

بررسی خصوصیات زراعی و رنگدانه‌های فتوسنتزی کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.) رقم نورمن تحت شرایط قطع آبیاری و کاربرد قارچ میکوریزا و کود زیستی فسفات در یاسوج

فاطمه شجاعیان کیش^۱، علیرضا یدوی^{۲*}، امین صالحی^۲، محسن موحدی دهنوی^۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۳/۱۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

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

*مسئول مکاتبه: E-mail: Yadavi@yu.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی مختلف بر خصوصیات زراعی و رنگدانه‌های فتوسنتزی کتان روغنی تحت شرایط قطع آبیاری، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۶ انجام شد. رژیم آبیاری در سه سطح آبیاری کامل، قطع آبیاری در شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی و قطع آبیاری در شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی و کاربرد کود زیستی در چهار سطح قارچ میکوریزا آربوسکولار، فسفات بارور ۲، قارچ میکوریزا آربوسکولار + فسفات بارور ۲ و عدم کاربرد کود زیستی به ترتیب به‌عنوان عامل اصلی و فرعی در نظر گرفته شدند. کمترین عملکرد دانه و روغن (۹۳/۷ و ۳۲/۹ گرم در متر مربع) و کمترین تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه و همچنین بیشترین درصد پروتئین دانه از تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی حاصل شد. کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار + فسفات بارور ۲ نسبت به عدم کاربرد کود زیستی به ترتیب باعث افزایش ۲۵/۵، ۲۶/۵، ۳۳/۱ و ۱۷/۴ درصد در تعداد کپسول در بوته، عملکرد دانه، عملکرد روغن و درصد پروتئین دانه شد. استفاده از قارچ میکوریزا + فسفات بارور ۲ در تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی باعث افزایش معنی‌دار محتوای کارتنوئید برگ در نمونه‌برداری در مرحله پر شدن دانه گردید. همچنین در آبیاری کامل نیز کودهای زیستی قارچ میکوریزا و فسفات بارور ۲ باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل کل در نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی شد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، عملکرد روغن، فسفات بارور ۲، کتان روغنی، کلروفیل برگ، میکوریزا

Assessment of Agronomical Traits and Photosynthesis Pigments of linseed (*Linum usitatissimum* L. cv. Norman) under Irrigation Cut-off Condition and Application of Mycorrhiza Fungi and Phosphate Bio Fertilizer in Yasouj

Fatemeh Shojaeian kishi¹, Alireza Yadavi^{2*}, Amin Salehi² Mohsen Movahhedi Dehnavi²

Received: February 3, 2019 Accepted: June 2, 2019

1-MSc Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran.

2- Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran.

*Corresponding Author Email: Yadavi@yu.ac.ir

Abstract

In order to evaluate the effect of different bio-fertilizer on agronomical traits and photosynthesis pigments of linseed under irrigation cut-off condition a farm experiment carried out as split plot base on randomized complete block design with three replication at research field of Yasouj university in 2017. Irrigation regimes at three levels, full irrigation, irrigation cut-off at beginning of flowering until beginning of podding, irrigation cut-off at beginning of podding to end of maturity and bio-fertilizer application at four levels as mycorrhiza arbuscular fungi, Phosphate Barvar2, mycorrhiza arbuscular fungi+Phosphate Barvar2 and non-application of bio-fertilizer were considered as the main and the sub plots, respectively. Results showed that the lowest grain and oil yield (93.7 and 32.9 g.m⁻²) and the lowest capsule numbers per plant, seed numbers per capsule and 1000 seed weight and also the highest seed protein percent were achieved from irrigation cut-off at beginning of podding to end of maturity. Application of mycorrhiza arbuscular fungi + Phosphate Barvar2 comparison with non-application of bio-fertilizer increased capsule numbers per plant, grain and oil yield, and protein percent by 25.5, 26.5, 33.1 and 17.4 percent respectively. Use of mycorrhiza arbuscular fungi + Phosphate Barvar2 under irrigation cut-off at beginning of podding to end of maturity increased leaf carotenoid content significantly in seed filling stage sampling. Also in full irrigation condition at beginning podding stage sampling, Use of mycorrhiza arbuscular fungi + Phosphate Barvar2 increased leaf chlorophyll content significantly.

Keywords: Grain Yield, Leaf Chlorophyll, Linseed, Mycorrhiza, Oil Yield, Phosphate Barvar2

۴۵ - ۳۰ درصد روغن می‌باشد. از مهم‌ترین اسیدهای چرب غیر اشباع چند گانه موجود در دانه‌های این گیاه اسید آلفالینولنیک (اسید چرب امگا ۳) و اسید لینولنیک (اسید چرب امگا ۶) بوده که در تغذیه انسان لازم است (موریس ۲۰۰۷).

مقدمه

یکی از گیاهان روغنی و دارویی که در سطح جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، کتان روغنی می‌باشد. کتان روغنی یا بزرک، گیاهی است یک ساله، سرما دوست، روز بلند، خودگشن، و روغنی، که دربردارنده ۲۲ درصد پروتئین، ۶/۵ درصد فیبر خام و

عناصر به‌ویژه فسفر می‌شوند و آثار سوء تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهند. فنایی و ناروئی‌راد (۲۰۱۴) اعلام داشتند تنش خشکی انتهای فصل (ظهور طبق‌ها و گلدهی) از طریق تأثیر بر صفات زراعی و اجزای عملکرد، موجب کاهش عملکرد دانه در گلرنگ گردید.

جعفرزاده و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی اثر چهار تیمار خشکی (ملایم تا شدید) روی گیاه دارویی همیشه بهار گزارش کردند، افزایش تنش کم‌آبی موجب افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید) این گیاه می‌شود. همچنین بیان نمودند از مهم‌ترین نقش‌های حفاظتی کارتنوئیدها جلوگیری از فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها می‌باشد.

عبدالمونیم و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند تنش خشکی باعث کاهش محتوای کلروفیل در گیاه نرت گردید. در آزمایش شریعتی و همکاران (۲۰۱۷) روی گیاه گلرنگ نیز افزایش شدت تنش خشکی با کاهش محتوای کلروفیل برگ همراه بود و موجب کاهش کلروفیل a، b و کارتنوئید در این گیاه شد. راعی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر درصد روغن، عملکرد و اجزای عملکرد دانه گلرنگ در سطوح مختلف آبیاری گزارش کردند که تلقیح بذور با مخلوط ازتوباکتر و قارچ میکوریزا توانست اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی بر روی محتوای کلروفیل را تا حدی کاهش دهد.

