مقاله پژوهشی

بهبود خصوصیات فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.) با کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد

فاطمه شجاعیان کیش، علیرضا یدوی*، محسن موحدی دهنوی، امین صالحی و محمد حمیدیان

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۱/۱۷)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی بر خصوصیات فیزیولوژیک و غلظت عناصر در کتان تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً 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 کودزیستی در چهار سطح (قارچ مایکوریزا، فسفات بارور ۲، قارچ مایکوریزا + فسفات بارور ۲ و عدم کاربرد کودزیستی) به‌ترتیب به‌عنوان عامل اصلی و فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد بیشترین غلظت فسفر (۸/۲۷ گرم بر کیلوگرم) و پتاسیم (۴/۲۰ گرم بر کیلوگرم) برگ در تیمار کودزیستی مایکوریزا مشاهده شد. در هر دو مرحله نمونه‌گیری، قطع آبیاری نسبت به آبیاری کامل باعث افزایش قندهای محلول، مالون دی‌آلدهید و کاهش محتوای آب‌نسبی برگ و پروتئین محلول برگ گردید. بیشترین پرولین برگ (۱۱/۶۳ میکرومول بر گرم) در تیمار ترکیب هر دو نوع کودزیستی در شرایط قطع آبیاری در شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی دیده شد. هر دو گونه کودزیستی باعث افزایش غلظت قندهای‌محلول و پروتئین محلول برگ و کاهش میزان مالون دی‌آلدهید شد. بیشترین عملکرد دانه از کاربرد توأم دو نوع کودزیستی (۱۸۶ گرم در مترمربع) دیده شد. نتایج حاکی از حساسیت زیاد کتان روغنی به تنش خشکی در مرحله کپسول‌دهی تا رسیدگی می‌باشد که کاربرد کودزیستی از طریق بهبود جذب عناصر غذایی، رطوبت و تغییر در غلظت اسمولیت‌ها این خسارت تعدیل می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، خشکی، عناصر غذایی، کتان روغنی، مایکوریزا

مقدمه

امروزه تقاضا برای مواد اولیه وابسته به گیاهان دارویی با سرعت بالایی افزایش یافته و توجه به کشت‌وکار گیاهان دارویی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار شده است (Shinwari, 2010). اجزای مختلف گیاهان دارویی (روغن‌ها و اسانس‌ها) حاوی متابولیت‌های ثانویه مختلف‌اند که در تولید دارو، ادویه‌ها، طعم‌دهنده‌های مواد غذایی و سایر فرآورده‌های فرعی به‌صورت وسیع استفاده می‌شوند (Hadian *et al.*, 2014). کتان (*Linum usitatissimum*) گیاهی یک‌ساله، سرمادوست، روزبلند و روغنی از تیره کتانیان (Linaceae) است (Tadesse *et al.*, 2009). از روغن کتان با هدف خوراکی و به‌عنوان جایگزینی برای چربی‌های حیوانی در رژیم غذایی استفاده

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: yadavi@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

می‌شود (Khan *et al*., 2010). اسید آلفالینولنیک (اسید چرب امگا ۳) و اسید لینولئیک (اسید چرب امگا ۶) از مهم‌ترین اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه در دانه‌های کتان روغنی بوده که وجود این اسیدهای چرب در تغذیه انسان جهت حفظ و ارتقا سلامت ضروری است (Pali and Mehta, 2014).

ایران با متوسط بارندگی سالانه کمتر از یک سوم میانگین جهانی دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک است و معمولاً گیاهان کشت‌شده در این اقلیم‌ها تمام یا دوره‌ای از فصل خود درشرایط تنش خشکی قرار می‌گیرند (Madani *et al*., 2016). تنش خشکی باعث برهم‌خوردن تعادل عناصر تغذیه‌ای درنتیجه کاهش جذب عناصر در کتان می‌شود (Guo *et al*., 2012). همچنین در شرایط تنش خشکی گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در این گیاه افزایش می‌یابد که باعث خسارت به ساختارهای لیپیدی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک در کتان می‌شود (Aghdam *et al*., 2016) و درنهایت عملکرد این گیاه تحت تنش خشکی کاهش می‌یابد (Kariuki *et al*., 2016). گیاهان برای مقابله در برابر تنش‌های محیطی از سازوکارهای متفاوتی مانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اسمولیت‌ها (پرولین و قند محلول) استفاده می‌کنند و افزایش میزان پرولین و قندهای محلول یکی از شناخته‌شده‌ترین واکنش‌های رشدی گیاه در شرایط تنش خشکی است (Hanafy, 2017). سنتز قندهای محلول در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی و منبع کربن به حفظ بقای گیاهان طی دوره‌های تنش خشکی کمک کند (Chaves and Pereira, 2003). افزایش پرولین در گیاهان از طریق مکانیسم‌های مختلفی از جمله تنظیم اسمزی، سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن، حفاظت از غشاء و ساختمان پروتئین‌ها، از گیاهان در برابر تنش خشکی حفاظت می‌کند (Patade *et al*., 2011). از آنجا که همبستگی منفی و بالایی بین محتوای آب نسبی برگ و میزان پرولین وجود دارد. محتوای آب نسبی گیاه، از جمله صفاتی است که رابطه مستقیمی با محتوای آب خاک دارد و وضعیت آبی خاک را نشان می‌دهد (Saraker *et al*., 1999). همچنین مشاهده شده است در شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب در ارقام کتان روغنی کاهش می‌یابد (Kariuki *et al*., 2016).

