتایج جدول همبستگی نیز حاکی از آن بود، که وزن خشک گل همبستگی بالایی با وزن خشک گلبرگ (**r/۹۸=) و کلاله (*r/۵۱=) و نیز وزن خشک گلبرگ همبستگی منفی با وزن خشک خامه (*r=-۰/۴۵) داشتند. علاوه بر این، وزن خشک خامه همبستگی مثبتی با تعداد کلاله (*r/۴۳=) و همبستگی منفی با وزن خشک گلبرگ (*r=-۰/۴۵) داشت (جدول ۵).

عملکرد زعفران بستگی به عوامل مختلفی از جمله تعداد بنه بارور در واحد سطح، تعداد گل در هر بنه، وزن خشک کلاله در هر گل و... دارد. عملکرد کلاله خشک زعفران، جزء اصلی عملکرد زعفران می‌باشد. تشکیل گل در زعفران بستگی به میزان ذخیره مواد غذایی در بنه در سال قبل دارد. مقدار این مواد مغذی در سال آینده



شکل ۳- اثر تغذیه بر وزن خشک گل (الف)، وزن خشک گلبرگ (ب) و وزن خشک کلاله (ج) در سال دوم در زعفران.

تعیین کننده میزان گلدهی می‌باشد و باعث تقسیم و توسعه گل در اندام بنه می‌شود (Kafi *et al*., ۲۰۰۶). برخلاف نیاز کودی کم گیاه زعفران، در حدود ۱۶ تا ۸۰ درصد تغییرات عملکرد گل به تأمین عناصر نیتروژن و فسفر وابسته می‌باشد (Tempirini *et al*., ۲۰۰۹). تغذیه از طریق بهبود رشد گیاه و بنه دختر در سال اول تأثیر قابل‌توجهی بر تعداد گل و عملکرد کلاله سال بعد دارد (Ghanbari *et al*., ۲۰۱۹). افزایش در ذخیره مواد فتوسنتزی در

بنه‌ها، باعث افزایش در تعداد و وزن خشک گل‌ها و کلاله و یکنواختی گلدهی می‌شود. در این مطالعه برنامه‌های تغذیه‌ای CHE و NPK توانسته‌اند بیشترین میزان وزن خشک بنه را تولید کنند (جدول ۷) که این باعث شده است این برنامه‌های تغذیه‌ای از تعداد گل بیشتری در واحد سطح برخوردار باشند (جدول ٤).

برای تولید کلاله و خامه بزرگ‌تر بایستی کود نیتروژن (به فرم شیمیایی یا زیستی) مصرف شود (Rios *et al*., ۱۹۹٦). در پژوهشی بیشترین تعداد گل و وزن تر و خشک کلاله از تیمار کود نیتروژن (به فرم اوره) یک ماه پس از اضافه کردن کودهای نیتروژن، فسفات و پتاسیم به‌دست آمد (Unal and Cavusoglu, ۲۰۰۵). در تحقیق دیگری بیشترین وزن تازه گل، وزن کلاله و طول کلاله از تیمار کودهای نیتروژن، فسفر و کود گاوی به‌دست‌آمده است (Amiri, ۲۰۰۸). مخلوط کودهای شیمیایی حاوی عناصر پر و کم‌مصرف مؤثرتر از تیمار نیتروکسین (ازتوباکتر و آزوسپریلیوم) بر رشد بنه و عملکرد گل و کلاله می‌باشد (Koocheki and Jahan, ۲۰۰۹). در آزمایشی گزارش شده است که در سال دوم بیشترین وزن خشک گل و کلاله و تعداد گل از تیمار کود زیستی مایکوریزا حاصل شده است (Jami *et al*., ۲۰۲۰). پژوهشگران علت برتر بودن این تیمار را در افزایش اختصاص مواد مغذی به اندام‌های گیاه و درنتیجه افزایش وزن بنه‌های دختری در اثر استفاده از کودهای زیستی بیان کرده‌اند. دسترسی بیشتر گیاهان به آب و عناصر غذایی به‌وسیله کودهای زیستی (به‌ویژه فسفر) از طریق تولید اسیدهای حل‌کننده فسفات بهبود می‌یابد و با آزادسازی فسفر معدنی و آلی موجب افزایش دسترسی به عناصر غذایی، بهبود ریشه‌زایی و درنهایت، افزایش عملکرد کمی و کیفی می‌شود. کودهای زیستی از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد (به‌ویژه اکسین) سرعت رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌عبارت‌دیگر، تولید هورمون‌های محرک رشد به‌خصوص اکسین از طریق تحریک سیستم ریشه‌زایی باعث افزایش جذب‌شده که این امر درنهایت موجب افزایش رشد گیاه می‌شود (Vessy, ۲۰۰۳). پیش تیمار بنه زعفران با باکتری باسیلوس سوبتیلیس قبل از کشت، باعث افزایش بنه‌های دختری و کیفیت محصول زعفران شده است (Eldin *et al*., ۲۰۰۸).

