



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۳ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۳۳۴-۳۲۱

مقاله پژوهشی:

ارزیابی اثرات کاربرد ۶-بنزیل آمینوپورین بر تولید ارقام گلرنگ در شرایط تنش خشکی

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

۱. دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۳. استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۰۱

چکیده

به‌منظور بررسی امکان افزایش عملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ با کاربرد سیتوکینین، پژوهشی به‌صورت طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ اجرا شد. در این پژوهش سطوح آبیاری شامل آبیاری مطلوب و تنش خشکی در کرت‌های اصلی و ارقام گلرنگ شامل سینا، فرامان، پرنیان، گلدشت و محلی اصفهان و سه سطح سیتوکینین (۶-بنزیل آمینوپورین)، شامل عدم مصرف (شاهد)، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در مرحله گلدهی، هم‌زمان با اعمال تنش خشکی بوته‌های گلرنگ با سیتوکینین محلول‌پاشی شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، درصد روغن و عملکرد روغن شد و کاربرد سیتوکینین باعث به حداقل رساندن اثرات منفی تنش خشکی و افزایش در صفات فوق‌گردد. بالاترین عملکرد دانه با کاربرد ۷۵ میکرومولار با افزایش ۳۰/۷ درصدی نسبت به شاهد به‌دست آمد. رقم محلی اصفهان در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۳۶/۰۹ درصد نسبت به ارقام دیگر دارای بیش‌ترین درصد روغن بود. بنابراین کاربرد سیتوکینین را می‌توان به‌عنوان راه‌کاری جهت کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش عملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی پیشنهاد کرد.

کلیدواژه‌ها: اجزای عملکرد، درصد روغن، زیست‌توده، سیتوکینین، شاخص برداشت.

Evaluation of the Effects of 6-Benzyl Aminopurine Application on Safflower Cultivars Production under Drought Stress Conditions

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

1. Ph.D. Candidate, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2. Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3. Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: April 10, 2020

Accepted: July 22, 2020

Abstract

In order to evaluate the increment possibility of safflower seed yield and oil percentage through the application of cytokinin, a split factorial experiment has been conducted based on randomized complete block design with four replications at the research farm of Agriculture Faculty, the University of Zanjan, during the 2018-2019 and 2019-2020 cropping seasons. In this experiment, irrigation levels include optimal irrigation and drought stress to main plots and safflower cultivars, namely Sina, Faraman, Parnyan, Gholdasht, and Mahaly Esfahan, and three levels of cytokinin (6-Benzyl Aminopurine), including non-application (control), 50, and 75 μM , have been allocated to subplots as factorial. At the flowering stage, simultaneous with applying drought stress, safflower plants have been sprayed with 6-Benzyl Aminopurine. Results show that drought stress has decreased yield components, seed yield, biological yield, harvest index, oil percentage, and oil yield and the application of cytokinin minimizes the negative impacts of drought stress, while boosting the above traits. The highest seed yield has been obtained from applying 75 μM of cytokinin, with an increase of 30.7% compared to the control. Also, among the studied cultivars, the Mahaly Esfahan cultivar under optimal irrigation with an average of 36.09% shows a higher oil percentage, compared to other cultivars. Therefore, the use of cytokinin can be suggested as a solution to decrease the negative effects of drought stress and enhance seed yield and oil percentage of safflower under optimal irrigation and drought stress conditions.

Keywords: Biological yield, cytokinin, harvest index, oil percentage, yield components.

۱. مقدمه

پاسخ به تنش استفاده می‌کنند (Zwack & Rashotte, 2015). سیتوکین‌ها گروهی از هورمون‌ها هستند که بر بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک و نمو تأثیر می‌گذارند. سیتوکین‌ها در کنترل تقسیم سلولی، انتقال مواد غذایی، غالبیت انتهایی، تشکیل و فعال‌سازی مریستم انتهایی، نمو گل، شکستن خواب جوانه و جوانه‌زنی بذر نقش مهمی ایفا می‌کنند (Mazid et al., 2011; Wani et al., 2016). کاربرد سیتوکینین تحت شرایط تنش خشکی سبب افزایش عملکرد دانه، سطح برگ، عملکرد زیست‌توده، محتوای نسبی آب برگ و وزن هزاردانه گندم شد (Nagar et al., 2015). کاربرد سیتوکینین علاوه بر تأثیر مثبت بر تنش خشکی از طریق افزایش تحمل به خشکی با تأخیر در پیری برگ و افزایش پایداری غشا سلولی می‌شود. گزارش شده که کاربرد سیتوکینین در مرحله زایشی باعث افزایش انتقال اسمیلات در برگ‌ها در گیاه یاتروفا شده است (Pan & Xu, 2011). کاربرد ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در طی گلدهی گلرنگ در شرایط آبیاری مطلوب، حدود ۱۴۰ روز پس از کاشت بسیار مؤثر بوده و باعث افزایش عملکرد، وزن صدانه و ضریب شکست در روغن شده است (Ullah & Bano, 2011). نتایج کاربرد سیتوکینین بر گیاه گلرنگ نشان داد که تیمار ۷۵ میکرومولار سیتوکینین باعث افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه شد (Mohammadi et al., 2014). با توجه به اهمیت گیاه گلرنگ در تغذیه انسان، با تأمین امنیت غذایی، کاهش وابستگی به واردات دانه‌های روغنی و هم‌چنین مقاومت بالای آن به شرایط نامساعد محیطی، پژوهش‌ها روی سازگاری و قابلیت کشت گیاه گلرنگ در داخل کشور ضروری است. هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان افزایش عملکرد دانه و درصد روغن با کاربرد سیتوکینین در دو شرایط آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی بود.

افزایش جمعیت جهان، چالش‌های عمده‌ای را در بخش کشاورزی به‌منظور تأمین امنیت غذایی ایجاد کرده است (Smol, 2012). با توجه به افزایش جمعیت و مصرف سرانه روغن، در کشور ما ایران با وجود تولید داخلی دانه‌های روغنی، بخش عمده‌ای از روغن مورد نیاز کشور از خارج کشور تأمین می‌شود. گلرنگ یکی از دانه‌های روغنی جهان است که متعلق به خانواده Asteraceae می‌باشد، از بذره‌های آن برای استخراج روغن و غذای پرندگان استفاده می‌شود (Emongor, 2010). گلرنگ بومی ایران بوده و به‌دلیل قابلیت‌هایی نظیر سازگاری بالا با شرایط نامساعد، مقاومت به شوری و خشکی و هم‌چنین داشتن روغنی با کیفیت موردتوجه می‌باشد (Mohammadi et al., 2014).

در کشور ما تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین تنش تأثیرگذار بر گیاهان زراعی معرفی شده است. خشکی را به‌عنوان یک عامل تنش‌زای محیطی می‌توان فقدان یا کمبود نزولات جوی و به‌عبارتی کمبود رطوبت در محیط ریشه تعریف نمود، که موجب کاهش محصول می‌شود (Hu et al., 2014). عملکرد دانه از آبیاری در طول فصل رشد تأثیر می‌پذیرد، به‌طوری‌که همه فرایندهای 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 مرحله گلدهی در گلرنگ حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی است. پژوهش‌ها در مورد اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه در مناطق مختلف نشان می‌دهد که عملکرد دانه گلرنگ در این شرایط از ۱ تا ۳/۳ تن در هکتار متغیر است و تنش خشکی باعث کاهش عملکرد در گیاه گلرنگ می‌شود (Beyyavas et al., 2011).