میکروارگانیسم‌های موجود در خاک در ایجاد تعادل و حفظ پایداری اکوسیستم‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند. کودهای زیستی حاوی این میکروارگانیسم‌های خاکزی قادرند تحمل به تنش خشکی در گیاهان رشدیافته در مناطق خشک و نیمه‌خشک را از طریق مکانسیم‌های مستقیم و غیرمستقیم افزایش دهند (Marulanda *et al*., 2007). قارچ‌های مایکوریزا از این میکروارگانیسم‌ها هستند که از طریق شبکه هیف‌های خود و با افزایش حجم ریشه باعث افزایش دسترس گیاه به حجم بیشتری از ریزوسفر، بهبود سطح جذب آب (Zhang *et al*., 2018) و عناصر مغذی در گیاهان می‌شود (Hamed *et al*., 2014)؛ همچنین کاربرد کود زیستی مایکوریزا موجب افزایش پرولین و قندهای‌محلول و بهبود رشد گیاه تحت شرایط کم‌آبی گردید (Chiyaneh *et al*., 2017). کود فسفات بارور ۲، نیز حاوی دو نوع باکتری از گونه *Pantoea agglomerans* Strain P5 و *Pseudomonas putida* Strain P13 می‌باشد، که از خانواده باکتری‌های محرک رشد هستند که توانایی افزایش میزان فسفر قابل جذب را در گیاهان دارند. مطالعات نشان دادند که تلفیق استفاده همزمان دو گونه باکتری مذکور باعث افزایش جذب عناصری مانند فسفر، آهن و روی گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود (Delshadi *et al*., 2017) که با مکانیسم‌هایی مانند تولید سایدروفور و حلالیت فسفات توسط آنزیم‌های مختلف، میزان جذب این عناصر در گیاه تحت شرایط تنش توسط این باکتری‌ها کنترل می‌شود (Etesami and Maheshwari, 2018). علاوه بر آن یکی دیگر از علل بهبود شرایط رشد گیاهان تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش خشکی این است که این باکتری‌ها منجر به افزایش حجم ریشه و افزایش دسترسی گیاهان به حجم بیشتری از منابع آبی و مواد مغذی خاک می‌شود (Bukhat *et al*., 2020). بین جوامع موجودات خاکزی همبستگی و پیچیدگی‌ها خاص وجود دارد ولی یکی از موفق‌ترین سیستم‌های پایدار مبتنی بر استفاده از این جوامع میکروبی،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

تلفیق همزمان باکتری‌های محرک رشد و قارچ‌های مایکوریزا است که باعث بهبود رشد گیاه مخصوصاً در شرایط تنش خشکی می‌شود (Armada *et al*., 2016). در پژوهشی کاربرد همزمان قارچ مایکوریزا گونه *Funneliformis mosseae* و باکتری *Pseudomonas putida* باعث افزایش رشد و وزن خشک گیاه کتان شد (Rahimzadeh and Pirzad, 2017).

با وجود وقوع خشکسالی و مواجه‌شدن 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 به‌دنبال آن آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی، اجرای برنامه‌های عملی به‌منظور افزایش راندمان مصرف آب در گیاه و کاهش اثرات زیان‌بار کودهای شیمیایی از اولویت‌های مهم پژوهشی است. لذا این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر دو گونه کود زیستی، قارچ مایکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفر، بر برخی صفات فیزیولوژیکی، جذب عناصر غذایی و درنهایت رشد و عملکرد گیاه کتان روغنی در شرایط تنش خشکی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۸۷۰ متری از سطح دریا به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌اجرا در آمد. در این پژوهش تیمار رژیم آبیاری 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 تیمارهای کود زیستی در چهار سطح (کاربرد قارچ مایکوریزا گونه *Funneliformis mosseae*، کاربرد کود زیستی فسفات بارور۲، کاربرد توأم قارچ مایکوریزا آربوسکولار و فسفات بارور۲ و عدم کاربرد کود زیستی) به‌ترتیب به‌عنوان عامل اصلی وعامل فرعی در نظر گرفته شدند. قابل ذکر است کود زیستی فسفات بارور۲ (تهیه‌شده از شرکت زیست فناور سبز) با جمعیت 10^7 تا 10^8 دو سویه باکتری حل‌کننده فسفات (*Pseudomonas putida* Strain P13 و *Pantoea agglomerans* Strain P5) به‌صورت بذرمال استفاده گردید. همچنین در هر گرم کود مایکوریز (تهیه‌شده از کلینیک گیاه پزشکی ارگانیک، شهرستان اسدآباد- همدان) با جمعیت ۳۰۰ اسپور زنده در هر گرم خاک با توجه دستور عمل شرکت سازنده (میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت نواری در تماس مستقیم با بذر و در زیر بذر استفاده گردید و سپس عملیات کاشت در ۳ اردیبهشت ۱۳۹۶ انجام گرفت.

