نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۳۵، شماره ۴، صفحه ۷۱۵-۷۰۳ (۱۳۹۸)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2019.125155.2494
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1398.35.704.96.4.1576.1610

بررسی اثر چهار تنظیم‌کننده رشد بر عملکرد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و صفات کیفی زعفران (*Crocus sativus* L.) در شرایط گلخانه‌ای

فاطمه حیدری[۱*]، فرید شکاری[۲]، بابک عندلیبی[۳] و جلال صبا[۴]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
پست الکترونیک: heidari.fa@gmail.com

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۴- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۷ تاریخ اصلاح نهایی: خرداد ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۸

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد و صفات زراعی زعفران (*Crocus sativus* L.)، آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل پرایم بنه‌ها با جیبرلیک اسید (۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ میکرومولار)، سالیسیلیک اسید (۷۰۰، ۱۴۰۰ و ۲۱۰۰ میکرومولار)، پاکلوبوترازول (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار) و کلرمکوات کلراید (۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میکرومولار)، هیدروپرایم (آب‌مقطر) و یک تیمار بدون استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد (شاهد) بودند. در بین تیمارهای بکار برده شده تأثیر جیبرلیک اسید مشهودتر از سایر تنظیم‌کننده‌های رشد بود، به‌طوری که بیشترین میزان عملکرد خشک گل و کلاله در تیمار با جیبرلیک اسید و به‌ویژه در تیمار ۵۰۰ میکرومولار جیبرلیک اسید مشاهده شد. کمترین عملکرد گل و کلاله مربوط به تیمار بنه‌ها با دو تنظیم‌کننده کلرومکوات کلراید و پاکلوبوترازول بودند. از سوی دیگر، کاربرد کلرمکوات کلراید و پاکلوبوترازول موجب گردید تا میزان رنگیزه‌های کلروفیل در مقایسه با دیگر تیمارها افزایش پیدا کند. در مقابل، استفاده از جیبرلیک اسید و سالیسیلیک اسید موجب کاهش کلروفیل شد. تیمار هیدروپرایم اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد. تیمار بنه‌ها با سالیسیلیک اسید موجب افزایش سافرانال (عطر) و کروسین (رنگ) کلاله‌های تولید گردید. بیشترین اثر روی پیکروکروسین (طعم) در تیمار با کلرمکوات کلراید حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: زعفران (*Crocus sativus* L.)، پاکلوبوترازول، جیبرلیک اسید، سالیسیلیک اسید، کلرومکوات کلراید.

مقدمه

زعفران گیاهی علفی، چند ساله، از جنس Crocus و متعلق به خانواده زنبقیان (Iridaceae) است. در بین ۸۵ گونه شناخته شده از جنس کروکوس، زعفران زراعی (*Crocus sativus* L.) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. قسمت خوراکی زعفران کلاله سه شاخه و سرخ‌رنگ آن

می‌باشد که از گرانبهاترین ادویه‌هاست و از نظر دارویی بسیار با ارزش می‌باشد (Grilli-Caiola, 2004). گیاه زعفران ساقه زیرزمینی به‌نام بنه دارد و تکثیر آن به‌دلیل عقیم بودن گیاه، فقط به‌وسیله کشت بنه و ایجاد بنه جدید دختری از بنه مادری انجام می‌شود. بنه‌های این گیاه در ماه‌های تابستان به‌صورت خفته در زمین باقی می‌مانند و رشد دوباره خود را از اوایل پاییز آغاز می‌کنند (Namin *et al.*, 2010). مهمترین کاروتنوئیدهای موجود در زعفران، کروسین و کروستین هستند که مسئول رنگ زعفران می‌باشند. کروسین در بدن متابولیزه شده، به کروستین تبدیل می‌شود. کروستین چندین ویژگی درمانی دارد، ازجمله این که یک آنتی‌اکسیدان قوی و عامل ضد التهاب در حیوانات آزمایشگاهی است (Martín-Mex *et al.*, 2010). طعم تلخ زعفران مربوط به گلیکوزیدی به‌نام پیکروکروسین با فرمول $C_{16}H_{26}O_6$ است که یک منوترپن آلدئید فاقد رنگ می‌باشد. بو و عطر زعفران نیز مربوط به سافرانال با فرمول $C_{10}H_{14}O$ می‌باشد که اسانس فرّار زعفران بوده و در اثر جدا شدن قند از پیکروکروسین تولید می‌شود. غلظت این ترکیب پس از برداشت محصول و با توجه به روش استفاده شده برای خشک کردن، تغییر می‌کند (Rubio-Moraga *et al.*, 2014).

گزارش شده است که کروسین، کروستین و سافرانال زعفران اثرهای از بین برنده رادیکال‌های آزاد و آنتی‌اکسیدان دارند (Chen *et al.*, 2008؛ Kanakis *et al.*, 2007). با توجه به اینکه فعالیت از بین برندگی رادیکال آزاد به شدت با اثر ضد پیری ارتباط دارد، پیشنهاد شده که از عصاره زعفران به‌عنوان یک مکمل در غذاها و نوشیدنی‌ها و همچنین فرآورده‌های دارویی و آرایشی استفاده شود (Plessner & Negbi, 1990).

جیبرلین یکی از هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که در مراحل رشد، اثرهای متنوع و متفاوتی بر رشد و نمو بسیاری از گیاهان دارد. استفاده از آن در غلظت‌های بالا رشد برگی بعضی گیاهان را تشدید می‌کند (Monselise & Halevy, 2011). جیبرلین‌ها در بسیاری از فرایندهای نموی گیاه و بهبود برخی از صفات مطلوب ازجمله افزایش طول ساقه، گلدهی یکنواخت، کاهش زمان تا گلدهی و افزایش اندازه گل دخالت دارند (Srivastava & Srivastava, 2007). گزارش‌های متنوعی مبنی بر اثر مثبت اسید جیبرلیک بر پارامترهای رویشی وجود دارد. ازجمله Umrao و همکاران (۲۰۰۷) افزایش ارتفاع، تعداد برگ، طول برگ و قطر ساقه گل‌دهنده گلایول را در اثر کاربرد اسید جیبرلیک گزارش کردند. در عصاره سوخ‌های زعفران زراعی، ترکیب هایی مشابه جیبرلین وجود دارد که در مراحل رشد و نمو مقدار این ترکیب‌ها تغییر می‌کند. به‌طوری که کمترین مقدار آنها در بنه‌های در حال خواب و بیشترین مقدار در بنه‌های مادری، در مرحله گلدهی گزارش شد (Faroog & Koul, 1983). در آزمایش Chrungoo و Farooq (۱۹۸۴) هنگامی که بنه‌های درشت زعفران با غلظت‌های مختلف جیبرلیک اسید (۱۰۰ تا ۵۰۰ppm) تیمار و کشت شدند، گلدهی، تعداد و وزن گل‌های تولیدی با افزایش غلظت جیبرلیک اسید بهبود یافت. گزارش شده است که تیمار بنه‌های زعفران با ۲۵۰ ppm جیبرلیک اسید به‌مدت ۴۸ ساعت و سرمای ۲- درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت تغییرات فیزیولوژیکی و سیتوژنتیکی در بنه‌ها ایجاد نمود که این امر شاید به‌دلیل گل‌انگیزی این بنه‌ها قبل از اعمال تیمار روی آنها باشد (Bina, 2002).

