University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 3, pp. 853-869 (Fall 2023)

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5097.2109

Original article

Effect of use of biological fertilizers and superabsorbents on the agronomic characteristics of castor plant (*Ricinus communis* L.) under water deficit stress conditions

H. Tayfa Afshari[1], B. Mirshekari[2*], A. Hasanzadeh Ghorttapeh[3], F. Farahvash[4], M. Yarnia[2]

1.Ph.D. Candidate, Department of Agronomy and Crop Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran

2. Professor, Department of Agronomy and Crop Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran

3. Assistant Professor, Department of Seed and Plant Improvement Research, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran

4. Associate Professor, Department of Agronomy and Crop Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Tabriz Branch, Tabriz, Iran

Received 1 February 2022; Accepted 5 April 2022

Extended abstract

Introduction

The castor bean (*Ricinus communis* L.), is an oilseed of relevant economic and social importance. From its seeds is extracted an oil of excellent properties, having wide use as industrial input and several applications. It is cultivated since the times of the ancient civilizations, the castor bean is a rustic plant, resistant to drought, belonging to the family of Euphorbiaceae, Drought stress, in addition to the negative effect on yield, causes or exacerbates other stresses, especially the stress of nutrient deficiencies for the plant. The purpose of this investigation was study effect of irrigation levels and Superabsorbents and biofertilizers on the agronomic properties of castor oil.

Materials and methods

This experiment was conducted in West Azarbaijan Agricultural Research and Education Center, Orumieh- Iran at 2018-2021 crop season. Field experiment was carried out by a split plot design based on completely randomized block design with three replications. The first factor included Four levels (70, 100, 130 and 160 mm of evaporation pan),in the main plot and Sub-factor includes application of biofertilizer combination in four levels (Azospirillium, Citrobacter, combination of application of Azospirillium in Citrobacter and control without fertilizer) and superabsorbent in two levels (superabsorbent consumption and non-superabsorbent consumption) as factorial were placed in sub-plots. In this study, plant height, main length cluster, capsules number per plant, seeds number per plant, thousand kernel weight, biological yield, grain yield harvest index, oil percent and oil yield were measured. Also Traits were analyzed by using SAS 9.2 software and means comparison was tested by least significant difference (LSD).

Results and discussion

The results of analysis of variance showed the effect of irrigation, biofertilizer and superabsorbent treatments at the level of 1% probability on plant height, number of seeds per plant, main cluster length,

*Corresponding author: Bahram Mirshekari; E-Mail: mirshkari@iaut.ac.ir

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

number of capsules per plant, 1000-seed weight, biological yield, grain yield, harvest index Oil percentage, oil yield, castor oil were significant. Also, the interaction effect of biosorbent and superabsorbent on plant height, number of seeds per plant, main cluster length and oil yield at the level of 5% probability and on grain yield, harvest index at the level of 1% probability was significant. The results showed that irrigation treatment after 160 mm of evaporation pan reduced plant height, number of seeds per plant, length of main cluster, number of capsules per plant, 1000-kernal weight, biological yield, grain yield, harvest index, oil percentage and oil yield in comparison with irrigation treatment after 70 mm by 7.62, 5.26, 12.19, 5.25, 5.86, 3.38, 9.50, 6.10, 2.38 and 11.83 percent, respectively. Among the biofertilizer treatments, seed inoculation with Citrobacter was able to increase the number of capsules, 1000-seed weight, biological yield and oil percentage compared to the control treatment by 5.5, 17.28, 2.74 and 8.50%, respectively. Among the interaction treatments, the highest plant height (165.21 cm), main cluster length (23.55 cm), grain yield (1137.61 kg ha^{-1}), harvest index (20.72%) and oil yield (597.91 kg ha^{-1}) was allocated to superabsorbent treatment and inoculation with Citrobacter.

Conclusion

In this study, by exacerbation of water stress, all agronomic traits were reduced. It can be concluded that water deficit stress reduces the amount of photo assimilate and transfer of these substances by disrupting the photosynthesis process, and thus grain yield and yield components as well as oil percentage and oil yield are affected, Therefore, in order to achieve maximum economic yield in castor, irrigation should be done with a regular plan and the plant should not face long periods of drought as much as possible. In this study, the use of biological fertilizers, especially citrobacter, both individually and in combination with supergene had a positive effect on increasing grain yield and grain yield components, oil content and oil yield. Therefore, the use of these materials to improve the economic performance of castor oil is recommended.

Keywords: Biofertilizer, Grain yield, Irrigation, Oil content

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۲

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5097.2109

مقاله پژوهشی

تأثیر کاربرد کودهای بیولوژیکی و سوپر جاذب بر خصوصیات زراعی گیاه کرچک (*Ricinus communis* L.) تحت شرایط تنش کم‌آبی

هادی طایفه‌افشاری[۱]، بهرام میرشکاری[۲*]، عبدالله حسن‌زاده‌قورت‌تپه[۳]، فرهاد فرحوش[۴]، مهرداد یارنیا[۲]

۱. دانشجوی دوره دکتری، رشته زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز
۲. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز
۳. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه
۴. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آبیاری
درصد روغن
عملکرد دانه
کود زیستی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۱/۱۶

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد کودهای بیولوژیکی و سوپر جاذب بر خصوصیات زراعی گیاه کرچک در تیمارهای مختلف آبیاری آزمایش مزرعه‌ای دوساله در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷ تا ۹۹-۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ساعتلو ارومیه اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود. عامل اصلی شامل تیمارهای آبیاری و تنش خشکی در چهار سطح (۷۰، ۱۳۰،۱۰۰ و ۱۶۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر)، و عامل فرعی شامل کاربرد ترکیب کودهای زیستی در چهار سطح (آزوسپریلیوم، سیتروباکتر، تلفیق کاربرد آزوسپریلیوم در سیتروباکتر و شاهد بدون کود) و سوپر جاذب در دو سطح (مصرف سوپر جاذب و عدم مصرف سوپر جاذب) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی بودند که در سه تکرار به اجرا درآمد. نتایج نشان داد تیمار آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر در مقایسه با تیمار آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر ارتفاع بوته، تعداد دانه در بوته، طول خوشه اصلی، تعداد کپسول در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد روغن و عملکرد روغن را به ترتیب ۷/۶۲، ۵/۲۶، ۱۲/۱۹، ۵/۲۵، ۵/۸۶، ۳/۳۸، ۹/۵۰، ۶/۱۰، ۲/۳۸ و ۱۱/۸۳ درصد کاهش داد. در بین تیمارهای کود زیستی نیز تلقیح بذر با سیتروباکتر توانست تعداد کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد روغن را در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۵/۰۵، ۱۷/۲۸، ۲/۷۴ و ۸/۵۰ درصد افزایش داد. در بین تیمارهای اثر متقابل بالاترین ارتفاع بوته (۱۶۵/۲۱ سانتی‌متر)، طول خوشه اصلی (۲۳/۵۵ سانتی‌متر)، عملکرد دانه (۱۱۳۷/۶۱ کیلوگرم در هکتار) شاخص برداشت (۲۰/۷۲ درصد) و عملکرد روغن (۵۹۷/۹۱ کیلوگرم در هکتار) به تیمار مصرف سوپرجاذب و تلقیح با سیتروباکتر اختصاص یافت. با توجه به اثر مثبت ترکیب تیمارهای کود زیستی سوپرجاذب و تلقیح با سیتروباکتر بر عملکرد روغن کرچک کاربرد دو تیمار مذکور جهت بهبود این صفت قابل توصیه است.

مقدمه

کرچک (*Ricinus communis* L.) از مهم‌ترین گیاهان دارویی تیره فرفیون است، این گیاه در صنایع داروسازی، آرایشی و بهداشتی کاربرد فراوانی در کشورهای توسعه‌یافته دارد (Liv et al., 2012)، این گیاه در نواحی سردسیر، به‌صورت علفی رشد کرده و یک‌ساله است و ارتفاع آن ممکن است به ۲ تا ۳ متر برسد. بذر گیاه کرچک حاوی روغن است که خاصیت دارویی این گیاه به‌واسطه همین روغن و ترکیبات اسید چرب آن است، محتوی روغن دانه کرچک بر اساس نوع رقم بین ۴۰ تا ۶۰ درصد گزارش شده است (Iqbal et al., 2012). در سال ۲۰۲۰ سطح زیر کشت کرچک و مقدار تولید

* نگارنده پاسخگو: بهرام میر شکاری. پست الکترونیک: mirshkari@iaut.ac.ir

بذر آن در جهان را تقریباً ۱/۲۲ میلیون هکتار و ۲/۰۲ میلیون تن برآورد کردند، در ایران ۱۶ هکتار به کشت کرچک اختصاص داده شده بود. مقدار تولید این بذر این محصول نیز برابر ۲۶ تن بود (FAO, 2022). تنش کم‌آبی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد اقتصادی در جهان و متداول‌ترین تنش محیطی است (Qi et al., 2018).