کودهای زیستی باعث تثبیت نیتروژن هوا می‌شوند و به جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف که برای رشد گیاه نیاز می‌باشند، کمک می‌کنند و با تولید هورمون‌های رشد به‌ویژه اکسین، اسیدهای آمینه مختلف و آنتی‌بیوتیک‌ها به رشد و توسعه ریشه و اندام هوایی زعفران کمک می‌کنند (Gutierrez-Manero *et al*., ۲۰۰۱). در آزمایشی افزایش ۸۳ درصدی تیمار کود زیستی آزادکننده فسفر نسبت به شاهد در عملکرد کلاله داشته است که پژوهشگران این افزایش را به دلیل کاهش pH و افزایش انحلال‌پذیری ترکیب‌ها بیان کرده‌اند (Rojas *et al*., ۲۰۰۱). کودهای زیستی از طریق تولید هورمون‌ها به‌ویژه جیبرلین باعث افزایش عملکرد کلاله و خامه

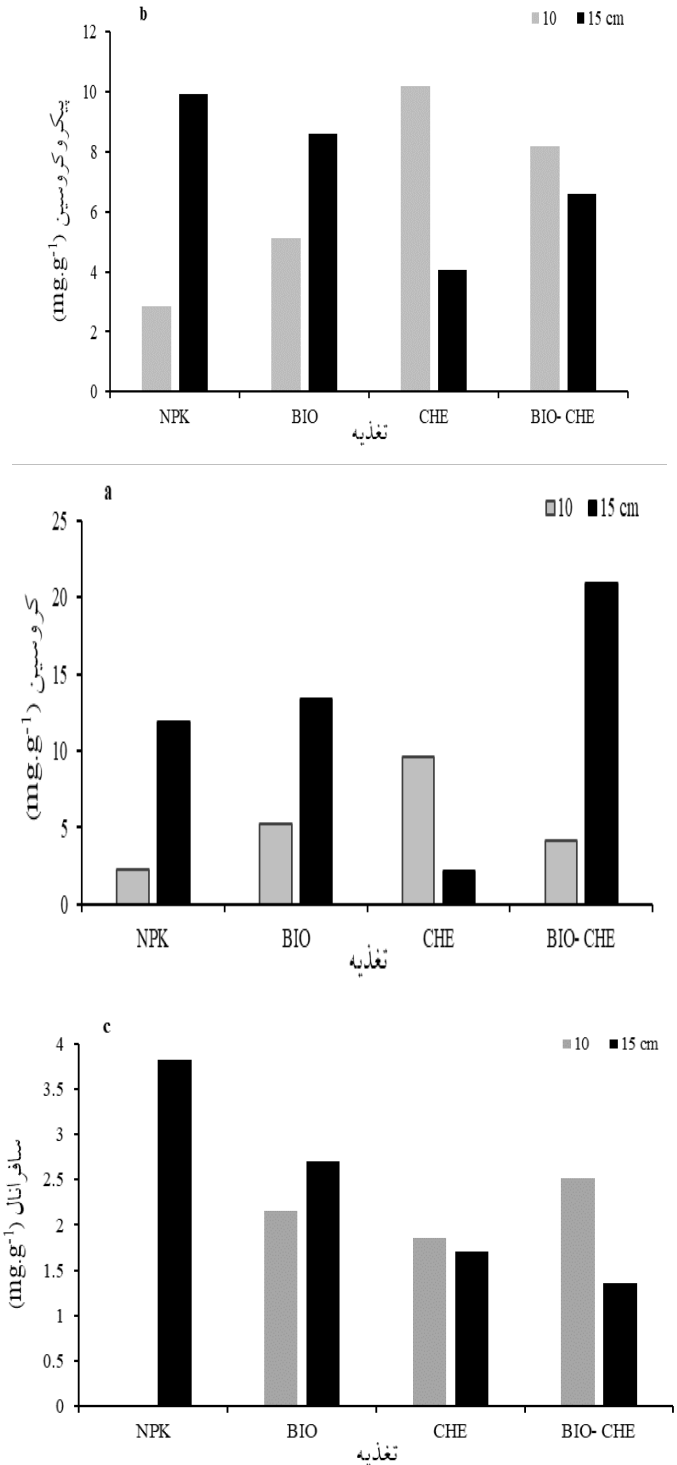
در زعفران می‌شوند (Omidi *et al*., ۲۰۰۹). استفاده ترکیبی از کود شیمیایی نیتروژن و کود زیستی ازتوباکتر باعث افزایش عملکرد زعفران نسبت به استفاده جداگانه این مواد شده است. این موضوع نشان می‌دهد که کود شیمیایی نیتروژن به‌تنهایی نمی‌تواند نیاز مواد غذایی گیاه را تأمین کند و نیاز به افزایش ظرفیت جذب مواد نیز می‌باشد (Kirmani *et al*., ۲۰۱٤). در این آزمایش نیز بیشترین مقادیر وزن خشک گل، گلبرگ، کلاله و طول کلاله از برنامه تغذیه‌ای NPK و سپس BIO به دست آمد. فراهمی سریع و آسان عناصر غذایی در سیستم‌های کود شیمیایی را می‌توان دلیل اصلی افزایش عملکرد کمی اجزاء گل در برنامه تغذیه‌ای NPK دانست.