سالیسیلیک اسید یا ارتوهیدروکسی بنزوئیک اسید یک تنظیم‌کننده رشد درونی از گروه ترکیب های فنلی طبیعی می‌باشد که در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیک گیاه نقش دارد. ازجمله نقش های مهم این هورمون در گیاه القای گلدهی، رشد و نمو و سنتز اتیلن می‌باشد (Devis *et al.*, 2011). Ahmadi و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار بیشترین میزان کلروفیل a و کلروفیل b و کاروتنوئیدها و عملکرد گل زعفران را موجب گردید. Martín-Mex و همکاران (۲۰۱۰) اعلام کردند در اطلسی کاربرد سالیسیلک اسید در تمامی غلظت‌های مورد استفاده باعث افزایش تعداد گل‌های بازشده گردید. در غلظت‌های پایین تنها تعداد گل‌ها تا ۳۷٪

افزایش پیدا کرد؛ ولی در غلظت‌های بالاتر ضمن اینکه تعداد گل باز شده تا ۷۲٪ افزایش یافته بود، تا شش روز نیز گلدهی زودتر انجام گردید.

اثر افزایش دهندگی ترکیب‌های تری‌آزولی، ازجمله پاکلوبوترازول، بر کارکرد های گیاهی گزارش گردیده است. به عنوان مثال، پاکلوبوترازول تعداد گل و اندازه آنها را در آفتابگردان افزایش داد (Whipker & McCall, 2000). در پروانش استفاده از پاکلوبوترازول موجب گردید تا میزان کلروفیل و ضخامت برگ و سرعت فتوسنتز افزایش پیدا کند. در مقابل میزان تعرق و اندازه قطر آوند چوبی کاهش پیدا کرد (Abdul Jaleel *et al*., 2007).

تأثیر تنظیم کنندگی رشد کلرمکوات کلرید نخستین بار توسط Tolbert (۱۹۶۰) در طیف وسیعی از گیاهان به اثبات رسید و هدف اولیه از کاربرد کلرمکوات کلرید در تولید گیاهان زراعی به اثر ضدخوابیدگی آن محدود می شد. همچنین، در گزارش هایی کلرومکوات کلراید باعث کاهش ارتفاع ساقه، افزایش تعداد پنجه در هر بوته، افزایش تعداد دانه در سنبله، افزایش مقاومت به سرما، شوری، قارچ ها و حشرات گردید (Shekari *et al*., 2005). کلرمکوات کلرید و پاکلوبوترازول از تنظیم‌کننده‌هایی هستند که به‌طور وسیعی در کاهش رشد تعداد زیادی از گیاهان بکار می‌روند. به‌طور مثال غلظت‌های مختلف کلرومکوات کلراید و پاکلوبوترازول سبب کاهش ارتفاع در زنبق سیاه شد (Al-Khassawneh *et al*., 2006).

میزان عملکرد گل زعفران در سال اول به شدت تحت تأثیر اندازه بنه و مقادیر فتواسمیلات‌های ذخیره شده در بنه‌های بذری قرار می گیرد. از سوی دیگر، عواملی از قبیل تنظیم‌کننده‌های رشد نیز قادرند میزان سرعت نمو در اندام‌های گیاهی مانند بنه زعفران را تحت تأثیر قرار دهند. هدف از اجرای این آزمایش برآورد امکان استفاده از چهار تنظیم‌کننده رشد در جهت افزایش بنیه یا ویگور بنه بذری برای افزایش نمود گیاه زعفران و یافتن بهترین تنظیم‌کننده یا تنظیم‌کننده‌های رشد، از بین تنظیم‌کننده‌های رشد مورد استفاده بود. در این تحقیق اثر پرایم کردن بنه زعفران زراعی با چهار تنظیم‌کننده رشد گیاهی شامل جیبرلیک اسید، سالیسیلک اسید، پاکلوبوترازول و کلرومکوات کلراید بر رشد و نمو اندام‌های گیاهی در شرایط کنترل شده گلخانه ای مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در عرض شمالی ۴۰`° و ۳۶° و طول شرقی ۲۴ و ۴۸° و ارتفاع ۱۶۱۰ متر از سطح دریا با استفاده از طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجراگردید. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار شاهد (عدم پرایم)، بنه‌های پرایم شده به‌وسیله آب مقطر (هیدروپرایمینگ)، جیبرلیک اسید با غلظت ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ میکرومولار، سالیسیلیک اسید با غلظت ۷۰۰، ۱۴۰۰ و ۲۱۰۰ میکرومولار، پاکلوبوترازول با غلظت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار و کلرمکوات کلراید با غلظت ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میکرومولار بودند. ابتدا گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۳۵ و قطر ۲۰ سانتی‌متر برای کشت بنه‌ها تهیه شد. محیط کشت تهیه شده برای گلدان‌ها شامل کود دامی کاملاً پوسیده، خاک‌برگ و خاک مزرعه به نسبت مساوی بود. نتایج تجزیه خاک نشان داد خاک مورد استفاده در گلدان‌ها دارای بافت لومی شنی و شامل ۶۴٪ شن، ۲۳٪ سیلت و ۱۷٪ رس، میزان مواد آلی ۳٪ و pH برابر با ۷/۵۴ بود. گلدان‌ها در داخل گلخانه کلیماتیزه با ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در دمای ۵±۲۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. تنظیم دما با کولرهای آبی انجام شد. مقدار رطوبت نسبی گلخانه حدود ۶۰-۵۰٪ با دستگاه مه‌پاش و مقدار تشعشع رسیده حدود ۱۴۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ لوکس به‌ترتیب در روشنایی طبیعی و با لامپ‌های فلورسنت و مهتابی تنظیم گردید.