گیاهان از مکانیسم‌های پیچیده و گوناگونی جهت

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه غربی و ارتفاع ۱۵۹۴ متری از سطح دریا در سال‌های زراعی ۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷ به صورت طرح 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 تیمار تنش خشکی) به عنوان فاکتور اصلی و فاکتورهای فرعی شامل پنج رقم گلرنگ (سینا، گلدشت، فرامان، پرنیان و محلی اصفهان) و محلول‌پاشی

با هورمون سیتوکنین (۶-بنزیل آمینوپورین، شرکت سیگما آلدیج، ساخت کشور ایالات متحده آمریکا) در سه سطح (صفر (شاهد)، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) انجام شد. در بین ارقام نیز رقم پرنیان، رقم اصلاح شده جدید برای اولین بار در منطقه زنجان کاشته شد. ارقام مورد استفاده گلرنگ از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. اطلاعات هواشناسی زنجان در دو سال زراعی و نیز برخی ویژگی‌های مرتبط با خاک محل اجرای پژوهش در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است. آماده‌سازی زمین در اسفندماه سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد. بذور در بیستم فروردین‌ماه کاشته و بلافاصله آبیاری انجام شد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های مرتبط با خاک محل اجرای آزمایش

| بافت خاک | اسیدیته (PH) | هدایت الکتریکی (ds/m) | ماده آلی (%) | آهک (%) | نیترژن (%) | فسفر (ppm) | پتاسیم (ppm) |
|----------|--------------|-----------------------|--------------|---------|------------|------------|--------------|
| لوم شنی | ۷/۶ | ۱/۲ | ۱/۷۵ | ۱۵/۲ | ۰/۲ | ۸/۴ | ۱۵۶ |

جدول ۲. اطلاعات هواشناسی زنجان در طی ماه‌های اجرای آزمایش

| اطلاعات | فروردین (April) | اردیبهشت (May) | خرداد (June) | تیر (July) | مرداد (August) | شهریور (September) |
|--------------------------|-----------------|----------------|--------------|------------|----------------|--------------------|
| ۱۳۹۶-۱۳۹۷ | | | | | | |
| مجموع بارش ماهانه (cm) | ۰/۴۵ | ۲/۲ | ۱/۳۸ | ۰ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۵ |
| میانگین دمای ماهانه (°C) | ۱۱/۸ | ۱۳/۳ | ۱۶/۲ | ۲۶/۳ | ۲۵/۸ | ۲۱/۸ |
| حداکثر دما (°C) | ۱۸/۷۴ | ۲۸/۶ | ۳۰/۱ | ۳۵/۲ | ۳۸/۶ | ۳۰/۴ |
| حداقل دما (°C) | ۴/۲ | ۸/۴ | ۱۳/۶ | ۱۸/۶ | ۱۷/۴ | ۱۷/۶ |
| رطوبت نسبی (%) | ۴۶/۸ | ۶۱/۵ | ۵۷/۹ | ۳۵/۷ | ۴۱/۳ | ۴۲/۳ |
| ۱۳۹۷-۱۳۹۸ | | | | | | |
| مجموع بارش ماهانه (cm) | ۲/۷ | ۲/۶ | ۰/۱۹ | ۰/۰۷ | ۰ | ۰/۰۱ |
| میانگین دمای ماهانه (°C) | ۹/۵ | ۱۲/۸ | ۱۵/۸ | ۲۴/۴ | ۲۵ | ۲۰/۸ |
| حداکثر دما (°C) | ۱۵/۳ | ۲۴/۴ | ۲۸/۶ | ۳۳/۸ | ۳۵/۸ | ۳۰/۱ |
| حداقل دما (°C) | ۳/۷ | ۷/۶ | ۱۱/۱ | ۱۶/۹ | ۱۶/۳ | ۱۲/۸ |
| رطوبت نسبی (%) | ۶۷/۳ | ۵۶/۴۸ | ۴۸/۹۶ | ۲۴/۶ | ۴۰/۴۳ | ۴۵/۹۸ |

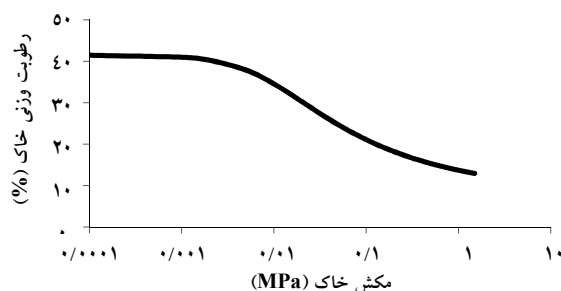
اشاره شده (صفر (شاهد)، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) هم‌زمان با اعمال تنش خشکی و سه بار به فاصله پنج روز یک‌بار در هنگام غروب آفتاب انجام شد. به منظور کاهش کشش سطحی آب و در نتیجه جذب بهتر، مقدار پنج سی‌سی ماده توئین ۲۰ رقیق شده (۰/۰۱ درصد) به مخزن سمپاش اضافه شد. تیمار شاهد (غلظت صفر) شامل اسپری با آب مقطر بدون استفاده از هورمون سیتوکینین بود. برای به‌دست‌آوردن اجزای عملکرد، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی پنج بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب شده و سپس صفات مربوط به اجزای عملکرد شامل تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در مرحله رسیدگی کامل از هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای، به اندازه دو مترمربع از وسط کرت‌ها برداشت شد، سپس کل بوته‌های برداشت‌شده توزین شد، تا عملکرد زیست‌توده به‌دست آمد و بعد از خرم‌ن‌کوبی و بوجاری عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری درصد روغن از روش سوکسله استفاده شد (Ullah & Bano, 2011). شاخص برداشت و عملکرد روغن نیز پس از انجام این اندازه‌گیری‌ها محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS (نسخه ۹٫۱) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel (2013) ترسیم شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. تعداد طبق در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تفاوت معنی‌داری بین سال آزمایش، شرایط آبیاری، رقم، هورمون‌پاشی، اثر متقابل شرایط آبیاری در سال، اثر متقابل شرایط آبیاری در رقم و اثر متقابل رقم در سال بود (جدول ۳). مقایسه

تا مرحله ۵۰ درصد گلدهی آبیاری در تمام کرت‌ها به‌صورت یکسان انجام شد و جهت اعمال تنش خشکی آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی در کرت‌های تنش خشکی 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 بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و توزین شد. پس از توزین اولیه (وزن مرطوب خاک)، نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس دوباره توزین شد تا میانگین وزن خشک‌شده به‌دست آید. سپس منحنی رطوبتی ارتباط بین درصد رطوبت وزنی و مکش خاک ترسیم شد (شکل ۱). هم‌چنین، تیمار شاهد به‌طور تقریبی هر هفته یک‌بار آبیاری شد، به‌گونه‌ای که رطوبت خاک در محدوده رطوبت سهل‌الوصول (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).



شکل ۱. منحنی رطوبتی خاک محل انجام پژوهش

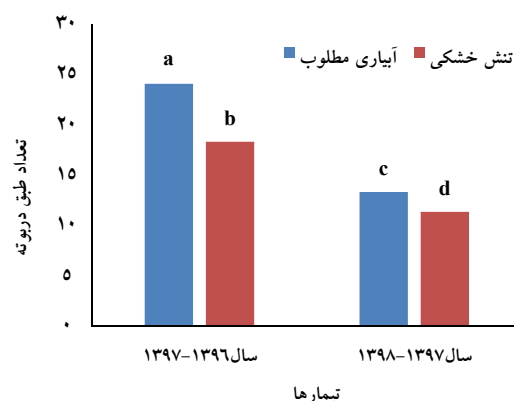
جهت اعمال تیمار سیتوکینین از ۶-بنزیل آمینوپورین استفاده شد. تیمار هورمون سیتوکینین در غلظت‌های

(جدول ۵). هم‌چنین کاربرد سیتوکنین باعث افزایش تعداد طبق در بوته نسبت به شاهد شد (جدول ۶). هم‌چنین، سیتوکنین با فراهم آوردن مواد غذایی برای گل‌های در حال تکامل، از طریق تأثیر بر تخلیه آوند آبکش باعث حفظ گل‌ها شده و از سقط آن‌ها جلوگیری کرده است. در پژوهش دیگری نیز کاربرد سیتوکنین با افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی سبب حفظ گل‌های بارور روی بوته و در نتیجه افزایش تعداد طبق در بوته در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی شده است (Ullah *et al.*, 2010).