خصوصیات کیفی گل

کروسین، پیکروکروسین و سافرانال

نتایج نشان داد که میزان کروسین کلاله بین ۲/۱۹ تا ۲۰/۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک کلاله متغیر بود. بیشترین و کمترین مقدار کروسین به‌ترتیب از برنامه تغذیه‌ای BIO- CHE و CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر به‌دست آمد. برنامه تغذیه‌ای BIO- CHE نسبت به برنامه تغذیه‌ای NPK افزایش ۷٦ درصدی ازنظر مقدار کروسین نشان داد (شکل ٤ الف). بیشترین و کمترین مقدار پیکروکروسین به‌ترتیب از برنامه تغذیه‌ای CHE و NPK و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر به‌دست آمد (شکل ٤ ب). برنامه تغذیه‌ای CHE و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر نسبت به برنامه تغذیه‌ای NPK و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر افزایش ۲/۸٤ درصدی ازنظر مقدار پیکروکروسین نشان داد (شکل ٤ ب). درحالی‌که مقدار سافرانال بین ۱/۳٦ تا ۳/۸۲ میلی‌گرم در گرم متغیر بود و بیشترین و کمترین مقدار به‌ترتیب از برنامه تغذیه‌ای NPK و BIO- CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر حاصل شد (شکل ٤ ج). همچنین قابل ذکر است که برنامه تغذیه‌ای NPK در مقایسه با برنامه تغذیه‌ای BIO و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر افزایش ۲۹/۳ درصدی ازنظر مقدار سافرانال را نشان داد (شکل ٤ ج).

در گل‌های بزرگ‌تر و با کلاله‌های سنگین‌تر، چنین انتظار می‌رود که میزان ترکیب‌های کیفی شامل کروسین، پیکروکروسین و سافرانال کمتری تولید شود، زیرا با فراهمی رطوبت و عناصر غذایی، سرعت و میزان رشد گیاه افزایش می‌یابد، لیکن افزایش تولید مواد مؤثره تا غلظت معینی میسر است، به‌طوری‌که ممکن است سرعت رشد بیشتر از سرعت و میزان ساخت متابولیت ثانویه بوده و سبب کاهش غلظت آن در کلاله شود (Ramezani *et al*., ۲۰۲۰). در آزمایشی بیشترین میزان کروسین در سال دوم از تیمار کود زیستی مایکوریزا به‌دست‌آمده است اما در مورد پیکروکروسین و سافرانال بیشترین مقادیر از تیمار کود ورمی‌کمپوست حاصل شده است (Jami *et al*., ۲۰۲۰). کود زیستی به دلیل فراهمی ترکیب‌ها، مواد هورمونی و ویتامین‌های محلول در آب و ایجاد همکاری متقابل با محیط خاک پیرامون ریشه، بر تولید و افزایش ترکیب‌های اولیه مؤثر در بیوسنتز گلوکوزیدها و تجزیه آن‌ها به ترکیب‌های



شکل ۴- برهمکنش تغذیه و عمق کشت بر مقدار کروسین (الف)،

پیکروکروسین (ب) و سافرانال (ج) در سال دوم در زعفران.

ثانویه زعفران نقش دارد (Patten and Glick, ۱۹۹۶). استفاده تلفیقی کود زیستی نیتروکسین با کود شیمیایی نیتروژن‌دار باعث افزایش معنی‌دار میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال شده است (Omidi *et al*., ۲۰۰۹). ساخت ترپنوئیدها نیاز به ترکیب‌های فسفردار (ATP و NADPH) دارد لیکن جهت تأمین انرژی لازم برای چرخه‌های آن، به نیتروژن وابسته است (Loomis and corteau, ۱۹۷۲).

NPK (کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک)، BIO (کودهای زیستی)؛ CHE (کودهای شیمیایی شامل مخلوطی از کودهای کلسیم، پتاسیم، برخی عناصر ریزمغذی و اسیدآمینه) و BIO- CHE (روش تلفیقی شامل کودهای شیمیایی و کودهای زیستی) و عمق کشت (۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر). در برنامه تغذیه‌ای NPK و عمق کشت ۱۰ سانتی‌متر به دلیل عدم وجود نمونه کافی کلاله، مقدار سافرانال گزارش نشد.

