

Effect of cytokinin application on photosynthesis, gas exchange and seed yield of safflower (*Carthamus tinctorius L.*) under drought stress condition

Leyli Golchin¹, Afshin Tavakoli^{*2}, Ehsan Moheeni Fard³

1,2,3. Department of Production Engineering and Plant Genetics, University of Zanjan, Iran.
(Received: November 30, 2020 - Accepted: March 24, 2021)

ABSTRACT

In order to evaluate the possibility of photosynthesis, gas exchange and chlorophyll content improvement of safflower by cytokinin application, a split factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with four replications at the research farm of Agriculture Faculty, University of Zanjan, during 2019-2020 growing season. In this experiment, irrigation levels included optimal irrigation and drought stress were the main plots (soil water potential: -0.4 and -2 MPa as control and drought stress treatments) and safflower cultivars (i.e Sina, Faraman, Parnyan, Gholdasht and Mahaly Esfahan), and three levels of cytokinin, (i. e no- application (control), 50 and 75 μM) were subplots. Drought stress was applied in the flowering stage and simultaneously, safflower plants were sprayed with cytokinin. The results showed that drought stress caused an increased in the intercellular CO_2 concentration (10%) and decreased transpiration rate (30.3%), stomatal conductance (46.4%), photosynthesis rate (41.1%), carboxylation efficiency (42.8%), Photosynthetic water use efficiency (14.4%), chlorophyll content and seed yield (40.17). Also, Parnian cultivar was more tolerant than other cultivars to drought stress condition. In contrast, cytokinin application minimized the negative effects of drought stress and increased the above traits. The highest seed yield was obtained by application of 75 μM of cytokinin (3494kg/ha) in drought stress condition (34/1% compared to the control). Therefore, cytokinin application can be suggested to decrease drought stress negative effects and enhance seed yield of safflower under optimal irrigation and drought stress conditions.

Keywords: Carboxylation efficiency, photosynthesis rate, seed yield, stomata conductance, transpiration rate.

تأثیر کاربرد سیتوکینین بر فتوسنتز، نبادلات گازی و عملکرد دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) در شرایط تنش خشکی

لیلی گلچین^۱، افشین توکلی^{*۲}، احسان محسنی فرد^۳

۱ و ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجو، دانشیار و استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه زنجان.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۱۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۴)

چکیده

به منظور مطالعه امکان کاربرد سیتوکینین برای بهبود فتوسنتز، نبادلات گازی و محتوی کلروفیل گلرنگ، پژوهشی به صورت آزمایش اسپلیت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. در این پژوهش، سطوح آبیاری شامل آبیاری مطلوب و تنش خشکی (بتانسیل آب خاک ۰/۴ - مگاپاسکال به عنوان تیمار تنش خشکی) در کرت‌های اصلی و ارقام گلرنگ شامل سینا، فرامان، پرنیان، گلدشت و محلی اصفهان و سه سطح سیتوکینین شامل عدم مصرف (شاهد)، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در مرحله گلدهی، تنش خشکی اعمال شد و هم‌زمان با اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی، بوته‌های گلرنگ با سطوح مختلف سیتوکینین محلول‌پاشی شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای (۱۰ درصد) و کاهش میزان تعرق (۳۰/۳ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۶۷/۴ درصد)، سرعت فتوسنتز (۴۱/۱ درصد)، کارایی کربوکسیلاسیون (۴۲/۸ درصد)، کارایی مصرف آب فتوسنتزی (۱۴/۴ درصد)، محتوی کلروفیل و عملکرد دانه (۴۰/۱۷ درصد) شد. همچنین رقم پرنیان نسبت به دیگر ارقام در شرایط تنش خشکی، تحمل بیشتری نشان داد. در مقابل، کاربرد سیتوکینین سبب به حداقل رسیدن اثرات منفی تنش خشکی و افزایش صفات فوق شد. بالاترین عملکرد دانه با کاربرد غلظت ۷۵ میکرومولار سیتوکینین (۳۱۹۶/۰۸ کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش خشکی و با افزایش ۳۴/۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد به دست آمد. بنابراین کاربرد سیتوکینین را می‌توان به عنوان راه‌کاری جهت کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی و افزایش عملکرد دانه گلرنگ در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب هم‌زمان، تنوع ژنتیکی، روش SHIG، صفات مورفولوژیک.

مقدمه

نشان می‌دهد که سیتوکنین‌ها، نقش بسیار مهمی در پاسخ به تنش‌های محیطی، میزان گشودگی روزنه‌ها و تعرق در بسیاری از گیاهان دارند (Sayd *et al.*, 2010). با توجه به این‌که محتوای سیتوکنین در شرایط تنش کاهش می‌یابد (Werner *et al.*, 2009)، افزایش غلظت این هورمون از طریق کاربرد خارجی (محلول‌پاشی) ممکن است باعث تحمل گیاه در برابر تنش شود. تنش کم آبی در گیاهان تراریخته، بیوسنتز سیتوکنین را تحریک و اثرات نامطلوب کمبود آب را کاهش می‌دهد و با حفظ سرعت فتوسنتز، سبب افزایش عملکرد در تنباکو (Rivero *et al.*, 2009)، پنبه (Kuppu *et al.*, 2013) و بادام زمینی (Qin *et al.*, 2011) در شرایط تنش خشکی شده است. با توجه به اهمیت گلرنگ در تأمین امنیت غذایی، کاهش وابستگی به واردات دانه‌های روغنی و همچنین مقاومت بالای آن به شرایط نامساعد محیطی، تحقیقات روی سازگاری و قابلیت کشت گیاه گلرنگ در داخل کشور ضروری است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی بهبود فتوسنتز، محتوی کلروفیل و افزایش عملکرد دانه با کاربرد سیتوکنین در دو شرایط آبیاری مطلوب و همچنین تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه زنجان، واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه‌ی غربی و ارتفاع ۱۵۹۴ متری از سطح دریا در سال زراعی ۹۷-۹۸ به صورت آزمایش اسپیلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح آبیاری (پتانسیل آب خاک ۰/۴- مگاپاسکال به عنوان تیمار شاهد و پتانسیل آب خاک ۲- مگاپاسکال به عنوان تیمار تنش خشکی) به عنوان فاکتور اصلی و فاکتورهای فرعی شامل پنج رقم گلرنگ (سینا، گلدشت، فرامان، پرنیان و محلی اصفهان) و محلول-پاشی با هورمون سیتوکنین (۶-بنزیل آمینوپورین) در