۲.۳. تعداد دانه در طبق

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سال آزمایش، شرایط آبیاری، اثر متقابل شرایط آبیاری در رقم و اثر متقابل رقم در سال بر تعداد دانه در طبق معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل شرایط آبیاری در رقم بر تعداد دانه در طبق نشان داد که رقم محلی اصفهان در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۳۲/۷۳ بیش‌ترین تعداد دانه در طبق و رقم فرامان در شرایط تنش خشکی با میانگین ۱۷/۶۹ کم‌ترین تعداد دانه در طبق را داشتند (جدول ۴). از عوامل مؤثر در کاهش تعداد دانه در طبق می‌توان به کمبود آب، درجه حرارت بالا، کاهش مواد فتوسنتزی و نارس بودن اشاره کرد (Telahigue *et al.*, 2017). اعمال خشکی در مرحله گلدهی باعث خشک شدن دانه گرده و افت میزان گل تلقیح شده و در نتیجه باعث افزایش درصد دانه‌های پوک در طبق و کاهش تعداد دانه در طبق شده است (Ahmed & Suliman, 2010). هم‌چنین، اثر متقابل رقم در سال بر تعداد دانه در طبق نیز نشان داد که رقم محلی اصفهان با افزایش ۸۱/۶ درصدی بیش‌ترین و رقم فرامان با کاهش ۲۶/۲۳ کمترین تعداد دانه در طبق را در سال دوم داشتند (جدول ۵). قابلیت سازگاری با محیط و استفاده بهینه از شرایط مساعد محیطی می‌تواند دلیلی بر واکنش متفاوت ارقام مختلف نسبت به تولید دانه در هر طبق باشد.

میانگین اثر متقابل شرایط آبیاری در سال نشان داد که اعمال تنش خشکی در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب باعث کاهش ۳۱ و ۱۷ درصدی تعداد طبق در بوته شد، که این اختلاف می‌تواند احتمالاً به دلیل تفاوت در شرایط آب‌وهوایی در دو سال آزمایش باشد (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط آبیاری در سال بر تعداد طبق در بوته.

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

کاهش تعداد طبق در بوته در شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش فتوسنتز و عدم فراهمی منابع باشد که باعث ریزش طبق‌ها و یا عقیم ماندن دانه‌های داخل طبق‌ها می‌شود (Ghamarnia & Soohri, 2010). رقم سینا و گلدشت هم در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد طبق را داشتند، و این در حالی است که در شرایط تنش خشکی به ترتیب کاهش ۱۸/۳۹ و ۴۸/۴۹ درصدی تعداد طبق در بوته را داشتند (جدول ۴).

هم‌چنین، رقم سینا در هر دو سال آزمایش نسبت به ارقام دیگر بیش‌ترین تعداد طبق در بوته را داشت

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد و عملکرد اثرات کاربرد ۶-بنزیل آمینوپورین بر تولید ارقام گلرنگ در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

| منبع تغییرات | درجه آزادی | تعداد طبق در بوته | تعداد دانه در بوته | وزن هزار دانه | عملکرد دانه | عملکرد زیست توده | شاخص برداشت | درصد روغن | عملکرد روغن |
|----------------------------------|------------|-------------------|--------------------|---------------|---------------|------------------|-------------|-----------|---------------|
| سال | ۱ | ۶۶۲/۲۵** | ۱۶۹۷/۶۵** | ۸۲۴/۵۲** | ۲۴۰۶۰۰۳/۷۵ns | ۵۵۰۵۶۲۶۶۰/۴۲ns | ۹/۱۲۲ns | ۳۵۴۳/۰۹** | ۴۸۶۴۸۷۹/۷۱۵** |
| تکرار × سال | ۶ | ۶۲/۹۹ | ۳۳۰/۵۸ | ۸۶۱/۸۸ | ۱۳۰۱۸۴۳/۵۴ | ۳۰۵۴۰۸۱۵/۸ | ۶۹/۲۳ | ۳۷/۴۶ | ۱۰۱۸۰۷/۹۹۴ |
| آبیاری | ۱ | ۳۷۶/۵۰۱** | ۵۳۷/۱۱۹** | ۶۲۹/۷۵** | ۳۰۳۱۷۰۴۱/۶۷** | ۲۶۹۵۷۹۲۰/۶۷* | ۳۷۶/۸۷* | ۱۹۲/۶۷* | ۵۷۲۹۴۲۲۳۹** |
| آبیاری × سال | ۱ | ۶۴۲/۲۲۸** | ۸۸۳/۱ns | ۸۶۱/۵۷** | ۶۷۰۰۰/۴۲ns | ۶۴۳۲۱۰۰/۴ns | ۵/۱۵۹ns | ۹۵/۱۸ns | ۱۴۷۳/۵۹ns |
| خطای اصلی | ۶ | ۳۶/۹۶ | ۳۸۹/۹۵ | ۶۹/۳۲ | ۹۰۶۵۷۱/۶۰ | ۲۹۴۱۳۰۳۰/۸ | ۵۴/۹۲ | ۲۵/۹۱ | ۹۰۶۵۷۱/۶۰ |
| رقم | ۴ | ۱۲۵/۷۴** | ۶۹/۷۱ns | ۱۲۹۵/۰۸** | ۲۶۶۶۵۶۱/۶۱** | ۸۰۹۷۴۳۸۹/۸** | ۴۰/۹۵۴* | ۳۷۴/۴۴** | ۲۶۶۶۵۶۱/۶۱** |
| هورمون پاشی | ۲ | ۷۴۲/۱۹** | ۳۷/۳۴۴۸ns | ۴۱۹/۴۷** | ۱۳۰۹۷۳۳۷/۶۰** | ۲۴۲۰۹۱۲۳/۹* | ۴۴۴/۸۸** | ۲۶۵/۱۴** | ۱۳۰۹۷۳۳۷/۶۰** |
| آبیاری × رقم | ۴ | ۱۳۰/۶۹** | ۳۴۸/۴۱** | ۱۳۱۴/۱۸** | ۷۷۱۷۹۷/۶۰* | ۱۵۹۸۲۲۴۷/۹* | ۲۵/۷۳۵ns | ۵/۵۴** | ۷۷۱۷۹۷/۶۰* |
| آبیاری × هورمون پاشی | ۲ | ۱۶/۴۲ns | ۶/۶۵ns | ۱۶/۱۶ns | ۲۱۱۰۱۹/۴۸ns | ۱۸۶۹۵۲۲/۶ns | ۱۳/۹۴۱ns | ۳۸/۳۰** | ۲۱۱۰۱۹/۴۸ns |
| رقم × هورمون پاشی | ۸ | ۵/۸ns | ۸۹/۸۷ns | ۲/۸۲ns | ۳۹۲۷۴۰/۹۹ns | ۳۶۷۵۷۸۷/۸ns | ۱۸/۱۸۶ns | ۷/۷۴ns | ۳۹۲۷۴۰/۹۹ns |
| آبیاری × رقم × هورمون پاشی | ۸ | ۱۰/۵۲ns | ۳۹/۸۳ns | ۳/۷ns | ۴۱۵۸۱۴/۷۹ns | ۶۳۸۴۴۳/۳ns | ۲۳/۵۰۲ns | ۸/۷۵ns | ۴۱۵۸۱۴/۷۹ns |
| رقم × سال | ۴ | ۱۰۰/۱۳۲* | ۵۷۰/۹۹** | ۳۷/۸۹ns | ۲۹۰۰۰۴۸/۵۶** | ۴۸۲۱۵۷۸۹/۹** | ۴/۷۹ns | ۹/۵۸ns | ۲۹۰۰۰۴۸/۵۶** |
| هورمون پاشی × سال | ۲ | ۳۳/۹۳ns | ۶۸/۷۸۲ns | ۲۲/۷۳ns | ۱۴۲۷۶۰۹/۰۶* | ۱۶۶۹۳۷۰/۶/۴ns | ۸/۳۰ns | ۲۶/۲۶ns | ۱۴۲۷۶۰۹/۰۶ns |
| آبیاری × رقم × سال | ۴ | ۱۰/۲۵ns | ۷۷/۵۶ns | ۳/۵ns | ۱۸۷۹۰۳/۰۱ns | ۹۶۲۷۰۷/۹ns | ۱۳/۷۲ns | ۶/۶۱ns | ۱۸۷۹۰۳/۰۱ns |
| آبیاری × هورمون پاشی × سال | ۲ | ۱۹/۵۰ns | ۱۴۸/۶۴ns | ۶/۰۴ns | ۷۲۲۸۸۸/۸۵ns | ۱۴۷۷۱۷۸۰/۹ns | ۲۱/۱۱ns | ۲۴/۰۳ns | ۷۲۲۸۸۸/۸۵* |
| رقم × هورمون پاشی × سال | ۸ | ۶/۵۲ns | ۹۴/۱۳ns | ۷/۶ns | ۱۵۷۹۶۷/۴ns | ۳۳۲۲۹۰/۱۰ns | ۶/۸۲ns | ۵/۳ns | ۱۵۷۹۶۷/۴ns |
| آبیاری × رقم × هورمون پاشی × سال | ۸ | ۱۹/۰۶ns | ۷۵/۳۵ns | ۳/۶ns | ۴۲۴۲۶۱/۵۱ns | ۲۵۴۷۶۲۷/۲ns | ۲۱/۲۹ns | ۵/۴ns | ۴۲۴۲۶۱/۵۱ns |
| خطای کل | ۱۶۴ | ۲۱/۹۴ | ۸۷/۳۴ | ۱۱/۸۸ | ۳۳۰۹۳۱/۹ | ۷۰۴۸۰۰۶ | ۱۹/۵۹ | ۵/۱۲۸ | ۳۳۰۹۳۱/۹ |
| ضریب تغییرات (%) | | ۲۱/۹۴ | ۲۴/۸۷ | ۸/۸۴ | ۱۹/۱۳ | ۲۰/۳۳ | ۲۰/۳۳ | ۶/۹۵ | ۱۹/۳۱ |