بنه‌ها از مزرعه‌ای واقع در شهرستان تربت‌جام در تیرماه برداشت و به گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زنجان حمل شدند. پس از گروه‌بندی و جداسازی بنه‌ها براساس اندازه و وزن نسبی، در این آزمایش بنه‌هایی با وزن تقریبی ۸ گرم مورد استفاده قرار گرفتند.

اواخر مردادماه سال ۱۳۹۶، بنه ها پس از پاک شدن (حذف غلاف‌های قهوه‌ای روی بنه‌ها) به‌مدت ۱۲ ساعت در محلول‌های تهیه شده قرار داده شدند. سپس بنه‌ها در دمای اتاق به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. ضدعفونی بنه‌ها با استفاده از محلول سولفات مس (۵٪) انجام گردید. کاشت در گلدان‌ها در ۲۷ مردادماه ۱۳۹۶ و براساس تراکم ۳ بنه در هر گلدان و در عمق ۱۵ سانتی متری انجام شد. دو هفته پس از کشت آبیاری گلدانها انجام شد. مقدار آبی که در اولین بار به گلدان‌ها داده شد به اندازه‌ای بود که کل گلدان مرطوب شد و آب اضافی به‌صورت زهکش از گلدان خارج شد. زمان ظاهر شدن گل برای هر تیمار و برای هر گلدان به صورت جداگانه یادداشت گردید. گل‌های زعفران از تمام گلدان‌ها برداشت و پس از شمارش، وزن تر آنها تعیین شد. سپس، کلاله‌ها از گل‌ها جدا گردید. پس از خشک کردن کلاله‌ها، وزن خشک گل‌ها و کلاله با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. صفات تعداد گل در هر گلدان، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و متابولیت‌های ثانویه (سافرانال، کروسین، پیکروکروسین) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید

براساس روش آرنون، یک گرم از برگ تازه هر نمونه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ در هاون ساییده شد. این عصاره را از کاغذ واتمن شماره ۲ عبور داده و بخش باقیمانده روی کاغذ صافی دوباره با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ ساییده شد، به‌طوری که نمونه برگ کاملاً بی‌رنگ گردید. این عصاره نیز بر روی عصاره قبلی صاف شد و بعد با استون ۸۰٪ به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسید. مقدار جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UNICO USA-۲۱۰۰ UV) در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر ثبت گردید. سپس محتوای کلروفیل a و b کلروفیل کل و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه تعیین شد (Arnon, 1967).

$$Chla = \frac{[19.3(\mathrm{ABS663}) - 0.86(\mathrm{ABS\ 645})]\mathrm{V}}{1000W}$$

$$Chl\ b = \frac{[19.3(\mathrm{ABS645}) - 3.6(\mathrm{ABS\ 663})]\mathrm{V}}{1000W}$$

$$Chl\ total = \frac{[20.2(\mathrm{ABS645}) - 8.02(\mathrm{ABS\ 663})]\mathrm{V}}{1000W}$$

$$Cartonoeid = \frac{[1000(\mathrm{ABS470}) - 1.82(\mathrm{chla}) - 85.02(\mathrm{chlb})]}{1.98}$$

در روابط فوق V حجم نهایی نمونه استخراج شده و W وزن تر نمونه است.

اندازه‌گیری متابولیت‌های ثانویه

برای اندازه‌گیری ترکیب‌های کیفی موجود در کلاله، روش استاندارد ملی ایران (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۱) مورد استفاده قرار گرفت. براساس این روش ۵۰۰ میلی‌گرم نمونه کلاله پودر شده با استفاده از آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شد. سپس این ترکیب به‌مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی با کمک دور متوسط همزن مغناطیسی حل شد و میزان جذب در طیف‌های ۲۵۷ (پیکروکروسین)، ۳۳۰ (سافرانال) و ۴۴۰ (کروسین) نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UNICO USA -۲۱۰۰ UV) قرائت شد.

عدد بدست‌آمده در رابطه زیر قرار گرفته و به‌ترتیب پیکروکروسین، سافرانال و کروسین محاسبه گردید. در این رابطه X: مقدار ترکیب کیفی مشخص با واحد درصد، A: میزان خوانده شده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج مربوطه و M: وزن خشک کلاله با واحد میلی‌گرم می‌باشد.

$$X = \frac{A}{M} \times 100$$

تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار SAS (ورژن ۹) و مقایسه میانگین ها نیز با استفاده از نرم افزار SAS (ورژن ۹) و آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج

اثر پرایم کردن بنه بر روی تمام صفات شامل تعداد گل، عملکرد تر گل، عملکرد خشک گل، عملکرد تر کلاله، عملکرد خشک کلاله، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و متابولیت‌های ثانویه (سافرانال، کروسین و پیکروکروسین) در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱).

تعداد گل و زمان ظهور گل

در بین تیمارهای بکار برده شده، اثر جیبرلیک اسید مشهودتر از سایر روش های پرایم کردن بنه بود. به‌طوری که بیشترین تعداد گل در تیمار ۷۵۰ میکرومولار جیبرلیک اسید مشاهده شد. پس از هورمون جیبرلین، تیمار بنه ها با سالیسیلک اسید موجب افزایش معنی دار تعداد گل تولید شده در مقایسه با شاهد گردید. پرایم کردن بنه ها با آب مقطر (هیدروپرایمینگ)، اختلاف معنی داری را با تیمار شاهد بوجود نیاورد. از سوی دیگر، تیمار کردن بنه‌ها با کندکننده های رشد پاکلوبوترازول و کلرمکوات کلراید نه تنها موجب افزایش تعداد گل تولید شده نگردید، بلکه به‌صورت چشمگیری موجب کاهش تعداد گل گردید. کمترین تعداد گل در این آزمایش، در تیمار ۵۰ میکرومولار پاکلوبوترازول مشاهده گردید (شکل ۱).