افزایش دما و تنش خشکی موجب کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه و تغییر در متابولیسم مواد و به دنبال آن کاهش درصد روغن دانه می‌گردد. نتایج متفاوتی از تأثیر تنش بر درصد روغن گزارش شده است. سیداحمدی و همکاران (۲۰۱۵) در آزمایشی بر روی کلزا اعلام نمودند تنش خشکی (تخلیه رطوبتی از ۵۰ به ۷۰ درصد) باعث کاهش ۱۱/۵ درصد روغن و افزایش ۱۸/۵ درصد پروتئین دانه گردید. در تحقیق کاظمی و همکاران (۲۰۱۶) با افزایش فاصله آبیاری از

از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید در سامانه‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک کمبود منابع آبی می‌باشد که محدوده تأمین سایر منابع و همچنین کارایی مصرف آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (کنان‌کیل و همکاران ۲۰۰۷). تنش کمبود آب تأثیر منفی بر طول دوره رشد گیاه، شاخص سطح برگ، فتوسنتز در واحد سطح برگ، سرعت رشد گیاه و عملکرد دانه در گیاهان دارد و موجب کاهش صفات مذکور می‌شود (سرچشمه‌پور و همکاران ۲۰۱۴). تنش آبی موجب بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش غلظت CO₂ در بافت مزوفیل می‌شود. همچنین این شرایط موجب افزایش تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن، از جمله رادیکال‌های سوپر اکسید (O₂⁻)، هیدروژن پراکسید (H₂O₂) و رادیکال‌های هیدروکسیل (OH) می‌شود (فویر و همکاران ۱۹۹۴). تخریب مولکول کلروفیل از مهم‌ترین صدمات اکسیداتیو می‌باشد (چاکلر و اسکوت ۲۰۰۲). دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ از شاخص‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش و همچنین تعیین کننده سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک گیاه می‌باشد (قوش و همکاران ۲۰۰۴). کارتنوئیدها یکی از مکانسیم‌های دفاعی غیرآنزیمی برای مقابله با تنش اکسیداتیو می‌باشد که از یک سو موجب گرفتن انرژی زیاد طول موج‌های کوتاه و از سوی دیگر باعث تبدیل اکسیژن یک تایی به سه تایی می‌شود و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولید شده موجب ایفای نقش آنتی‌اکسیدانی می‌شوند (کرینزکی ۱۹۸۹). تنش خشکی باعث کاهش رشد ریشه، کاهش جذب عناصر و آثار سوء کمبود عناصر بر روی رشد گیاه و در نهایت عملکرد گیاه می‌گردد. استفاده از کودهای زیستی نظیر قارچ میکوریزا و فسفات بارور ۲ از جمله راهکارهایی است که در چند دهه اخیر به کار گرفته شده است. این کودهای زیستی از طریق افزایش بهبود رشد ریشه، تولید و ترشح هورمون‌ها (ال‌زمرانی و همکاران ۲۰۰۶) و تولید ترکیباتی که باعث حلالیت

برنامه‌های عملی به منظور افزایش راندمان آب در گیاه و کاهش اثرات زیان‌بار کودهای شیمیایی از اولویت‌های مهم پژوهشی می‌باشد. لذا در این پژوهش سعی بر این خواهد بود که تأثیر مثبت قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های حلال‌ساز فسفر در بالا بردن مقاومت گیاه کنان روغنی به تنش‌های خشکی، بررسی گردد تا بتوان ضمن افزایش عملکرد کمی و کیفی این محصول خطرات ناشی از کودهای شیمیایی و پیامدهای تنش خشکی را نیز تعدیل کرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در بهار و تابستان ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج واقع در ارتفاع ۱۸۷۰ متری از سطح دریا و با مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی اجرا گردید.

در این آزمایش رژیم آبیاری به عنوان عامل اصلی در سه سطح آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی و قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی و کاربرد کود زیستی در چهار سطح کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار گونه *Glomus mosseae*، کاربرد کود زیستی فسفات بارور ۲، کاربرد توأم قارچ میکوریزا آربوسکولار و فسفات بارور ۲ و عدم کاربرد کود زیستی (شاهد) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

برای تعیین میزان حاصلخیزی خاک و نیاز کودی قبل از انجام عملیات زراعی از ۱۰ نقطه مزرعه و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری نمونه خاکی مرکب تهیه و در آزمایشگاه آب و خاک و گیاه دشت ناز گلشن یاسوج تجزیه شد. که نتایج آن در جدول ۱ شرح داده شده است.

۱۵۰ به ۲۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر درصد پروتئین کنجد افزایش یافت ولی عملکرد روغن در شرایط آبیاری محدود، به علت کاهش درصد روغن و عملکرد دانه کاهش پیدا کرد. اختلال در فرایندهای متابولیسمی بذر و آسیب به انتقال آسیمیلات‌ها به دانه می‌تواند از دلایل کاهش درصد روغن در اثر تنش کم-آبی باشد (بوچرا و همکاران ۱۹۹۶).

قارچ میکوریزا در اثر افزایش سرعت و مدت فتوسنتز، موجب افزایش بازده انتقال مواد فتوسنتزی به مخزن و در نتیجه افزایش عملکرد می‌گردد (کوپتا و همکاران ۲۰۰۶). مطلبی‌زاده و حسن‌زاده قوررت‌تپه (۲۰۱۵) بیان نمودند کاربرد تلفیقی کودهای زیستی نیتروکسین و فسفات بارور ۲ در کتان موجب افزایش تعداد دانه در ساقه اصلی، وزن دانه در ساقه اصلی، وزن دانه در ساقه فرعی و عملکرد دانه گردید. ایشان همچنین بیان نمودند علت پایین بودن عملکرد دانه در تیمار شاهد به علت پایین بودن وزن هزاردانه و همچنین کاهش تعداد دانه در کپسول در اثر عدم تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به ویژه فسفر و نیتروژن و به دنبال آن کاهش رشد زیستی و تلقیح و ماندگاری کمتر دانه‌ها می‌باشد. قلی‌نژاد (۲۰۱۷) گزارش داد در کنجد کاربرد قارچ میکوریزا (گلوبوس موسه‌آ و گلوبوس اینترارادیسز) نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، موجب افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی شد. که علت این افزایش را در ارتباط با تأثیر قارچ میکوریزا بر تثبیت فسفر، نیتروژن، ماندگاری بیشتر برگ‌ها روی گیاه، حفظ و افزایش اندازه برگ و همچنین افزایش میزان فتوسنتز از طریق کلروفیل بیشتر دانستند.

با وجود وقوع خشکسالی و مواجه شدن با کمبود آب در کشور در سال‌های اخیر، که پهنه وسیعی از کشور را تحت تأثیر قرار داده است و همچنین استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و به دنبال آن آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی، آلودگی‌های زیست محیطی و کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی، اجرای

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

روى قابل جذب	آهن قابل جذب	پتاسيم قابل جذب	فسفر قابل جذب	نيتروژن كل (%)	ماده آلى (%)	هدايت الكتريكي (ds.m ⁻¹)	pH	بافت خاک
(mg.Kg ⁻¹)								
۰/۴۶	۱۴/۷	۲۵۰	۸	۰/۰۸۵	۱/۷	۰/۵	۷/۷	رسی سيلتی

و ایجاد پشته‌ها انجام شد. طبق نقشه اجرایی طرح، هر کرت اصلی آزمایش از ۴ کرت فرعی و هر کرت فرعی از ۳ پشته به طول ۳ متر و عرض ۵۰ سانتی‌متر با ۲ ردیف کاشت (فاصله خطوط کاشت ۲۵ سانتیمتری) و فاصله بذر روی ردیف ۴ سانتی‌متر تنظیم گردید. جهت جلوگیری از اثرات احتمالی نشت آبیاری‌ها، بین دو کرت اصلی سه پشته نکاشت (۱/۵ متر) و بین دو کرت فرعی، یک پشته نکاشت (۰/۵ متر) لحاظ شد. کوددهی طبق آزمون خاک و در نظر گرفتن نیاز گیاه صورت گرفت، (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره در دو مرحله قبل از کاشت و مرحله ساقه رفتن به صورت نواری اضافه شد و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل قبل از کشت به خاک اضافه گردید). رقم بذر کتان روغنی انتخابی مورد استفاده در این آزمایش رقم نورمن بود، این رقم زودرس، بهاره، نیمه مقاوم به خوابیدگی و خشکی با دانه‌های قهوه‌ای با وزن هزار دانه ۴ تا ۸ گرم می‌باشد.