تعداد و وزن خشک بنه

اثر تغذیه، عمق کاشت و برهمکنش تغذیه در عمق کاشت بر تعداد، وزن خشک کل بنه‌ها و میانگین وزن خشک هر بنه در واحد سطح معنی‌دار بود (جدول ٦). بیشترین تعداد بنه در شرایط استفاده از برنامه تغذیه‌ای BIO- CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر به‌دست آمد که با برنامه‌های تغذیه‌ای NPK و BIO- CHE و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری نداشت؛ اما برنامه تغذیه‌ای BIO- CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر، افزایش ۱۷/۱ درصدی را نسبت به برنامه‌های تغذیه‌ای NPK و BIO- CHE و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر برای تعداد بنه نشان دادند. همچنین با توجه به نتایج، با افزایش عمق کاشت از ۱۰ به ۱۵ سانتی‌متر تعداد بنه در تمامی برنامه‌های تغذیه‌ای (به جزء برنامه تغذیه‌ای BIO- CHE) کاهش یافت و بیشترین وزن خشک بنه در برنامه تغذیه‌ای CHE و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. همچنین بیشترین وزن خشک هر بنه از برنامه تغذیه‌ای BIO و عمق کشت ۱۵ سانتی‌متر بدست آمد که با برنامه‌های CHE و عمق کشت ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر و NPK و عمق کشت ۱۵ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری نداشت. برنامه تغذیه‌ای CHE و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر که از بیشترین وزن خشک بنه برخوردار بودند نسبت به برنامه تغذیه‌ای BIO- CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر که از بیشترین تعداد بنه برخوردار بودند به‌ترتیب افزایش ٦۱/۳ درصدی و کاهش ۳۱/۲ درصدی را برای وزن خشک بنه و تعداد بنه نشان دادند (جدول ۷). این نشان می‌دهد که برنامه تغذیه‌ای BIO- CHE توانسته است تعداد بنه بیشتر اما با وزن کمتری تولید کنند. برعکس برنامه تغذیه‌ای CHE توانسته است تعداد بنه کمتر ولی با وزن بیشتری را تولید کنند که در زراعت زعفران تولید تعداد بنه کمتر ولی با وزن بیشتر در اولویت قرار دارد، زیرا بنه‌هایی که وزن بیشتری دارند توان تولید تعداد گل بیشتری را دارا می‌باشند. وزن خشک بنه همبستگی مثبت و بالایی با سرعت ظهور گل (**۰r۲/۵۷=) نیز دارد (جدول ۵). وزن خشک هر بنه همبستگی مثبت و بالایی

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون صفات کمی و کیفی گل زعفران، تعداد و وزن خشک بنه و برگ در زعفران.

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱. تعداد گل	۱											
۲. تعداد کلاله	-۰/۰۵ ns	۱										
۳. طول کلاله	۰/۰۴ ns	۰/۲۰ ns	۱									
۴. سرعت ظهور گل	۰/۸۷**	-۰/۰۵ ns	۰/۰۰۰۹ ns	۱								
۵. وزن خشک گل	-۰/۱۳ ns	۰/۳۷ ns	۰/۴۰ ns	-۰/۰۰۵ ns	۱							
۶. وزن خشک گلبرگ	-۰/۱۷ ns	۰/۳۰ ns	۰/۳۸ ns	-۰/۰۶ ns	۰/۹۸**	۱						
۷. وزن خشک کلاله	۰/۱۲ ns	۰/۳۱ ns	۰/۲۸ ns	۰/۲۱ ns	۰/۵۱*	۰/۳۳ ns	۱					
۸. وزن خشک خامه	۰/۲۵ ns	۰/۴۳*	-۰/۰۹ ns	۰/۲۵ ns	-۰/۳۴ ns	-۰/۴۵*	۰/۱۲ ns	۱				
۹. تعداد بنه	-۰/۰۵ ns	-۰/۰۷ ns	-۰/۱۷ ns	-۰/۰۶ ns	-۰/۰۸ ns	-۰/۰۴ ns	-۰/۱۷ ns	-۰/۱۷ ns	۱			
۱۰. وزن خشک بنه‌ها	۰/۳۶ ns	۰/۲۵ ns	۰/۰۲ ns	۰/۵۷**	-۰/۰۳ ns	-۰/۰۶ ns	۰/۰۸ ns	۰/۴۰ ns	-۰/۰۸ ns	۱		
۱۱. وزن خشک هر بنه	۰/۱۹ ns	۰/۲۲ ns	۰/۰۸ ns	۰/۳۷ ns	۰/۳ ns	-۰/۰۳ ns	۰/۱۴ ns	۰/۳۵۵ ns	-۰/۷۱**	۰/۷۵**	۱	
۱۲. وزن خشک برگ	-۰/۲۵ ns	-۰/۳۳ ns	-۰/۴۱*	-۰/۰۷ ns	-۰/۴۱*	۰/۲۵ ns	-۰/۰۸ ns	۰/۲۵ ns	-۰/۱۰ ns	۰/۴۲*	۰/۴۱*	۱

ns و ** و * به ترتیب غیر معنی دار و معنی داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

با وزن خشک بنه (**r=۰/۷۵) و همبستگی منفی و بالایی با تعداد بنه (**r=-۰/۷۱) داشت (جدول ۵).