گلرنگ یکی از دانه‌های روغنی است که برای اهداف مختلفی کشت می‌شود؛ از بذرها برای استخراج روغن و غذای پرندگان و از گل‌های آن برای رنگرزی و به عنوان ادویه در غذا و تهیه چای و اهداف دارویی نیز استفاده می‌شود (Emonoger, 2010). گلرنگ بومی ایران است و به دلیل سازگاری بالا با شرایط نامساعد، مقاومت به خشکی و شوری و همچنین داشتن روغنی با کیفیت، مورد توجه است؛ بنابراین در بین دانه‌های روغنی می‌تواند تولید موفقیت‌آمیزی در مناطق خشک و خاک‌های فقیر داشته باشد (Basalama *et al.*, 2008). تنش خشکی که ناشی از عدم تعادل بین آب قابل دسترس در خاک و تبخیر از خاک است، موجب تغییرات زیادی در خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و نیز سبب کاهش عملکرد محصول می‌شود (Hu *et al.*, 2014). اولین پاسخی که گیاه هنگام قرار گرفتن در معرض تنش خشکی از خود نشان می‌دهد، بسته شدن روزنه‌هاست که باعث کاهش تبادلات گازی و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌شود (Armand *et al.*, 2016). کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی در اثر افزایش گونه‌های اکسیژن فعال و ایجاد تنش اکسیداتیو، از دیگر پیامدهای تنش خشکی است و حفظ محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل a, b و کارتنوئیدها در شرایط تنش خشکی، به ثبات فتوسنتز برگ کمک می‌کند (Armand *et al.*, 2016). از طرف دیگر، آبیاری در طول فصل رشد، تأثیر زیادی بر عملکرد دانه می‌گذارد، به طوری که همه فرآیندهای زایشی که در تعیین عملکرد دانه در گلرنگ نقش دارند، اعم از تشکیل گل‌ها، تشکیل طبق‌ها، تشکیل دانه‌ها و پرشدن دانه‌ها، تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار می‌گیرد (Beyyavas *et al.*, 2011). سیتوکنین‌ها گروهی از هورمون‌ها هستند که بر بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و نمو گیاه تأثیر می‌گذارند و کنترل تقسیم سلولی، وظیفه اصلی این گروه از هورمون‌های گیاهی و مهم‌ترین عامل شناسایی آن‌ها است (Werner *et al.*, 2010). از طرف دیگر، مطالعات

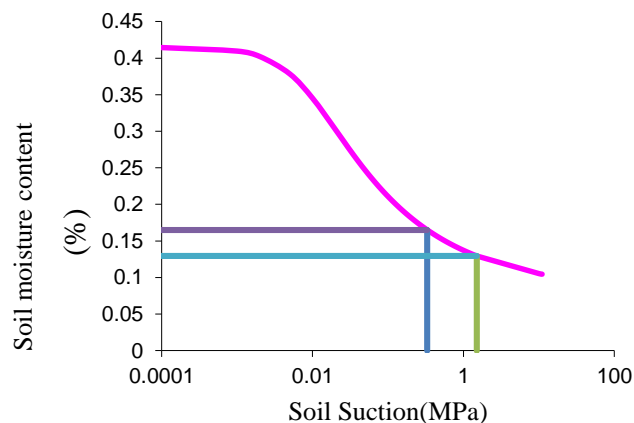
خاک)، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس دوباره وزن آن‌ها ثبت شد تا میانگین وزن خشک شده به دست آید. درصد رطوبت وزنی خاک از رابطه ۱ به دست آمد (Alizadeh, 2002):

$$W \% = [(W_1 - W_2) \div W_2] \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن، W : درصد رطوبت وزنی خاک، W_1 : وزن خاک مرطوب و W_2 : وزن خاک خشک می‌باشد.

جهت ترسیم منحنی رطوبتی خاک، نمونه‌برداری صورت گرفت و پتانسیل آب خاک در رطوبت‌های مختلف تعیین شد. سپس منحنی رطوبتی (درصد رطوبت وزنی و مکش خاک) رسم شد و با کمک این منحنی، پتانسیل‌های مورد نظر محاسبه شد (شکل ۱). همچنین، تیمار شاهد هر هفته یک‌بار آبیاری شد، به گونه‌ای که رطوبت خاک در محدوده رطوبت سهل-الوصول (۱۸ تا ۲۲ درصد رطوبت وزنی) حفظ شود. درصد وزنی رطوبت خاک مزرعه آزمایش در ظرفیت زراعی ۳۳ درصد و در نقطه پژمردگی دائم ۱۲ درصد تعیین شد (شکل ۱).

سه سطح (صفر (شاهد)، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) بودند شد (Mohammadi *et al.*, 2014). ارقام مورد استفاده گلرنگ از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد رقم پرنیان، به‌عنوان رقم اصلاح شده جدید برای اولین بار در منطقه زنجان کاشته شد. آماده‌سازی زمین در اسفند سال ۱۳۹۷ و کاشت بذرها در بیستم فروردین انجام شد و بلافاصله آبیاری صورت گرفت. تا مرحله ۵۰ درصد گلدهی، آبیاری در تمام کرت‌ها به‌صورت یکسان انجام شد و جهت اعمال تنش خشکی، آبیاری مربوط به کرت‌های تنش خشکی در مرحله ۵۰ درصد گلدهی قطع شد و قطع آبیاری تا رسیدن پتانسیل آب خاک به ۲- مگاپاسکال ادامه یافت (Contour- Ansel *et al.*, 2010) و سپس آبیاری مجدد انجام شد. بدین منظور، هر دو روز یک‌بار از قسمت‌های مختلف مزرعه به‌صورت تصادفی تا عمق ۴۰ سانتیمتری، نمونه خاک تهیه و در داخل سیلندرهای فلزی قرار داده شد. سپس نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از توزین اولیه (وزن مرطوب



شکل ۱- منحنی رطوبتی خاک محل انجام پژوهش

Figure 1. Soil moisture curve of the experimental site soil.