اگرچه واکنش ارقام و ژنوتیپ‌ها ازنظر عملکرد نسبت به تنش کم‌آبی متفاوت است و برخی از ارقام و ژنوتیپ‌ها به‌واسطه مقاومت به خشکی عملکرد قابل قبولی دارند، اما شرایط محیط رشد گیاه و همچنین مدیریت گیاه نیز می‌توانند به‌صورت قابل‌توجهی بر مقدار عملکرد کمی و کیفی گیاه تأثیرگذار باشد (Tesfamariam et al., 2010). با توجه به متوسط بارندگی سالیانه ۲۴۰ میلی‌متر که معادل یک‌سوم میانگین بارندگی جهانی است کشور ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود (Jajarmi, 2009). همانند گیاهان زراعی یکی از مهم‌ترین عواملی که رشد و توسعه و مقدار مواد مؤثره و اسانس گیاهان دارویی را تحت تأثیر قرار می‌دهد آب است (Jafarzadeh et al., 2010). کم‌آبی می‌تواند صدمات فراوانی بر پیکره گیاهان دارویی و مواد مؤثره تولیدشده در آن‌ها وارد نماید (Jafarzadeh et al., 2010). تنش کم‌آبی همانند دیگر محصولات زراعی می‌تواند رشد و نمو گیاه و ماده مؤثره بذر گیاه کرچک را تحت تأثیر قرار دهد، در بررسی اثر محلول‌پاشی کودهای شیمیایی بر خصوصیات کرچک تحت تیمارهای مختلف آبیاری اوسطی و همکاران (Osati et al., 2019) نشان دادند بیشترین ارتفاع بوته، وزن برگ، رشد نسبی، تعداد غلاف، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه به آبیاری نرمال (۲۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر) و محلول‌پاشی کودی K+S+N اختصاص داشت. در مطالعه عباسی صدر و همکاران (Abasi Sadr et al., 2018) پایین‌ترین مقادیر صفات ارتفاع بوته، تعداد کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت به سطح آبیاری بعد از ۱۳۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر اختصاص داشت. رهبری و همکاران (Rahbari et al., 2019) نشان دادند تیمار تنش کم‌آبی در مقایسه با آبیاری نرمال وزن صد دانه (۱۱/۹ درصد)، عملکرد دانه (۳۴/۹ درصد) عملکرد بیولوژیک (۲۴/۲ درصد) و عملکرد روغن (۵۱/۷ درصد) را به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال کاهش داد. ایزدی و تدین (Izadi and Tadayon, 2016) نشان دادند تنش کم‌آبی عملکرد و اجزای عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت را در گیاه کرچک کاهش داد اما تیمار با اسید سالیسیلیک و اسپرمین اثر تنش نامناسب کم‌آبی را بر عملکرد دانه و اجزای آن کاهش داد. توجه به نقش مدیریتی کاربرد برخی از مواد افزودنی اصلاح‌کننده نظیر پلیمرهای هیدروژل سوپرجاذب به‌منظور استفاده بهینه از آب در کشاورزی به‌منظور افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، اخیراً در سطح جهان و در مقیاس وسیع موردتوجه و استفاده قرار گرفته است. در ایران نیز به‌تازگی توجه برخی محققین به این موضوع معطوف شده است (Islam et al., 2011). ازجمله مزایای سوپرجاذب‌ها به افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی برای مدت طولانی، کاهش تعداد دفعات آبیاری، مصرف یکنواخت آب برای گیاهان، رشد سریع و مطلوب ریشه، کاهش آبشویی مواد غذایی موجود در خاک، کاهش هزینه آبیاری، مصرف بهینه کودهای شیمیایی، هوادهی بهتر خاک، امکان کشت در مناطق بیابانی و سطوح شیب‌دار، افزایش فعالیت و تکثیر قارچ‌های میکوریزا و سایر ریز جانداران خاک و افزایش تخلخل و ثبات ساختمان خاک اشاره شده است (Fazeli Rostampour et al., 2013). در تحقیقی بر روی چغندرقند خلیلی و حمزه (Khalili and Hamzeh, 2021a) دریافتند در شرایط کم‌آبی استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب توانست اثر تنش کم‌آبی را بر چغندرقند تعدیل کرده و جایگزین بخشی از آب آبیاری شود. همچنین کاربرد سوپر جاذب در یونجه عملکرد علوفه و درصد پروتئین یونجه را بهبود داد (Khalili and Hamzeh, 2021b). در مطالعه سیوکی و همکاران بر روی کنجد (Siuki et al., 2020) کاربرد سوپرجاذب اثر مثبتی بر افزایش درصد و عملکرد روغن دانه داشت.

یکی دیگر از روش‌هایی که اخیراً جهت مقابله با خشکی و تعدیل تنش کم‌آبی مورداستفاده قرار گرفته است استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی است، از مهم‌ترین این میکروارگانیسم‌ها می‌توان به باکتری‌های محرک رشد و اشاره کرد (Fasusi et al., 2021). این باکتری‌ها می‌تواند در محیط ریشه مواد زیستی فعال تولید و ترشح نماید که این مواد شرایط را برای توسعه سیستم ریشه و افزایش جذب مواد غذایی و تثبیت بیولوژیکی ازت و درنهایت افزایش عملکرد اقتصادی محصول فراهم آورند (Kumar et al., 2017). در مطالعه‌ای بر روی کلزا حسن‌زاده قورت تپه و جوادی (Hasanzadeh Ghorttapeh and Javadi, 2016) نشان دادند بالاترین عملکرد دانه و عملکرد روغن به تیمار کودی

تلقیح بذر با ازتوباکتر و آزوسپریلوم و کـود نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) اختصاص داشت. گزارش شده است تلفیقی کود زیستی باکتریایی+ قارچ میکوریزا نسبت به شاهد عملکرد دانه را در گیاه رازیانه به میزان ۲۱/۵۲ درصد افزایش داد (Zamani et al., 2019) همچنین در مطالعه‌ای بر روی گیاه زنیان تلقیح بذر با تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا + Azotobacter + Pseudomonas موجب افزایش شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه شده است (Rezae Chiyaneh et al., 2015). اثر مثبت تلفیق کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت و بەلیمو (Lippia citriodora) در مطالعات پرویزی و همکاران (Parvizi et al., 2019) و زارع و همکاران (Zarea et al., 2015) نیز اشاره شده است. با توجه به اهمیت توسعه گیاهان دارویی و همچنین شرایط کم‌آبی منطقه تحقیق حاضر با هدف بررسی واکنش صفات زراعی گیاه کرچک به سوپرجاذب و کودهای زیستی تحت تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸-۹۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ساعتلو ارومیه وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی با ارتفاع ۱۳۴۵ متر از سطح دریا و مشخصات طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۵۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل تیمار آبیاری در چهار سطح (۷۰، ۱۰۰،۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر) و عامل فرعی شامل کاربرد ترکیب کودهای زیستی در چهار سطح (آزوسپریلیوم، سیتروباکتر، تلفیق کاربرد آزوسپریلیوم در سیتروباکتر و شاهد بدون کود) و سوپر جاذب در دو سطح (مصرف سوپر جاذب (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و عدم مصرف سوپر جاذب) بود که به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

قبل از اجرای آزمایش عملیات شخم و آماده‌سازی زمین و تهیه بستر بذر انجام شد، ضمناً از خاک مزرعه آزمایشی از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری به عمل آمد و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات فیزیک‌وشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil

عمق	بافت خاک Texture	شوری ($Ec\times10^{3}$)	pH	در صد اشباع sp	آهک T.N.V	رس Clay	لای Silt	شن Sand	کربن آلی	N	P	K
cm		$Ec\times 10^{3}$		sp%	T.N.V	----------%----------			-----%----		----ppm----	
0-30	لوم	1.1	8	43	13	26	35	39	0.6	6	10.4	250

کرت‌هایی به ابعاد ۱۰ متر (طول) و ۴ متر (عرض) آماده شد، فاصله بین بوته‌ها ۳۵ و فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر بود. فاصله بین بلوک‌ها دو متر و فاصله بین کرت‌ها یک متر شدند. سپس بذرهای کرچک روی پشته‌های آماده‌شده با عمق ۳ سانتی‌متر کشت شدند. کاشت در هر دو سال در ۵ اردیبهشت انجام شد. در طول فصل رشد مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی در دو نوبت در مراحل ۴ و ۸ برگی رشد کرچک انجام گرفت و آبیاری کرت‌ها نیز به روش تیپ بود. برای اندازه‌گیری مقدار آب مصرفی در هنگام آبیاری از پارشال فلوم شماره ۴ استفاده شد. دبی آب پارشال فلوم پس از ثابت شدن جریان آب سرریز با استفاده از فرمول زیر اندازه-گیری شد. پس از تقسیم حجم کل آب لازم بر دبی پارشال فلوم مدت‌زمان ورود آب به هر کرت مشخص شد (Zimmerman, 2002).

$$Q=0294/0h2/102 \quad [۱]$$

در این فرمول Q: دبی آب ورودی به پارشال فلوم برحسب لیتر در ثانیه، h: ارتفاع آب در پارشال فلوم برحسب سانتی‌متر است. زمان لازم برای هر کرت با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Zimmerman, 2002).

$$t=W/Q \quad [۲]$$

که در این رابطه W: حجم آب لازم (لیتر)، Q: دبی آب ورودی (لیتر در ثانیه)، t: مدت‌زمان آبیاری (ثانیه) هستند.