وزن خشک برگ

اثر تغذیه و برهمکنش تغذیه در عمق کاشت بر وزن خشک برگ معنی‌دار بود (جدول ٦). بیشترین وزن خشک برگ از برنامه تغذیه‌ای CHE و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر حاصل شد که با برنامه تغذیه‌ای BIO- CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری نداشت اما افزایش ۱٦/۷ درصدی را برای وزن خشک برگ نسبت به برنامه تغذیه‌ای BIO- CHE و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر نشان داد (جدول ٦). نتایج همبستگی نیز نشان داد که وزن خشک برگ همبستگی مثبت و بالایی با وزن خشک خامه (*r=۰/٤٤)، وزن خشک بنه (*r=۰/٤۲) و وزن خشک هر بنه (*r=۰/٤۲) و همبستگی منفی با وزن خشک گل (*r=-۰/٤۱) و وزن خشک گلبرگ (*r=-۰/٤۵) داشت (جدول ۵).

بیشترین میزان وزن خشک بنه و برگ از برنامه تغذیه‌ای CHE و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر حاصل شد (جدول ۷). پتاسیم نقش مهمی در جذب و حفظ آب سلولی و تعادل پتانسیل تورژسانس، پتانسیل غشاء و حرکات روزنه دارد (Shabala, ۲۰۱۷) که باعث افزایش توسعه و تقسیم سلولی و درنتیجه افزایش رشد سلولی می‌شود. برای افزایش رشد سلولی نیاز به کلسیم می‌باشد چرا که کلسیم یکی از اجزای مهم دیواره

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تغذیه و عمق کاشت بر تعداد بنه و وزن خشک بنه و برگ درزعفران

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد بنه	وزن خشک بنه	وزن خشک هر بنه	وزن خشک برگ
بلوک	۲	۲۴۸^{ns}	۱۴۰^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۲/۳۴^{ns}
تغذیه	۳	۲۶۴۰**	۲۷۰۵۸**	۲/۱۰**	۱۲۸**
خطای اصلی	۶	۲۲۶	۷۲۹	۰/۰۶	۱۰/۰
عمق کشت	۱	۵۲۳^{ns}	۲۷۸۸۰**	۳/۰۵**	۰/۰۲^{ns}
تغذیه× عمق کشت	۳	۱۹۴۱*	۸۰۸۸**	۱/۱۴**	۹۷/۹*
خطا	۸	۲۸۰	۳۰۲	۰/۱۵	۱۴/۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۹	۶/۴۲	۱۹/۳	۱۴/۱

** و ^{ns}: به ترتیب نشانگر معنی دار بودن در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار می‌باشد.

جدول ۷- اثر تغذیه و عمق کاشت بر تعداد بنه و وزن خشک بنه در زعفران.

تغذیه	عمق کشت (cm)	تعداد بنه ($NO.m^{-2}$)	مجموع وزن خشک بنه ($g.m^{-2}$)	میانگین وزن خشک هر بنه دختری (g)	وزن خشک برگ ($g.m^{-2}$)
NPK	۱۰	۱۵۰	۲۵۷	۱/۷۲	۲۲/۳
	۱۵	۱۴۴	۳۳۳	۲/۳۴	۲۱/۷
BIO	۱۰	۱۴۴	۱۷۳	۱/۲۰	۱۹/۳
	۱۵	۸۸	۲۶۶	۳/۰۷	۲۷/۵
CHE	۱۰	۱۳۸	۳۷۲	۲/۸۲	۳۷/۱
	۱۵	۱۳۱	۳۳۷	۲/۵۸	۲۶/۳
BIO- CHE	۱۰	۱۵۰	۱۴۴	۰/۹۶	۲۷/۵
	۱۵	۱۸۱	۲۸۳	۱/۵۶	۳۰/۹
LSD 0.05		۳۱/۵	۳۲/۷	۰/۷۴	۷/۰۵

NPK (کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک)، BIO (کودهای زیستی)؛ CHE (کودهای شیمیایی شامل مخلوطی از کودهای کلسیم، پتاسیم، برخی عناصر ریزمغذی و اسید آمینه) و BIO- CHE (روش تلفیقی شامل کودهای شیمیایی و کودهای زیستی) و عمق کشت (۱۰ و ۱۵ سانتی متر).