پشتی- شارژی ۲۰ لیتری با نام تجاری PROBACK وزن هفت کیلوگرم با فشار ۰/۴ و ۰/۱۵ مگا پاسکال و نوع نازل تلسکوپی استیل و نوع پاشش به‌صورت مه پاش) اضافه شد. تیمار شاهد (غلظت صفر) شامل اسپری با آب مقطر بدون استفاده از هورمون سیتوکنین بود. پارامترهای مختلف تبادلات گازی شامل غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای، میزان تعرق، هدایت

تیمار هورمون سیتوکنین در مرحله گلدهی و همزمان با اعمال تنش خشکی با غلظت‌های اشاره شده (صفر (شاهد)، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) و سه بار، به فاصله پنج روز یک‌بار در هنگام غروب آفتاب اعمال شد. به‌منظور کاهش کشش سطحی آب و در نتیجه جذب بهتر، مقدار پنج سی‌سی ماده توئین ۲۰ رقیق شده (۰/۰۱ درصد) به مخزن سمپاش (سمپاش

شده به عوامل بیوشیمیایی تثبیت کننده دی‌اکسیدکربن سبب شد که اسیمیلایون دی‌اکسیدکربن کاهش و در نتیجه غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای افزایش یابد. کاربرد ۷۵ میکرومولار هورمون سیتوکنین در تنش خشکی، باعث کاهش ۱۳/۷ درصدی غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۲) و این در حالی است که در شرایط آبیاری مطلوب، کاربرد ۷۵ میکرومولار سیتوکنین، باعث کاهش اندک و ۰/۰۷ درصدی غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای نسبت به عدم کاربرد آن شد (شکل ۲). غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای کمتر در شرایط تنش خشکی، به مفهوم آسیب کمتر به دستگاه فتوسنتزی است. احتمالاً کاربرد سیتوکنین، با افزایش هدایت روزنه‌ای و نیز بهبود دستگاه فتوسنتزی، باعث کاهش غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی شده است. گزارش شده است که استفاده از سیتوکنین، باعث کاهش CO₂ زیر روزنه‌ای نسبت به تیمار شاهد می‌شود که نشان می‌دهد، گیاهان (خصوصاً گیاهان سه کربنه) از CO₂ در جهت افزایش فتوسنتز استفاده می‌کنند (Chernyadev, 2009). به-نظر می‌رسد که کاربرد سیتوکنین با بهبود عملکرد دستگاه فتوسنتزی، باعث کاهش CO₂ زیر روزنه‌ای و افزایش فتوسنتز در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی شده است (Werner *et al.*, 2009). کاهش غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای در گیاهان تیمار شده با سیتوکنین‌ها در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Werner *et al.*, 2009; Singh *et al.*, 2012).

میزان تعرق

اثر سطوح آبیاری (p≤0.05)، رقم (p≤0.01) و هورمون پاشی (p≤0.05) بر میزان تعرق معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش خشکی باعث کاهش ۳۰ درصدی میزان تعرق نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول ۲). گیاهان در شرایط تنش خشکی، روزنه‌ها را بسته نگه می‌دارند تا از هدر رفت آب جلوگیری شود؛ در نتیجه طبیعی به نظر می‌رسد که میزان تعرق در شرایط تنش خشکی، پایین‌تر از شرایط آبیاری مطلوب باشد.

روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز در اوج تنش خشکی، با استفاده از دستگاه تحلیل‌گر گاز مادون قرمز (IRGA, model: LCA4, ADC Bioscientific Ltd. Hoddeston, UK) اندازه‌گیری در ساعت ده تا ۱۲ صبح و با شدت نور معادل ۱۲۰۰ - ۱۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه انجام شد. اندازه‌گیری این متغیرها با انتخاب جوان‌ترین برگ‌های کاملاً توسعه یافته صورت گرفت.

محتوی کلروفیل a، b و کل در زمان اوج تنش و با استفاده از روش Arnon (1949) محاسبه شد. کارایی کربوکسیلاسیون (CE) و کارایی مصرف آب فتوسنتزی (PWUE) نیز از روابط ۲ و ۳ محاسبه شد (Larcher, 1995):

رابطه ۲ درون روزنه‌ای CO₂ غلظت/سرعت فتوسنتز = CE
 رابطه ۳ سرعت تعرق/سرعت فتوسنتز = PWUE
 واحد اندازه‌گیری کارایی کربوکسیلاسیون (CE) و کارایی مصرف آب فتوسنتزی (PWUE)، به ترتیب میلی‌مول بر مول متر مربع بر ثانیه و میکرو مول دی‌اکسیدکربن بر میلی مول آب می‌باشد.

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه نیز از مساحت دو متر مربع از سطح مرزعه برداشت و عملکرد دانه نیز محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1) انجام شد. میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با هم مقایسه شدند و نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel (2013) رسم شد.

نتایج و بحث

غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای

اثر سطوح آبیاری (p≤0.05)، هورمون پاشی (p≤0.01) و اثر متقابل سطوح آبیاری و هورمون پاشی (p≤0.05) بر غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای معنی‌دار بود (جدول ۱). غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای، نشان دهنده مصرف یا عدم مصرف دی‌اکسیدکربن در چرخه کلوین است و همچنین میزان آسیب به عوامل تثبیت کننده دی‌اکسیدکربن را نشان می‌دهد (Reddy *et al.*, 2004). در پژوهش حاضر و در شرایط تنش خشکی، آسیب وارده

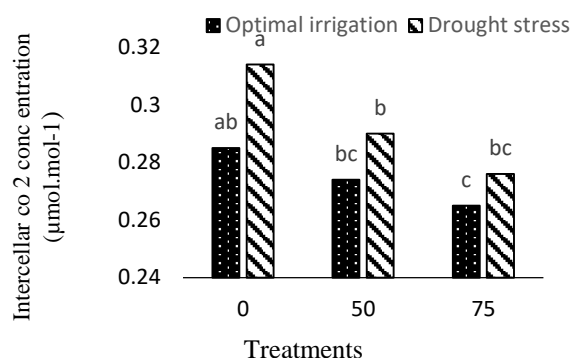
جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف ارقام گلرنگ تحت تاثیر کاربرد غلظت های مختلف سیتوکنین در شرایط آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی.