کاشت در تاریخ ۳ اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ انجام گرفت، همچنین عمق کاشت بذر ۲-۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت در طرفین هر پشته به صورت کپه‌ای انجام گردید. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت، مزرعه هر سه روز یک بار تا زمان خروج گیاهچه‌ها آبیاری شد. ۷ روز پس از کاشت سبز شدن کامل شد و در ادامه مزرعه هر ۷ روز یک بار آبیاری شد و در زمان اعمال قطع آبیاری کرت‌های شاهد (بدون قطع آبیاری) هر ۵ روز یکبار آبیاری شدند. زمان اعمال تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع

کود قارچ میکوریزا آربوسکولار حاوی هیفها، وزیکولها و آربوسکولهای گلوموس موسه آ *Glomus mosseae* (تهیه شده از کلینیک گیاهپزشکی ارگانیک، شهرستان اسدآباد-همدان) به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار (هر گرم نمونه کود قارچ میکوریزا حاوی حدود ۳۰۰ اسپور زنده بود) و کود زیستی فسفات بارور ۲ (تهیه شده از شرکت زیست فناور سبز) به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار مورد استفاده قرار گرفت. کود زیستی فسفات بارور ۲ حاوی ۱۰^۷ تا ۱۰^۸ باکتری حل کننده فسفات (*Seudomonas putida* Strain P13 و *Pantoea agglomerans* Strain P5) در هر گرم از محصول می‌باشد.

کود فسفات بارور ۲ به صورت بذرمال استفاده گردید. بدین منظور ابتدا یک بسته (۱۰۰ گرمی) کود زیستی فسفات بارور ۲ در دو لیتر آب حل کرده و بعد از حل شدن آن، صاف گردید. محلول صاف شده داخل یک آبپاش ریخته و روی بذرها اسپری کرده و بذرها با مایع اسپری شده به خوبی مخلوط شد و در سایه قرار داده شدند تا خشک گردند. قارچ میکوریزا به صورت نواری در تماس مستقیم با بذر و در زیر بذر استفاده گردید و سپس عملیات کاشت انجام گرفت.

جهت اجرای آزمایش عملیات آماده سازی زمین و بستر خاک در اردیبهشت ماه به وسیله‌ی گاواهن و دیسک انجام گرفت و در ادامه توسط فاروئر با تنظیم فاصله ۵۰ سانتی‌متری به صورت جوی و پشته‌ای در آمد. در زمان آماده‌سازی زمین هیچ نوع قارچ‌کش، علف‌کش و یا آفت‌کش استفاده نگردید. سپس کرت‌بندی

گله‌ی تاریخی ۲۹ خرداد ۱۳۹۶ بود که به مدت ۲۰ روز (معادل ۴ بار آبیاری تیمار آبیاری کامل) در کرت‌های آزمایشی تیمار مذکور آبیاری صورت نگرفت. همچنین زمان اعمال تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول دهی تا پایان رسیدگی نیز در تاریخ ۱۹ تیر ۱۳۹۶ بود که از این زمان به بعد تا پایان رسیدگی در کرت‌های مذکور آبیاری صورت نگرفت که معادل ۶ بار آبیاری تیمار آبیاری کامل بود. در نهایت تعداد دفعات آبیاری برای تیمارهای آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله شروع گله‌ی تا کپسول دهی و قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول دهی تا پایان رسیدگی برابر با ۱۸، ۱۴ و ۱۲ نوبت آبیاری بود. با افزایش سرعت رشد علف‌های هرز در طول رشد رویشی، برای جلوگیری از ازدیاد علف‌های هرز، علف‌های هرز به روش وجین دستی کنترل شدند. در پایان فصل رشد با زرد شدن برگ‌ها و قهوه‌ای شدن بذرها، برداشت در تاریخ ۱۵ شهریور ماه ۱۳۹۶ انجام شد. برداشت از سطح ۴ خط کاشت پس از حذف دو خط کاشت حاشیه هر کرت و ۵۰ سانتی متر از ابتدا و انتهای هر کرت، از سطحی معادل ۲ متر مربع صورت گرفت. در سطوح مذکور تمامی بوته‌ها از سطح خاک در محل طوقه کفبر شدند.

در این تحقیق صفاتی از قبیل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، کلروفیل کل و کارتنوئید مورد سنجش قرار گرفتند. جهت تعیین تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه در مرحله رسیدگی کامل و در هنگام برداشت ۱۰ بوته از هر کرت فرعی آزمایش از محل طوقه کفبر شد. سپس تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول شمارش و اندازه‌گیری گردید و میانگین آن‌ها برای هر کرت لحاظ شد. همچنین بعد از شمارش تعداد ۱۰۰۰ دانه از هر کرت فرعی آزمایشی، به وسیله ترازوی دیجیتال وزن و به‌عنوان وزن هزار دانه هر کرت آزمایشی لحاظ شدند.

جهت تعیین عملکرد زیستی و عملکرد دانه ۲ متر مربع از وسط هر کرت انتخاب و بعد از کفبر کردن بوته‌ها از محل طوقه، همه کپسول‌ها از بوته‌ها جدا شد. سپس تمامی دانه‌ها از کپسول‌ها به روش دستی جدا شد. سپس بذور جدا شده از هر کرت پس از، از دست دادن رطوبتشان وزن شدند و در نهایت عملکرد دانه در واحد سطح برای هر تیمار محاسبه گردید. عملکرد زیستی کل نیز از طریق جمع عملکرد کاه و عملکرد دانه به‌دست آمد. در این پژوهش از روش سوکسله (جانسون و اولریچ ۱۹۵۹) برای استخراج و اندازه‌گیری درصد روغن دانه استفاده شد. از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد روغن، عملکرد روغن محاسبه گردید. درصد نیتروژن دانه به روش نوزامسکی و همکاران (۱۹۷۴) اندازه‌گیری شد و درصد پروتئین دانه از حاصلضرب درصد نیتروژن در عدد ۶/۲۵ محاسبه شد (برمنز ۱۹۹۶). برای اندازه‌گیری فسفر برگ، نمونه برداری از برگ کتان در تاریخ ۱۵ مرداد ۱۳۹۶ در اواسط پر شدن دانه انجام شد و با روش کالریمتری (روش زرد و عصاره گیر آمونیوم مولیبدات و آمونیوم وانادایت) محتوای فسفر برگ اندازه‌گیری گردید. (چپمن و پرات ۱۹۶۱) برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل از برگ‌های جوان بوته‌ها استفاده شد، به این صورت که پس از حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و برگ‌های جوان آن جدا شد. نمونه‌گیری از برگ‌ها طی دو مرحله صورت گرفت. اولین مرحله در زمان شروع کپسول‌دهی (۱۹ تیر ۱۳۹۶) و دومین مرحله در زمان اواسط پر شدن دانه (۱۵ مرداد ۱۳۹۶) بود. از روش آرنون (۱۹۴۹) میزان کلروفیل برگ اندازه‌گیری گردید.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. مقایسه میانگین اثرات اصلی به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه L.S.Means انجام گردید.