پرایم کردن بنه ها نه تنها باعث تغییر در تعداد گل ظاهر شده در مقایسه با شاهد گردید، بلکه موجب تغییر در زمان ظهور گلها نیز شد (شکل ۲). مانند حالت مشاهده شده برای تعداد گل، استفاده از جیبرلیک اسید موجب تحریک به گلدهی و ظهور سریع تر گل در مقایسه با تیمار شاهد شد. پس از این هورمون، کاربرد سالیسیلیک اسید نیز موجب کاهش تعداد روز از زمان آبیاری تا ظاهر شدن اولین گل گردید. در بین تیمارهای آزمایش، در تیمار ۷۵۰ میکرومولار جیبرلیک اسید گلها هفت روز پس از آبیاری ظاهر شدند که کمترین تعداد روز تا ظاهر شدن اولین گل بود. تیمار هیدروپرایم اختلاف معنی داری را با تیمار شاهد نشان نداد. در مقابل، تیمار بنه‌ها با دو کندکننده رشد پاکلوبوترازول و کلرمکوات کلراید سبب تأخیر در گلدهی گردید. به‌طوری که در تیمار ۱۰۰۰ میکرومولار کلرمکوات کلراید، گلدهی ۱۴ روز پس از آبیاری آغاز شد (شکل ۲).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثرهای پرایمینگ بنه زعفران با تنظیم‌کننده‌های رشد و هیدروپرایمینگ بر عملکرد، صفات کیفی و رنگیزه‌های فتوسنتزی زعفران

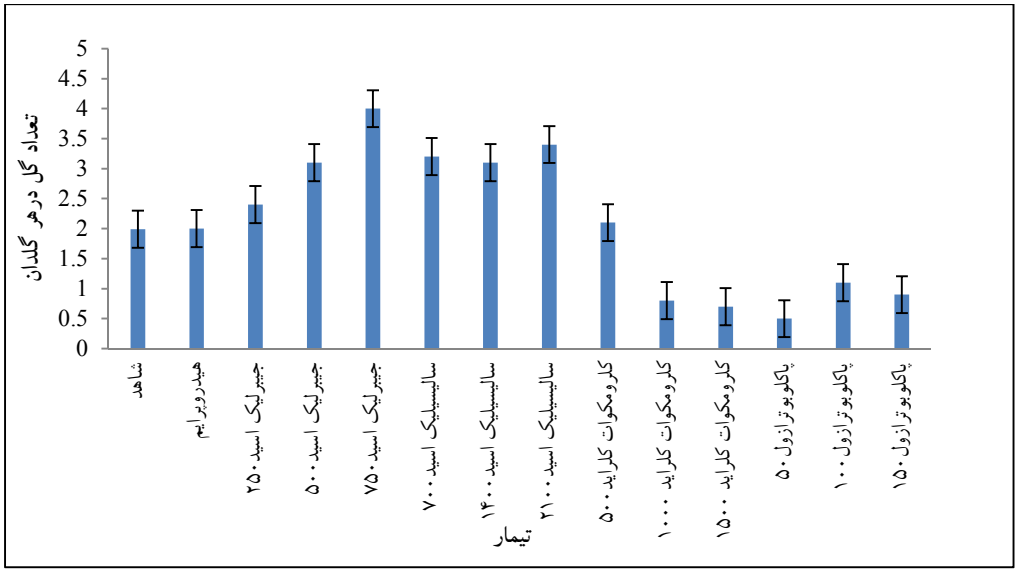
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد گل	زمان ظهورگل	عملکرد تر گل	عملکرد خشک گل	عملکرد تر کلاله	عملکرد خشک کلاله	کلروفیل b	کلروفیل a	کلروفیل کل	کاروتنوئید	سافرانال	کروسین	پیکروکروسین
تکرار	۲	۱/۷۲۴ n.s	۱۱/۰۳۲n.s	۷۷۷/۹۴۰	۳۶/۵۰۷*	۲۱/۴۶n.s	۰/۳۶۵n.s	۰/۰۳۴n.s	۰/۰۴۴n.s	۰/۰۷۱n.s	۴۷/۰۱۲n.s	۰/۴۲۹n.s	۳/۵۴۲n.s	۴۷۱/۵۰۹n.s
تیمار	۱۳	۱۱/۹۷۸**	۱۸/۵۸۳**	۵۲۰۷/۹۰۸**	۱۲۱/۰۴۴**	۱۲۳/۵۲۴*	۳۲/۰۱۶ *	۰/۰۸۹**	۰/۱۶۱**	۰/۰۹۸**	۸۲/۴۴۱ **	۰/۹۴۵ *	۳/۲۲**	۸۸/۹۶۸**
خطا	۲۶	۰/۵۴۵	۰/۶۲۴	۱۴/۲۲۸	۰/۳۰۱	۱۱/۵۱	۰/۱۲۵	۰/۰۲۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	۲۶/۸۱۰	۰/۰۰۵	۰/۷۶۵	۲۸/۴۳۲
ضریب تغییرات	٪	۱۶/۳۰	۱۰/۹۷	۱۱/۰۹	۱۸/۷۸	۹/۶۳	۱۱/۸۲	۱۲/۲۵	۱۷/۶۵	۱۶/۴۱	۱۶/۵۳	۲۱/۰۵	۱۵/۹۶	۱۶/۶۴

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪، ns: عدم تأثیر معنی‌دار

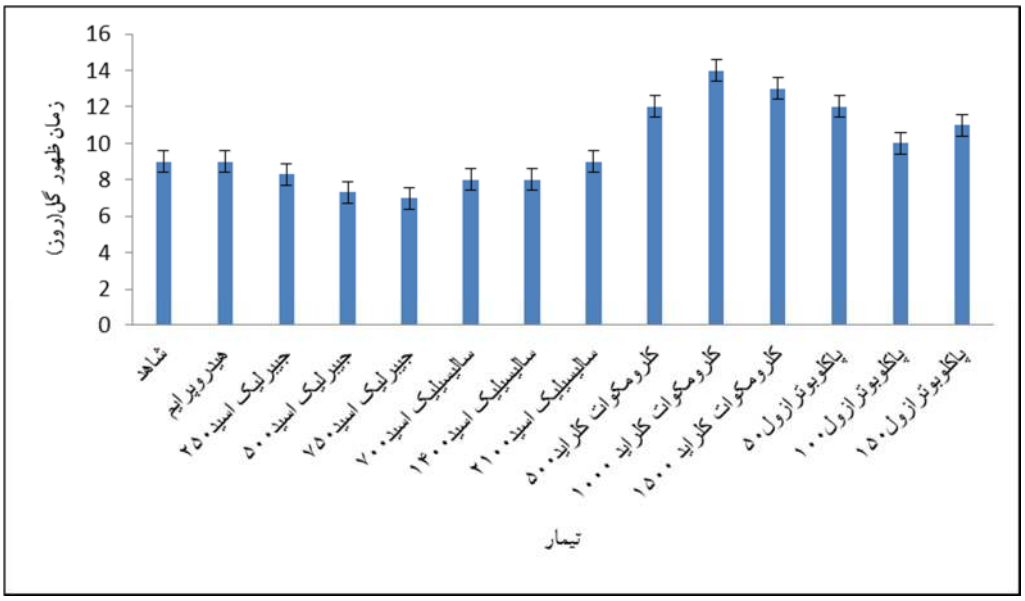
جدول ۲- مقایسه میانگین بررسی اثر پرایم کردن بنه‌های زعفران با چهار تنظیم‌کننده رشد همراه با هیدروپرایمینگ بر عملکرد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و صفات کیفی زعفران