عملیات آماده‌سازی خاک مزرعه شامل شخم و دیسک بود. کوددهی براساس آزمون خاک (جدول ۱) و درنظرگرفتن نیاز گیاه صورت گرفت، (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن از منبع اوره در دو مرحله قبل از کاشت و مرحله ساقه‌رفتن به‌صورت نواری اضافه شد و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل قبل از کشت به خاک اضافه گردید). در طول زمان کشت در زمین از هیچ نوع قارچ‌کش، علف‌کش و یا آفت‌کش استفاده نگردید؛ ولی جهت جلوگیری از رشد علف‌های هرز، اقدام به کنترل آنها به روش وجین دستی در چندین مرحله شد.

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت، مزرعه هر سه روز یکبار تا زمان خروج گیاهچه‌ها آبیاری شد. هفت روز پس از کاشت سبزشدن شروع شد در ادامه تا زمان اعمال تنش مزرعه هر هفته یکبار آبیاری شد. با شروع اعمال تنش به صورت قطع آبیاری، کرت‌های شاهد (عدم قطع آبیاری) هر پنج روز یکبار آبیاری شدند. اولین قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی در تاریخ ۲۹ خرداد ۱۳۹۶ به‌مدت ۲۰ روز (معادل ۴ بار آبیاری تیمار آبیاری کامل در کرت شاهد) تا زمان کپسول‌دهی و دومین تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی نیز از تاریخ ۱۹ تیر ۱۳۹۶ صورت گرفت. در پایان تعداد دفعات آبیاری برای تیمارهای آبیاری کامل (کرت‌های شاهد)، قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا کپسول‌دهی و قطع آبیاری در مرحله شروع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	ماده آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب	روی قابل جذب
			درصد		میلی‌گرم در کیلوگرم			
رسی سیلتی	۷/۷	۰/۵	۱/۷	۰/۰۸۵	۸	۲۵۰	۱/۴۷	۰/۴۶

کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی به‌ترتیب برابر با ۱۸، ۱۴ و ۱۲ نوبت آبیاری بود. برداشت در تاریخ ۱۵ شهریورماه ۱۳۹۶ پس از پایان فصل رشد با زردشدن برگ‌ها و قهوه‌ای شدن بذرها، با رعایت اثر حاشیه‌ای، از سطحی معادل ۲ متر مربع انجام‌شد.

سنجش محتوای نسبی آب برگ: برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، از روش Weatherley (۱۹۵۰) استفاده شد. بدین صورت نمونه‌گیری در دو مرحله (اولین مرحله در شروع کپسول‌دهی و دومین مرحله در اواسط پرشدن دانه) در ساعت ۱۲ تا ۲ بعدازظهر، قطعاتی تقریباً هم‌اندازه از برگ بوته‌های انتخابی توسط قیچی جدا شده و بلافاصله با ترازو (دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین گردید (FW)، پس از آن برای تعیین وزن آماس‌یافته برگ، نمونه‌ها در ظروف پتری سربسته و حاوی آب‌مقطر در محلی تاریک با دمای ثابت به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس رطوبت سطحی برگ‌ها با کاغذ واتمن شماره یک گرفته شده و وزن آماس (TW) محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک، برگ‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن گردید (DW). درنهایت مقدار محتوای آب نسبی برگ‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

محتوای نسبی آب برگ (درصد) = ((FW - DW) / (TW - DW)) × 100

نمونه‌گیری و تعیین عملکرد: جهت تعیین 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؛ همچنین عملکرد بذر پس از قرارگرفتن در دمای ۷۰ درجه به‌مدت ۴۸ ساعت (منظور از دست‌دادن رطوبت) در واحد سطح برای هر تیمار محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیولوژیک از برگ‌های جوان بوته‌ها استفاده شد، به این صورت از سطح چهار خط کاشت پس از حذف دو خط کاشت حاشیه هر کرت و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و برگ‌های جوان آن جدا شد. نمونه‌گیری از برگ‌ها برای صفات فیزیولوژیک، طی دو مرحله جداگانه صورت گرفت. اولین مرحله در زمان شروع کپسول‌دهی و دومین مرحله در زمان اواسط پر شدن دانه بود.