سلولی می‌باشد و نقش مهمی در تشکیل دیواره سلولی و غشای سلولی ایفا می‌کند (Hepler and Wayne, ۱۹۸۵). عناصر ریزمغذی معمولاً مقدار رنگ‌دانه‌های کلروفیل، سنتز پروتئین و اسیدنوکلئیک را بهبود می‌بخشند و کمبود آهن باعث کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی می‌شود و برگ‌ها رنگ زرد نشان می‌دهند (Havlin, ۲۰۱٤). عنصر روی برای عملکرد مناسب فرآیندهای فتوسنتزی، جذب و متابولیسم نیتروژن و پیش‌ساز اکسین مهم می‌باشد (Sofy *et al*., ۲۰۲۰). طبق نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان کرد که در مورد گیاه زعفران عناصری که بیشتر مورد نیاز این گیاه می‌باشند و اثر بیشتری بر خصوصیات کمی و کیفی گل آن دارند نیتروژن، پتاسیم و فسفات می‌باشند که چه در مورد استفاده از این عناصر به‌صورت شیمیایی و چه به‌صورت زیستی می‌توانند خصوصیات کمی و کیفی گل را بهبود ببخشند (شکل‌های ۲، ۳ و ٤). علت این افزایش در اثر استفاده از کودهای زیستی را می‌توان در آزادسازی بیشتر عناصر معدنی و تولید برخی هورمون‌ها، سیدروفورها و ویتامین‌ها که منجر به افزایش فتوسنتز و ماده خشک گیاه و نهایتاً بهبود عملکرد گیاه زعفران می‌شوند را ذکر کرد.

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، در مورد عمق کشت می‌توان اظهار نمود که در صورت استفاده از کودهای شیمیایی (برنامه تغذیه‌ای NPK و CHE) عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر بهتر از ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد که ممکن است به دلیل آبشویی این عناصر (به‌ویژه عناصر نیتروژن و پتاسیم) و نفوذ این عناصر به عمق بیشتر و نفوذ کم و حجم کم ریشه زعفران باشد.

به لحاظ کیفیت متابولیت‌ها نیز می‌توان برنامه تغذیه‌ای NPK را نسبت به سایر تیمارها برتر معرفی نمود.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه محصول اصلی گیاه زعفران کلاله آن است، افزایش تعداد گل در هر بنه و افزایش وزن خشک و کیفیت کلاله هدف اصلی از رشد گیاه زعفران است. در برنامه تغذیه‌ای NPK، کلاله‌ها دارای وزن و طول بیشتری بودند. علاوه بر این، بهترین تولید گل در شرایط تغذیه‌ای NPK و عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر (٤۸/۵ میلی‌گرم در متر مربع کلاله خشک) به دست آمد؛ و بر این اساس عمق کاشت ۱۵ سانتی‌متر توصیه می‌شود. در زراعت زعفران ما به دنبال عملکرد کلاله بالاتر هستیم که از این نظر، بر اساس مطالعه انجام شده، برنامه‌های تغذیه‌ای NPK و BIO (حاوی نیتروژن، پتاسیم و فسفات) اثرات مشابهی بر عملکرد زعفران (وزن خشک کلاله و طول کلاله) دارند؛ بنابراین کود زیستی برای خاک منطقه ی مورد آزمایش بهتر است زیرا کاربرد آن باعث افزایش عملکرد زعفران در چنین خاکی شد. علاوه بر این، آن‌ها همچنین می‌توانند برای کشاورزان با درآمد پایین، جذاب باشند زیرا کودهای زیستی قیمت نسبتاً پایینی نسبت به کودهای NPK ارائه می‌دهند و به‌راحتی قابل‌استفاده هستند.

References

Abdullaev, F.I. 2002. Cancer chemopreventive and tumoricidal properties of saffron (*Crocus sativus* L.). Experimental Biology and Medicine, 227: 20–25.

Anonymous, 2021, Agricultural statistics of horticultural and greenhouse products. (In Persian).

Amiri, M.E. 2008. Impact of animal manures and chemical fertilizers on yield components of saffron (*Crocus sativus* L.). American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science, 4: 274-279.

Askary, M., Behdani, M.A., Mollaei, H. and Fallahi, H.R. 2023. Evaluation of the Effects of Organic and Conventional Cultivation Practices on Phytochemical and Anti-Cancer Activities of Saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agricultural Science and Technology, 25(1): 139-145.

Behdani, M.A. and Hoshyar, R. 2016. Phytochemical properties of Iranian organic saffron stigma: antioxidant, anticancer and apoptotic approaches. Cellular and Molecular Biology, 62: 69–73.

Cardone, L., Castronuovo, D., Perniola, M., Cicco, N. and Candido, V. 2019. Evaluation of corm origin and climatic conditions on saffron (*Crocus sativus* L.) yield and quality. Journal of the Science of Food and Agriculture, 99: 5858–5869.

Caser, M., Demasi, S., Victorino, I.M.M., Donno, D., Faccio, A., Lumini, E., Bianciotto, V. and Scariot, V. ۲۰۱۹. Arbuscular mycorrhizal fungi modulate the crop performance and metabolic profile of saffron in soilless cultivation. Agronomy, ۹: ۲۵۱–۲۳۲.