نتایج و بحث

کلروفیل کل

معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج برش‌دهی نشان داد اثر کودهای زیستی تنها در آبیاری کامل برای کلروفیل کل معنی‌دار گردید (جدول ۳).

در نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی برهمکنش آبیاری و کود زیستی بر میزان کلروفیل کل

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس رنگدانه‌های فتوسنتزی کتان روغنی تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کودهای زیستی

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
نمونه‌گیری دوم (اواسط پر شدن دانه)		نمونه‌گیری اول (مرحله شروع کپسول‌دهی)			
محتوای کارتنوئید	محتوای کلروفیل کل	محتوای کارتنوئید	محتوای کلروفیل کل		
۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۳۱	۲	تکرار
۰/۳۴*	۱/۱۹*	۰/۲۶*	۰/۴۹*	۲	آبیاری
۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۶	۴	خطای اصلی
۱/۰**	۰/۲ ^{ns}	۱/۰ ^{ns}	۰/۴۹**	۳	کود زیستی
۰/۰۵*	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۴۴**	۶	آبیاری×کود زیستی
۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۰	۱۸	خطای فرعی
۹/۰۳	۱۷/۲	۱۷	۱۵/۲		ضریب تغییرات (%)

ns, *, **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد را نشان می‌دهند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برش‌دهی اثر سطوح مختلف کود زیستی در هر سطح آبیاری برای کلروفیل کل و کارتنوئید

میانگین مربعات		درجه آزادی	سطوح آبیاری
محتوای کارتنوئید (نمونه گیری دوم)	محتوای کلروفیل کل (نمونه گیری اول)		
۰/۰۵*	۱/۰۲**	۳	آبیاری کامل (شاهد)
۰/۰۲ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۳	قطع آبیاری در مرحله‌ی شروع گل‌دهی تا شروع کپسول‌دهی
۰/۱۴**	۰/۱۲ ^{ns}	۳	قطع آبیاری در مرحله‌ی شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی

ns, *, **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهند.

قارچ مایکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث بهبود جذب فسفر و در نتیجه افزایش رشد ریشه می‌شود. افزایش رشد ریشه نیز موجب افزایش تولید کلروفیل از طریق بهبود جذب عناصری مانند منیزیم، منگنز و روی می‌گردد (خان و همکاران ۲۰۰۷). نتایج این تحقیق با نتایج ویسانی و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت. آنان اظهار داشتند که کودهای زیستی باعث افزایش میزان کلروفیل گیاه ریحان گردید.

در آبیاری کامل با کاربرد کودهای زیستی میزان کلروفیل افزایش یافت. بیشترین میزان کلروفیل کل (۲/۵۱ میلی‌گرم بر گرم بافت تر برگ) در تیمار مایکوریزا + فسفات بارور ۲ به‌دست و کمترین میزان این صفت در تیمار شاهد بدون کود زیستی (۱/۳۸ میلی‌گرم بر گرم بافت تر برگ) به‌دست آمد و در سطح آبیاری کامل میزان افزایش این صفت در تیمار تلفیقی کود زیستی فسفات بارور ۲ و مایکوریزا نسبت به شاهد بدون کود زیستی برابر ۸۱/۹ درصد بود (جدول ۴).

تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی (۱/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

در بعضی از گیاهان در شرایط قطع آبیاری به دلیل کاهش سطح برگ و افزایش ضخامت برگ میزان کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد و بنابراین میزان کلروفیل بالاتری نسبت به شرایط آبیاری کامل دارا هستند. در همین راستا بروز تنش خشکی در گندم زمستانه موجب افزایش کلروفیل در واحد سطح برگ کمتر گردید (براکلو و کاته ۲۰۰۱).

در نمونه‌برداری در مرحله اواسط پر شدن دانه اثر سطوح آبیاری بر کلروفیل کل معنی‌دار گردید. اما اثر سطوح کود زیستی و برهمکنش آبیاری و کود زیستی بر میزان کلروفیل کل معنی‌دار نگردید (جدول ۲).

در این مرحله از نمونه‌برداری بیشترین کلروفیل کل در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی (۲/۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کمترین کلروفیل کل در تیمار آبیاری کامل (معادل ۱/۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به‌دست آمد که با

جدول ۴- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری سطوح مختلف آبیاری و کود زیستی برای صفت کلروفیل کل (نمونه‌گیری اول) و کارتنوئید (نمونه‌گیری دوم)

محتوای کارتنوئید در برگ (mg.g FW ⁻¹)	محتوای کلروفیل کل (mg.g FW ⁻¹)	سطوح کودهای زیستی	سطوح آبیاری
۱/۳۶ab	۱/۳۸b	بدون کاربرد کود زیستی (شاهد)	آبیاری کامل (شاهد)
۱/۳۱b	۱/۶۱b	فسفات بارور ۲	
۱/۲۵b	۲/۴۷a	مایکوریزا	
۱/۵۷a	۲/۵۱a	فسفات بارور ۲ + مایکوریزا	
۱/۳۵a	۱/۹۸a	بدون کاربرد کود زیستی (شاهد)	قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی
۱/۵۶a	۲/۴۹a	فسفات بارور ۲	
۱/۳۸a	۲/۵۹a	مایکوریزا	
۱/۴۳a	۲/۵۰a	فسفات بارور ۲ + مایکوریزا	
۱/۳۹b	۲/۳۷a	بدون کاربرد کود زیستی (شاهد)	قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول-دهی تا پایان رسیدگی
۱/۶۹a	۲/۰۴a	فسفات بارور ۲	
۱/۸۱a	۲/۲۰a	مایکوریزا	
۱/۸۸a	۱/۹۱a	فسفات بارور ۲ + مایکوریزا	

در هر ستون و برای هر سطح آبیاری حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری به رویه L.S.Means می‌باشد.

کارتنوئید

در نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی بیشترین محتوای کارتنوئید (۱/۸۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی و کمترین محتوای کارتنوئید (۱/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان

در نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی، اثر سطوح آبیاری بر کارتنوئید معنی‌دار گردید. اما اثر سطوح کود زیستی و برهمکنش آبیاری و کود زیستی بر صفت مذکور معنی‌دار نگردید (جدول ۲).

افزایش یافت. همچنین بیان نمودند از مهم‌ترین نقش‌های حفاظتی کارتنوئیدها جلوگیری از فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها می‌باشد.

رسیدگی به دست آمد که با تیمار آبیاری کامل (۱/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

جعفرزاده و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند محتوی کارتنوئید همیشه بهار همراه با افزایش خشکی

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح آبیاری و سطوح مختلف کود زیستی برای محتوای کارتنوئید (نمونه گیری اول) و محتوای کلروفیل کل برگ (نمونه گیری دوم)

عامل‌های آزمایشی	سطوح عامل	محتوای کارتنوئید (mg.g FW ⁻¹)	محتوای کلروفیل کل (mg.g FW ⁻¹)
آبیاری	آبیاری کامل (شاهد)	۱/۶۴b	۱/۶۵b
	قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی	۱/۸۴a	۱/۸۵ b
	قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی	۱/۵۵b	۲/۲۶a
کود زیستی	بدون کاربرد کود زیستی (شاهد)	۱/۶۰a	۱/۷۴a
	فسفات بارور ۲	۱/۶۱a	۱/۹۸a
	مایکوریزا	۱/۶۹a	۱/۸۷a
	فسفات بارور ۲+ مایکوریزا	۱/۸۰a	۲/۰۹a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن می‌باشند.

مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که مقدار کاروتنوئیدها در اثر قطع آبیاری افزایش یافت و همچنین کاربرد کود زیستی افزایش این صفت را به دنبال داشته است؛ به طوری که در نمونه برداری در مرحله پر شدن دانه، در سطح قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی بیشترین محتوای کارتنوئید در تیمار فسفات بارور ۲ + مایکوریزا (۱/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) که با تیمار مایکوریزا و تیمار فسفات بارور ۲ تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار کاروتنوئیدها در تیمار عدم کاربرد کود زیستی (۱/۳۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به دست آمد و در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی میزان افزایش این صفت در تیمار تلفیقی کود زیستی فسفات بارور ۲ و قارچ مایکوریزا نسبت به شاهد بدون کود زیستی برابر ۳/۳ درصد بود (جدول ۵).

نظری ناسی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند محتوای کاتنوئید کدوی پوست کاغذی تحت شرایط تنش خشکی افزایش یافت. همچنین کاربرد کود زیستی مایکوریزا نیز باعث افزایش این صفت شد.

در تحقیق بدوی و همکاران (۲۰۱۵) نیز در اثر کاربرد مایه تلقیح ترکیب سه گونه قارچ مایکوریزا (*Glomus G. fasciculat G. intraradices mosseae*) افزایش کارتنوئید در گیاه کاهو مشاهده شد.

در نمونه برداری در مرحله پر شدن دانه برهمکنش آبیاری و کود زیستی بر محتوای کارتنوئید برگ معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس برش دهی نشان داد که اثر کودهای زیستی در سطح آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی، برای محتوای کارتنوئید برگ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴).

کاروتنوئیدها (کاروتن و گزانتوفیل) در پلاست‌های گیاهی وجود داشته و در کنش‌های محیطی، حفاظت از اجزای فتوسنتزی مانند کلروفیل‌ها را بر عهده دارند، لذا عوامل تنش‌زا می‌توانند در ساخت آن دخیل باشند. احتمالاً جذب بیشتر و بهتر مواد غذایی در نتیجه استفاده از کودهای زیستی فسفات بارور ۲ و مایکوریزا، منجر به بهبود وضعیت رنگدانه‌های برگ و افزایش غلظت کارتنوئید شده است.

غلظت فسفر در برگ

اثر سطوح کود زیستی بر غلظت فسفر برگ معنی‌دار شد اما سطوح آبیاری و برهمکنش عوامل آبیاری و کود زیستی بر میزان این صفت اثر معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۶). مقایسه میانگین کودهای زیستی نشان داد که بیشترین غلظت فسفر برگ (۸۲۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار کاربرد کود مایکوریزا به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار فسفات بارور ۲ + مایکوریزا نداشت و کمترین غلظت فسفر برگ (۶۴۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار بدون کود زیستی به دست آمد و کاربرد کود زیستی مایکوریزا باعث افزایش ۲۷/۲ درصدی غلظت فسفر برگ نسبت به عدم کاربرد کود زیستی شد (جدول ۷).

با توجه به این نتایج می‌توان اظهار داشت که حضور یک شبکه گسترده از ریشه‌های برون ریشه‌ای توسط قارچ مایکوریزا در خاک اطراف ریشه، فسفر را از نقاط دور از دسترس ریشه و با سرعتی بیش از سرعت انتشار فسفر در خاک به ریشه‌های گیاه میزبان انتقال می‌دهد همچنین ریشه‌ها قادرند حجم بیشتری از خاک را در مقایسه با ریشه‌های گیاه میزبان از فسفر تخلیه کنند. تخمین زده شده بیش از ۸۰ درصد فسفر مورد نیاز گیاه همزیست با قارچ مایکوریزا توسط ریشه‌های برون ریشه‌ای قارچ‌های مایکوریزا فراهم می‌شود. همچنین باکتری‌های موجود در کود زیستی فسفات

بارور ۲ با ترشح اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفات‌ناز موجب انحلال و افزایش جذب فسفر خاک می‌شوند. نتایج عباس‌زاده و ذاکریان (۱۳۹۵) روی گیاه دارویی بادرنجبویه و سلطانیان و تدین (۱۳۹۴) روی گیاه بزرک مبنی بر افزایش جذب فسفر در اثر کاربرد قارچ مایکوریزا آربوسکولار با نتایج این آزمایش هم‌سوئی دارد.

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۶ نشان می‌دهد اعمال قطع آبیاری در هر دو مرحله از رشد گیاه تأثیر معنی‌داری بر تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی دارد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اعمال قطع آبیاری در هر دو مرحله (شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی و شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی) نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) سبب کاهش صفات مذکور گردید. اما در این بین بیشترین کاهش این صفات در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی به دست آمد. به طوری که قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی نسبت به شاهد به ترتیب باعث کاهش ۳۳، ۵/۵، ۲۰/۳، ۵۸/۵ و ۵۹/۶ درصد در تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی شد.

دیواره کپسول در حال رشد با دانه‌های در حال توسعه، برای جذب مواد فتوسنتزی و آب به شدت رقابت می‌کنند که در زمان افزایش تنش‌های محیطی این رقابت بیشتر شده و منجر به کاهش تعداد کپسول‌ها از طریق ریزش آن‌ها و در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. افت تعداد دانه در کپسول در شرایط قطع آبیاری می‌تواند به دلیل سقط و از بین رفتن گل‌ها و دانه‌ها و همچنین کاهش تعداد دانه سالم و افزایش تعداد دانه‌های پوک در کپسول باشد.

با توجه به نتایج تجزیه داده‌ها تأثیر کودهای زیستی بر تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه معنی‌دار گردید ولی بر عملکرد زیستی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

مقایسه میانگین صفات بیانگر آن است که سطوح مختلف کود زیستی باعث افزایش صفات مذکور شد. اما در این بین بیشترین افزایش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه در کاربرد تلفیقی کود زیستی فسفات بارور ۲ و قارچ میکوریزا و همچنین بیشترین افزایش وزن هزار دانه در تیمار قارچ میکوریزا حاصل شد. به طوری که کاربرد تلفیقی کود زیستی فسفات بارور ۲ و قارچ میکوریزا به ترتیب باعث افزایش ۲۵/۵، ۵/۸ و ۵۸/۵ درصد در تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه و همچنین تیمار قارچ میکوریزا باعث افزایش ۶/۹ درصدی وزن هزار دانه نسبت به عدم کاربرد کود زیستی شد (جدول ۷).