سنجش پرولین و قند محلول برگ: اندازه‌گیری پرولین طبق روش Paquine و Lechasseur (۱۹۷۹) با استفاده عصاره الکلی انجام شد. عصاره الکلی، آب دو بار تقطیر، محلول نین‌هیدرین و اسید استیک گلاسیال در داخل بن‌ماری به‌مدت ۴۵ دقیقه قرار داده شد و بعد از آن بنزن اضافه کرده تا پرولین وارد فاز بنزن شود میزان پرولین براساس جذب نور نمونه‌ها در طول‌موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قندهای محلول به عصاره الکلی، آنترون اضافه کرده و محلول سنجش را در حمام آب جوش قرار داده شد. پس از خنک‌شدن نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه، میزان جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Irigoyen *et al.*, 1992).

سنجش مالون دی‌آلدهید برگ (MDA): میزان نمونه گیاهی در TCA (تری‌کلرو استیک اسید) ۰/۱ درصد عصاره‌گیری و پس از سانتریفیوژ و به سوسپانسیون جدا شده TBA (تیوباربیتوریک اسید) ۰/۵ درصد، که در TCA ۲۰ درصد حل شده اضافه کرده. محلول سنجش را ۳۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۹۵ درجه گذاشته و بعد از آن ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با دمای ۴ درجه گذاشته می‌شود. میزان مالون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

دی‌آلدهید براساس جذب مایع رویی در طول ۵۳۵ نانومتر و ۶۰۰ نانومتر و براساس ضریب خاموشی محاسبه شد (Heath and Packer, 1968).

سنجش پروتئین محلول برگ: این آزمایش با روش Mishra و Kar (۱۹۷۶) انجام شد. مقدار بافت برگ نگهداری شده همراه با بافر فسفات ۰/۱ مولار با اسیدیته ۶/۸ هموژن شد و سپس در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، سانتریفیوژ گردید. فاز بالایی عصاره برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین محلول به میکروتیوپ انتقال داده شد و آنگاه محلول مایع رویی را به محلول برادفورد اضافه کرده و جذب نمونه در طول‌موج ۵۹۵ با دستگاه اسپکتروفتومتری خوانده شد (Bradford, 1976).

سنجش غلظت عناصر در برگ: نمونه‌گیری از برگ جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر در مرحله اواسط پرشدن دانه صورت گرفت. تهیه عصاره برای اندازه‌گیری عناصر براساس روش Novozamsky و همکاران (۱۹۷۴) بود. از این عصاره برای اندازه‌گیری نیتروژن برگ براساس رنگ سبز آبی تشکیل شده توسط ترکیب فنولی (در اینجا سالیسیلات) در حضور آمونیاک و هیپوکلرید سدیم توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۶۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Novozamsky *et al.*, 1974)، همچنین میزان پتاسیم (فلیم فتومتر) (Knudsen *et al.*, 1982) و فسفر (Rotset, 1985) با این عصاره اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری آهن و روی نمونه‌ها در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴ ساعت قرار گرفتند، سپس ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال روی هیتر قرار داده شد، توسط طیف سنجی جذب اتمی غلظت آهن و روی در اندام هوایی گیاه بر اساس استاندارد تعیین شد (Chapman and Pratt, 1961).

تجزیه آماری داده‌ها در دو مرحله نمونه‌گیری به‌صورت مجزا با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. مقایسه میانگین اثرات اصلی به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد و در صورت معنی‌داربودن اثر متقابل، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه Lsmeans انجام گردید.

نتایج

غلظت عناصر پرمصرف برگ: اثر هیچ کدام از تیمارها (سطوح آبیاری و کودهای زیستی) بر غلظت نیتروژن برگ معنی‌دار نگردید، همچنین برهمکنش عوامل آبیاری و کود زیستی بر میزان فسفر و پتاسیم نیز معنی‌دار نگردید ولی اثر سطوح کود زیستی بر غلظت فسفر برگ و اثر سطوح آبیاری و کود زیستی بر میزان پتاسیم برگ معنی‌دار گردید (جدول ۲). کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفر (فسفات بارور۲) و قارچ مایکوریز باعث افزایش میزان عنصر فسفر برگ شد ولی مقایسه میانگین سطوح کودهای زیستی نشان داد که بیشترین غلظت فسفر برگ (۸/۲۶۸ گرم بر کیلوگرم) در تیمار کاربرد کود زیستی مایکوریزا به‌دست آمد به‌طوری‌که کاربرد کود زیستی مایکوریزا باعث افزایش ۲۷/۲ درصدی غلظت فسفر برگ نسبت به تیمار عدم کاربرد کود زیستی شد (جدول ۳). همچنین بیشترین میزان عنصر پتاسیم در برگ (۴/۲۰۴ گرم در کیلوگرم) نیز در تیمار مایکوریزا مشاهده شد؛ که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت ولی بین شاهد و سایر تیمارهای کود زیستی تفاوت معنی‌داری از نظر میزان این عنصر وجود نداشت (جدول ۳).

مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد که بیشترین میزان پتاسیم برگ (۴/۱۵۹ گرم بر کیلوگرم) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی به‌دست آمد که با تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان پتاسیم برگ (۳/۶۷۴ گرم بر کیلوگرم) در تیمار شاهد (آبیاری کامل) به‌دست آمد و میزان افزایش این صفت در قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی نسبت به شاهد برابر ۱۳/۲ درصد بود (جدول ۳).

غلظت عناصر کم‌مصرف برگ: سطوح کود زیستی و برهمکنش آبیاری و کودهای زیستی بر غلظت آهن در برگ معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج برش‌دهی نشان داد اثر کودهای زیستی در سطوح آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی برای غلظت آهن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر قطع آبیاری و کاربرد کودزیستی بر غلظت عناصر برگ کتان روغنی

منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت نیتروژن	غلظت فسفر	غلظت پتاسیم	غلظت آهن	غلظت روی
تکرار	۲	۰/۰۳	۰/۵۹	۲۰/۴۱	۶۸۷	۵/۵۰
آبیاری	۲	۰/۲۷ ns	۰/۴۹ ns	۷۰/۵۹**	۲۱۱۵ns	۲۸۲**
خطای اصلی	۴	۰/۰۶	۲/۹۲	۵/۵۰	۱۵۱۸	۱۶/۱۶
کود زیستی	۳	۰/۰۳ ns	۵/۲۲**	۴۲/۰۳**	۴۳۲۹**	۲۰۲**
آبیاری×کود زیستی	۶	۰/۰۱ ns	۱/۵۸ ns	۸/۰۱ns	۲۹۹۶*	۶۹/۱۳**
خطای فرعی	۱۸	۰/۰۲	۰/۹۶	۵/۳۸	۹۳۷	۱۶/۹۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۳/۴۴	۱۳/۲۸	۵/۹۲	۱۳/۷۵	۱۶/۹۲

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح آبیاری و کاربرد کودزیستی برای غلظت عناصر برگ کتان روغنی

عامل آزمایشی	سطوح عامل	غلظت فسفر ($g.\ kg^{-1}$)	غلظت پتاسیم ($g.\ kg^{-1}$)
آبیاری	آبیاری کامل	۷/۲۸a	۳۶/۷۴b
	قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی	۷/۲۲a	۴۱/۵۹a
	قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی	۷/۶۰a	۳۹/۱۳ab
کاربرد کودزیستی	بدون کودزیستی	۶/۴۹c	۳۸/۷۱b
	فسفات بارور۲	۷/۰۵bc	۳۶/۸۲b
	قارچ میکوریزا آربوسکولار	۸/۲۶a	۴۲/۰۴a
	فسفات بارور۲+ میکوریزا	۷/۶۶ab	۳۹/۰۳b

میانگین دارای حرف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

در برگ معنی‌دار گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سطوح آبیاری و کودهای زیستی نشان داد که در سطح آبیاری کامل بیشترین میزان غلظت آهن در برگ (۲۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار فسفات بارور۲ به‌دست آمد به‌طوری‌که در سطح آبیاری کامل میزان افزایش غلظت این عنصر در تیمار کود زیستی فسفات بارور۲ نسبت به تیمار عدم کاربرد کود زیستی برابر ۵۱/۴ درصد بود (شکل ۱).

در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی کمترین غلظت آهن برگ مربوط به تیمار عدم کاربرد کود زیستی بود و بین سایر تیمارهای کود زیستی نیز تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱). تیمار قطع آبیاری، کودهای زیستی و برهمکنش بین آنها بر میزان غلظت روی در برگ معنی‌دار گردید (جدول ۲). تجزیه واریانس برش‌دهی نشان داد اثر کودهای زیستی، در سطح آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی بر غلظت عنصر روی در برگ معنی‌دار گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح کود زیستی در هر سطح آبیاری برای عنصر روی در برگ نشان داد در آبیاری کامل و سطح قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی، بیشترین میزان غلظت روی در برگ در تیمار فسفات بارور۲ + مایکوریزا و کمترین غلظت روی در برگ در تیمار عدم کاربرد کود زیستی مشاهده شد، به‌طوری‌که در سطح آبیاری کامل و سطح قطع