تیمار (میکرومولار)	عملکرد تر گل (گرم در گلدان)	عملکرد تر کلاله (گرم در گلدان)	عملکرد خشک کلاله (گرم در گلدان)	عملکرد خشک گل (گرم در گلدان)	کلروفیل a (mg/gfw)	کلروفیل b (mg/gfw)	کلروفیل کل (mg/gfw)	کاروتنوئید (mg/gfw)	سافرانال (٪)	کروسین (٪)	پیکروکروسین (٪)
شاهد	۷/۱۷ bc	۰/۷۱ cd	۰/۲۲ b	۱/۲۶ bc	۰/۵۶ b	۰/۶۱ bcd	۱/۱۷cd	۰/۸۰ f	۳/۲۴ bcd	۱۵/۱۲ def	۱۲/۷۳ cde
هیدروپرایم	۸/۱۲ bc	۰/۸۶ cd	۰/۲۳ b	۱/۸۴ b	۰/۵۸ b	۰/۳۲ f	۰/۹ cde	۰/۸۷ e	۲/۸۶ cde	۱۵/۸۷ de	۱۱/۴۶ g
جیبرلیک اسید ۲۵۰	۸/۰۸ bc	۰/۹۶ bcd	۰/۲۰ b	۱/۵۸ bc	۰/۳۱ cde	۰/۳۵ f	۰/۶۶ fg	۱/۰۸۷ bc	۲/۸۳ cde	۱۶/۳۹ de	۱۴/۰۹ b
جیبرلیک اسید ۵۰۰	۱۹/۳۲ a	۲/۴۳ a	۰/۸۲ a	۳/۵۳ a	۰/۴۰۸ bcd	۰/۲۹ f	۰/۶۹۸ fg	۱/۳۲ a	۳/۸۰ b	۱۷/۱۱ de	۱۲/۶۳ de
جیبرلیک اسید ۷۵۰	۲۵/۵۴ a	۱/۵۱ b	۰/۲۳ b	۲/۸۹ a	۰/۲۷۴cde	۰/۳۰ f	۰/۵۷۴ efg	۰/۷۸ f	۳/۲۶ bcd	۲۱/۱۴ c	۱۱/۷۱ fg
سالیسیلیک اسید ۷۰۰	۵/۰۲ bc	۰/۷۷ cd	۰/۱۵ b	۱/۰۹ bc	۰/۴۸۸c	۰/۳۹ ef	۰/۸۸ fg	۰/۸۷ e	۴/۴۸ a	۲۶/۸۸ a	۱۳/۳۸ c
سالیسیلیک اسید ۱۴۰۰	۱۰/۵۱ b	۱/۰۹ bc	۰/۲۱ b	۱/۵۰ bc	۰/۴۶۲ c	۰/۵۶cd	۱/۰۲۲ cd	۱/۰۹ b	۵/۰۲ a	۲۳/۴۸ bc	۱۲/۳۳ ef
سالیسیلیک اسید ۲۱۰۰	۶/۹۱ bc	۰/۸۴ cd	۰/۱۶ b	۱/۴۰ bc	۰/۴۹۱c	۰/۵۵cd	۱/۰۴۱ d	۱/۰۵ c	۴/۷۹ a	۲۵/۰۹ ab	۱۳/۱۱ cd
کلرومکوات کلراید ۵۰۰	۴/۵۳ bc	۰/۷۷ cd	۰/۱۸ b	۱/۱۵ bc	۰/۷۳۰a	۰/۶۲bc	۱/۳۵ bc	۰/۸۷ e	۳/۴ bc	۱۴/۳۲ def	۱۵/۸۹ a
کلرومکوات کلراید ۱۰۰۰	۲/۶۶ c	۰/۴۷ d	۰/۱۲ b	۰/۷۱ c	۰/۷۸۰ab	۰/۵۶ cd	۱/۳۴ bc	۰/۱۸ i	۲/۳۷ e	۱۷/۲۱ d	۱۴/۵۴ b
کلرومکوات کلراید ۱۵۰۰	۹/۳۵ bc	۱/۰۳ bcd	۰/۱۴ b	۱/۶۴ bc	۰/۶۵۰ab	۰/۵۰de	۱/۱۵ def	۰/۹۹ d	۲/۵۸ de	۱۵/۵۱ def	۱۳/۲۱ cd
پاکلوبوترازول ۵۰	۱۰/۱۹ b	۱/۰۹ bc	۰/۱۷ b	۱/۵۷ bc	۰/۸۰۱a	۰/۶۵c	۱/۴۵۶ c	۰/۴۴ g	۳/۰۳ cde	۱۴/۲۷ def	۱۱/۴۴ g
پاکلوبوترازول ۱۰۰	۷/۲۳ bc	۰/۴۷ d	۰/۱۲ b	۱/۰۶ bc	۰/۷۶۲a	۰/۷۰b	۱/۴۶۲ ab	۰/۴۲ g	۲/۸۳ cde	۱۲/۶۱ f	۱۲/۱۷ ef
پاکلوبوترازول ۱۵۰	۷/۳۸ bc	۰/۸۱ cd	۰/۱۹ b	۱/۲۳ bc	۰/۸۰۶a	۰/۸۱a	۱/۶۱۱ a	۰/۳۱ h	۲/۸۷ cde	۱۳/۹۰ef	۱۲/۸۵ cde

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ با همدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف پرایم کردن بنه‌های زعفران زراعی بر تعداد گل ظاهر شده



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف پرایم کردن بنه‌های زعفران زراعی بر زمان ظهور گل

عملکرد گل و کلاله

اثر تیمارهای پرایمینگ بر عملکرد تر گل و کلاله و عملکرد خشک گل و کلاله در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار ۷۵۰ و ۵۰۰ میکرومولار جیبرلیک اسید بیشترین عملکرد تر گل (گرم در گلدان) و تر کلاله (گرم در گلدان) را تولید نمودند. پس از دو تیمار ذکر شده، سالیسیلک اسید ۱۴۰۰، پاکلوبوترازول ۵۰ و کلرمکوات ۱۵۰۰ مقادیر بالاتر را نشان دادند. تیمار هیدروپرایم اختلاف معنی داری را با تیمار شاهد نشان نداد. کمترین عملکرد وزن تر گل در تیمار ۱۰۰۰ میکرومولار کلرومکوات کلراید به میزان ۲/۶۶ گرم در گلدان و کمترین وزن تر کلاله در تیمارهای کلرمکوات

کلراید ۱۰۰۰ و پاکلوبوترازول ۱۰۰ میکرو مولار مشاهده شد. بیشترین وزن خشک گل در تیمارهای جیبرلیک اسید ۵۰۰ و ۷۵۰ میکرو مولار مشاهده شد. در یک نگاه کلی، بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. ولی تیمار ۱۰۰۰ میکرو مولار کلرمکوات کلراید در بین تمام تیمارها کمترین مقدار گل خشک را تولید کرد. به‌نحوی که میزان گل خشک تولید شده از تیمار شاهد نیز کمتر بود. بیشترین مقدار کلاله خشک تولید شده در تیمار ۵۰۰ میکرو مولار جیبرلیک اسید بدست آمد و بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲).