قارچ‌های میکوریزا از طریق گسترش شبکه‌های هیفی خارج از ریشه بر جذب و انتقال مواد غذایی به ریشه‌ها تأثیر گذار بوده و موجب بهبود جذب آن‌ها می‌شود. همچنین فسفات بارور ۲ به علت دارا بودن باکتری‌های حلال ساز فسفر موجب ترشح اسید و آنزیم‌های فسفاتاز می‌شود که از طریق بهبود جذب عناصری نظیر فسفر، آهن و روی و افزایش آن‌ها در برگ، باعث ساخت کلروفیل بیشتر می‌شود و از طریق بهبود فرایند فتوسنتز باعث افزایش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه می‌شوند. از اثرات افزایش اجزای عملکرد در گیاه افزایش عملکرد دانه خواهد بود.

بستامی و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند کاربرد کود زیستی قارچ میکوریزا و فسفات زیستی باعث افزایش تعداد چتر در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در گیاه دارویی گشنیز شد. مطلبی‌زاده و حسن‌زاده قورت‌تپه (۲۰۱۵) گزارش دادند کاربرد تلفیقی کودهای

با توجه به نقش مهم آب در فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه، فتوسنتز، و ساخته شدن مواد مورد نیاز و همچنین انتقال قندها، مواد محلول، مواد پرورده و انتقال مجدد مواد به سمت دانه‌ها می‌توان بیان نمود که کاهش میزان آب و اعمال تنش رطوبتی بر ساخته شدن و انتقال مجدد مواد به سمت دانه‌ها تأثیر گذار بوده و از طریق کاهش پر شدن دانه و افزایش درصد پوکی دانه‌ها، سبب کاهش وزن هزار دانه می‌شود. بنابراین کاهش اجزای عملکرد (تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه) تحت شرایط قطع آبیاری موجب کاهش عملکرد دانه در کتان روغنی گردید. قطع آبیاری نیز با کاهش جذب آب و مواد غذایی بین اندام‌های گیاه رقابت ایجاد می‌کند. کمبود رطوبت باعث کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی شده که موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای رشد سلول‌ها می‌گردد و در مراحل تنش رقابت بین اندام‌های گیاه می‌تواند باعث کاهش عملکرد زیستی گردد. نتایج این پژوهش با پژوهش فرحبخش و فرحبخش (۲۰۱۵) بر روی کنجد مطابقت داشت. ایشان بیان نمودند قطع آبیاری در هر دو مرحله بعد از ظهور ۵۰ درصد گل‌ها و بعد از ظهور ۵۰ درصد کپسول‌ها باعث کاهش عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه) در کنجد گردید. بیلیبیو و همکاران (۲۰۱۱) نیز بیان نمودند تحت سطوح مختلف کمبود آب (شامل ۰، ۳۰ و ۶۰ درصد تبخیر و تعرق)، کمبود آب باعث کاهش تعداد خورجین، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک در گیاه کلزا گردید همچنین کاهش صفات مذکور در ۶۰ درصد تبخیر و تعرق بیشتر از ۳۰ درصد تبخیر و تعرق بود. در تحقیق دین و همکاران (۲۰۱۱) که روی ارقام کلزا انجام گرفت تنش خشکی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه کاهش عملکرد این گیاه را به دنبال داشت که این کاهش در مرحله گلدهی بیشتر از مرحله پر شدن دانه بود.

زیست، ی نیتروکسین و فسفات بارور ۲ موجب افزایش تعداد دانه در ساقه اصلی، وزن دانه در بوته، شاخص برداشت و عملکرد دانه کتان روغنی گردید. تجزیه واریانس داده ها همچنین نشان داد که اثر برهمکنش آبیاری و کود زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد کتان روغنی معنی دار نگردید (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس فسفر برگ، عملکرد و اجزای عملکرد کتان روغنی در سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کودهای زیستی

منابع تغییر	درجه آزادی	غلظت فسفر در برگ	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه	میانگین مربعات	
						عملکرد زیستی	عملکرد دانه
تکرار	۲	۵۹۳۲۰۱	۵۱/۷	۰/۱۵	۰/۰۳	۱۰۱۰	۸۸۶
آبیاری	۲	۴۹۸۷۶۴ ^{ns}	۱۱۱۶ ^{**}	۰/۸۲ ^{**}	۴/۴۶ ^{**}	۲۸۳۲۱۱ ^{**}	۵۴۰۵۲ ^{**}
خطای اصلی	۴	۲۹۲۸۹۵۳	۳۱/۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۳۲۹۳	۱۶۹
کود زیستی	۳	۵۲۴۴۲۷۸ ^{**}	۱۸۸ [*]	۰/۴۱ ^{**}	۰/۱۹ ^{**}	۶۰۵۹ ^{ns}	۲۳۸۱ ^{**}
آبیاری × کود زیستی	۶	۱۵۸۴۷۳۲ ^{ns}	۲۶/۱ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۱۵۶۰ ^{ns}	۳۰۲ ^{ns}
خطای فرعی	۱۸	۹۵۹۹۳۱	۳۸/۶	۰/۰۸	۰/۰۳	۲۵۹۸	۲۹۶
ضریب تغییرات (%)		۱۳/۳	۱۲/۷	۳/۵۴	۳/۸۸	۱۳/۶	۱۰/۴

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد را نشان می دهند.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح آبیاری و کاربرد کود زیستی برای عملکرد و اجزای عملکرد

عامل‌های آزمایشی	سطوح عامل	غلظت فسفر در برگ (mg.Kg ⁻¹)	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه (g)	عملکرد زیستی (g.m ⁻²)	عملکرد دانه (g.m ⁻²)
آبیاری کامل (شاهد)	آبیاری کامل (شاهد)	۷۲۸۷a	۵۸/۲a	۸/۵۷a	۵/۳۳a	۵۰۰a	۲۲۶a
	قطع آبیاری در شروع گلدهی تا شروع کپسول-دهی	۷۲۲۲a	۵۰b	۸/۵۳a	۵/۲۹a	۴۱۸b	۱۷۷b
	قطع آبیاری در شروع کپسولدهی تا پایان رسیدگی	۷۶۰۲a	۳۹c	۸/۱۰b	۴/۲۵b	۲۰۲c	۹۳/۷۶c
بدون کاربرد کود زیستی (شاهد)	بدون کاربرد کود زیستی (شاهد)	۶۴۹۸c	۴۳/۱b	۸/۰۹b	۴/۷۸c	۳۳۵b	۱۴۷c
	فسفات بارور ۲	۷۰۵۷bc	۴۸/۵ab	۸/۵۲a	۴/۹۰bc	۳۸۷ab	۱۶۰bc
	مایکوریزا	۸۲۶۸a	۵۰/۶a	۸/۴۳a	۵/۱۱a	۳۷۹ab	۱۶۹ab
	فسفات بارور ۲ + مایکوریزا	۷۶۶۰ab	۵۴/۱a	۸/۵۶a	۵/۰۴ab	۳۹۱a	۱۸۶a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ به روش آزمون دانکن می باشند.

پروتئین و روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۸ نشان می‌دهد آبیاری تأثیر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه، درصد روغن دانه و عملکرد روغن کتان داشته است.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اعمال قطع آبیاری در هر دو مرحله (شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی و شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی) نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) سبب افزایش درصد پروتئین دانه و کاهش درصد روغن دانه و عملکرد روغن گردید. اما در این بین بیشترین افزایش درصد پروتئین دانه و همچنین کاهش درصد روغن و عملکرد روغن در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی به‌دست آمد. به‌طوری‌که قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی نسبت به شاهد باعث افزایش ۳۳ درصدی درصد پروتئین دانه و کاهش ۱۳/۶ و ۶۴/۱ درصدی درصد روغن و عملکرد روغن شد (جدول ۹).