تیمارهای آبیاری به ترتیب بعد از ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر انجام گرفت. کودهای زیستی

سیترو باکتر و آزوسپریلیوم هریک به میزان یک لیتر در هکتار آماده و در زمان گل‌دهی تا تشکیل دانه با آب آبیاری در سه نوبت داده شد و سوپرجاذب پتاسیم قبل از کاشت در کرت‌های مربوطه با خاک طبق توصیه کارخانه سازنده مخلوط شد.

بعد از رسیدگی با انتخاب ۶ بوته از هر کرت انتخاب شد و صفات ارتفاع بوته (توسط متر)، تعداد دانه در بوته، طول خوشه اصلی (سانتی‌متر)، تعداد کپسول در خوشه، اندازه‌گیری شد. وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت: برای صفات عملکرد دانه و بیولوژیک در هر کرت، سطحی معادل ۲ مترمربع انتخاب و با حذف ردیف‌های حاشیه‌ای برداشت صورت گرفت. وزن هزار دانه با ۳ بار شمارش و توزین و میانگین‌گیری از آن‌ها در هر کرت اندازه‌گیری شد.

عملکرد بیولوژیک

پس از حذف اثر حاشیه‌ای و کف‌بر کردن بوته‌ها از مساحت ۲ مترمربع با خوشه برداشت و سپس در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده و پس از خشک شدن وزن شد و به‌این‌ترتیب عملکرد بیولوژیک به دست آمد.

عملکرد دانه

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، دانه‌ها از خوشه جدا و پس از خشک‌کردن میانگین وزن بذر برحسب کیلوگرم در هکتار با رطوبت ۹ درصد اندازه‌گیری گردید. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد.

درصد روغن دانه

درصد روغن دانه با استفاده سوکسله (مدل Behr، ساخت کشور آلمان) اندازه‌گیری شد (Shidfar et al., 2011) بدین منظور بیست عدد بذر انتخاب‌شده و مجدداً در آون با دمای ۶۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و سپس برای روغن‌گیری آسیاب شدند و ۲ گرم از هر تیمار به درون لوله‌های آزمایشی ریخته شد. حدود ۱۰ میلی‌لیتر از حلال دی اتیل اتر به لوله‌های آزمایشی اضافه شد و با تکان دادن هم زده شد تا محلول یکنواختی به دست آید. سپس، محتوای لوله‌های آزمایشی به درون ویال‌های ۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده شدند. ویال‌ها به مدت ده دقیقه در دمای ۱۰ درجهٔ سلسیوس با سرعت هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ (مدل Rotina 380، ساخت کشور آلمان) شدند. محلول قسمت بالایی ویال‌ها جمع‌آوری‌شده و محتویات آن به لولهٔ آزمایشی دیگری ریخته شدند که از قبل وزن شده بودند. سپس محلول‌ها به داخل دستگاه آون با دمای ۳۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت منتقل شدند پس از تبخیر و جدا شدن حلّال دی اتیل اتر، تنها ماده باقی‌مانده روغن کرچک بود که وزن آن با کسر وزن لولهٔ آزمایشی محتوی روغن از لولهٔ آزمایشی که از قبل وزن شده بود به دست آمد. عملکرد روغن دانه نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن دانه به دست آمد.

تجزیه تحلیل داده‌ها پس از بررسی و تأیید برقراری فرضیات تجزیه واریانس، یعنی نرمال بودن توزیع خطاها، یکنواختی واریانس‌های درون تیماری و اثر افزایشی بلوک (به ترتیب به کمک آزمون شاپیرو ویلک، توزیع باقیمانده و آزمون غیر افزایشی توکی) انجام شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام و مقایسه میانگین پارامترهای موردبررسی نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای آبیاری، کود زیستی و سوپرجاذب در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته، تعداد دانه در بوته، طول خوشه اصلی، تعداد کپسول در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد روغن، عملکرد روغن، گیاه کرچک معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل کود زیستی × سوپر جاذب بر ارتفاع بوته، تعداد دانه در بوته، طول خوشه اصلی و عملکرد روغن در سطح احتمال پنج درصد و بر عملکرد دانه، شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار بود (جدول ۲).

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد تیمار آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر با متوسط ۱۴۲/۱۵ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد، با تشدید تنش کم‌آبی از ارتفاع بوته کاسته شد به‌نحوی‌که در سطح آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر با متوسط ۱۳۲/۰۸ سانتی‌متر به کمترین مقدار خود رسید (جدول ۳).

یکی از اثرات تنش کم‌آبی به هم خوردن تعادل هورمونی در درون گیاه است، کاهش برخی از هورمون‌های رشد در اثر تنش کم‌آبی موجب کاهش کم شدن انعطاف دیواره سلولی، کاهش رشد طولی سلول‌ها و درنتیجه کاهش طول میانگره‌ها و درنهایت کاهش ارتفاع بوته می‌شود. لازم به ذکر است که تحت شرایط تنش کم‌آبی ترشح هورمون سیتوکینین در ریشه‌ها کاهش یافته و این کاهش اثر منفی بر تقسیم سلولی و افزایش ارتفاع بوته دارد (Koutroubas et al., 1999). کاهش ارتفاع بوته در اثر تنش کم‌آبی در مطالعات رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani-Moghaddam et al., 2004) و موسوی و همکاران (Moosavi et al., 2014) نیز گزارش شده است.

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی کرچک تحت تیماری آبیاری کود زیستی و سوپرجاذب

Table 2. Combined analysis of variance of castor traits under irrigation and biosorbent irrigation treatment

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	طول خوشه اصلی Main length cluster	تعداد کپسول در بوته Capsules number per plant	تعداد دانه در بوته Seeds number per plant	وزن هزار دانه Thousand kernel weight
Year (Y)	سال	1	722.52^{ns}	505.76^{ns}	6167.60^{ns}	31678.35^{ns}	1408.33^{ns}
Repeat (year)	تکرار (سال)	4	1277.99	101.93	4159.32	20408.43	807.16
Irrigation (I)	آبیاری	3	1585.18**	57.18**	1230.99**	11285.92**	1524.13**
Y×I	سال × آبیاری	3	137.11^{ns}	0.59ns	127.16^{ns}	522.67^{ns}	278.16^{ns}
E_b	خطای b	12	117.02	0.36	105.12	405.73	76.13
Bio-fertilizer (B)	کود زیستی	3	3174.79**	196.91**	2253.85**	16234.71**	29731.6 **
I × B	آبیاری × کود زیستی	9	111.71^{ns}	0.19^{ns}	73.47^{ns}	312.1^{ns}	464.37^{ns}
Y × B	سال × کود زیستی	3	8.75^{ns}	0.63^{ns}	46.63^{ns}	51.72^{ns}	72.62^{ns}
Y × I × B	سال × آبیاری × کود زیستی	9	160.46^{ns}	0.50^{ns}	75.08^{ns}	603.14^{ns}	700.04^{ns}
Super absorbent (S)	سوپر جاذب	1	3978.52**	267.67**	4926.82**	38264.63**	3350.02**
Y × S	سال × سوپر جاذب	3	8.33^{ns}	0.05^{ns}	3.36^{ns}	79.43^{ns}	28.52^{ns}
I × S	آبیاری × سوپر جاذب	3	153.25^{ns}	0.44^{ns}	147.58^{ns}	292.04^{ns}	99.56^{ns}
Y × I × S	سال × آبیاری × سوپر جاذب	3	159.37^{ns}	0.21^{ns}	9.66^{ns}	542.48^{ns}	217.56^{ns}
B × S	کود زیستی × سوپر جاذب	3	390.42*	2.00*	148.19^{ns}	1443.81*	292.18^{ns}
Y × B × S	سال×کود زیستی×سوپرجاذب	3	8.04^{ns}	0.05^{ns}	63.64^{ns}	55.55^{ns}	60.27^{ns}
I × B × S	آبیاری × کود زیستی × سوپر جاذب	9	114.63^{ns}	0.40^{ns}	37.96^{ns}	340.37^{ns}	522.72^{ns}
Y × I × B × S	سال×آبیاری×کود زیستی× سوپرجاذب	9	165.75^{ns}	0.95^{ns}	114.25^{ns}	596.36^{ns}	761.47^{ns}
E_C	خطای c	112	121.38	66.43	7672.42	401.83	66.84
CV%	ضریب تغییرات ٪		*7.94*	*3.75*	*3.36*	*6.12*	*14.01*