ns * و **: به ترتیب نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی دار، وجود تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط آبیاری در رقم اجزای عملکرد و عملکرد اثرات کاربرد ۶-بنزیل آمینوپورین بر تولید ارقام گلرنگ در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

| شرایط آبیاری | رقم | تعداد طبق در بوته | تعداد دانه در طبق | وزن هزار دانه (g) | عملکرد دانه (kg h ⁻¹) | عملکرد زیست توده (kg h ⁻¹) | درصد روغن (%) | عملکرد روغن (kg h ⁻¹) |
|--------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|--|---------------|-----------------------------------|
| سینا | ۲۲/۵۹a | ۲۶/۶۳b | ۳۴/۸e | ۳۱۹۵abc | ۱۳۰۲۸/۱ab | ۳۵/۹۲a | ۱۱۵۴/۵۷a | |
| پرنیان | ۱۸bcd | ۲۴/۲۴bc | ۴۳/۵۸c | ۳۲۵۶۷ab | ۱۳۶۴۹/۲ab | ۳۰/۳۱de | ۹۳۳/۰۳bc | |
| آبیاری مطلوب | ۱۹/۲۵b | ۳۲/۷۳a | ۲۸/۶۶f | ۳۲۴۳/۸ab | ۱۴۱۵۰a | ۳۶/۷۷a | ۱۲۰۰/۹۴a | |
| گلدشت | ۱۶/۷۵ed | ۲۴/۵۱bc | ۴۶/۶b | ۳۰۳۰/۲abcd | ۱۳۱۸۱/۳ab | ۳۲/۶۶bc | ۱۱۲۴/۲۴ab | |
| فرامان | ۱۶/۸۹cde | ۲۵/۳۴bc | ۵۴/۲۳a | ۳۳۶۵/۸a | ۱۳۵۵۸/۳ab | ۳۱/۵۵cd | ۹۶۰/۸۳c | |
| سینا | ۱۹/۰۸bc | ۲۰/۷۸cd | ۳۰/۲۲f | ۲۹۴۹cde | ۱۲۹۷۷/۵ab | ۳۳/۹۳b | ۹۸۴/۵۱c | |
| پرنیان | ۱۲/۹۲fg | ۱۹/۹۶cd | ۴۰/۵۵d | ۲۸۷۴/۴cde | ۱۳۱۸۲/۳ab | ۲۹/۰۸e | ۸۹۱/۳۸cd | |
| تنش خشکی | ۱۶/۲۸ed | ۲۵/۲۲cd | ۲۶/۲۶g | ۲۸۲۰/۸de | ۱۳۱۱۱/۵ab | ۳۵/۴۲a | ۱۰۲۰/۵۴bc | |
| گلدشت | ۱۱/۲۸g | ۲۳/۳۳bc | ۳۹/۴۸d | ۲۶۳۹/۶e | ۱۲۰۲۹/۸b | ۲۹/۷۷e | ۷۹۰/۳۹d | |
| فرامان | ۱۴/۶۴ef | ۱۷/۶۹d | ۴۵/۳۸bc | ۲۶۷۶de | ۱۲۰۲۳/۱b | ۳۰/۰۴e | ۸۰۹/۰۸d | |

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری با هم ندارند.

ارزیابی اثرات کاربرد ۶-بنزیل آمینوپورین بر تولید ارقام گلرنگ در شرایط تنش خشکی

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در سال اجزای عملکرد و عملکرد اثرات کاربرد ۶-بنزیل آمینوپورین بر تولید ارقام گلرنگ در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

| سال زراعی | رقم | تعداد طبق در بوته | تعداد دانه در طبق | عملکرد دانه (kg h ⁻¹) | عملکرد زیست توده (kg h ⁻¹) | عملکرد روغن (kg h ⁻¹) |
|-----------|-------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
| ۱۳۹۶-۱۳۹۷ | سینا | ۲۷/۳۰a | ۱۸/۶۴d | ۲۹۹۵/۸abc | ۱۲۴۳۱/۳a | ۹۳۴/۹۷c |
| | پرینان | ۱۹/۲۲c | ۲۲/۰۹d | ۲۸۸۹/۴bc | ۱۲۶۲۵/۶ab | ۷۴۰/۷۳d |
| | محلی اصفهان | ۲۳/۰۹b | ۲۰/۳۹d | ۲۷۶۴/۶bc | ۱۲۴۶۸/۸ab | ۹۱۵c |
| | گلدشت | ۱۸/۲۷c | ۲۱/۲۵d | ۲۸۸۹/۴bc | ۱۱۷۶۴/۲b | ۸۲۰/۴۳cd |
| | فرامان | ۱۷/۹۹c | ۲۴/۰۱bcd | ۳۰۰۸/۳abc | ۱۳۵۸۱/۳a | ۸۴۱/۷۵cd |
| ۱۳۹۷-۱۳۹۸ | سینا | ۱۶/۳۶c | ۲۸/۷۷b | ۳۰۴۹abc | ۱۲۹۷۴/۴ab | ۱۲۰۴/۱ab |
| | پرینان | ۱۱/۷ef | ۲۲/۱۱cd | ۳۳۶۶/۷a | ۱۴۲۰۴a | ۱۱۴۳/۶۸b |
| | محلی اصفهان | ۱۲/۴۵de | ۳۷/۰۳a | ۳۳۰۰a | ۱۴۲۰۱a | ۱۳۰۶/۴۸a |
| | گلدشت | ۹/۷۷f | ۲۲/۶bc | ۳۱۱۵/۴ab | ۱۳۶۸۸/۵a | ۱۰۹۴/۱۹b |
| | فرامان | ۱۴/۰۴d | ۱۹/۰۲d | ۲۶۹۷/۹c | ۱۲۵۹۱/۹ab | ۹۲۸/۱۶c |

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری با هم ندارند.