Table1. Variance analysis of different traits of safflower cultivars affected by different cytokine concentrations under optimal and drought stress conditions

S.O.V	DF	Intercellular co2 concentration	Transpiration	Stomate conductance	Photosynthesis rate	Carboxylation efficiency	Photosynthetic water use efficiency	chl a content	cbl content	Total Chlorophyll content	carotenoid content	Seed yield
Replication	3	7575.01 ^{ns}	57.59 ^{ns}	0.38 ^{ns}	196.47 ^{ns}	0.027 ^{ns}	1.02 ^{ns}	0.129 ^{ns}	0.017 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.001 ^{ns}	8691.3 ^{ns}
Irrigation	1	13775.87 [*]	51.35 [*]	1.37 [*]	458.94 [*]	0.008 ^{**}	1.98 ^{**}	1.05 [*]	0.04 [*]	1.53 [*]	0.014 [*]	3090878.03 [*]
Error 1	3	1103.70	3.04	0.093	2.21	0.00001	1.57	0.063	0.0001	0.062	0.001	2188276.37
Cultivar	4	957.4 ^{ns}	5.89 ^{**}	0.19 [*]	18.17 ^{**}	0.0001 ^{ns}	0.88 ^{**}	0.06 ^{**}	0.009 ^{**}	0.102 ^{**}	0.003 [*]	490367.4 [*]
Hormone	2	5474.73 ^{**}	3.76 [*]	0.0001 ^{**}	92.60 [*]	0.002 ^{**}	0.48 ^{ns}	0.156 ^{**}	0.02 ^{**}	0.28 ^{**}	0.002 ^{ns}	2283704.91 ^{**}
Irrigation* Cultivar	4	1793.94 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.034 ^{ns}	72.01 ^{**}	0.0009 ^{**}	1.82 ^{**}	0.06 [*]	0.006 [*]	0.11 [*]	0.001 ^{ns}	137162.53 ^{**}
Irrigation* Hormone	2	2498.56 [*]	0.45 ^{ns}	0.05 ^{ns}	9.16 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.147 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.003 ^{**}	0.024 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	132012.16 ^{ns}
Cultivar* Hormone	8	465.65 ^{ns}	0.79 ^{ns}	0.023 ^{ns}	7.59 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.93 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	49783.9 ^{ns}
Irrigation*Cultivar* Hormone	8	132.14 ^{ns}	0.59 ^{ns}	0.02 ^{ns}	3.46 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.018 ^{ns}	0.001 ^{ns}	24376.23 ^{ns}
Error 1	84	783.66	1.23	0.032	11.57	0.0001	0.51	0.01	0.0009	0.01	0.0011	163895.39
CV		9.89	22.43	23.61	26.11	22.42	25.11	24.3	20.25	20.28	22	13.34

Ns، * و **: به ترتیب نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.

Ns، * و **: Non significant and significant differences at 5% and 1% of probability levels, respectively.



شکل ۲- اثر متقابل سطوح آبیاری و هورمون پاشی بر غلظت CO₂ زیر روزه‌های میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای

دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Figure 2. Interaction effects of irrigation levels and hormone spraying on the intercellular CO₂ concentration. Mean with the same letter(s) are not significantly different, according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.

گیاه قادر به جذب مقدار بیشتری از آب و مواد غذایی خواهد بود (Reddy *et al.*, 2004). محققان با مطالعه روی دو رقم گندم نشان دادند که تیمار سیتوکنین، باعث بهبود دستگاه فتوسنتزی و افزایش تعرق در شرایط تنش خشکی می‌شود (Sarafraze ardakani *et al.*, 2019).

هدایت روزه‌های

اثر سطوح آبیاری ($p \leq 0.05$)، رقم ($p \leq 0.01$) و هورمون پاشی ($p \leq 0.05$) بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش خشکی باعث کاهش ۴۶/۴ درصدی هدایت روزه‌های نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول ۲). دلیل اصلی کاهش هدایت روزه‌های در شرایط تنش خشکی، کاهش تورژسانس سلول‌های نگهبان اطراف منافذ روزه‌ها است (Reddy *et al.*, 2004). به عبارت دیگر، کاهش هدایت روزه‌های می‌تواند به دلیل بسته شدن روزه‌ها در شرایط تنش خشکی باشد تا از این طریق تلفات آب به حداقل برسد. در مطالعات دیگری نیز کاهش معنی‌دار هدایت روزه‌های در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب گزارش شده است (Fariduddin *et al.*, 2009). رقم سینا و پرنیان، به ترتیب با میانگین ۰/۴۵ و ۰/۲۳ بر متر مربع مول بر ثانیه، بیشترین و کمترین میزان هدایت روزه ای را داشتند (جدول ۲). کاربرد

به عبارت دیگر، کاهش میزان تعرق در تیمارهای تحت تنش، احتمالاً به دلیل بسته شدن روزه‌ها و کاهش هدایت روزه‌های است. نتایج مطالعه‌ای که روی گیاه نخود در سه مرحله نموی (گیاهچه‌ای، گلدهی و غلاف-دهی) انجام شد، نشان داد که اعمال تنش خشکی شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)، میزان تعرق در هر سه مرحله نموی را کاهش داد (Hosseinzadeh *et al.*, 2015). در بین ارقام مورد مطالعه، رقم سینا و محلی اصفهان، به ترتیب با میانگین ۵/۵۳ و ۵/۲۸ میلی مول بر مترمربع بر ثانیه، بالاترین میزان تعرق و پرنیان با میانگین ۴/۳۰ میلی-مول بر مترمربع بر ثانیه، کمترین میزان تعرق را داشتند (جدول ۲). همچنین کاربرد غلظت‌های مختلف سیتوکنین، باعث افزایش میزان تعرق نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد (جدول ۲). بالاترین میزان تعرق با کاربرد ۷۵ میکرومولار سیتوکنین به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با غلظت ۵۰ میکرومولار نداشت (جدول ۲). کاربرد غلظت ۷۵ میکرومولار سیتوکنین، باعث افزایش ۲۸ درصدی میزان تعرق نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول ۴). احتمالاً سیتوکنین‌ها سبب باز نگه داشتن روزه‌ها از طریق کاهش سنتز اسید آسبیزیک شده است (Muraro, 2011). باز نگه داشتن روزه‌ها توسط گیاه می‌تواند یک مزیت برای گیاه در نظر گرفته شود، چرا که در صورت باز بودن روزه‌ها،

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مختلف ارقام گلرنگ تحت تاثیر کاربرد غلظت های مختلف سیتوکنین در شرایط اعمال تنش خشکی.