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد آماری

ns, * and ** not significant and significant at the level of five and one percent statistical probability, respectively

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil percentages	عملکرد روغن Oil yield
سال Year (Y)	1	82979.31^{ns}	58730.02^{ns}	2.06^{ns}	31.82^{ns}	4600.32^{ns}
تکرار (سال) Repeat (year)	4	440819.19	27054.92	0.58	27.72	1028.26
آبیاری Irrigation (I)	3	301832.3**	101987.2**	16.70**	9.98**	279776.78**
سال × آبیاری Y × I	3	118004.51^{ns}	5977.90^{ns}	0.51^{ns}	3.76^{ns}	4429.18^{ns}
خطای b E_b	12	53935.23	4439.64^{ns}	0.2	25569	2631.7
کود زیستی Bio-fertilizer (B)	3	359407.6**	339057.39**	83.67**	109.37**	152591.14**
آبیاری × کود زیستی I × B	9	50162.28^{ns}	3486.50^{ns}	0.61^{ns}	1.68^{ns}	19465.80^{ns}
سال × کود زیستی Y × B	3	24162.63^{ns}	1356.81^{ns}	1.04^{ns}	0.88^{ns}	1784.49^{ns}
سال×آبیاری×کود زیستی Y × I × B	9	39664.57^{ns}	5088.68^{ns}	0.84^{ns}	2.02^{ns}	30099.43^{ns}
سوپر جاذب Super absorbent (S)	1	385373.18**	129636.04**	17.71**	6.90^{ns}	48230.28**
سال × سوپر جاذب Y × S	3	1.53^{ns}	969.30^{ns}	0.60^{ns}	0.20^{ns}	231.39^{ns}
آبیاری × سوپر جاذب I × S	3	84987.27^{ns}	2370.43^{ns}	0.43^{ns}	2.26^{ns}	5592.77
سال×آبیاری×سوپرجاذب Y × I × S	3	3172.47^{ns}	5224.23^{ns}	1.42^{ns}	0.29^{ns}	7329.75^{ns}
کود زیستی×سوپرجاذب B×S	3	126831.63^{ns}	20438.15**	4.34**	2.70^{ns}	28322.90*
سال×کود زیستی×سوپرجاذب Y × B × S	3	48167.62^{ns}	1530.14^{ns}	0.21^{ns}	0.25^{ns}	1388.96^{ns}
آبیاری×کود زیستی×سوپرجاذب I × B × S	9	29358.53^{ns}	2168.23^{ns}	0.57^{ns}	1.38^{ns}	13848.46^{ns}
سال×آبیاری×کود زیستی×سوپر جاذب Y × I × B × S	9	53034.59^{ns}	5325.41^{ns}	0.72^{ns}	3.37^{ns}	36200.49^{ns}
خطای c E_C	112	44831.05	4406.75	0.74	44598	283.7
ضریب تغییرات ٪ CV%		*12.3*	*6.38*	*6.80*	*5.84*	*10.51*

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد آماری

ns, * and ** not significant and significant at the level of five and one percent statistical probability, respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری بر صفات موردبررسی در گیاه کرچک

Table 3. Mean comparison of effect of irrigation levels on studied traits of Castor.

Irrigation	آبیاری	ارتفاع بوته Plant height	تعداد دانه در بوته Main length cluster	طول خوشه اصلی Capsules number per plant	تعداد کپسول در بوته Seeds number per plant	وزن هزار دانه Thousand kernel weight
mm from the evaporation pan	میلی‌متر از تشتک تبخیر	cm		cm		g
70 mm	**۷۰ میلی‌متر**	142.15[a]	633.17[a]	21.90[a]	234.81[a]	209.12[a]
100 mm	**۱۰۰ میلی‌متر**	139.06[b]	615.47[b]	20.33[b]	227.84[b]	203.21[b]
130 mm	**۱۳۰ میلی‌متر**	136.37[c]	607.31[c]	20.00[c]	225.14[c]	200.58[c]
160 mm	**۱۶۰ میلی‌متر**	132.08[d]	601.51[d]	19.52[c]	223.08[d]	197.54[d]

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

Irrigation	آبیاری	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil	عملکرد روغن Oil yield
mm from the evaporation pan	میلی‌متر از تشتک تبخیر	---------- kg h^{-1}----------		----------%----------		kg h^{-1}
70 mm	**۷۰ میلی‌متر**	5267.33[a]	1084.39[a]	20.52[a]	51.00[a]	547.12[a]
100 mm	**۱۰۰ میلی‌متر**	5182.84[b]	1045.48[b]	20.11[b]	53.23[b]	522.28[b]
130 mm	**۱۳۰ میلی‌متر**	5139.47[c]	1015.39[c]	19.72[c]	50.20[b]	519.80[b]
160 mm	**۱۶۰ میلی‌متر**	5095.09[d]	990.28[d]	19.34[d]	49.81[c]	489.20[c]

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند

In each column, averages with common character do not have a significant difference at the 5% level.

در مطالعه اوسطی و همکاران (Osati et al., 2019) و عباسی صدر و همکاران (Abasi Sadr et al., 2018) ارتفاع بوته کرچک به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری کاهش نشان داد.

مقایسه میانگین اثر متقابل فاکتورهای کود زیستی و سوپر جاذب نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته با متوسط ۱۵۶/۲۱ سانتی‌متر به تیمار سیتروباکتر همراه با مصرف سوپر جاذب اختصاص داشت کمترین مقدار این صفت نیز در تیمار شاهد هر دو تیمار (عدم مصرف کود زیستی و عدم کاربرد سوپرجاذب) مشاهده شد (جدول ۵). افزایش ارتفاع بوته در اثر کاربرد کودهای زیستی همراه با سوپرجاذب می‌تواند به‌واسطه افزایش توسعه ریشه و جذب بهتر آب و مواد غذایی و تولید هورمون رشد ازجمله جیبرلین باشد (Jahan and Nasiri Mahallati, 2012). در مطالعه رضایی چیانه و همکاران (Rezaei Chianeh et al., 2015) کاربرد ازتوباکتر + فسفاته بارور ۲ ارتفاع بوته زنیان را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. پرویزی و همکاران (Parvizi et al., 2019) در مطالعه‌ای بر روی ذرت نشان دادند کاربرد سوپرجاذب و کود زیستی نیتروکسین به‌صورت معنی‌داری ارتفاع بوته را در این گیاه افزایش داد. در مطالعه زارع و همکاران (Zarea et al., 2015) بالاترین ارتفاع بوته در گیاه بهلیمو (Lippia citriodora) در تیمار مصرف متعادل کود همراه با کود زیستی و پلیمر سوپرجاذب گزارش شد.

طول خوشه اصلی

نتایج نشان داد تیمارهای آبیاری بعد از ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر طول خوشه اصلی را در مقایسه با سطح ۷۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به ترتیب ۷/۷۲، ۹/۵۰ و ۱۲/۱۹ درصد کاهش داد (جدول ۳). تحت شرایط تنش کم-آبی میزان فتوسنتز به دلیل بسته شدن روزنه‌ها کاهش می-یابد و مقدار مواد فتوسنتزی جاری تولیدشده برای پر شدن دانه‌ها کافی نخواهد بود، بنابراین دانه‌ها کوچک‌تر خواهند شد، ازآنجایی‌که طول خوشه اصلی تحت تأثیر تعداد دانه قرار دارد، لذا با کاهش وزن و تعداد دانه از طول خوشه نیز کاسته می‌شود (Kazemi et al., 2012).

کاهش طول خوشه اصلی در کرچک در اثر تنش کم‌آبی در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Rezvani-Moghaddam et al., 2004; Osati et al., 2019). در بین تیمارهای اثر متقابل فاکتورهای کود زیستی و سوپر جاذب بیشترین طول خوشه اصلی با متوسط ۲۳/۵۵ سانتی‌متر مربوط به تیمار اثر متقابل سیتروباکتر و مصرف سوپر جاذب بود و کمترین مقدار نیز به تیمار شاهد هر دو تیمار اختصاص داشت (جدول ۵). یکی از اثرات کاربرد سوپرجاذب و کودهای زیستی بهبود شرایط محیطی برای رشد گیاه است، باکتری‌های محرک رشد توانایی سنتز هورمون‌های گیاهی متعددی دارند که موجب افزایش رشد ریشه و بهبود جذب آب و مواد غذایی می‌شوند، افزایش جذب آب و مواد غذایی موجب بهبود توسعه رشد زایشی و افزایش تعداد و وزن دانه شده که درنهایت موجب افزایش طول خوشه خواهد شد (Bashan et al., 1997). افزایش طول سنبله گندم در اثر کاربرد باکتری ازتوباکتر در مطالعه همکاران گزارش شده است (Arzanesh et al., 2018) نیز گزارش شده است.