جدول ۶. مقایسه میانگین اجزای عملکرد و عملکرد اثرات کاربرد ۶-بنزیل آمینوپورین بر تولید ارقام گلرنگ در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

| سال زراعی | تعداد طبق در بوته | تعداد دانه در طبق | وزن هزارانه (g) | عملکرد دانه (kg h ⁻¹) | عملکرد زیست توده (kg h ⁻¹) | شاخص برداشت (%) | درصد روغن (%) | عملکرد روغن (kg h ⁻¹) |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------------|--|-----------------|---------------|-----------------------------------|
| ۱۳۹۷-۱۳۹۶ | ۲۱/۲۷a | ۲۱/۳۸۹b | ۳۷/۱۰b | ۲۹۰۵/۵a | ۱۲۵۷۴/۲a | ۲۲/۹۷a | ۲۸/۷۰b | ۸۵۰/۵۸b |
| | ۱۸/۳۶b | ۲۶/۷۰۸a | ۴۰/۸۵a | ۳۱۰۵/۸a | ۱۳۵۳۲/۱a | ۲۳/۳۶a | ۳۶/۳۹a | ۱۱۵۳/۳۲a |
| آبیاری مطلوب | ۱۸/۰۲a | ۲۵/۵۴a | ۴۱/۶۰a | ۳۳۶۱/۱a | ۱۴۱۱۳/۰a | ۲۴/۵۲a | ۳۳/۴۴a | ۱۱۴۷/۴۶a |
| | ۱۵/۵۱b | ۲۲/۵۵b | ۳۷/۳۶b | ۲۶۵۰/۳b | ۱۱۹۹۳/۳b | ۲۱/۹۱b | ۳۱/۴۱b | ۸۳۸/۴۴b |
| رقم | سینا | ۱۹/۱۶a | ۲۲/۸۳a | ۳۵/۵۳c | ۳۱۹۴/۳a | ۱۳۳۶۵/۴b | ۲۴/۰۶a | ۱۰۷۱/۸۹ab |
| | پرینان | ۱۵/۵b | ۲۳/۹۵a | ۴۱/۱۲b | ۲۸۴۱/۵bc | ۱۲۵۸۰/۵b | ۲۹/۶۹d | ۸۸۲/۵۰c |
| | محلی اصفهان | ۱۷/۷۴a | ۲۴/۶۲a | ۳۱/۹۳d | ۳۲۵۸/۸a | ۱۴۶۷۲/۵a | ۲۲/۰۵b | ۱۱۵۰/۰۳a |
| | گلدشت | ۱۵/۶۳b | ۲۳/۰۷a | ۴۱/۲۹b | ۲۶۹۷c | ۱۱۱۵۳/۱c | ۲۴/۱۹a | ۸۶۵/۸۶c |
| | فرامان | ۱۵/۸b | ۲۵/۷۸a | ۴۵/۰۱a | ۳۰۳۵/۹ab | ۱۳۴۹۴/۳b | ۲۲/۷۰ab | ۹۹۴/۴۷b |
| محلول پاشی سیتوکنین (میکرومولار) | شاهد | ۱۳/۳۸b | ۲۳/۵۵a | ۳۶/۳۷b | ۲۵۵۶/۸c | ۱۲۱۷۰/۸b | ۲۰/۴۴b | ۷۹۲/۲۸c |
| | ۵۰ | ۱۷/۶۵a | ۲۳/۸۵a | ۴۰/۸۷a | ۳۱۱۷/۵۶b | ۱۲۸۰۵/۱b | ۲۴/۵۱a | ۱۰۴۳/۵۶b |
| | ۷۵ | ۱۹/۲۷a | ۲۴/۸۲a | ۳/۳۹a | ۳۳۴۲/۵a | ۱۳۶۸۳/۶a | ۲۴/۵۵a | ۱۱۴۳/۰۱a |

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری با هم ندارند.

۳.۳. وزن هزاردانه

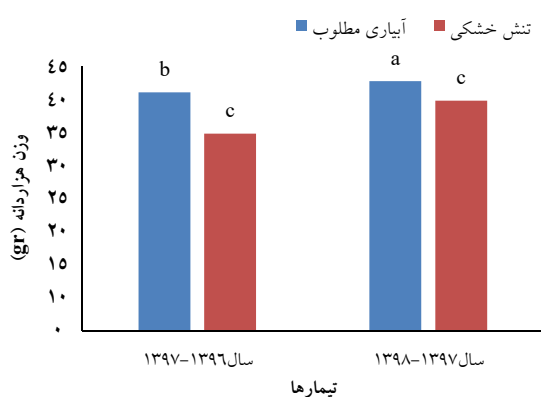
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین سال آزمایش، شرایط آبیاری، رقم، هورمون‌پاشی، اثر متقابل شرایط آبیاری در سال و اثر متقابل شرایط آبیاری در رقم بر وزن هزاردانه بود (جدول ۳). تیمار آبیاری مطلوب در سال دوم آزمایش با میانگین ۴۲/۵۳ گرم بیش‌ترین وزن هزاردانه و تیمار تنش خشکی در سال اول آزمایش با میانگین ۳۳/۵۹ گرم کم‌ترین وزن هزاردانه را داشت و تنش خشکی به‌ترتیب باعث کاهش ۲۱ و ۸ درصدی وزن هزاردانه در سال اول و دوم آزمایش شد (شکل ۳).

بررسی اثر متقابل آبیاری در رقم بر وزن هزاردانه نشان داد که رقم فرامان در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۵۴/۲۳ گرم بیش‌ترین وزن هزاردانه و رقم محلی اصفهان در شرایط تنش خشکی با میانگین ۲۶/۲۶ گرم کم‌ترین وزن هزاردانه را داشتند و این درحالی است که در تنش خشکی به ترتیب رقم فرامان و محلی اصفهان کاهش ۱۹/۵ و ۰/۰۹ درصدی وزن هزاردانه را داشتند (جدول ۴). تنش خشکی باعث کاهش تولید و انتقال اسیمیلات‌ها به دانه می‌شود. کاهش طول دوره رشد سبب پرنشیدن کامل دانه‌ها و تولید دانه‌های کوچک‌تر در شرایط تنش خشکی می‌شود و وزن دانه در شرایط تنش خشکی کم‌تر می‌گردد (Omid & Sepehri, 2014). هم‌چنین کاربرد سیتوکینین باعث افزایش وزن هزاردانه نسبت به شاهد شد (جدول ۶). بالاترین وزن هزاردانه با کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار سیتوکینین به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۱۲ درصدی را داشت و این در حالی بود که بین تیمار ۵۰ میکرومولار و ۷۵ میکرومولار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). مصرف خارجی سیتوکینین، در مراحل اولیه رشد دانه احتمالاً از طریق افزایش تقسیم سلولی، به تعویق‌انداختن پیری گیاه و افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در مراحل پرنشیدن دانه از طریق به تعویق‌انداختن پیری و افزایش دوره فعال رشد دانه موجب

افزایش وزن دانه‌ها شده است. به‌طورکلی می‌توان گفت که کاربرد سیتوکینین احتمالاً با افزایش طول مدت زمان پرنشیدن دانه و هم‌چنین افزایش سرعت پرنشیدن دانه که ناشی از افزایش فعالیت مخزن است، باعث ذخیره بیش‌تر مواد فتوسنتزی در دانه شده و وزن هزاردانه را افزایش داده است. افزایش وزن هزاردانه با کاربرد هورمون سیتوکینین با مطالعه روی ذرت (Mahrokh et al., 2019) و گلرنگ (Mohammadi et al., 2014) نیز گزارش شده است.

۴.۳. عملکرد دانه

اثر شرایط آبیاری، رقم، هورمون‌پاشی، اثر متقابل شرایط آبیاری در رقم، اثر متقابل رقم در سال و اثر متقابل هورمون‌پاشی در سال بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۳).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط آبیاری در سال بر وزن هزاردانه.