Table 2. Mean comparison of different safflower cultivar traits affected by different cytokinin concentrations under optimal and drought stress conditions.

	Transpiration (mmolom ⁻² s ⁻¹)	Stomata Conductance (mmolom ⁻² s ⁻¹)	Photosynthesis rate (μmmolom ⁻² s ⁻¹)	Carboxylation efficiency (mmolom ⁻² s ⁻¹)	Photosynthetic water use effiaency (μmolco2mmolH2O)	Chla content (mg.g ⁻¹ Fw)	Chlb content (mg.g ⁻¹ Fw)	Total Chlorophyll content (mg.g ⁻¹ Fw)	Cortonoid content (mg.g ⁻¹ Fw)	Seed yield (kg.h ⁻¹)
Irrigation level										
Optimal irrigation	5.59 a	0.41 a	13.44a	0.05 a	2.53 a	0.59 a	0.17 a	0.77 a	0.143 b	3541.6 a
Drought stress	4.29 b	0.28 b	9.52 b	0.035 b	2.21 b	0.41 b	0.13 b	0.54 b	0.169 a	2526.6 b
Cultivar										
Sina	5.53 a	0.45 a	12.12 ab	0.042 a	2.74 a	0.53 a	0.18 a	0.71 a	0.149 b	3100.8 a
Goldasht	4.61 bc	0.29 b	10.29 b	0.037 a	2.28 b	0.52 ab	0.161 b	0.65 a	0.146 b	3091.7 a
Mahally Esfahan	5.28 a	0.38 ab	12.5 a	0.044 a	2.36 ab	0.56 a	0.15 bc	0.71 a	0.173 a	3175 a
Faraman	4.97 ab	0.33 b	11.09 ab	0.04 a	2.33 b	0.45 bc	0.14 d	0.58 b	0.149 b	2998.8 ab
Parneyan	4.30 c	0.24 b	11.36 ab	0.04 a	2.30 b	0.44 c	0.128 d	0.58 b	0.155 ab	2804.2 b
Hormone										
0	4.1 b	0.25 b	9.84 b	0.03 b	2.27 a	0.44 c	0.12 c	0.57 c	0.146 b	2688.75 c
50	5.17 a	0.31 a	11.75 a	0.042 a	2.49 a	0.50 b	0.15 b	0.65 b	0.154 ab	3047.38 b
75	5.25 a	0.32 a	12.58 a	0.048 a	2.52 a	0.56 a	0.17 a	0.74 a	0.161 a	3466.08 a

میانگین های دارای حرف مشابه در یک ستون، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح احتمال، پنج درصد، تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

Means with the same letter(s) in the same column are not significantly different at 5% of probability level, according to Duncan multiple range test.

سبب افزایش هدایت روزنه‌ای شده است. کاهش بیشتر دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای در تیمار سیتوکنین، باعث بهبود دستگاه فتوسنتزی و کاهش خسارات ناشی از تنش اکسیداتیو شده و در نتیجه باعث افزایش هدایت روزنه‌ای شده است (Muraro, 2011)

غلظت‌های مختلف سیتوکنین، باعث افزایش هدایت روزنه‌ای نسبت به عدم کاربرد آن شد و کاربرد ۷۵ میکرومولار سیتوکنین، باعث افزایش ۲۸ درصدی هدایت روزنه‌ای نسبت به تیمار عدم کاربرد آن شد (جدول ۳). احتمالاً کاربرد سیتوکنین از طریق باز شدن روزنه‌ها و یا باز ماندن آن‌ها و افزایش تعرق،

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و رقم بر صفات مختلف ارقام گلرنگ در دو سطح آبیاری و غلظت‌های مختلف

سیتوکنین

Table 3. Mean comparisons of the interaction effects of irrigation levels and genotypes on different traits

	Cultivar	Photosynthesis rate ($\mu\text{mmolom}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Carboxylation efficiency ($\text{mmolom}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Photosynthetic water use efficiency ($\mu\text{molco}_2\text{mmolH}_2\text{O}$)	Chla content ($\text{mg.g}^{-1}\text{Fw}$)	Chlb content ($\text{mg.g}^{-1}\text{Fw}$)	Total Chlorophyll content ($\text{mg.g}^{-1}\text{Fw}$)	Seed yield (kg.h^{-1})
Optimal irrigation	Sina	12.93bc	0.049ab	2.53abc	0.47bcd	0.151cd	0.628cd	3285.4b
	Goldasht	10.62cd	0.039bc	2.59cd	0.66a	0.185b	0.846ab	3595.8ab
	Mahally Esfahan	12.96bc	0.048ab	2.45 bc	0.63a	0.161bc	0.790 b	3677.1a
	Faraman	14.13ab	0.055a	3.05a	0.48b	0.145d	0.629c	3518.3ab
	Parneyan	16.35a	0.057a	2.77ab	0.69a	0.226a	0.919a	3630.8a
Drought stress	Sina	9.75de	0.035cd	1.85d	0.37e	0.128ed	0.507e	2322.9d
	Goldasht	7.89e	0.27d	2.04cd	0.48ed	0.136cde	0.525de	2366.7d
	Mahally Esfahan	10.15cd	0.041bc	2.37bcd	0.51b	0.149cd	0.659c	2672.9c
	Faraman	7.86e	0.0361cd	2.41bc	0.35e	0.120ed	0.512e	2605.7cd
	Parneyan	12.15 bcd	0.043bc	2.43bcd	0.58b	0.21b	0.778bc	2660.6c

of Safflower cultivars at two irrigation levels and different cytokinin concentrations

درصد، تفاوت معنی داری با میانگین‌های دارای حرف مشابه در یک ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال، پنج درصد. Means with the same letter(s) in the same column are not significantly different at 5% of probability level, according to Duncan multiple range test.