تعداد کپسول در بوته

در این آزمایش تیمار آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر با متوسط ۲۳۴/۸۱ بیشترین تعداد کپسول در بوته کرچک را به خود اختصاص داد، با تشدید تنش کم‌آبی از تعداد کپسول در بوته کاسته شد. به‌طوری‌که در تیمار آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر با متوسط ۲۲۳/۰۸ کپسول به کمترین مقدار خود رسید (جدول ۳).

معمولاً با وقوع تنش کم‌آبی شکل ظاهری برگ‌ها تغییر می‌کند و ظاهری کوچک و ضخیمی‌تری پیدا می‌کنند و مقدار فتوسنتز در برگ‌ها و کل اندام هوایی گیاه کاهش پیدا خواهد کرد (Kalantar Ahmadi et al., 2014) این امر موجب کاهش در رشد گیاه، تعداد کپسول، تعداد و وزن دانه و درنهایت عملکرد دانه خواهد شد. کاهش تعداد کپسول در تیمارهای تنش کم‌آبی می‌تواند به این دلیل نیز باشد که با کاهش رطوبت قابل‌دسترس برای گیاه کپسول‌ها ریزش کرده و از تعداد آن‌ها در گیاه کاسته می‌شود (Hadi and Kalantar, 2015).

در مطالعه اوسطی و همکاران (Osati et al., 2019) بر روی کرچک تیمار محلول‌پاشی نیتروژن + گوگرد+ پتاسیم تحت شرایط آبیاری نرمال بالاترین تعداد کپسول در خوشه اصلی را به خود اختصاص داد، درحالی‌که با تشدید تنش کم‌آبی از مقدار صفت مذکور کاسته و تحت شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر در تیمار شاهد محلول‌پاشی به کمترین مقدار خود رسید (جدول ۵). کاهش تعداد کپسول در بوته کرچک تحت تأثیر تنش کم‌آبی در مطالعه رهبر و همکاران (Rahbari et al., 2019) نیز گزارش شد.

در بین تیمارهای کود زیستی بیشترین تعداد کپسول در بوته مربوط به تیمار سیتروباکتر + آزیسپریلیوم با متوسط ۲۳۳/۱۷ کپسول بود کمترین مقدار نیز با متوسط ۲۱۹/۵۱ کپسول به تیمار شاهد اختصاص داشت (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر کود بیولوژیک بر صفات موردبررسی در گیاه کرچک

Table 4. Mean comparison of effect of Bio-fertilizer on studied traits of Castor.

Bio-fertilizer	کود بیولوژیک	تعداد کپسول در بوته Seeds number per plant	وزن هزار دانه Thousand kernel weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	درصد روغن Oil
			g	Kg/h	%
Control	شاهد	219.51^{d}	185.37^{d}	5084.08^{c}	48.44^{d}
Azospirillium	آزوسپریلیوم	227.81^{c}	195.38^{c}	5167.48^{b}	49.15^{c}
Citrobacter	سیتروباکتر	230.60^{b}	217.41^{a}	5223.88^{a}	52.56^{a}
Azospirillium+ Citrobacter	آزسپریلیوم+ سیتروباکتر	233.17^{a}	212.05^{b}	520.47^{a}	50.07^{b}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند

In each column, averages with common character do not have a significant difference at the 5% level.

کاربرد باکتری‌های محرک رشد از طریق بهبود pH خاک، بهبود سیستم ریشه‌ای و اثر بر پمپ الکترواستاتیکی در غشاءهای سلول ریشه می‌توانند تعداد کپسول در بوته و اجزای عملکرد را تحت تأثیر قرار دهند (Han and Lee, 2006). خرم‌دل و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر سیاه‌دانه اظهار داشتند که تعداد کپسول در بوته سیاه‌دانه در تلقیح با آزوسپیریلوم، ازتوباکتر و میکوریزا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در مطالعه بیژنی و همکاران (Bijani et al., 2015) نیز تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین اثر مثبتی بر بهبود تعداد کپسول در بوته داشت.

تعداد دانه در بوته

مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد با تشدید تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از تعداد دانه کاست به‌طوری‌که بالاترین و پایین‌ترین مقدار صفت مذکور به ترتیب با متوسط ۶۳۳/۱۷ و ۶۰۵/۵۱ دانه به سطوح آبیاری بعد از ۷۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر اختصاص داشت (جدول ۳). همچنین تنش کم‌آبی به‌واسطه اختلال در جذب عناصر غذایی و انتقال آن به دیگر اندام‌ها، سنتز مواد تولیدشده در برگ‌ها را کاهش داده و عملکرد و اجزای عملکرد را کاهش می‌دهد (shakirova et al., 2003).

ایزدی و تدین (Izadi and Tadayon, 2016)، نیک نشان و همکاران (Nikneshan et al., 2015) و رهبری و همکاران (Rahbari et al., 2019) در تحقیقاتی جداگانه بر روی کرچک گزارش کردند تنش کم‌آبی از تعداد دانه در بوته کاست که همسو با نتایج مطالعه حاضر است.

نتایج نشان داد در بین تیمارهای اثر متقابل بیشترین تعداد دانه در بوته با متوسط ۶۴۱/۱۷ دانه مربوط به تیمار اثر متقابل آزوسپریلیوم و سیتروباکتر همراه با مصرف سوپر جاذب بود، کمترین تعداد دانه در بوته نیز به تیمار شاهد هر دو تیمار اختصاص یافت. باکتری‌های تثبیت‌کننده فسفات و نیتروژن از طریق تثبیت فسفر و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق تثبیت نیتروژن و انتقال آن به سلول‌های گیاه سبب رشد و افزایش فتوسنتز و تولید مواد نورساخت می‌شوند که این امر موجب بهبود اجزای عملکرد گیاه ازجمله تعداد دانه خواهد شد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین تیمارهای اثر متقابل سوپرجاذب و کودهای شیمیایی بر صفات موردبررسی در گیاه کرچک

Table 5. Mean comparison of interaction effects of Super absorbent and Bio-fertilizer on studied traits of Castor

سوپرجاذب Super absorbent	کود زیستی Bio-fertilizer	ارتفاع بوته Plant height	تعداد دانه در بوته Main length cluster	طول خوشه اصلی Capsules number per plant	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد روغن Oil yield
		cm		cm	kg h^{-1}	٪	kg h^{-1}
شاهد Control	شاهد Control	127.12^{g}	554.21^{h}	16.51^{g}	915.41^{h}	18.51^{g}	448.19^{h}
	آزوسپریلیوم Azospirillium	131.12^{f}	601.00^{g}	19.27^{e}	978.28^{f}	19.38^{f}	484.61^{f}
	سیتروباکتر Citrobacter	140.25^{c}	613.62^{e}	20.08^{d}	1091.44^{c}	20.80^{e}	572.59^{b}
	آزسپریلیوم+ سیتروباکتر Azospirillium+ Citrobacter	137.20^{d}	621.12^{d}	20.10^{d}	1073.88^{d}	20.52^{d}	542.58^{d}
مصرف سوپرجاذب Use of superabsorbent	شاهد Control	130.91^{f}	605.41^{f}	18.55^{f}	934.51^{g}	18.24^{g}	558.41^{g}
	آزوسپریلیوم Azospirillium	135.18^{e}	627.32^{c}	21.51^{c}	1039.81^{e}	20.58^{e}	516.18^{e}
	سیتروباکتر Citrobacter	156.21^{a}	633.25^{b}	23.55^{a}	1137.61^{a}	20.72^{a}	597.91^{a}
	آزسپریلیوم+ سیتروباکتر Azospirillium+ Citrobacter	143.18^{b}	641.17^{a}	22.19^{b}	1102.81^{b}	21.11^{b}	557.81^{c}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند

In each column, averages with common character do not have a significant difference at the 5% level

در این بررسی کاربرد و سوپر جاذب اثر مثبتی بر افزایش تعداد دانه داشت به نظر می‌رسد سوپرجاذب‌ها به دلیل اینکه پتانسیل نگه‌داری آب و مواد غذایی را دارند می‌توانند نقل‌وانتقال آب و مواد فتوسنتزی را در داخل گیاه کنترل کرده و تحت شرایط نامساعد محیطی خصوصیات رویشی گیاه را بهبود دهند، سوپرجاذب ها می‌توانند طول دوره رشد گیاه را افزایش دهند و از این طریق مقدار سنتز و همچنین انتقال این مواد در بخش‌های مختلف گیاه را تسریع نمایند. افزایش تعداد دانه در ذرت تحت تأثیر تیمار سوپر جاذب در مطالعه محله و همکاران نیز گزارش شده است (Mahalleh et al., 2011). در مطالعه پرویزی و همکاران (Parvizi et al., 2019) بر روی ذرت نشان دادند بالاترین تعداد دانه در کاربرد سوپرجاذب و کود زیستی نیتروکسین گزارش شد.