کلروفیل و کاروتنوئید

میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در این آزمایش تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای آزمایش قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید در تیمار با تنظیم‌کننده پاکلوبوترازول و در تیمار ۱۵۰ میکرومولار پاکلوبوترازول مشاهده شد. پس از پاکلوبوترازول، تیمار بنه ها با کلرمکوات کلراید موجب افزایش کلروفیل در مقایسه با دیگر تیمارها گردید. در مقابل استفاده از جیبرلیک اسید موجب کاهش میزان کلروفیل برگ شد. در بین تیمارها، تیمار با ۷۵۰ میکرومولار جیبرلیک اسید میزان کلروفیل کل برگ‌ها را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۲). مانند کاربرد جیبرلیک اسید، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید با تیمار سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد کاهش پیدا کرد. تیمار بنه ها با آب‌مقطر (هیدروپرایم) اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد.

صفات کیفی کلاله

نتایج تجزیه واریانس صفت‌های کیفی اندازه‌گیری شده نشان داد که بین تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). بیشترین میزان سافرانال و کروسین در تیمار با سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۲). در مورد سافرانال، غلظت های مختلف سالیسیلک اسید بکار رفته اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و تمام غلظت‌های سالیسیلک اسید در یک گروه آماری قرار گرفتند. در مورد کروسین، بیشترین مقدار کروسین در تیمار ۷۰۰ میکرومولار مشاهد شد و تیمار دیگر سالیسیلک اسید اختلاف معنی داری با یکدیگر نشان ندادند. پس از سالیسیلک اسید، تیمار بنه ها با جیبرلیک اسید موجب افزایش این دو ترکیب گردید. کمترین میزان درصد سافرانال در تیمار ۱۰۰۰ میکرومولار کلرمکوات کلراید دیده شد. کمترین مقدار کروسین نیز در تیمار پاکلوبوترازول ۱۰۰ میکرومولار تولید شد (جدول ۲). به‌طور کلی، استفاده از این دو کندکننده رشدی موجب کاهش سافرانال و کروسین گردید. استفاده از هیدروپرایم برای تیمار بنه‌ها مزیتی را از نظر این دو صفت نداشت و بنه‌های تیمار شده با آب‌مقطر اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان ندادند. در مقابل، تیمار بنه‌ها با کلرمکوات کلراید باعث شد تا میزان پیکروکروسین، در مقایسه با دیگر تیمارها افزایش پیدا کند. در بین تیمارها بیشترین میزان پیکروکروسین در کلرمکوات کلراید ۵۰۰ بدست آمد. کمترین مقدار پیکروکروسین در تیمارهای پاکلوبوترازول ۵۰ میکرومولار، هیدروپرایم و جیبرلیک اسید ۷۵۰ میکرومولار بدست آمد. در یک نگاه کلی، استفاده از پاکلوبوترازول هیچ اثر مثبتی روی بهبود صفات کیفی زعفران نداشت.

بحث

تحقیقات انجام شده نشان داد که استفاده از جیبرلیک اسید بر روی پیازچه‌های برخی از گیاهان قبل از کاشت گلدهی را افزایش داد. Dhua و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از جیبرلیک اسید به مقدار ۲۰۰ قسمت در میلیون توانستند تعداد شاخه گل‌دهنده در گل مریم را افزایش دهند. این پژوهش نیز در غلظت ۷۵۰ میکرو مولار اسید جیبرلیک تعداد گل برداشت شده را به‌طور معنی‌داری افزایش داد که با تحقیقات Ramaswamy و همکاران (۱۹۷۹) و Muchopadhyay و Banker (۱۹۸۳) مطابقت دارد. از

سوی دیگر، Preeti و همکاران (۱۹۹۷) با استفاده از خیس کردن پیازهای *Polianthes tuberosa* در جیبرلیک اسید پیش از کاشت توانستند گلدهی را جلوتر بیندازند و گیاهان تیمار شده را پیش‌رس‌تر کنند. در این پژوهش نیز استفاده از اسید جیبرلیک با غلظت ۷۵۰ میکرومولار جیبرلیک گلدهی را تسریع نمود. در مطالعه Hartman و همکاران (۱۹۹۰) تیمار جیبرلیک اسید باعث افزایش تعداد گل، قطر گل و تسریع گلدهی نرگس گردید. گزارش شده است، تیمار گیاهان با جیبرلیک اسید تعداد گلها را نسبت به شاهد افزایش می‌دهد. این فرایند به‌دلیل تأثیری است که جیبرلیک اسید بر تحریک رشد دارد و باعث تسریع در تقسیم سلولی یا بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود. این فرایندها نیازمند سنتز مواد جدید به‌ویژه مواد دیواره سلولی است. تیمار با جیبرلیک اسید سبب افزایش قندهای هگزوز به‌ویژه گلوکز شده و فعالیت آنزیم اینورتاز اسید را افزایش می‌دهد. موارد ذکرشده متابولیسم و سنتز مواد جدید، مواد دیواره سلولی را افزایش می‌دهند. اما آنتی‌جیبرلین‌ها مانند کلرمکوات کلراید مقدار هگزوزها و فعالیت آنزیم اینورتاز را کاهش می‌دهند (Ranwala & William, 2008). در این آزمایش، به نظر می‌رسد جیبرلین‌ها به‌دلیل افزایش قدرت مقصد و جذب فتواسمیلات‌ها توسط گلها باعث شدند تا مواد گسیل شده از سوی بنه‌های مادری یا اسمیلات‌های حاصل از فتوسنتز جاری به‌طور عمده به‌سمت گلها حرکت کنند تا به سمت بنه‌های دختری. از سوی دیگر، افزایش قدرت مقصد موجب می‌شود تا ضمن جلوگیری از سقط جوانه‌های گل، گلدهی تسریع شده و طول دوره گلدهی افزایش پیدا کند (Chang & Sung, 2000). گل‌انگیزی در گیاهان با تمایز اندام‌های گل اتفاق می‌افتد. از سوی دیگر، کوتاه شدن دوره کاشت تا گلدهی با تیمار جیبرلیک اسید رابطه مستقیم دارد. بیان شده است، با اعمال تیمارهایی روی بنه زعفران که باعث از بین رفتن دوره خواب می‌شود، گل‌انگیزی تحریک می‌شود و قسمت‌های مختلف گل توسعه می‌یابد (Chrungoo & Farooq, 1984). اعمال جیبرلیک اسید باعث تحریک تقسیم سلولی و طویل شدن سلول می‌گردد. همچنین، در این آزمایش در بنه‌هایی که با جیبرلیک اسید تیمار شده بودند، گلدهی به‌صورت یکنواخت و همزمان انجام گردید. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، هیدرولیز نشاسته به قندهای کوچکتر و قابل انتقال، باعث کاهش زمان جوانه‌زنی و در نهایت تسریع در گلدهی می‌شود (Du Toit *et al*., 2004). همان‌طور که اشاره گردید تیمار گیاهان با جیبرلیک اسید تعداد گلها را نسبت به شاهد افزایش داد. این مورد به دلیل تأثیری است که این ماده بر تحریک رشد دارد و باعث تسریع در تقسیم سلولی یا بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود. این فرایندها نیازمند سنتز مواد جدید به‌ویژه مواد دیواره سلولی است. تیمار با جیبرلیک اسید سبب افزایش قندهای هگزوز به‌ویژه گلوکز شده و فعالیت آنزیم اینورتاز اسید را افزایش می‌دهد. موارد ذکر شده موجب می‌شود تا متابولیسم و سنتز مواد جدید ازجمله مواد دیواره سلولی افزایش پیدا کنند. در مقابل، گزارش شده آنتی‌جیبرلین‌هایی مانند کلرمکوات کلراید مقدار هگزوزها و فعالیت آنزیم اینورتاز را کاهش می‌دهند (Ranwala & William, 2008).