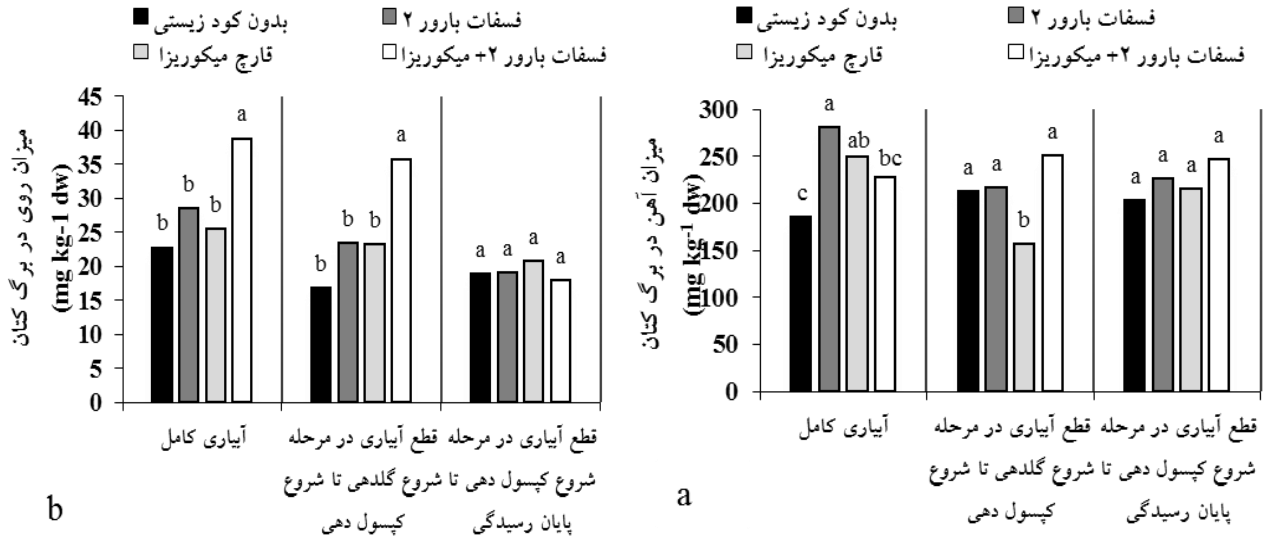
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

جدول ۴- تجزیه واریانس برش‌دهی اثر سطوح مختلف کودزیستی در هر سطح آبیاری برای غلظت عناصر آهن و روی و پرولین (در دو مرحله نمونه‌برداری) در برگ

سطوح آبیاری	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		غلظت آهن	غلظت روی	پرولین (نمونه‌برداری اول)	پرولین (نمونه‌برداری اول)
آبیاری کامل	۳	۴۷۵۰**	۱۴۷**	۰/۸۲ns	۰/۶۷*
قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی	۳	۴۵۵۴**	۱۸۹**	۱۲/۰۸**	۰/۱۴ns
قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی	۳	۱۰۱۶ns	۴/۱۳ns	۰/۸۲ns	۱۵/۲۴**

ns و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۱- اثر برهمکنش رژیم‌های آبیاری و کودزیستی بر میزان آهن (a) و روی (b). براساس تجزیه واریانس برش‌دهی در هر سطح آبیاری، ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک بوده براساس آزمون Lsmeans در سطح خطای (٪ ۵) اختلاف معنی‌داری ندارند.

آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی کاربرد تلفیقی کودزیستی فسفات بارور۲ و قارچ مایکوریزا به‌ترتیب افزایش ۷۰/۲ و ۱۱۳ درصدی را نسبت به عدم کاربرد کود زیستی، در این صفت ایجاد کرده است (شکل ۱).

محتوای نسبی آب برگ: در هر دو مرحله نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی و پرشدن دانه اثر سطوح آبیاری بر محتوای آب نسبی برگ معنی‌دار گردید اما اثر کودزیستی و برهمکنش آبیاری و کودزیستی بر این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۵). تیمار آبیاری کامل بیشترین محتوای نسبی آب برگ را در مرحله شروع کپسول‌دهی (۷۶/۷ درصد) و پرشدن دانه (۷۴/۳ درصد) داشت و کمترین محتوای نسبی آب برگ در مرحله شروع کپسول‌دهی در شرایط تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی (۶۱/۹ درصد) به‌دست آمد و محتوای نسبی آب برگ حدود ۱۹/۳ درصد در این تیمار کمتر از آبیاری کامل بود (جدول ۶). در نمونه‌برداری در مرحله پرشدن دانه کمترین محتوای نسبی آب برگ (۵۸/۹ درصد) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی به‌دست آمد و کاهش این صفت در قطع آبیاری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

جدول ۵- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر سطوح آبیاری و کاربرد کودزیستی بر صفات مختلف کتان روغنی