وزن هزار دانه

نتایج نشان داد تنش کم‌آبی اثر منفی بر وزن هزار دانه داشت در این مطالعه آبیاری بعد از ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر وزن هزار دانه را در مقایسه با شرایط نرمال (آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر) به ترتیب ۲/۹۰، ۴/۲۵ و ۵/۸۶ درصد کاهش داد (جدول ۳). به دلیل اینکه تحت شرایط تنش کم‌آبی رابطه جبرانی بین وزن و تعداد دانه وجود دارد، کاهش وزن هزار دانه در این شرایط بیشتر مربوط به تسریع رسیدگی و کاهش طول دوره پر شدن دانه است (Mashi et al., 2008)، همچنین می‌توان اظهار داشت در شرایط تنش کم‌آبی بـه دلیـل پیری زودرس برگ‌ها، تولید مواد فتوسنتزی کاهش یافتـه و درنتیجه تخصیص مواد پرورده به هرکدام از منابع (دانه‌ها) کاهش یافته و به‌تبع آن نیز دانه‌های تشکیل‌شده کوچـک‌تـر و کم‌وزن‌تر خواهند شد. در مطالعه ایزدی و تدین (Izadi and Tadayon, 2016) و رهبری و همکاران (Rahbari et al., 2019) تنش کم‌آبی وزن هزار دانه در کرچک را کاهش داد.

مقایسه میانگین تیمارهای کود بیولوژیک نشان داد بیشترین وزن هزار دانه با متوسط ۲۱۷/۴۱ گرم مربوط به تیمار سیتروباکتر بود و کمترین مقدار نیز با متوسط ۱۸۵/۳۷ گرم به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود زیستی) اختصاص داشت (جدول ۴). استفاده از کودهای زیستی با بهبود رشد ریشه و افزایش اسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی به‌واسطه افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی در دوره قبل از گلدهی توانسته است در مرحله پس از گلدهی با انتقال مجدد این مواد از منبع به مخزن وزن هزار دانه را بهبود ببخشد. افزایش وزن هزار دانه تحت تأثیر کودهای زیستی در گیاه رازیانه نیز گزارش شده است (Rezaei Chianeh et al., 2015).

عملکرد بیولوژیک

مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری نشان داد بالاترین عملکرد بیولوژیک با متوسط ۵۲۶۷/۳۳ کیلوگرم در هکتار به تیمار آبیاری در زمان ۷۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر اختصاص یافت، در این آزمایش تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد بیولوژیک کاست و کمترین عملکرد بیولوژیک به سطح آبیاری با متوسط ۵۰۹۵/۰۹ کیلوگرم در هکتار به سطح آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر اختصاص یافت. (جدول ۳) رهبری و همکاران (Rahbari et al., 2019) نشان دادند تیمار تنش کم‌آبی در مقایسه با آبیاری نرمال عملکرد بیولوژیک را ۲۴/۲ درصد کاهش داد. میزان فتوسنتز در گیاهان رابطه مستقیمی با مقدار عملکرد بیولوژیک در گیاه دارد، تحت شرایط تنش کم‌آبی روزنه‌ها بسته‌شده و تبخیر و تعرق کاهش یافته و از عملکرد بیولوژیک کاسته می‌شود. کاهش عملکرد بیولوژیک در کرچک در مطالعات هادی و کلانتر (Hadi and Kalantar, 2015)، نیک نشان و همکاران (Nikneshan et al., 2015) نیز گزارش شده است.

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای کود زیستی نشان داد تیمارهای سیتروباکتر و آزسپریلیوم+ سیتروباکتر به ترتیب با متوسط ۵۲۲۳/۸۸ و ۵۲۰/۴۷ کیلوگرم در هکتار اختصاص داشت، کمترین عملکرد بیولوژیک نیز با متوسط ۵۰۸۴/۰۸ کیلوگرم در هکتار به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود زیستی) اختصاص داشت (جدول ۴).

بهبود وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای کاربرد سوپرجاذب به این دلیل است که زمانی که سوپرجاذب‌ها به خاک اضافه می‌شود، قادر هستند که آب و مواد غذایی را به خود جذب و سپس به آهستگی آزاد می‌کنند. این آب می‌تواند توسط گیاه زمانی که در حال رشد است یا تحت شرایط تنش قرار دارد مورداستفاده قرار گیرد (Islam et al., 2011). بهبود وزن خشک اندام هوایی در اثر کاربرد سوپر جاذب در چغندرقند (Khalili and Hamze, 2019, 2021) و یونجه (Khalili and Hamze, 2021) نیز گزارش شده است. در مطالعه اوسطی و همکاران (Osati et al., 2019) بالاترین عملکرد بیولوژیک در کرچک به تیمار محلول‌پاشی کودهای شیمیایی تحت شرایط آبیاری نرمال اختصاص داشت کمترین

عملکرد بیولوژیک نیز تحت تیمار شاهد محلول‌پاشی همراه با آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر ثبت شد.

عملکرد دانه

در این مطالعه با تشدید تنش کم‌آبی از عملکرد دانه در کرچک کاسته شد به‌نحوی‌که سطوح آبیاری بعد از ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به ترتیب با متوسط ۵۲۲/۲۸، ۵۱۹/۸۰ و ۴۸۹/۲۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه را در مقایسه با آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر به ترتیب ۳/۷۲، ۶/۷۹ و ۹/۵۰ درصد کاهش داد (جدول ۳). تنش کم‌آبی شاخص‌های رشدی را کاهش داده و تولید اندام‌های زایشی و همچنین پر شدن دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین با افزایش رطوبت، اسیمیلاسیون کربن با سهولت بیشتری صورت گرفته و سبب بهبود رشد گیاه و پر شدن دانه و درنهایت افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Karimi et al., 2016). همچنین برای بهبود عملکرد دانه باید گیاه رشد رویشی و زایشی مناسبی داشته باشد و این فرآیند در اثر تنش دچار اختلال نشود، اثر نامناسب تنش کم‌آبی بر روی هر یک از اجزای عملکرد می‌تواند موجب کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش شود. کاهش عملکرد دانه در کرچک در مطالعه اوسطی و همکاران (Osati et al., 2019) و رهبری و همکاران (Rahbari et al., 2019) نیز گزارش شده است.

در بین تیمارهای اثر متقابل فاکتورهای کود زیستی با سوپرجاذب بیشترین عملکرد دانه با متوسط ۱۱۳۷/۶۱ کیلوگرم در هکتار به تیمار سیتروباکتر همراه با مصرف سوپر جاذب بود، کمترین عملکرد دانه نیز با متوسط ۹۱۵/۴۱ کیلوگرم در هکتار به تیمار شاهد هر دو تیمار (عدم کاربرد سوپرجاذب و کود زیستی) اختصاص یافت (جدول ۵). یکی از اثرات مثبت استفاده از کودهای زیستی و سوپرجاذب افزایش طول دوره رشد و طول دوره پر شدن دانه و همچنین ذخیره بیشتر مواد فتوسنتزی در گیاه است که موجب افزایش عملکرد نهایی می‌شوند، بنابراین می‌توان اظهار داشت فراهمی مواد غذایی موردنیاز گیاه در تیمارهای استفاده از کودهای زیستی موجبات افزایش عملکرد دانه را فراهم نموده‌اند. به نظر می‌رسد در حالتی که سوپرجاذب در خاک وجود دارد به سبب تسهیل در جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه، گیاه می‌تواند از شرایط ایجادشده به‌منظور تولید سطح برگ بیشتر و درنتیجه میزان فتوسنتز بالاتر، استفاده و درنهایت عملکرد ریشه بیشتری تولید کند. در مطالعه‌ای بر روی گیاه دارویی زنیان بالاترین عملکرد دانه در تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا + Azotobacter +Pseudomonas+ گزارش شد. این افزایش عملکرد به تأثیر مثبت کودهای زیستی بر روابط آبی گیاه میزبان، چرخه مواد غذایی و در دسترس قرار دادن و افزایش جذب عناصر غذایی نسبت داده شد (Rezae Chiyaneh et al., 2015). در مطالعه زمانی و همکاران (Zamani et al., 2019) کاربرد تلفیقی کود زیستی باکتریایی+ قارچ میکوریزا نسبت به شاهد عملکرد دانه را به میزان ۲۱/۵۲ درصد افزایش داد. ایزدی و تدین (Izadi and Tadayon, 2016) نشان دادند تنش کم‌آبی عملکرد و اجزای عملکرد دانه را به‌صورت معنی‌داری در گیاه کرچک کاهش داد اما تیمار با اسید سالیسیلیک و اسپرمین اثر تنش نامناسب کم‌آبی را بر عملکرد دانه تعدیل نمود. در مطالعه پرویزی و همکاران (Parvizi et al., 2019) بر روی ذرت نشان دادند بالاترین عملکرد دانه در کاربرد سوپرجاذب و کود زیستی نیتروکسین گزارش شد. در تحقیقی بر روی گیاه به‌لیمو (Lippia citriodora) تیمار مصرف متعادل کود همراه با کود زیستی و پلیمر سوپرجاذب بالاترین عملکرد پیکره رویشی و عملکرد ماده خشک را به خود اختصاص داد (Zarea et al., 2015).