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

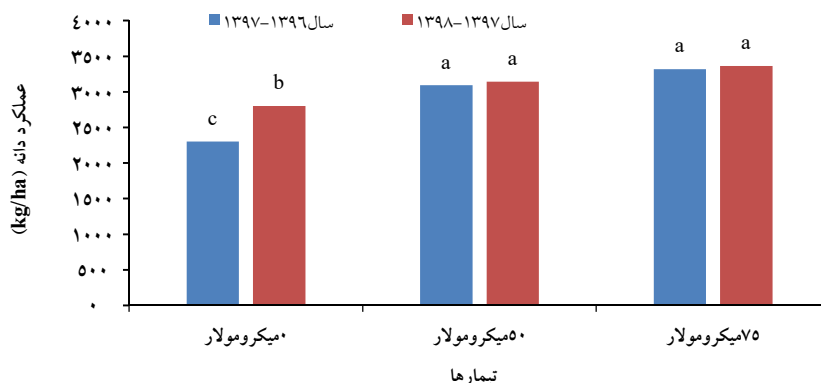
مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط آبیاری در رقم نشان داد که رقم فرامان و گل‌دشت به‌ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۳۳۶۵/۸ و ۳۰۳۰/۲ کیلوگرم بر هکتار بیش‌ترین و

حاصل شد که با کاربرد این غلظت در سال اول آزمایش و نیز کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار در هر دو سال آزمایش تفاوت معنی داری نداشت و کمترین عملکرد دانه با عدم کاربرد هورمون در سال اول آزمایش (با میانگین ۲۳۰۲/۵ کیلوگرم در هکتار) بود و این درحالی است که تیمار سیتوکینین به ترتیب در سال اول و سال دوم باعث افزایش ۴۴/۱ و ۱۹/۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۴). مصرف خارجی سیتوکینین در مرحله گل دهی و پر شدن دانه، احتمالاً از طریق تقسیم سلولی، افزایش ظرفیت فتوسنتزی و افزایش دوره فعال رشد دانه از طریق به تعویق انداختن پیری و افزایش دانه‌ها باعث افزایش عملکرد دانه شده است. در مرحله گلدهی، تخمدان‌های بارور شروع به رشد و تکامل می‌کنند و نیاز به تقسیم سلولی بیشتری می‌شود. از طرفی سلول‌های جدید به مواد غذایی بیشتری برای رشد و نمو خود احتیاج دارند، بنابراین باید میزان تولید و انتقال مواد غذایی برای دانه‌های در حال رشد افزایش یابد و سیتوکینین می‌تواند با افزایش تخلیه قندها از آوند آبکش و کمک به انتقال آن‌ها به آپوپلاست و اثر بر تحرک قندهای ذخیره شده به تأمین مواد غذایی برای دانه‌های در حال رشد کمک نموده، از این طریق باعث حفظ تعداد بیشتری از دانه‌ها و ذخیره مواد غذایی بیشتری در آن‌ها شود و در نهایت باعث افزایش عملکرد شود (Zaheer et al., 2019).

۵.۳. عملکرد زیست توده

رقم در سال بر عملکرد زیست توده بود (جدول ۳). رقم محلی اصفهان در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۱۴۱۵۰/۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد زیست توده و رقم فرامان در شرایط تنش خشکی کمترین عملکرد زیست توده را داشتند. رقم سینا و فرامان به ترتیب با کاهش ۰/۰۷ و ۱۲/۷ بیشترین و کمترین عملکرد زیست توده را داشتند (جدول ۴).

کمترین عملکرد دانه و در شرایط تنش خشکی سینا و گلدشت به ترتیب با میانگین ۲۹۴۹ و ۲۶۳۹/۶ کیلوگرم بر هکتار بیشترین و کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد (جدول ۴). و این در حالی است که رقم فرامان و سینا به ترتیب در تنش خشکی کاهش ۲۵/۷ و ۰/۰۸ درصدی کاهش عملکرد را به خود اختصاص داد. به نظر می‌رسد رقم سینا توانسته در شرایط تنش خشکی عملکرد دانه بیشتری نسبت به دیگر ارقام داشته باشد و رقم متحمل تری نسبت به دیگر ارقام در شرایط تنش خشکی باشد. عملکرد دانه برابندی است از اجزای عملکرد آن یعنی تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن دانه‌ها و کاهش تولید مواد فتوسنتزی و لقاح گل‌ها در شرایط تنش خشکی، باعث کاهش تعداد طبق، تعداد دانه در طبق و وزن دانه‌ها شده و به دنبال کاهش این اجزاء، عملکرد دانه نیز کاهش می‌یابد (Ghamarnia & Soehri, 2010). یکی دیگر از دلایل مهم کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از محدودیت منبع یا مخزن باشد. به طور کلی، کاهش دوره پر شدن دانه، کوچک شدن دانه و کاهش وزن دانه از دلایل کاهش عملکرد در مرحله زایشی می‌باشد. از طرف دیگر هم کمبود آب منجر به کاهش شدید تجمع ماده خشک و تولید مخزن‌های ضعیف می‌شود که در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. گزارش دیگری هم حاکی از آنست که اعمال تنش در مرحله گلدهی باعث کاهش زیاد عملکرد دانه در گیاه گلرنگ شده است (Ahmed & Suliman, 2010). در بررسی اثر متقابل رقم در سال نیز ارقام محلی اصفهان، پرنیان، سینا و گلدشت در سال دوم و ارقام سینا و فرامان در سال اول بیشترین عملکرد دانه را داشتند و پایینترین عملکرد دانه نیز مربوط به رقم فرامان در سال دوم آزمایش بود (جدول ۵). هم‌چنین، در بررسی اثر متقابل هورمون پاشی در سال، بیشترین عملکرد دانه با کاربرد ۷۵ میکرومولار در سال دوم آزمایش (با میانگین ۳۳۶۵ کیلوگرم در هکتار)



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل هورمون پاشی در سال بر عملکرد دانه

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

۶.۳. شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار شرایط آبیاری، رقم و هورمون‌پاشی بر شاخص برداشت بود (جدول ۳). اعمال تنش خشکی باعث کاهش ۱۱/۹۱ درصد شاخص برداشت شد (جدول ۶). در شرایط آبیاری مطلوب بالا بودن قدرت منبع و مخزن منجر به افزایش شاخص برداشت شد، که ناشی از تشکیل تعداد زیادتر دانه در بوته بود که موجب اختصاص بیش‌تر مواد فتوسنتزی به دانه شد و در نتیجه شاخص برداشت افزایش یافت. کاهش شاخص برداشت در اثر تنش خشکی می‌تواند به‌علت کاهش عملکرد دانه که خود به‌علت کاهش طبق و تعداد دانه در طبق اتفاق می‌افتد، باشد. تغییرات شاخص برداشت وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد. از آنجایی‌که شاخص برداشت از نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیست‌توده حاصل می‌شود، هر عاملی که عملکرد دانه را بیش‌تر از وزن خشک کل تحت تأثیر قرار دهد باعث تغییر شاخص برداشت می‌شود (Doras & Sioulas, 2008). در بین ارقام مورد مطالعه، رقم گلدشت و سینا (با میانگین ۲۴/۱۹ و ۲۴/۰۶ درصد) بیش‌ترین شاخص برداشت و رقم محلی اصفهان (با میانگین ۲۲/۰۵ درصد) کم‌ترین شاخص برداشت را به‌خود اختصاص داد (جدول ۶).