می‌باشد (Kumari *et al.*, 2018). عامل اصلی کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها و آسیب به مجموعه عوامل بیوشیمیایی تثبیت کننده دی‌اکسیدکربن است (Tang *et al.*, 2017) و کاهش سرعت فتوسنتز در طول دوره تنش خشکی ممکن است صرف نظر از تأثیر عوامل روزنه‌ای، به علت کاهش فعالیت روبیسکو، جلوگیری از واکنش‌های فتوشیمیایی و کاهش محتوای کلروفیل برگ نیز باشد (Reddy *et al.*, 2004).

کارایی کربوکسیلاسیون

سطوح آبیاری ($p \leq 0.01$)، هورمون پاشی ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل سطوح آبیاری و رقم ($p \leq 0.01$) بر کارایی

سرعت فتوسنتز

اثر سطوح آبیاری ($p \leq 0.05$)، رقم ($p \leq 0.01$)، هورمون-پاشی ($p \leq 0.05$) و اثر متقابل سطوح آبیاری و رقم ($p \leq 0.01$) بر سرعت فتوسنتز معنی دار بود (جدول ۱). رقم سینا هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در تنش خشکی، بیشترین سرعت فتوسنتز را داشت (جدول ۲). تنش خشکی در رقم های پرنیان، سینا، محلی اصفهان، فرامان و گلدشت به ترتیب باعث کاهش ۳۴/۶ و ۳۹/۶، ۲۷/۸، ۳۴/۵، ۷۹/۷ درصدی سرعت فتوسنتز نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول ۳). علامت فوری تنش خشکی در گیاهان، بسته شدن روزنه‌ها به صورت جزئی یا کامل است که علت اصلی کاهش جذب CO_2

رقم ($p \leq 0.05$) نیز بر محتوی کارتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش خشکی به ترتیب باعث کاهش ۲۳، ۱۷ و ۲۷ درصدی کلروفیل a، b و کل در رقم فرامان، ۶۱، ۳۶ و ۳۷ درصدی در رقم گلدشت، ۲۷، ۰/۰۸ و ۲۳ درصدی در رقم محلی اصفهان، ۱۹، ۲۰ و ۳۷ درصدی در رقم پرنیان و ۱۸، ۰/۰۷ و ۱۸ درصدی در رقم سینا شد (جدول ۵). رقم سینا هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در تنش خشکی، بیشترین محتوی کلروفیل a، b و کل شد (جدول ۳). همچنین تنش خشکی باعث افزایش ۱۸ درصدی محتوی کارتنوئید نسبت به شرایط مطلوب آبیاری شد و در بین ارقام مورد مطالعه، رقم محلی اصفهان و سینا، بیشترین و گلدشت کمترین محتوی کارتنوئید را داشتند (جدول ۳). کاهش کلروفیل، یکی از علائم بارز تنش خشکی در برگ‌ها است (Dawood & Sadak, 2014) که به نوعی بیانگر اختلال در کلروپلاست‌هاست. کاهش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی از طریق کاهش فتوسنتز سبب افت عملکرد می‌شود (Anjum *et al.*, 2011). تنش خشکی می‌تواند باعث تنش اکسیداتیو شود (Sadak, 2016) که این فرایند می‌تواند نقش ویژه‌ای در تخریب غشای سلولی و کلروپلاستی، کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و متعاقب آن کاهش توانایی فتوسنتز را داشته باشد. در این راستا، گیاهان قادرند با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نظیر آنتوسیانین‌ها و کارتنوئیدها، از ساختارهای سلولی خود در برابر رادیکال‌های فعال تولید شده در شرایط تنش محافظت کنند (Bettaieb *et al.*, 2011). کاربرد ۷۵ و ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در شرایط آبیاری مطلوب، به ترتیب باعث افزایش ۴۴ و ۱۷ درصدی و در شرایط تنش خشکی نیز به ترتیب باعث افزایش ۲۳ و ۱۰ درصدی محتوی کلروفیل b شد (شکل ۳). تحقیقات اخیر، نشان دهنده تأثیر مطلوب سیتوکینین بر رنگیزه‌های فتوسنتزی است. بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی با کاربرد سیتوکینین تحت شرایط تنش در گیاه گندم (Sarfraz Ardakani, 2019; Zaheer *et al.*, 2019) و بادمجان (Opabode & Owojori, 2018) بیانگر تأثیر مطلوب این هورمون در شرایط تنش

کربوکسیلاسیون معنی‌دار بود (جدول ۱). اعمال تنش خشکی در رقم‌های سینا، گلدشت، محلی اصفهان، پرنیان و فرامان، به ترتیب باعث کاهش ۴۰ و ۴۴، ۱۷، ۵۲، ۳۲ درصدی کارایی کربوکسیلاسیون نسبت به سطوح آبیاری مطلوب شد (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب، رقم فرامان و پرنیان به ترتیب با میانگین‌های ۰/۰۵۵ و ۰/۰۵۷ میلی مول بر مترمربع بر ثانیه، بیشترین کارایی کربوکسیلاسیون بودند و رقم پرنیان، هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در تنش خشکی، کارایی کربوکسیلاسیون بالاتری نسبت به دیگر ارقام داشت و به نظر می‌رسد که رقم پرنیان در بین ارقام مورد مطالعه، نسبت به تنش خشکی متحمل‌تر باشد. بدیهی است کمبود آب با بسته شدن روزنه‌ها و افت تعرق و کاهش سرعت فتوسنتز، کاهش عملکرد را سبب می‌شود (جدول ۳).

کارایی مصرف آب فتوسنتزی

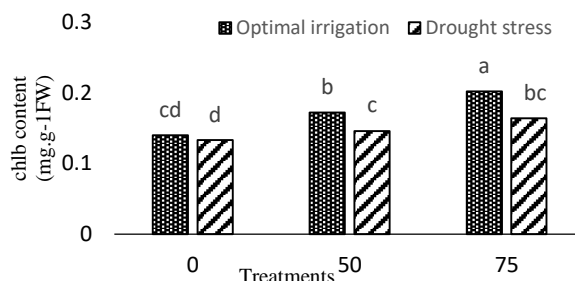
اثر سطوح آبیاری ($p \leq 0.01$)، رقم ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل سطوح آبیاری و رقم ($p \leq 0.01$) بر کارایی مصرف آب فتوسنتزی معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش خشکی سبب کاهش ۳۶ درصدی کارایی مصرف آب فتوسنتزی در رقم فرامان، ۴۰ درصدی در گلدشت، ۲۶ درصدی در پرنیان و ۱۳ درصدی در رقم سینا شد (جدول ۳). کمترین کاهش به رقم محلی اصفهان (۰/۰۴ درصدی) تعلق داشت (جدول ۳). کاهش کارایی مصرف آب در زمان تنش به این دلیل است که میزان کاهش فتوسنتز در این شرایط، بیشتر از کاهش تعرق بوده است. در شرایط تنش، میزان فتوسنتز بر اثر دو دسته عوامل روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای کاهش می‌یابد، درحالی که تعرق گیاه فقط به علت بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد (Hamzehzarghani & Kazemeini, 2011).