Douglas, M.H., Smallfield, B.M., Wallaceb, A.R. and McGimpsey, J.A. 2014. Saffron (*Crocus sativus* L.): The effect of mothercorm size on progeny multiplication, flower and stigma production. Scientia Horticulturae, 166, 50–58.

Eldin, M.S., Elkholy, S., Fernandez, J., Junge, H., Cheetham, R., Guardiola, J. and Weathers, P. 2008. Bacillus subtilis FZB24 affects flower quantity and quality of saffron (*Crocus sativus* L.). Planta Medica, 74: 1316-1320.

Galavi, M., Soloki, M., Mousavi, S.R. and Ziyaie, M. 2008. Effect of planting

depth and soil summer temperature control on growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Asian Journal of Plant Sciences, 7: 747-751.

Ghanbari, J., khajoei-negad, G.h., Van Ruth, S. and Aghighi, S. 2019. The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and nutritional regimes. Industrial Crops and Products, 135: 301–310.

Gutierrez-Manero, F.J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouachi, J., Tadeo, F.R. and Talon, M. 2001. The plant-growth promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. Physiologia Plantarum, 111: 206–211.

Havlin, J.L. 2014. Soil: Fertility and Nutrient Management. Upper Saddle River, NJ, USA, 460-469.

Hepler, P.K. and Wayne, R.O. 1985. Calcium and plant development. Annual Review of Plant Physiology, 36: 397–439.

Jamia, N., Rahimia, A, Naghizadehb, M. and Sedaghatic, E. ۲۰۲۰. Investigating the use of different levels of Mycorrhiza and Vermicompost on quantitative and qualitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulturae, ۲۶۲, ۱۰۹۰۲۷.

Kafi, M., Koocheki, A., Rashed, M.H. and Nassiri, M. 2006. Saffron (*Crocus sativus* L.) Production and Processing. Science Publishers, 25 p.

Khilare, V., Tiknaik, A., Prakash, B., Ughade, B., Korhale, G., Nalage, D., Ahmed, N., Khedkar, C. and Khedkar, G. 2019. Multiple tests on saffron find new adulterant materials and reveal that IST grade saffron is rare in the market. Food Chemistry, 272: 635–642.

Koocheki, A. and Jahan, M. 2009. Effect of biofertilizer and inorganic fertilizer on generative growth and yield of saffron under high corn density. 3rd International Symposium on Saffron: Forthcoming Challenges in Cultivation, Research and Economics. Krokos, Greece, 20-24 May.

Koocheki, A. and Seyyedi, S.M. 2016. Effects of different water supply and corm planting density on crocin, picrocrocin and safranal, nitrogen uptake and water use efficiency of saffron grown in semi-arid region. Notulae Scientia Biologicae, 8: 334–341.

Koocheki, A., Ebrahimian, E. and Seyyedi, S.M. ۲۰۱۶. How irrigation rounds and mother corm size control saffron yield, quality, daughter corms behavior and phosphorus uptake. Scientia Horticulturae, ۲۱۳: ۱۴۳–۱۳۲.

Koocheki, A., Karbasi, A. and Seyyedi, S.M. 2017. Some reasons for saffron yield loss over the last 30 years period (Review Article). Saffron Agronomy & Technology. 5(2): 107-122. (In Persian).

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P. and Fallahi, H.R. 2016. Effects of Planting Dates, Irrigation Management and Cover Crops on Growth and Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agroecology, 8(3): 435-451. (In Persian).

Loomis, W.D. and Corteau, R. 1972. Essential oil biosynthesis. Journal of Recent Advance in Phytochemistry, 6: 147-185.

Lozano, P., Castellar, M.J., Simancas, M.J. and Iborra, J.L. 1999. A Quantitative high-performance liquid chromatography method to analyze commercial saffron (*Crocus sativus* L.) products. Journal of Chromatography A, 830: 477–483.

Naghdi Badi, H., Omidi, H., Golzad, A., Torabi, H. and 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. Journal of medicinal plants, 10: 58–68.

Nazir, M.M., Nasir, M.A., Allah- Bakhsh, K.M.N., Summrah, M.A. and Nawaj, M.Z. 2000. Effect of different planting depth of corms on the yield of saffron under Soan valley climatic conditions. Sarhad Journal of Agriculture, 16: 485–487.

Omidi, H., Naghdibadi, H.A., Golzad, A.H. and Torabi Fotoukian, M.H. 2009. The effect of hemical and bio-fertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Medicinal Plants, 8: 98–109.

Patten, C.L. and Glick, B.R. 1996. Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acide. Canadian journal of microbiology, 42: 207-220.

Ramezani, A., Aroiee, H., Azizi, M. and Ahmadian, A. 2020. Assessing the Effects

of Irrigation Management on Economic Yield and Production of Active Ingredients of Saffron Medicinal Plant (*Crocus sativus* L.) by Application of Organic Fertilizer and Nanocomposite Superabsorbent Polymers. Saffron Agronomy & Technology, 8(1): 3-18. (In Persian).