کمبود آب باعث کاهش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی، ساخت و انتقال مواد پرورده می‌شود و این امر تجمع ماده خشک در گیاه و در نتیجه عملکرد زیست‌توده را کاهش می‌دهد. قطع آبیاری باعث آسیب بیش‌تری به روند تجمع ماده خشک و در نهایت عملکرد زیست‌توده می‌شود، کاهش تجمع ماده خشک یا عملکرد زیست‌توده با قطع آبیاری در گیاه گلرنگ توسط پژوهش‌گران دیگری نیز گزارش شده است (Eshghizade & Ehsanzadeh, 2009). هم‌چنین، در بررسی اثر متقابل رقم در سال نیز ارقام پرینان، محلی اصفهان و گلدشت در سال دوم و ارقام سینا و فرامان در سال اول آزمایش بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۵). تیمار ۷۵ میکرومولار سیتوکینین باعث افزایش ۱۲/۴۲ درصد در عملکرد زیست‌توده نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول ۶). بالا بودن ماده خشک تولیدی با کاربرد سیتوکینین می‌تواند به‌علت تأخیر در پیری برگ‌ها باشد، که با ایجاد منبع فیزیولوژیک کارآمد برای استفاده هرچه بیش‌تر از نور دریافتی و افزایش انتقال مواد پرورده به بخش‌های مختلف گیاه و افزایش تولید ماده خشک بیش‌تر شده است (Hussein et al., 2015).

بیشترین درصد روغن و تیمار عدم کاربرد هورمون هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی کمترین درصد روغن را داشتند (شکل ۵).

تیمار ۷۵ میکرومولار سیتوکینین در شرایط مطلوب آبیاری و تنش خشکی به ترتیب باعث افزایش ۱۵ و ۱۰ درصدی درصد روغن نسبت به شاهد شد، در حالی که بین تیمار ۷۵ میکرومولار و ۵۰ میکرومولار سیتوکینین اختلاف معنی داری مشاهده نشد. سیتوکینین، با افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و اسمیلاتها و تنظیم روابط منبع و مخزن باعث افزایش وزن هزاردانه شده است، در حالی که سیتوکینینها با افزایش انتقال شیره پرورده به دانه باعث افزایش مغز دانه به پوسته دانه می شوند، با افزایش مغز دانه به پوسته آن درصد روغن نیز افزایش می یابد. بنابراین سیتوکینینها هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی باعث کاهش اثرات ناشی از تنش و افزایش درصد روغن می شوند. کاربرد هورمون سیتوکینین باعث افزایش محتوی روغن گلرنگ در پژوهش دیگری نیز شده است (Ullah & Bano, 2011).

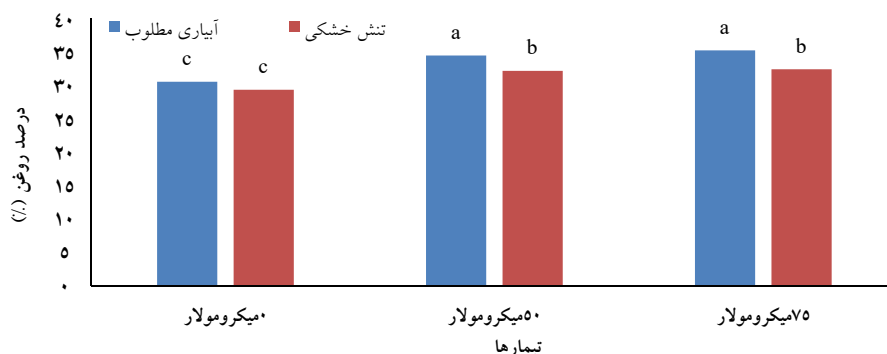
۸.۳. عملکرد روغن

اثر سال آزمایش، شرایط آبیاری، رقم، هورمون پاشی، اثر متقابل شرایط آبیاری در رقم، اثر متقابل رقم در سال و اثر متقابل شرایط آبیاری در هورمون پاشی در سال بر این صفت معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین دادهها برای اثر متقابل شرایط آبیاری در رقم نشان داد که رقم محلی اصفهان و سینا در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد روغن را داشتند (جدول ۴). رقم محلی اصفهان و سینا در تنش خشکی به ترتیب کاهش ۱۷/۲ و ۱۷/۶ درصدی را نسبت به آبیاری مطلوب داشتند. کاهش عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی ناشی از کاهش دو جز آن یعنی عملکرد دانه و درصد روغن و به طور عمده عملکرد دانه است (Koutroubas et al., 2009).

همچنین، اعمال سیتوکینین با غلظت ۷۵ و ۵۰ میکرومولار به ترتیب باعث افزایش ۲۰ و ۱۹/۹۱ درصدی در شاخص برداشت نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۶). افزایش شاخص برداشت با تیمار سیتوکینین در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است که مطابق با نتایج این آزمایش می باشد (Zaheer et al., 2019; Mohammadi et al., 2014). افزایش شاخص برداشت با کاربرد سیتوکینین را می توان به افزایش عملکرد دانه این گیاه در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی نسبت داد.

۷.۳. درصد روغن

نتایج تجزیه واریانس صفت درصد روغن نشان داد که درصد روغن تحت تأثیر سال آزمایش، شرایط آبیاری، رقم، هورمون پاشی، اثر متقابل شرایط آبیاری در رقم و اثر متقابل شرایط آبیاری در هورمون پاشی بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب ارقام محلی اصفهان و سینا به ترتیب با میانگینهای ۳۶/۷۷ و ۳۵/۹۲ درصد و در شرایط تنش خشکی نیز رقم محلی اصفهان به ترتیب با میانگین ۳۵/۴۲ درصد بیشترین درصد روغن را داشتند (جدول ۴). مهم ترین عاملی که برای کاهش درصد روغن در تنش خشکی می توان عنوان کرد این است که تنش خشکی باعث بروز اختلال در پر شدن دانهها شده و طول دوره پر شدن دانهها را کاهش می دهد، پس فرصت برای تجمع پروتئین در دانه فراهم شده و در نتیجه درصد روغن کاهش می یابد. در واقع تنش خشکی به ویژه در هنگام رسیدگی دانهها درصد روغن را کاهش و درصد پروتئین را افزایش می دهد و در این حالت فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئینها فراهم نمی شود (Ashrafi & Razmjoo, 2010). مقایسه میانگین دادهها در خصوص اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون پاشی نیز نشان داد که شرایط آبیاری مطلوب و تیمار ۷۵ میکرومولار سیتوکینین با میانگین ۳۵/۲۵ درصد،



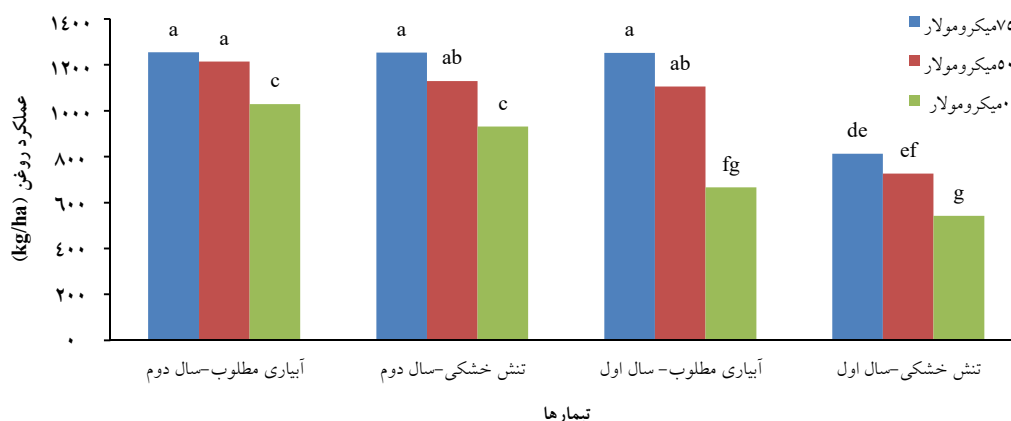
شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط آبیاری در هورمون پاشی بر درصد روغن

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

در بررسی اثر متقابل شرایط آبیاری در هورمون‌پاشی در سال نیز مشخص شد که کاربرد ۷۵ و ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در سال دوم هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی و کاربرد ۷۵ و ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در سال اول در شرایط آبیاری مطلوب بیش‌ترین عملکرد روغن را داشت، در حالی‌که تیمار ۷۵ میکرومولار سیتوکینین در شرایط آبیاری مطلوب به‌ترتیب در سال اول و دوم افزایش ۸۷ و ۲۲ درصدی و در تنش خشکی به‌ترتیب در سال اول و دوم افزایش ۴۹/۹ و ۳۴/۴ درصدی عملکرد روغن را داشت (شکل ۶). عملکرد روغن برابندی از درصد روغن و عملکرد دانه است و سیتوکینین‌ها از یک‌سو با افزایش انتقال شیره پرورده به دانه‌ها باعث افزایش عملکرد دانه و از سوی دیگر باعث افزایش درصد مغز دانه نسبت به پوسته دانه شده و درصد روغن را افزایش داده است، در نتیجه با افزایش عملکرد دانه و درصد روغن عملکرد روغن به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت که هورمون سیتوکینین هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی توانسته است عملکرد روغن را افزایش دهد که با نتایج پژوهش‌گران دیگری نیز مطابقت دارد (Reiahisamani et al. 2018).