محتوی کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید

اثر سطوح آبیاری ($p \leq 0.05$)، رقم ($p \leq 0.01$) و هورمون پاشی ($p \leq 0.01$) بر محتوی کلروفیل a، b و کل، اثر متقابل سطوح آبیاری و رقم ($p \leq 0.05$) بر محتوی کلروفیل a، b و کل و اثر متقابل سطوح آبیاری و هورمون پاشی ($p \leq 0.01$) بر محتوی کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر سطوح آبیاری ($p \leq 0.05$) و

فعال فتوسنتزی بسیار مهم است (Kumari *et al.*, 2018).

خشکی است. علاوه بر این، کاربرد سیتوکنین منجر به تجمع کلروفیل شده و باعث تبدیل ایتوپلاست‌ها به کلروپلاست می‌شود که برای حفظ سطح برگ سبز



شکل ۳- اثر متقابل سطوح آبیاری و هورمون پاشی بر محتوی کلروفیل b. میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Figure 3. Interaction effects of irrigation levels and hormone spraying on the chlorophyll b content. Means with the same letter(s) in the same column are not significantly different at 5% of probability level, according to Duncan multiple range test.

گلرنگ در شرایط آبیاری مطلوب در ارقام مختلف یکسان بوده و تفاوت معنی‌داری بین ارقام از لحاظ عملکرد دانه مشاهده نشد و این درحالی‌ست که در شرایط تنش خشکی عملکرد دانه به درجات مختلف کاهش یافته است (Tahmasbpoure *et al.*, 2017) که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر، نشان دهنده اثرات نامطلوب تنش خشکی بر فتوسنتز، تبادلات گازی، محتوی کلروفیل و عملکرد دانه بود. تنش خشکی با تأثیر بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، سبب کاهش توان فتوسنتزی و عملکرد گلرنگ شد. در بین ارقام مورد مطالعه، رقم پرنیان هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم شرایط تنش خشکی، بالاترین محتوی کلروفیل و سرعت فتوسنتز را به خود اختصاص داد. رقم محلی اصفهان نیز هم در شرایط آبیاری مطلوب (میانگین ۳۶۷۷/۱ کیلوگرم در هکتار) و هم تنش خشکی (میانگین ۲۶۷۲/۹ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد دانه را داشت. کاربرد ۷۵ میکرومولار سیتوکنین، باعث افزایش در فتوسنتز، بهبود تبادلات گازی و محتوی کلروفیل شد. بیشترین عملکرد دانه با کاربرد ۷۵ میکرومولار سیتوکنین (میانگین

عملکرد دانه

اثر سطوح آبیاری ($p \leq 0.05$)، رقم ($p \leq 0.05$)، هورمون-پاشی ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل سطوح آبیاری و رقم ($p \leq 0.01$) بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). رقم محلی اصفهان و پرنیان در شرایط مطلوب آبیاری به ترتیب با میانگین‌های ۳۶۷۷/۱ و ۳۶۷۷/۸ کیلوگرم در هکتار) و در تنش خشکی به ترتیب با میانگین‌های ۲۶۷۲/۹ و ۲۶۶۰/۶ کیلوگرم در هکتار، بالاترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳). اعمال تنش خشکی باعث کاهش ۴۱/۲ درصدی در عملکرد دانه رقم فرامان، ۳۵/۲ درصدی در رقم سینا، ۳۶/۴ درصدی در رقم پرنیان ۳۵ درصدی در رقم گلدشت و ۳۷/۵ در رقم محلی اصفهان شد (جدول ۳). تنش خشکی از طریق کاهش آب برگ و بسته شدن روزنه‌ها، کاهش هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز و نیز کاهش غلظت کلروفیل، باعث کاهش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه و در نهایت منجر به افت عملکرد دانه شده است. بر اساس گزارشات، کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی، منجر به کاهش اسیمیلسیون کربن و در نتیجه کاهش عملکرد دانه خواهد شد (Dawood, 2018). کاهش عملکرد دانه گلرنگ بر اثر تنش خشکی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Ahmed & Suliman, 2010). عملکرد دانه

درصدی عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب شده است. همچنین هورمون سیتوکنین با تعدیل کردن اثرات نامطلوب تنش خشکی و با تأثیر مثبت بر صفات مرتبط با عملکرد، در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه گلرنگ و سایر صفات مورد مطالعه شده است.

۳۱۹۶/۰۸ کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش خشکی به دست آمد. این مطلب بیانگر آن است که کاربرد ۷۵ میکرومولار سیتوکنین با کاهش ۱۳/۷ درصدی دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای، افزایش ۲۳ درصدی کلروفیل b، ۱۳ درصدی سرعت فتوسنتز و ۳۴/۱ درصدی عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و ۲۷/۸