گزارش شده است که سالیسیلیک اسید از طریق به‌تأخیر انداختن سنتز اتیلن و دپولاریزاسیون غشاء توسط گونه‌های فعال اکسیژن سبب تقویت و تحریک فتوسنتز و در نتیجه افزایش سرعت فتوسنتز در گیاه می‌شود (Rossini pinto *et al*., 2005). همچنین تحقیقات نشان می‌دهد که کلرمکوات کلراید سنتز کلروفیل را تحریک می کند. با توجه به نقش کندکننده‌ها در افزایش سایتوکینین می‌توان تأثیر آنها را در افزایش سنتز کلروفیل مربوط به افزایش سطوح سایتوکنین دانست (Fletcher *et al*., 2000). نوع گیاه و نوع کندکننده رشد در تأثیر این ترکیب ها در افزایش میزان کلروفیل برگ مؤثر می‌باشد. در آزمایش Barnes و همکاران (۱۹۸۹) پاکلوبوترازول باعث افزایش میزان کلروفیل برگ سویا شد، در حالی‌که هیچ تأثیری بر میزان کلروفیل ذرت نداشت. Shanks (۱۹۷۲) نیز در آزمایش خود نتیجه گرفت که غلظت‌های مختلف کلرومکوات کلراید سبب افزایش میزان کلروفیل برگ‌های ختمی چینی گردید.

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از سالیسیلیک اسید و جیبرلیک اسید اثر مثبت چشمگیری بر بهبود بسیاری از شاخص‌های مورد مطالعه گیاه زعفران داشت. پرایم کردن بنه ها به‌ویژه با جیبرلیک اسید، نه‌تنها باعث تغییر در تعداد گل ظاهر شده در مقایسه با شاهد گردید، بلکه موجب تغییر در زمان ظهور گلها نیز شد. مانند حالت مشاهده شده برای تعداد گل، استفاده از جیبرلیک اسید موجب تحریک گلدهی و ظهور سریع تر گل در مقایسه با تیمار شاهد شد. پس از این هورمون، کاربرد سالیسیلیک اسید نیز موجب کاهش تعداد روز از زمان آبیاری تا ظاهر شدن اولین گل گردید. میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل با کاربرد پاکلوبوترازول افزایش پیدا کرد. کاربرد جیبرلیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌ترتیب بیشترین عملکرد تر گل و کلاله را تولید نمود. براساس نتایج این آزمایش بهترین عطر و رنگ زعفران در نتیجه کاربرد اسید سالسیلیک بدست آمد. در مقابل، استفاده از کلرمکوات کلراید موجب بهبود طعم زعفران گردید.