منابع تغییرات	درجه آزادی	نمونه‌برداری اول (مرحله کپسول‌دهی)					نمونه‌برداری دوم (مرحله پر شدن دانه)					
		محتوای نسبی آب	پرولین	قندهای محلول	مالون دی آلدهید	پروتئین محلول	محتوای نسبی آب	پرولین	قندهای محلول	مالون دی آلدهید	پروتئین محلول	عملکرد دانه
تکرار	۲	۱۵/۲۵	۰/۴۳	۵/۳۰	۱/۲۷	۰/۲۷	۷۰/۴۴	۰/۹۵	۸۴/۶۴	۰/۴۴	۰/۳۴	۸۸۶
آبیاری	۲	۸۷۶*	۲۸۲**	۲۷۱۶**	۱۱۵**	۱۰/۰۷**	۸۱۶**	۱۹۷**	۱۴۵۶**	۸۸/۲**	۲۰/۱۰*	۵۴۰۵۲**
خطای اصلی	۴	۷۵/۷۷	۰/۰۱	۵۱/۲۰	۰/۲۱	۰/۱۲	۵۱/۶۹	۲/۶۳	۲۰/۱۳	۱/۰۲	۰/۸۱	۱۶۹
کودزیستی	۳	۱۶۷ns	۸/۳۶**	۱۰۸*	۶/۸۲**	۰/۷۶*	۲۱/۲۴ns	۶/۶۹**	۸۵/۹۰**	۳/۴۳ns	۰/۹۷**	۲۳۸۱**
آبیاری×کود زیستی	۶	۶۵/۵۳ns	۲/۷۱**	۱۰/۳۱ns	۱/۱۰ns	۰/۰۴ns	۱/۲۱ns	۴/۶۷**	۱۶/۴۳ns	۱/۵۳ns	۰/۱۰ns	۳۰۲ns
خطای فرعی	۱۸	۱۰۰	۰/۷۳	۳۱/۵۹	۰/۸۸	۰/۲۲	۴۱/۱۳	۰/۱۷	۱۴/۴۸	۱/۴۱	۰/۲۱	۲۹۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱۳/۹	۱۶/۹	۱۲/۸	۶/۲	۱۱/۵	۹/۴	۱۰/۷	۹/۹	۶/۴	۱۶	۱۰/۴

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح آبیاری و کاربرد کودزیستی برای صفات مختلف کتان روغنی

عامل آزمایشی	سطوح عامل	نمونه‌برداری اول (مرحله کپسول‌دهی)			
		محتوای نسبی آب برگ (درصد)	قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	مالون دی‌آلدهید (میکرومول بر گرم وزن تر)	پروتئین محلول برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
آبیاری	آبیاری کامل	۷۶/۷۰a	۳۵/۲۲b	۱۳/۳۹b	۴/۷۳a
	قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی	۶۱/۹۲b	۶۱/۲۸a	۱۸/۷۲a	۳/۰۷b
	قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی	۷۶/۶۳a	۳۵/۳۰b	۱۳/۴۴b	۴/۵۹a
کاربرد کودزیستی	بدون کودزیستی	۶۵/۳۱a	۳۹/۳۳b	۱۶/۲۴a	۳/۷۰b
	فسفات بارور۲	۷۳/۷۸a	۴۴/۳۸ab	۱۴/۳۱b	۴/۲۸a
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار	۷۴/۱۹a	۴۴/۴۲ab	۱۵/۴۸a	۴/۲۲a
	فسفات بارور۲+ میکوریزا	۷۳/۷۵a	۴۷/۷۴a	۱۴/۶۰b	۴/۳۲a

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری براساس آزمون LSD است.

در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی نسبت به آبیاری کامل برابر ۲۰/۷ درصد بود (جدول ۶).

تیمار آبیاری کامل بیشترین محتوای نسبی آب برگ را در مرحله شروع کپسول‌دهی (۷۶/۷ درصد) و پرشدن دانه (۷۴/۳ درصد) داشت و کمترین محتوای نسبی آب برگ در مرحله شروع کپسول‌دهی در شرایط تیمار قطع آبیاری در مرحله