REFERENCES

- Ahmed, F. E. & Suliman, A. S. H. (2010). Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water-use efficiency of cowpea. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), 534-540.
- Alizadeh, A. (2002). Irrigation System Design. (8th Ed) (Revised). *Ferdowsi University Press*, 655p. (In Persian)
- Anjum, S. A., Xie, X., Farooq, M., Wang, L., Xue, L., Shahbaz, M. & Salhab, J. (2011). Effect of exogenous methyl jasmonate on growth, gas exchange and chlorophyll contents of soybean subjected to drought. *African Journal of Biotechnology*, 10(47), 9647-9656.
- Armand, N., Amiri, H. & Ismaili, A. (2016). Interaction of methanol spray and water-deficit stress on photosynthesis and biochemical characteristics of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry. *Photochemistry and Photobiology*, 92(1), 102-110.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris* L. *Plant physiology*, 24(1), 1. -15
- Basalma, D., Uranbey, S., Mirici, S. & Kolsarici, M. (2008). TDZ 9 IBA induced shoot regeneration from cotyledonary leaves and in vitro multiplication in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *African Journal of Biotechnology*, 7(8), 960-966.
- Bettaieb, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. & Marzouk, B. (2011). Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(4), 1103-1111.
- Beyyavas, V., Haliloglu, H., Copur, O. & Yilmaz, A. (2011). Determination of seed yield and yield components of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars, lines and populations under the semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology*, 10(4), 527-534.
- Cherniad'ev, I. (2009). The protective action of cytokinins on the photosynthetic apparatus and productivity of plants under stress (review). *Prikladnaia Biokhimiia I Mikrobiologiia*, 45(4), 389-402.
- Contour-Ansel, D., Torres-Franklin, M. L., Zuily-Fodil, Y. & De Carvalho, M. H. C. (2010). An aspartic acid protease from common bean is expressed 'on call' during water stress and early recovery. *Journal of Plant Physiology*, 167(18), 1606-1612.
- Dawood, M. G. (2018). Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(5), 245-254.
- Dawood, M. G. & Sadak, M. S. (2014). Physiological role of glycinebetaine in alleviating the deleterious effects of drought stress on canola plants (*Brassica napus* L.). *Middle East J. Agric. Res*, 3(4), 943-954.
- Emongor, V. (2010). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: a review. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(6), 299-306.
- Fariduddin, Q., Khanam, S., Hasan, S., Ali, B., Hayat, S. & Ahmad, A. (2009). Effect of 28-homobrassinolide on the drought stress-induced changes in photosynthesis and antioxidant system of *Brassica juncea* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(5), 889-897.
- Hamzehzarghani, H. & Kazemeini, S. (2011). An analysis of the exponential family models to predict yield loss of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) challenged with water stress and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.). *J.Agr.Sci.Teach*, 13, 989-1000.
- Hosseinzadeh, S., Amiri, H. & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54(1), 87-92.
- Hu, Y. Y., Zhang, Y. L., Yi, X. P., Zhan, D. X., Luo, H. H., Soon, C. W. & Zhang, W. F. (2014). The relative contribution of non-foliar organs of cotton to yield and related physiological characteristics under water deficit. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(5), 975-989.

18. Kumari, S., Kumar, S. & Prakash, P. (2018). Exogenous application of cytokinin (6-BAP) ameliorates the adverse effect of combined drought and high temperature stress in wheat seedling. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 1176-1180.
19. Kuppu, S., Mishra, N., Hu, R., Sun, L., Zhu, X., Shen, G. & Zhang, H. (2013). Water-deficit inducible expression of a cytokinin biosynthetic gene IPT improves drought tolerance in cotton. *PLoS One*, 8(5), 641-662.
20. Larcher, W. (1995). *Physiological plant ecology* (3th Ed.). Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
21. Mohammadi, M., Tavakoli, A. & Saba, J. (2014). Effects of foliar application of 6-benzylaminopurine on yield and oil content in two spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Plant Growth Regulation*, 73(3), 219-226.
22. Muraro, D., Byrne, H., King, J., Voß, U., Kieber, J. & Bennett, M. (2011). The influence of cytokinin–auxin cross-regulation on cell-fate determination in *Arabidopsis thaliana* root development. *Journal of Theoretical Biology*, 283(1), 152-167.
23. Opabode, J. T., & Owojori, S. (2018). Response of African eggplant (*Solanum macrocarpon* L.) to foliar application of 6-benzylaminopurine and gibberellic acid. *Journal of Horticultural Research*, 26(2), 37-45.
24. Qin, H., Gu, Q., Zhang, J., Sun, L., Kuppu, S., Zhang, Y. & Zhang, H. (2011). Regulated expression of an isopentenyltransferase gene (IPT) in peanut significantly improves drought tolerance and increases yield under field conditions. *Plant and Cell Physiology*, 52(11), 1904-1914.
25. Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. & Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161(11), 1189-1202.
26. Rivero, R. M., Shulaev, V. & Blumwald, E. (2009). Cytokinin-dependent photorespiration and the protection of photosynthesis during water deficit. *Plant Physiology*, 150(3), 1530-1540.
27. Sadak, M. S. (2016). Mitigation of drought stress on fenugreek plant by foliar application of trehalose. *International Journal of Chemistry Technology Research*, 9, 147-155.
28. Sarafraz, A. M. (2019). Effect of cytokinin and brassinosteroid on some biochemical and physiological traits of wheat cultivars under drought tension at generative stage. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 11(43), 5-24.
29. Sayd, S. S., Taie, H. A. & Taha, L. S. (2010). Micropropagation, antioxidant, activity total phenolics and content of *Gardenia Jasminoides ellis* as affected by growth regulators. *International Journal of Academic Research*, 2(3), 184-191.
30. Singh, A., Sangle, U. & Bhatt, B. (2012). Mitigation of imminent climate change and enhancement of agricultural system productivity through efficient carbon sequestration and improved production technologies. *Indian Farming*, 61(10), 5-9.
31. Tahmasbpour, B., Younessi-Hamzekhanlu, M., Mahdavisafa, D. & Sabzi Nojadeh, M. (2017). Grain yield performance of *Carthamus tinctorius* L. cultivars under water deficient condition. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 235-243.
32. Tang, Y., Sun, X., Wen, T., Liu, M., Yang, M. & Chen, X. (2017). Implications of terminal oxidase function in regulation of salicylic acid on soybean seedling photosynthetic performance under water stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 112, 19-28.
33. Werner, T., Nehnevajova, E., Köllmer, I., Novák, O., Strnad, M., Krämer, U. & Schmölling, T. (2010). Root-specific reduction of cytokinin causes enhanced root growth, drought tolerance, and leaf mineral enrichment in *Arabidopsis* and tobacco. *The Plant Cell*, 22(12), 3905-3920.
34. Werner, T. & Schmölling, T. (2009). Cytokinin action in plant development. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(5), 527-538.
35. Zaheer, M. S., Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Erinle, K. O., Iqbal, R. & Ahmad, S. (2019). Effect of rhizobacteria and cytokinins application on wheat growth and yield under normal vs drought conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(20), 2521-2533.