Renau-Morata, B., Nebauer, S.G., Sánchez, M. and Molina, R.V. 2012. Effect of corm size, water Stress and cultivation conditions on photosynthesis and biomass partitioning during the vegetative growth of saffron (*Crocus sativus* L.). Industry Journal of Crop Production, 39: 40-46.

Rios, J.L., Recio, M.C., Giner, R.M. and Manez, S. 1996. An update review of saffron and its active constituents. Phytotherapy Research, 10: 189-193.

Rojas, A., Holguin, G., Glick, B. and Bashan, Y. 2001. Synergism between *phllobacterium* sp. (N2 fixer), and *bacillus licheniformis* (P-Solubilizer), both from a semiarid mangrove rhizospher. FEMS Microbiology Ecology, 35: 181–187.

Saxena, R.B. 2010. Botany, Taxonomy and Cytology of *Crocus sativus* series. An International Quarterly Journal of Research in Ayurveda, 31(3): 374–381.

Shabala, S. 2017. Signalling by potassium: another second messenger to add to the list? Journal of experimental botany, 68: 4003–4007.

Sofy, M.R., Elhindi, K.M., Farouk, S. and Alotaibi, M.A. 2020. Zinc and paclobutrazol mediated regulation of growth, upregulating antioxidant aptitude and plant productivity of pea plants under salinity. Plants, 9: 1197-1212.

Tempirini, O., Temperini, A., Colla, G. and Rouphel, Y. 2009. Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) production in Italy: Effects of the age of saffron fields and plant density. Journal of Food, Agriculture and Environment, 7: 19-23.

Unal, M. and Cavusoglu, A. 2005. The effect of various nitrogen fertilizers on saffron (*Crocus sativus* L.) yield. Akdeniz Universitesi Ziraat Fakultesi Dergisi, 18: 257-260.

Vessy, K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizars. Plant Soil, 255: 571-586.

Yildirim, M.U., Asil, H., Hajyzadeh, M., Sarihan, E.O. and Khawar, K.M. 2016.

Effect of changes in planting depths of saffron (*Crocus sativus* L.) corms and determining their agronomic characteristics under warm and temperate (Csa) climatic conditions of Turkish province of Hatay. In V International Symposium on Saffron Biology an d Technology: Advances in Biology, Technologies, Uses and Market, 1184: 47-54.

The effect of planting depth and fertilization on the quantitative and qualitative characteristics of saffron flowers

Seyyed Jalal Azari[1], Ali Sorooshzadeh[*2], Jafar Nabati[3], Ehsan Oskoueian[4]

1. Ph.D., Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran . (Corresponding author)
2. Associate professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3. Assistant professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
4. Assistant professor, Agriculture Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII)-East and North-East Branch, Mashhad, Iran.

Received: March 2024 Accepted: June 2024 - DOI: 10.22092/mpt.2024.365315.1146

Abstract

Azari, S. J., Sorooshzadeh, A., Nabati, J., Oskoueian, E., The effect of planting depth and fertilization on the quantitative and qualitative characteristics of saffron flowers

Iranian Medicinal Plants and Technology, Vol 5, No. 2, 2022-23 13-14: 108-130(in Persian)

Abstract

Fertilization and planting depth play an important role in the quantity and quality of saffron. Therefore, research was conducted in the form of a split-plot based on a randomized completely block design with three replications in the years 2019-2021. Fertilizer as the main factor includes 1- NPK (nitrogen, phosphate and potassium chemical fertilizers based on soil test) 2- Biological fertilizers (BIO) (including nitrogen-fixing free-living bacteria, phosphate and potassium dissolving bacteria) 3- Chemical fertilizers (CHE) (including calcium, potassium, some micronutrients and amino acid fertilizers) and 4- Combined method (BIO- CHE) (including biological and chemical fertilizers) and planting depth was considered as a secondary factor (10 and 15 cm). The results showed that NPK fertilizers induce maximum petal and pistil dry weight (474 ml $g.m^{-2}$), stigma dry weight (46.4 ml $g.m^{-2}$) and stigma length (23.3 mm). The highest flower emergence rate (14.5 $Flower.day^{-1}$) was obtained from NPK fertilizers with a planting depth of 15 cm. The highest amount of crocin was related to BIO- CHE fertilizers and a

Email address of the corresponding author: (soroosh@modares.ac.ir)

planting depth of 15 cm, picrocrocin was related to CHE fertilizers and a planting depth of 10 cm, and safranal was related to NPK fertilizers and a planting depth of 15 cm. The highest dry weight of leaves and corms was obtained from the CHE fertilizers and planting depth of 10 cm, which showed an increase of 39.9 and 30.9%, respectively, compared to the NPK fertilizers and the same planting depth. Therefore, biofertilizer is recommended for farmer and producer in the tested area.

Keywords: Bacteria, safranal, stigma, chemical fertilizer, flower dry weight