شاخص برداشت

در بین سطوح آبیاری بالاترین شاخص برداشت با متوسط ۲۰/۵۲ درصد به تیمار آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر و کمترین مقدار به تیمار آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر با متوسط ۱۹/۳۴ درصد اختصاص داشت (جدول ۳). با توجه با این مطلب که شاخص برداشت با عملکرد دانه رابطه مستقیم و با عملکرد بیولوژیک رابطه عکس دارد می‌توان نتیجه گرفت که تنش کم‌آبی هر دو جزء این رابطه را با نسبت مساوی کاهش داده است. در بین تیمارهای اثر متقابل بیشترین شاخص برداشت با متوسط ۲۰/۷۲ درصد به تیمار سیتروباکتر و همراه با مصرف سوپر جاذب اختصاص داشت و کمترین مقدار با متوسط ۱۸/۵۱ درصد در تیمار شاهد هر دو تیمار ثبت شد (جدول ۵). بالا بودن نسبت شاخص برداشت در تیمار سیتروباکتر همراه با مصرف سوپر جاذب را می‌توان با بالا بودن مقدار عملکرد دانه در این تیمار نسبت داد که رابطه مستقیم با عملکرد دانه دارد. در تحقیقی بر کنجد شاخص برداشت در تیمار مصرف سوپر جاذب به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (Siuki et al., 2020).

درصد روغن

در بین سطوح آبیاری تیمار آبیاری در زمان ۷۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر با متوسط ۵۱/۰۰ درصد بیشترین و کمترین و تیمار آبیاری در زمان ۱۶۰ میلی‌متر با متوسط ۴۹/۸۱ درصد کم‌ترین درصد روغن را به خود اختصاص داد (جدول ۳). اثر منفی تنش کم‌آبی بر میزان روغن دانه به علت اثر سوء بر فرآیندهای متابولیکی دانه، اختلال در انتقال مواد پرورده به دانه‌ها و احتمالاً تولید ترکیبات ثانویه نامطلوب در تولید روغن است. کاهش میزان روغن در مطالعات دیگر محققین نیز به اثبات رسیده است در مطالعه هادی کلانتر و همکاران (Kalantar et al., 2014) تیمار آبیاری مطلوب با متوسط ۵۲ درصد روغن در مقایسه با شرایط تنش کم‌آبی با متوسط ۴۵/۹ درصد از درصد روغن بالاتری برخوردار بود.

در بین تیمارهای کود زیستی بیشترین درصد روغن با متوسط ۵۲/۵۶ درصد مربوط به تیمار سیتروباکتر بود و کمترین مقدار این صفت با متوسط ۴۸/۴۴ درصد به تیمار شاهد کود زیستی اختصاص داشت (جدول ۴). در مطالعه یوسف پور و یدوی (Yousefpoor and Yadavi, 2013) کاربرد کودهای زیستی درصد روغن دانه آفتابگردان را افزایش داد.

عملکرد روغن

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از عملکرد روغن دانه کاست به‌طوری‌که بالاترین و پایین‌ترین عملکرد روغن به ترتیب با متوسط ۵۴۷/۱۲ و ۴۸۹/۲۰ کیلوگرم در هکتار به سطوح آبیاری بعد از ۷۰ و ۱۶۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر اختصاص یافت (جدول ۳).

رهبری و همکاران (Rahbari et al., 2019) نشان دادند تیمار تنش کم‌آبی در مقایسه با آبیاری نرمال عملکرد روغن (۵۱/۷ درصد) را به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال کاهش داد. عملکرد روغن شامل دو جزء عملکرد دانه و درصد روغن است، بنابراین کاهش این دو جزء تحت شرایط تنش کم‌آبی از عملکرد روغن خواهد کاست (Moosavi et al., 2014).

در بین تیمارهای اثر متقابل بیشترین عملکرد روغن با متوسط ۵۹۷/۹۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار کاربرد سیتروباکتر همراه با مصرف سوپر جاذب بود و کمترین مقدار نیز با متوسط ۴۴۸/۱۹ کیلوگرم در هکتار به سطوح شاهد هر دو تیمار اختصاص داشت (جدول ۵).

در مطالعه حسن‌زاده قورت تپه و جوادی (Hasanzadeh Ghorttapeh and Javadi, 2016) بالاترین عملکرد روغن در گیاه کلزای بهاره به تیمار کودی نیتروژن + تلقیح با ازتوباکتر و آزوسپریلوم اختصاص یافت. در مطالعه سیوکی و همکاران (Siuki et al., 2020) کاربرد سوپرجاذب اثر مثبتی بر افزایش درصد و عملکرد روغن در گیاه کنجد داشت.

نتیجه‌گیری نهایی

در این بررسی تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از کلیه خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد دانه و اجزای عملکرد، درصد و عملکرد روغن دانه کاست بنابراین جهت دستیابی به عملکرد اقتصادی مناسب باید آبیاری به‌صورت منظمی انجام شود و گیاه با تنش کم‌آبی مواجه نگردد، نتایج نشان داد کاربرد کودهای بیولوژیک به‌خصوص سیتروباکتر هم به‌صورت جداگانه و هم در ترکیب با سوپرجاذب اثر مثبتی بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن داشتند بنابراین کاربرد این مواد جهت بهبود عملکرد اقتصادی کرچک در هر دو شرایط مختلف آبیاری قابل توصیه است.

منابع

Abasi Sadr, S., Sharafi, S., Hassanzadeh Ghorttapeh, A., 2018. Effect of Drought stress and seed priming on some vegetative and reproductive traits of castor bean (*Ricinus Communis* L.) var Esfahan. Journal of Crop Ecophysiology. 45, 75-88. [In Persian].

Akpan, U.G., Jimoh, A., Mohammad, A.D., 2006. Extraction, characterization and modification of castor seed oil. Leonardo Journal Science. 8, 43-52.

Arzanesh, M.H., 2018. Using Azospirillum to enhance wheat yield in calcareous soils. Journal of land Management (Soil and Water Science). 6, 103-115. [In Persian]

Bashan, Y., Holguin, G., 1997. Azospirillum - plant relationships: Environmental and physiological advances (1990–1996). Canadian Journal of Microbiology. 43, 103 –121.

Bijani,M., Yadollahi, P., Asgharipour, M.R., Soleimani, S., Latifi, M., 2015. Effects of

nitrogen and biological fertilizer on yield, oil and protein content of sesame (*Sesamum indicum* L.) .Journal of Oil Plants Production, 1, 1-12. [In Persian].

FAO. 2022. https://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E

Fasusi, O.A., Cruz, C., Babalola, O.O., 2021. Agricultural sustainability: Microbial biofertilizers in rhizosphere management. Agriculture. 11, 163- 175.

Fazeli Rostampour, M., Yarnia, M., Rahimzadeh Khoee, F., 2013. Physiological response of forage sorghum to polymer under water deficit conditions. Agronomy Journal. 105, 951-959.

Hadi, H., Kalantar, A., 2015. Effects of mycorhizal symbiosis, application of super absorbant gel, glycinebetain and sugar beet extract on physiological traits and seed yield of castor bean (*Ricinus communis* L.) in drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences. 17, 236-250. [In Persian].

Han, H.S., Lee, K.D., 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant, Soil and Environment. 52, 130-148.

Hasanzadeh Ghorttapeh, A., Javadi, H., 2016. Study on the Effects of inoculation with biofirtilizers (*Azotobacter* and *Azospirillum*) and nitrogen application on oil, yield and yield components of spring canola in West Azerbaijan. Journal of Crop production and processing. 5, 39-50[In Persian].

Iqbal, J., Zaib, S., Farooq, U., Khan, A., Bibi, I., Suleman, S., 2012. Antioxidant, antimicrobial and free radical scavenging potential of aerial parts of Periploca aphylla and Ricinus communis. ISRN Pharmacology. 12, 563-585. https://dx.doi.org/10.5402/2012/563267

Islam, M., Xue, X., Mao, S., Ren, C., Eneji, A., Hu, Y., 2011a. Effects of water saving super-absorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in corn (*Zea mays* L.) under drought stress. Journal of the Science of Food and Agriculture. 91, 813-819.