منابع مورد استفاده

- Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Sankari, S. and Panneerselvam, R., 2007. Paclobutrazol enhances photosynthesis and ajmalicine production in *Catharanthus roseus*. Process Biochemistry, 42: 1566-1570.
- Ahmadi, N., Zeynali, H. and Lari, H., 2012. Effect of salinity stress and salicylic acid on quantitative and qualitative traits of saffron. National Convention on Herbal Medicine in Traditional Lifestyle: 69.
- AL-Khassawneh, N.M., Karam, N.S. and Shibli, R.A., 2006. Growth and flowering of black iris (*Iris nigricans* Dinsm) following treatment with plant growth regulators. Scientia Horticulture, 107: 187-193.
- Arnon, A.N., 1967. Metod of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23: 112-121.
- Barnes, A.M., Walser, R.H. and Davis, T.D., 1989. Anatomy of *Zea mays* and *Glysine max* seedlings treated with triazole plant growth regulators. Biologia Plantarum, 31: 370-375.
- Bina, A., 2002. Effect of temperature and gibberellin on local saffron landraces in cities of Quaen. Birjand and Gonabad. First Saffron Festival, Quaen, 11-12 November: 25.
- Chang, Y. and Sung, F., 2000. Effect of gibberellic acid and dormancy breaking chemicals on flower development of *Rhododendron pulchrum* Sweet and *R. scabrum* Don. Scientia Horticulturae, 83: 331-337.
- Chen, Y., Zhang, H., Tian, X., Zhao, C., Cai, L., Liu, Y., Jia, L., Yin, H.X. and Chen, C., 2008. Antioxidant potential of crocins and ethanol extracts of *Gardenia jasminoides* ELLIS and *Crocus sativus* L.: A relationship investigation between antioxidant activity and crocin contents. Food Chemistry, 109: 484-492.
- Chrungoo, N.K. and Farooq, S., 1984. Influence of GA and NAA on the yield and growth of saffron. Indian Journal of Plant Physiology, 27: 201-205.
- Devis, K.N., Vyas, A.K., Singh, M.S. and Singh, N.G., 2011. Effect of bioregulators on growth, yield and chemical constituents of soybean (*Glycine max*). Journal of Agricultural Science, 3: 151-159.
- Dhua, R.S., Ghosh, S.K., Mitra, S.K., Yadav, L.P. and Bose, T.K., 2005. Effect of bulb size, temperature treatment of bulbs and chemicals on growth and flower production in tuberose. Acta Horticulture, 205: 121-128.
- Du Toit, E.S., Robbertse, P.J. and Niederwieser, J.G., 2004. Plant carbohydrate partitioning of *Lachenalia* cv. Ronina during bulb production. Scientia Horticulturae, 102: 433-440.
- Kanakis, C.D., Tarantilis, P.A., Tajmir-Riahi, H.A. and Polissiou, M.G., 2007. Crocetin, dimethylcrocetin, and safranal bind human serum albumin: Stability and antioxidative properties. Jornal of Agriculture Food Chemistry, 55: 970-977.
- Fletcher, R., Sankhla, N. and Davis, T., 2000. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. Horticultural Reviews, 24: 55-122.
- Grilli-Caiola, M., 2004. Saffron reproduction Biology. Acta Horticulture, 650: 25-39.
- Hartman, H., Kester, D. and Davis, J., 1990. Plant Propagation: Principles and Practices. Prentices-Englewood Cliffs, NJ, 928p.
- Martín-Mex, R., Vergara-Yoisura, R., Nexticapán-Garcés, A. and Larqué-Saavedra, A., 2010. Application of low concentrations of salicylic acid increases the number of flowers in *Petunia hibrida*. Agrociencia, 44: 773-778.
- Monselise, S.P. and Halevy, A.H., 2011. Effects of gibberellin and Amo-1618 on growth, dry-matter accumulation, chlorophyll content and peroxidase

and Barbosa, J.C., 2005. Growth retardants on development and ornamental quality of potted *Zinnia elegans* Jacq. Scientia Agricola, 62: 337-345.
- Rubio- Moraga, A., Trapero-Mozos, A., Gemez-Gemez, L. and Ahrazem, O., 2010. Intersimple sequence repeat markers for molecular characterization of Crocus cartwrightianus cv. albus. Industrial Crops and Products, 32: 147-151.
- Srivastava, N.K. and Srivastava, A.K., 2007. Influence of gibberellic acid on $14CO_2$ metabolism, growth, and production of alkaloids in *Catharanthus roseus*. Photosynthetica, 45: 156-160.
- Shanks, J.B., 1972. Chemical control of growth and flowering in *Hibiscus*. HortScience, 7: 574.
- Shekari, F., Ebrahimzadeh, A. and Esmailpour, B., 2005. Plant Growth Regulators in Agriculture and Horticulture (translation), Zanjan University Press, 250p.
- Tolbert, N. E., 1960. 2-chloroethyl trimethyl ammonium chloride and related compounds as plant growth substances. II. Effect on growth of wheat. Plant Physiology 35: 380-385.
- Umrao, V.K., Sharma, V. and Kumar, B., 2007. Influence of gibberellic acid spraying on gladiolus cv. Rose Delight. Progressive Agriculture, 7(1&2): 187-188.
- Whipker, B.E. and McCall, I., 2000. Response of potted sunflower cultivars to daminozide foliar sprays and paclobutrazol drenches. HortTechnology, 10: 209-211.
activity of citrus seedlings. American Journal of Botany, 49(4): 405-412.
- Muchopadhyay, A. and Banker, G.J., 1983. Regulation of growth and flowering in *Polianthes tuberosa* L. with gibberelic acid on ethrel spray. Horticulture Science, 19: 149-152.
- Namin, M.H., Ebrahimzadeh, H., Ghareyazie, B., Radjabian, T. and Namin, H.H., 2010. Initiation and origin of stigma-like structures (SLS) on ovary and style explants of saffron in tissue culture. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, 52: 55-60.
- Plessner, O., Ziv, M. and Negbi, M., 1990. In vitro corm production in the saffron crocus (*Crocus sativus* L.). Plant Cell Tissue Organ Culture, 20: 89-94.
- Preeti, H., Gogoi, S., Mazumder, A. and Hatibarua, P., 1997. Effect of pre-plant chemical treatment of bulbs on growth and flowering of tuberose cv. single. Annals of Biology of Ludhaiana, 13(1): 145-149.
- Ramaswamy, N., Paulraj, C. and Choockalingam, P., 1979. Studies on the influence of growth regulators on flowering and yield of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). Annamalai University of Agricultural Research, 7: 29-33.
- Ranwala, A. and William, M., 2008. Gibberellin-mediated changes in carbohydrate metabolism during flower stalk elongation in tulips. Plant Growth Regulators, 55: 241-248.
- Rossini pinto, A.C., Rodrigues, T.D.J.D., Leits, I.C.

Effects of four types of growth regulators on yield, photosynthetic pigments and qualitative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) under greenhouse conditions

F. Heidari[1*], F. Shekari[2], B. Andalibi[2] and J. Saba[2]

1*- Corresponding author, Ph.D. student of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
E-mail: heidari.fa@gmail.com
2- Department of Agronomy and Plant Breeding Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: February 2019 Revised: June 2019 Accepted: June 2019

Abstract

In order to investigate the effects of growth regulators on yield and agronomical characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.), an experiment was conducted in a randomized complete block design in the research greenhouse of Faculty of Agriculture, University of Zanjan. Experimental treatments included corms priming with gibberellic acid (GA) (250, 500 and 750µM), salicylic acid (SA) (700, 1400 and 2100µM), paclobutrazol (PBZ) (50, 100 and 150µM), chlormequat chloride (CCC) (500, 1000 and 1500 µM), hydropriming (HP) (distilled water), and control (treatment without any growth regulator). Among the treatments, the effect of GA was more pronounced than other growth regulators, so that the highest dry yield of flower and stigma was observed in GA treatment, especially at 500-µM level. CCC and PBZ caused the lowest flower and stigma yield and the highest amount of chlorophyll pigments compared to other treatments. In contrast, the use of GA and SA reduced the chlorophyll content. HP treatment did not show any significant difference with control. SA treatment increased safranal (perfume) and crocin (color) of the stigmas. The highest effect on picrocrocin (flavor) was obtained in CCC treatment.

Keywords: Saffron (*Crocus sativus* L.), paclobutrazol, gibberellic acid, salicylic acid, chlormequat chloride.