قطع آبیاری باعث کاهش فتوسنتز گیاه و کاهش تولید آسیمیلات در گیاه می‌شود، تسریع نمو در گیاه جهت اجتناب از خسارات قطع آبیاری اتفاق می‌افتد و موجب کاهش نسبت کربوهیدرات‌ها به پروتئین و در نتیجه افزایش میزان پروتئین دانه می‌شود. در شرایط قطع آبیاری جذب و تثبیت کربن بر اثر بسته شدن نسبی روزنه‌ها کاهش می‌یابد درحالی‌که انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه کاهش نمی‌یابد و این امر سبب افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود، بنابراین میزان کلی مواد پرورده برای پر شدن دانه کاهش می‌یابد و این امر سبب افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود.

ازجمله دلایلی که برای کاهش درصد روغن دانه تحت شرایط قطع آبیاری بیان می‌شود این است که قطع آبیاری باعث بروز اختلال در پر شدن دانه، کاهش وزن دانه (جدول ۷) و افزایش نسبت پوسته به مغز و در نهایت کاهش درصد روغن می‌شود. در واقع تنش خشکی به‌ویژه در هنگام رسیدگی دانه میزان روغن را کاهش ولی درصد پروتئین را افزایش می‌دهد. این حالت

به دلیل تسریع در رسیدگی گیاه می‌باشد. قطع آبیاری و به دنبال آن کاهش توان فتوسنتزی گیاه، جذب کربن و تشکیل اسکلت کربنی برای سنتز اسیدهای چرب و در نهایت روغن را کاهش می‌دهد. با توجه به رابطه مستقیم عملکرد روغن با درصد روغن و عملکرد دانه، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش عملکرد روغن مربوط به کاهش عملکرد دانه و درصد روغن در شرایط قطع آبیاری در این تحقیق می‌باشد.

در تحقیق حیدری و جهان‌تیغی (۲۰۱۴) قطع آبیاری در همه مراحل رشدی گیاه به خصوص در مرحله گلدهی و پر شدن دانه سیاهدانه موجب افزایش درصد پروتئین دانه شد.

با توجه به نتایج تجزیه داده‌ها تأثیر کودهای زیستی بر درصد پروتئین دانه، درصد روغن دانه و عملکرد روغن معنی‌دار گردید (جدول ۸).

مقایسه میانگین صفات بیانگر آن است که سطوح مختلف کود زیستی باعث افزایش این صفات گردید. اما در این بین بیشترین افزایش درصد پروتئین دانه در تیمار فسفات بارور ۲ و همچنین بیشترین درصد روغن و عملکرد روغن در کاربرد تلفیقی کود زیستی فسفات بارور ۲ و قارچ مایکوریزا مشاهده شد. به‌طوری‌که تیمار کود زیستی فسفات بارور ۲ باعث افزایش ۱۸/۴ درصدی درصد پروتئین دانه و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی فسفات بارور ۲ و قارچ مایکوریزا باعث افزایش ۵/۰۵ و ۳۳ درصدی درصد روغن و عملکرد روغن نسبت به عدم کاربرد کود زیستی شد (جدول ۹).

تأثیر مثبت کودهای زیستی بر صفات مذکور می‌تواند به این دلیل باشد که مایکوریزا و فسفات بارور ۲ با فراهم آوردن شرایط مناسب‌تری جهت رشد گیاه مانند تولید هورمون‌های گیاهی و توسعه سیستم ریشه‌ای و در نتیجه افزایش جذب آب و عناصر غذایی نظیر نیتروژن و فسفر، زمینه را جهت افزایش درصد پروتئین و درصد روغن دانه در گیاه کتان روغنی فراهم می‌آورند و با افزایش عملکرد دانه و درصد روغن باعث افزایش عملکرد روغن در این گیاه می‌شوند. صادقان

روغن بزرک را گزارش نمودند. قلی‌نژاد (۲۰۱۷) در تحقیق خود بر کنجد گزارش کرد کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا باعث افزایش ۳۶ درصدی پروتئین دانه شد.

دهکردی و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند تیمارهای مختلف کود زیستی سبب افزایش معنی‌دار درصد روغن در بزرک گردید. مطلبی‌زاده و حسن‌زاده قورت‌تپه (۲۰۱۵) تأثیر مثبت کودهای زیستی بر عملکرد

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس صفات کیفی کتان روغنی در سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کودهای زیستی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		درصد پروتئین دانه	درصد روغن دانه
تکرار	۲	۱/۰۳	۱۳/۸
آبیاری	۲	۳۱/۶**	۱۱۶**
خطای اصلی	۴	۰/۸۶	۷/۰۹
کود زیستی	۳	۶/۸۲*	۵/۶۰*
آبیاری×کود زیستی	۶	۰/۲۸ ^{ns}	۱/۱۱ ^{ns}
ضریب تغییرات (%)		۱۳/۸	۴/۲۶

ns, *, **: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد را نشان می‌دهند.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح آبیاری و کاربرد کود زیستی برای صفات کیفی

عامل‌های آزمایشی	سطوح عامل	درصد پروتئین دانه	درصد روغن دانه	عملکرد روغن (g.m ⁻²)
آبیاری	آبیاری کامل (شاهد)	۹/۳۲ ^b	۴۰/۴ ^a	۹۱/۶ ^a
	قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی	۹/۸۶ ^b	۴۰/۲ ^a	۷۱/۴ ^b
کود زیستی	قطع آبیاری در مرحل شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی	۱۲/۳۶ ^a	۳۴/۹ ^b	۳۲/۹ ^c
	بدون کاربرد کود زیستی (شاهد)	۹/۵۴ ^b	۳۷/۶ ^b	۵۶/۴ ^c
	فسفات بارور ۲	۱۱/۳ ^a	۳۸/۶ ^{ab}	۶۳/۳ ^b
	مایکوریزا	۱۰ ^{ab}	۳۸/۳ ^{ab}	۶۶/۶ ^b
	فسفات بارور ۲+ مایکوریزا	۱۱/۲ ^a	۳۹/۵ ^a	۷۵ ^a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن می‌باشند.

نتیجه گیری کلی

در مرحله پر شدن دانه بیشتر می‌باشد. تنش قطع آبیاری از طریق کاهش عملکرد دانه و کاهش درصد روغن دانه کتان روغنی باعث کاهش عملکرد روغن در این گیاه شد ولی با استفاده از کودهای زیستی فسفات بارور ۲ و قارچ میکوریزا آربوسکولار به واسطه بهبود درصد روغن و عملکرد دانه کتان روغنی، اثرات سوئی تنش قطع آبیاری در مراحل زایشی کتان بر عملکرد روغن این محصول تا حدودی تعدیل گردید.