در شرایط تنش خشکی به‌دلیل افزایش درجه حرارت هوا و کوتاه‌شدن دوره رشد رویشی گیاه میزان فتوسنتز تحت تأثیر قرار گرفته و تولید مواد فتوسنتزی کاهش می‌یابد که در شرایط تنش تولید طبق و دانه‌بندی طبق و هم‌چنین پرشدن دانه، موجب کاهش عملکرد و در نتیجه باعث کاهش درصد روغن و عملکرد روغن می‌شود. به‌نظر می‌رسد ارقامی که زیست‌توده بیش‌تری در طول دوره رشد دارند، تحت تأثیر تعداد غوزه بیش‌تر قرار گرفته و مواد غذایی بیش‌تری را در زمان پرشدن دانه‌ها منتقل کرده، عملکرد دانه و در نتیجه عملکرد روغن بیش‌تر خواهد شد. به‌نظر می‌رسد رقم محلی اصفهان و سینا با داشتن عملکرد دانه و درصد روغن بیش‌تر در شرایط تنش خشکی عملکرد روغن بیش‌تری داشته و ارقام متحملی از لحاظ تولید روغن در تنش خشکی هستند. در بررسی اثر متقابل رقم در سال نیز رقم محلی اصفهان و فرمان در سال دوم آزمایش بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد روغن و سینا و پرنیان در سال اول آزمایش بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد روغن را داشتند. رقم محلی اصفهان و سینا به‌ترتیب در سال اول کاهش ۴۲/۷ و ۲۸/۷ درصدی عملکرد روغن نسبت به سال دوم آزمایش را داشتند، احتمالاً این کاهش عملکرد روغن در سال اول می‌تواند به‌دلیل تفاوت آب‌وهوایی باشد (جدول ۵).

ارزیابی اثرات کاربرد ۶-بنزیل آمینوپورین بر تولید ارقام گلرنگ در شرایط تنش خشکی



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط آبیاری در هورمون پاشی در سال بر عملکرد روغن

میانگین‌های با حروف مشابه براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

cowpea. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), 534-540.

Ashrafi, E., & Razmjoo, K. (2010). Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87, 499-506. doi.org/10.17221/591/2019-PSE

Beyyavas, V., Haliloglus, 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. *South African Journal of Biotechnology*, 10(4), 527-534.

Contour-Ansel, D., Torres-Franklin, M.L., Zuily-Fodil, Y., & Cruz de Carvalho, M.H. (2010). An aspartic acid protease From common bean is expressed 'on call' during water stress and early recovery. *Journal of Plant Physiology*, 167, 1606-1612.

Doras, C.A., & Sioulas, C. (2008) Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain fed conditions. *Industrial Crops and Products* 27(9), 75-85. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.07.020

Emongor, V. (2010). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: a review. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9, 299-306.

Eshghizade, H. R., & Ehsanzadeh, P. (2009). Maize hybrids performance under differing irrigation regimes: 1-chlorophyll fluorescence, growth and grain yield. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 40, 144-135.

۴. نتیجه گیری

تنش خشکی موجب کاهش اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، درصد روغن و عملکرد روغن شد. در تمام ارقام مورد بررسی و در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی در هر دو سال آزمایش کاربرد سیتوکینین با غلظت ۷۵ میکرومولار باعث افزایش تمام صفات مورد مطالعه شد. بنابراین کاربرد سیتوکینین را می‌توان به‌عنوان روشی برای بهبود عملکرد و درصد روغن در گلرنگ هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی گزارش کرد. ضمن این‌که برای دستیابی به اطلاعاتی جامع در مورد رقم جدید کشت‌شده نیازمند مطالعه این رقم در شرایط آب‌وهوایی مختلف نیز می‌باشد.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

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

- Ghamarnia, H. & Soolehri, S. (2010). Different irrigation regimes effect water use, yield, and yield component of Safflower crop in a semi-arid region of Iran. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2), 590-593.
- Hu, Y.Y., Zhang, Y.L., Yi, X.P., Zhan, D.X., Luo, H.H., Chow, W.S., & 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. DOI: 10.1016/S2095-3119(13)60568-7.
- Hussein, Y., Amin, G., Azab, A., & Gahin, H. (2015). Induction of Drought Stress Resistance in Sesame (*Sesamum indicum* L.) Plant by Salicylic Acid and Kinetin. *Journal of Plant Sciences*, 10(4), 128-141. DOI: 10.3923/jps.2015.128.141.
- Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., & Doitsinis, A. (2009). Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. *Field Crops Reserch*, 90, 263-274. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.03.009>
- Mahrokh, A., Nabipour, M., Roshanfekar, H.A., & Choukan, R. (2019). Response of some grain maize physiological parameters to drought stress and application of auxin and cytokinin hormones. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(1), 1-15. (In Persian).
- Mazid, M., Khan, T.A., & Mohamad, F. (2011). Cytokinin, A classical multifaceted hormone in plant system. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7, 347-368.
- Mohammadi, M., Tavakoli, A., & Saba, J. (2014). Effects of foliar application of 6-benzlaminopurine on yield and oil content in two spring Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Plant Growth Regual*, 73, 219-226.
- Nagar, S., Ramakrishnan, S., Singh, V. P., Singh, G. P., Dhakar, R., Umesh, D. K., & Arora, A. (2015). Cytokinin enhanced biomass and yield in wheat by improving N-metabolism under water limited environment. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20(1), 31-38.
- Omidi, F., & Sepehri, A. (2014). Effect of Sodium Nitroprusside on growth, yield and components of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(2), 243-254. DOI: 10.22059/IJFCS.2014.51903 (in Persian).
- Pan, B.Z., & Xu, Z.F. (2011). Benzyladenine treatment significantly increases the seed yield of the biofuel plant *Jatropha curcas*. *Journal Plant Growth Regulation*, 30, 166-174. DOI 10.1007/s00344-010-9179-3
- Reiahisamani, N., Esmaceli, M., Khoshkholgh Sima, N.A., Zaefarian, F., & Zeinalabedini, M. (2018). Assessment of the oil content of the seed produced by *Salicornia* L., along with its ability to produce forage in saline soils. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65, 1879-1891.
- Smol, J.P. (2012). Climate Change: A planet in flux. *Nature*, 483, S12-15. DOI: 10.1038/483S12a
- Telahigue, D.C., Yahia, L.B., Aljane, F., Belhoucett, K., & Toumi, L. (2017). Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Journal of Scientific Agriculture*, 222-232.
- Ullah, F., Bano, A., & Nosheen, A. (2010). Role of Plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of Linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 32, 668-671.
- Ullah, F., & Bano, A. (2011) Effect of plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Brazilian Journal Plant of Physiology*, 23, 27-3. doi.org/10.1590/S1677-04202011000100005
- Wani, S. H., Kumar, V., Shriram, V., & Sah, S. K. (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The Crop Journal*, 4(3), 162-176. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.01.010>
- 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. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1667376>
- Zwack, P.J., & Rashotte, A.M. (2015). Interactions between cytokinin signalling and abiotic stress responses. *Journal of Experimental Botany*, 66(16), 4863-4871. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv172>