Izadi, Z., Tadayon, M R., 2016. Effect of salicylic acid and spermine on yield and yield components of castor bean (*Ricinus communis* L.) under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 8, 159-167. [In Persian].

Jafarzadeh, L., Omidi, H., Jafari, D., 2010. The effect of drought stress on vegetative grouth, essential oil and proline content of *Calendula officinalis* L., 4th International Conference of Biology, Iran. 2010, 1261-1262

Jahan, M., Mahallati, N., 2012. Soil Fertility and Biofertilizers (Ecological Rehabilitation). Ferdowsi University of Mashhad Publications. 250 p. [In Persian].

Jajarmi, V., 2009. Effect of water stress on germination indices in seven wheat cultivar. WorldAcademy of Science, Engineering and Technology. 49. 105-106.

Kalantar Ahmadi, S.A., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Daneshian, J., Siadat, S.A., 2014. Effects of water stress and nitrogen on changes of some amino acids and pigments in canola. Bulletin of Environment, Pharmacology, and Life Sciences. 4, 114-122.

Karimi, E., Tadayyon, A., Tadayyon, M.R., 2016. The effect of humic acid on some yield characteristics and leaf proline content of safflower under different irrigation regimes. Agricultural Crop Management. 18, 609-623. [In Persian].

Kazemi, E., Baradaran, R., Seghat Eslami, M.J., Ghasemi, A., 2012. Effects of Zn and Fe foliar application on qualitative and quantitative features of grain sorghum under drought stress. Agronomy Journal (Research and Development). 102, 190- 196. [In Persian].

Khalili, M., Hamzeh, H., 2021b. Effect of different soil amendment treatments on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under different irrigation regimes. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31, 171-192. [In Persian].

Khalili, M., Hamze, H., 2019. Effect of super-adsorbent and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris*). Journal of Crop Ecophysiology, 13, 395 -412. [In Persian].

Khalili, M., Hamze, H., 2021. Effect of different soil amendment treatments on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under different irrigation regimes. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 31, 171-192. [In Persian].

Khalili, M., Hamze, H., 2021. Investigating the effect of superabsorbent polymer application on agronomic properties and forage yield of alfalfa under different moisture conditions.

Iranian journal of Dryland Agriculture. 10, 41-71. [In Persian].

Khashei Siuki, A., Shahid, A., Dastorani, M., Fallahi, H. R., Shirzadi, F., 2020. Investigating the Effect of amendments of zeolite, superabsorbent polymer, and different amounts of irrigation on sesame yield. Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci). 34, 243- 266. [In Persian].

Khorramde, S., Koocheki, A., Nasiri mahalati, N., Ghorbani, R., 2010. Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research. 1, 115-161. [In Persian].

Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., Doitsinis, A., 1999. Adaptation and yielding ability of castor plant (*Ricinus communis* L.) genotypes in a Mediterranean climate. European Journal of Agronomy. 11, 227- 237.

Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., Doitsinis, A., 2000. Water requirements for castor oil crop (*Ricinus communis* L.) in a Mediterranean climate. Journal of Agronomy and Crop Science. 184, 33- 41

Kumar, R., Kumawat, N., Sahu, Y.K., 2017. Role of biofertilizers in agriculture. Popular Kheti. 5, 63-66.

Laei, G.H., Ghorbanian, A.R., Arab, H.A., 2011. Effects of irrigation on agronomic characteristics of four cultivars of castor in Damghan climate. Journal of Research Agricultural Science. 13, 103-114.

Liv, S.S., Dick, L.A., Marco, B., Magno, J.D., Cândido, G.C., William, C., Tan, D., Xiaohua, H.P., Lakshmamma, C., Lavanya-Olga, L.T.M., Thomas, M., Máira, M., Travis D,M., Stephen, A.M., Alejandro, A.N., Dartanhã, J.S., Valdinei, S., Ming, L.W., Maurício, D.Z., Helge, Z., 2012. A review on the challenges for increased production of castor. Agronomy Journal. 104, 853-880.

Mahalleh, J.K., Abad, H.H.S., Nourmohammadi, G., Darvish, F., Haravan, I.M., Valizadegan, E., 2011. Effect of superabsorbent polymer (Tarawat a200) on forage yield and qualitative characters in corn under deficit irrigation condition in Khoy zone (Northwest of Iran). Article in Advances in Environmental Biology. 5, 2579-2587.

Mashi, A., Galeshi, S., Zeinali, E., Noorinia A., 2008. Salinity effect on seed yield and yield components in four Hull-les barley. Journal of Agriculture Science and Naturul Resources.14, 1-10. [In Persian with English Summary].

Mohammadi, Kh., Khalesro, Sh., Sohrabi, Y., Heidari, Gh., 2011. A Review: Beneficial effects of the mycorrhizal fungi for plant growth. Applied Environmental and Biological Sciences. 1, 310-319.

Moosavi, S.G., Javad Seghatoleslami, M., Fazeli-Rostampoor, A., Jouyban, Z., 2014. Response of marigold flower yield and yield components to water deficit stress and nitrogen fertilizer. Journal of Ornamental Plants. 4, 153-162. [In Persian].

Nikneshan, P., Tadyon, A., Rafialhosseini, M., Bahreyninezhad, B., 2015. Responses of different caster bean ecotypes to limited irrigation stress in Isfahan and Shahrekord. Agricultural Crop Management. 17, 1015-1033. [In Persian].

Osati, F., Mir Mahmoodi,T., Paseban Eslam, B., Yazdan Seta, S., Monirifar, H., 2019. Effect of irrigation levels and spraying of chemical fertilizers on some physiological traits and grain yield in castor (*Ricinus communis* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 747-762. [In Persian].

Parvizi, K., Hedayati, A., Farnia, A., 2019. Evaluation the effect of bio fertilizer nitroxin and superabsorbent on growing traits and yield components of corn in water stress condition. Horticultural Plants Nutrition. 2, 99-115.

Qi, J., Song, C.P., Wang, B., Zhou, J., Kangasjarvi, J., Zhu, J.K., Gong, Z., 2018. Reactive oxygen species signaling and stomatal movement in plant responses to drought stress and pathogen attack. Journal of Integrative Plant Biology. 60, 805- 826.

Rahbari, A., Masoud Sinaki, J., Damavandi, A., Rezvan, SH., 2019. Responses of castor (*Ricinus communis* l.) to foliar application of zinc nano-chelate and humic acid under limited irrigation. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 29, 153-175. [In Persian].

Rezaei Chianeh, I., Jalilia, J., Ebrahimian, E., Mohammad Sidi, S., 2015. The effect of biofertilizers on quantitative and qualitative yield of Bacillus lentus at different levels of irrigation. Journal of Crops Improvement. 17, 775-788.

Rezvani Moghaddam, P., Bromand Rezazadeh Z., Mohamad Abadi, A.A., Sharif. A. 2009. Effects of sowing dates and different fertilizers

on yield, yield components, and oil percentage of castor bean (*Ricinus communis* L.). Journal of Agronomy. 6, 303- 313.

Rezvani-Moghadam, P., Seyedi, S.M. Azad, M., 2014. Comparison of the effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on the nitrogen use efficiency in black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Medicinal Plants and Aromatic Plants. 30, 274-260. [In Persian].

Shakirova, M., Sakhabutdinova, F., Bezrukova A., Fatkhutdinova, M., Fatkhutdinova, D., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science. 164, 317-322.

Shidfar, R., Tajbakhsh, M., Hasanzadeh, A., 2011. Study of yield and yield components of different castor cultivars. National Conference on Oilseed Crops, Isfahan, Iran. 23-24 September, P. 423-426. [In Persian]

Tesfamariam, E.H., Annandale, J.G., Steyn J.M., 2010. Water stress effects on winter canola growth and yield. Agronomy Journal. 102, 658–666.

Yousefpoor, Z., Yadavi, A.R., 2013. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative yield of sunflower. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 24, 95-112. [In Persian]

Zamani, F., Amirnia, R., Rezaei-Chiyaneh, E., Rahimi, A., 2019. The Effect of bacterial bio-fertilizers and mycorrhizal fungi on seed yield and chemical composition of essential oil from three fennel landrace. Crops Improvement. 20, 831-848. [In Persian]

Zarea, A.A., Malakouti, M.J., Bahrami, H.A., Sefidkon, F., Shahhosseini, R., 2015. Effect of balanced fertilization, biofertilizers and superabsorbent polymer on the yield and chemical compound characteristics of lemon verbena (*Lippia citriodora* H. B. et K.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 30, 999-1011. [In Persian]