کاربرد توام کودهای زیستی فسفات بارور ۲ و قارچ میکوریزا آربوسکولار با بهبود شرایط رشدی برای گیاه کتان از طریق جذب بیشتر فسفر و افزایش اجزای عملکرد (تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه) افزایش عملکرد دانه این گیاه را باعث شد. تنش قطع آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه کاهش چشمگیر عملکرد دانه کتان را به دنبال داشته که این کاهش در قطع آبیاری

منابع مورد استفاده

- Abbaszadeh B and Zakerian F. 2016. Elements uptake in Balm (*Melissa officinalis* L.) under the effect of mycorrhiza and *Piriformospora indica* and vermicompost. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 32(1):47-59. (In Persian).
- Abdelmoneim TS, Moussa TAA, Almaghrabi OA, Alzahrani HS and Abdelbagi I. 2014. Increasing plant tolerance to drought stress by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. Life Science Journal, 10(4): 3273-3280.
- Arnon DI. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplast and poly phenol oxidase in *Beta vulgaris* L. Plant Physiology, 24(1): 15-17.
- Badvi H, Alemzade Ansari N, Mahmoodi Soresani M and Eskandari F. 2015. Effects of drought stress and mycorrhizal fungi on some morphophysiological characteristics of lettuce (*Lactuca sativa* L.). The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture), 38(3): 27-39. (In Persian).
- Bastami A, Majidian M, Mohsenabadi G and Bakhshi D. 2015. Effects of fertilizer treatments on yield quantity and quality of coriander. Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture), 17(1): 93-108. (In Persian).
- Bilibio C, Assunção Carvalho J, Hensel O and Richter U. 2011. Effect of different levels of water deficit on rapeseed (*Brassica napus* L.) crop. Cienciae Agrotecnologia, 35(4): 672-684.
- Bouchereau A, Clossais BN, Bensaoud A, Beport L and Renard M. 1996. Water stress effects on rapeseed quality. European Journal of Agronomy, 5:19-30.
- Bremner JM. 1996. Nitrogen total. In: Sparks, D.L. et al. (ed) Method of soil analysis. Part 3. Chemical method. SSSA. Book Ser. SSSA and ASA, Madison, USA. Pp: 1085-1122.
- Chalker-Scott L. 2002. Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? Advances in Botanical Research, 37: 103-106.
- Chapman HI and Pratt PF. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. The University of California's Division of Agricultural Science, Berkeley, California, USA.
- Copetta A, Lingua G and Bert G. 2006. Effect of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. Mycorrhiza, 16(7):485-494.
- Din J, Khan SU, Ali I and Gurmani AR. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. The Journal of Animal and Plant Sciences, 21(1): 78-82.
- El Zemrany H, Cortet J, Peter Lutz M, Chabert A, Baudoin E, Haurat J, Maughan N, Félix D, Défago G, Bally R, Moënn-Loccoze Y. 2006. Field survival of the phytostimulator of *Azospirillum lipoferum* CRT 1 and functional impact on maize crop, biodegradation of crop residues, and soil faunal indicators in a context of decreasing nitrogen fertilization. Soil Biology and Biochemistry, 38(7): 1712-1726.
- Fanaei HR and Narouirad MR. 2014. Study of yield, yield components and tolerance to drought stress in safflower genotypes. Electronic Journal of Crop Production, 7(3): 33 -51. (In Persian).
- Farahbakhsh, S and Farahbakhsh H. 2015. Effect of drought stress on yield and yield components of sesame cultivars under Kerman conditions (*Sesamum indicum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 12(4): 776-783. (In Persian).
- Foyer CH, Leadis M and Kunert KJ. 1994. Photo oxidative stress in plants. Physiologia Plantarum, 92(4): 696-717.
- Gholinezhad E. 2017. Effect of two species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces in different levels of drought stress. Iranian Journal of Field Crops Research, 15(1): 150-167. (In Persian).

- Ghosh PK, Ajay KK, Bandyopadhyay MC, Manna KG, A.K. Mandal AK and Hati KM. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresource Technology*, 95(1): 85-93.
- Heidari M and Jahantighi H. 2014. Evaluate effect of water stress and different amounts of nitrogen fertilizer on seed quality of black cumin (*Nigella sativa* L). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(4): 640-647. (In Persian).
- Jafarzadeh L, Omidi H and Bostani AA. 2014. The study of drought stress and bio fertilizer of nitrogen on some biochemical traits of marigold medicinal plant (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Plant Researches (Iranian Journal of biology)*, 27(2): 180- 193. (In Persian).
- Johnson CM and Ulrich A. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. *Bulletin of the California Agricultural Experiment Station University of California*, 54 pp.
- Kazemi K, Khaje Hosseini M, Nezami A and Eskandari H. 2016. The Effect of seed priming on germination, yield and the quality of sesame grains under deficit irrigation. *Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture)*, 18(2): 373-388. (In Persian).
- Kenan Kill U, Gencoglan C and Merdan H. 2007. Effect of irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame under field condition. *Field Crops Research*, 101: 249-254.
- Khan MS, Zaidi A and Wani PA. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture - a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 27(1):29-43.
- Krinsky NI. 1989. Antioxidant functions of carotenoids. *Free Radical Biology and Medicine*, 7(6):617-635.
- Morris DH. 2007. Flax-A health and nutrition primer. Fourth Edition Cornell University, 140 pp.
- Motalebizadeh B and Hassanzade Ghorttapeh A. 2015. Effect of biofertilizers application on the quantitative and qualitative characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.) lines. *Journal of Crop Production and Processing Research in Field Crops*, 5(16): 291-302. (In Persian).
- Nazari-Nasi H, Amirnia R, Zardashti MR. 2018. Effect of drought stress and biofertilizers on some physiological characteristics and grain yield of medicinal pumpkin plants. *Agricultural Crop Management (Journal of Agriculture)*, 20(1): 205-217. (In Persian).
- Novozamsky I, Eck R, Schouwenburg JC and Walinga I. 1974. Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol blue method. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 22: 3-5.
- Raei Y, Shariati J and Weisany W. Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(1): 65-84 (in Persian).
- Sadeghian Dehkordi SA, Tadayyon A, Tadayon MR and Saffar A. 2015. Effect of drought stress and bio-fertilizers and chemical fertilizers on some morphological and physiological characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 5(2): 83-93. (In Persian).
- Sarcheshmehpour M, savaghebi GR, Siadat H and Alikhani HA. 2014. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on improvement of nutrition and growth of pistachio seedling under drought stress. *Iranian Journal of Soil Research*, 27(1): 107-119. (In Persian).
- Soltanian M and Tadayyon A. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on some agronomic characteristics on linseed (*Linum usitatissimum* L.) under drought stress, *Journal of Plant Production Research*, 22(2): 1-21. (In Persian).
- Seyed Ahmadi A, Bakhshandeh A and Gharineh MH. 2015. Evaluation physiological characteristics and grain yield canola cultivars under end seasonal drought stress in weather condition of Ahvaz. *Iranian Journal of Field crops Research*, 13(1): 71-80. (In Persian).

- Shariati J, Weisany W and Torabian S. 2015. Effect of azotobacter and arbuscular mycorrhizal on growth of safflower (*Carthamus tinctorius* l.) at different irrigation regimes. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 18(4), Available Online: <http://www.ejpau.media.pl/volume18/issue4/art-01.html>
- Weisany W, Rahimzadeh S and Sohrabi Y. 2012. Effect of biofertilizers on morphological, physiological characteristic and essential oil content in basil (*Ocimum basilicum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 28(1): 73-87. (In Persian).