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

ادامه جدول ۶-

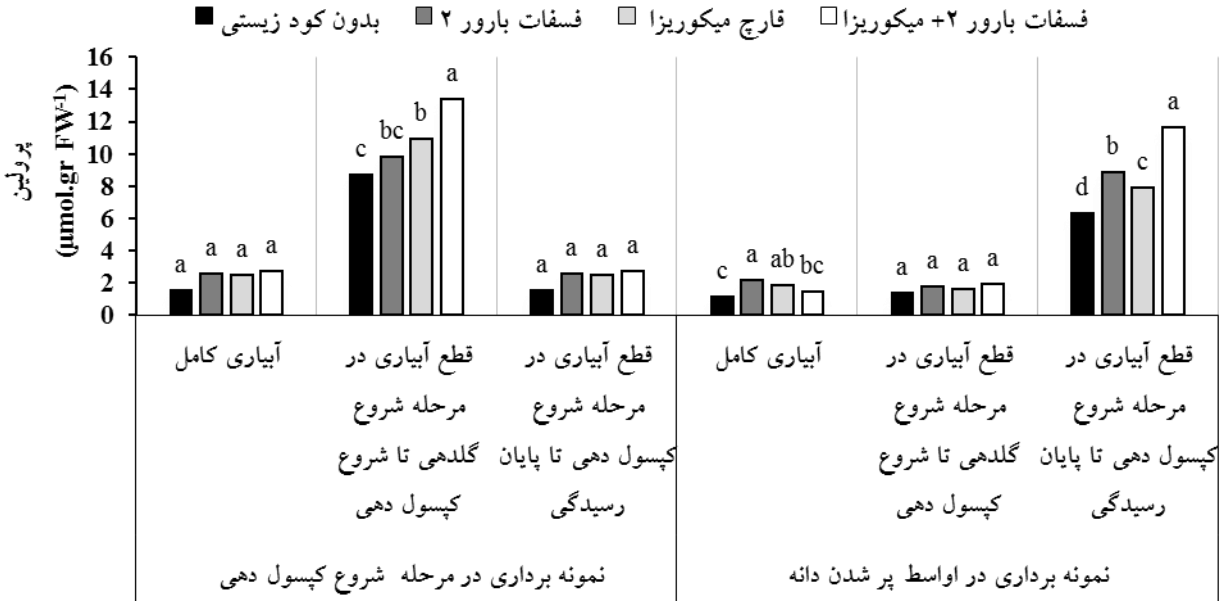
عامل آزمایشی	سطوح عامل	نمونه‌برداری دوم (مرحله پرشدن دانه)				عملکرد دانه (گرم در متر مربع)
		محتوای نسبی آب برگ (درصد)	قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	مالون دی‌آلدهید (میکرومول بر گرم وزن تر)	پروتئین محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	
آبیاری	آبیاری کامل	۷۴/۳۲^{a}	۳۴/۲۰^{b}	۱۷/۲۲^{b}	۳/۲۲^{a}	۲۲۶^{a}
	قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی	۷۱/۶۲^{a}	۳۰/۴۲^{b}	۱۶/۶۰^{b}	۴/۰۴^{a}	۱۷۷^{b}
	قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی	۵۸/۹۰^{b}	۵۱/۱۱^{a}	۲۱/۶۰^{a}	۱/۵۰^{b}	۹۳/۷۶^{c}
کاربرد کودزیستی	بدون کودزیستی	۶۶/۴۵^{a}	۳۴/۸۴^{c}	۱۹/۲۳^{a}	۲/۴۶^{b}	۱۴۷^{c}
	فسفات بارور۲	۶۸/۹۳^{a}	۳۹/۶۴^{ab}	۱۸/۶۵^{a}	۲/۹۰^{ab}	۱۶۰^{bc}
	قارچ مایکوریزا آربوسکولار	۶۹/۸۸^{a}	۳۷/۷۳^{bc}	۱۸/۱۳^{a}	۳/۱۲^{a}	۱۶۹^{ab}
	فسفات بارور۲+ میکوریزا	۶۷/۸۰^{a}	۴۲/۰۹^{a}	۱۷/۷۸^{a}	۳/۲۰^{a}	۱۸۶^{a}

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت آماری براساس آزمون LSD است.

شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی (۶۱/۹ درصد) به‌دست آمد و محتوای نسبی آب برگ حدود ۱۹/۳ درصد در این تیمار کمتر از آبیاری کامل بود (جدول ۶). در نمونه‌برداری در مرحله پرشدن دانه کمترین محتوای نسبی آب برگ (۵۸/۹ درصد) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی به‌دست آمد و کاهش این صفت در قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی نسبت به آبیاری کامل برابر ۲۰/۷ درصد بود (جدول ۶).

میزان پرولین و قندهای محلول برگ: نتایج نشان داد دو مرحله نمونه‌برداری، اثر آبیاری و کود زیستی بر هر دو صفت پرولین و قندهای محلول برگ معنی‌دار گردید. برهمکنش آبیاری و کودزیستی نیز تنها بر میزان پرولین معنی‌دار گردید (جدول ۵). تجزیه واریانس برش‌دهی مربوط به پرولین نشان داد که اثر کودهای زیستی در سطح قطع آبیاری در شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی در نمونه‌برداری اول (مرحله کپسول‌دهی) و سطوح آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی در نمونه‌برداری دوم (مرحله پرشدن دانه) بر میزان پرولین معنی‌دار گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سطوح آبیاری و کود زیستی برای میزان پرولین (نمونه‌برداری شده در مرحله کپسول‌دهی) نشان داد که در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی، بیشترین میزان پرولین برگ (۱۳/۴ میکرومول بر گرم) در سطح فسفات بارور۲ + میکوریزا و کمترین میزان پرولین (۸/۶۵ میکرومول بر گرم) در تیمار بدون کودزیستی به‌دست آمد. در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی، میزان افزایش این صفت در تیمار تلفیقی کود زیستی فسفات بارور۲ و مایکوریزا نسبت به شاهد بدون کودزیستی برابر ۵۴/۹ درصد بود (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سطوح آبیاری و کود زیستی در مرحله پرشدن دانه برای میزان پرولین برگ نشان داد که در تیمار آبیاری کامل، بیشترین میزان پرولین در سطح فسفات بارور۲ (۲/۲ میکرومول بر گرم) و کمترین غلظت پرولین در سطح بدون کود زیستی (۱/۱۰ میکرومول بر گرم) به‌دست آمد و در سطح آبیاری کامل میزان افزایش این صفت در تیمار کود زیستی فسفات بارور۲ نسبت به تیمار بدون کود زیستی برابر ۹۶/۴ درصد بود (شکل ۲). همچنین در تیمار قطع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]



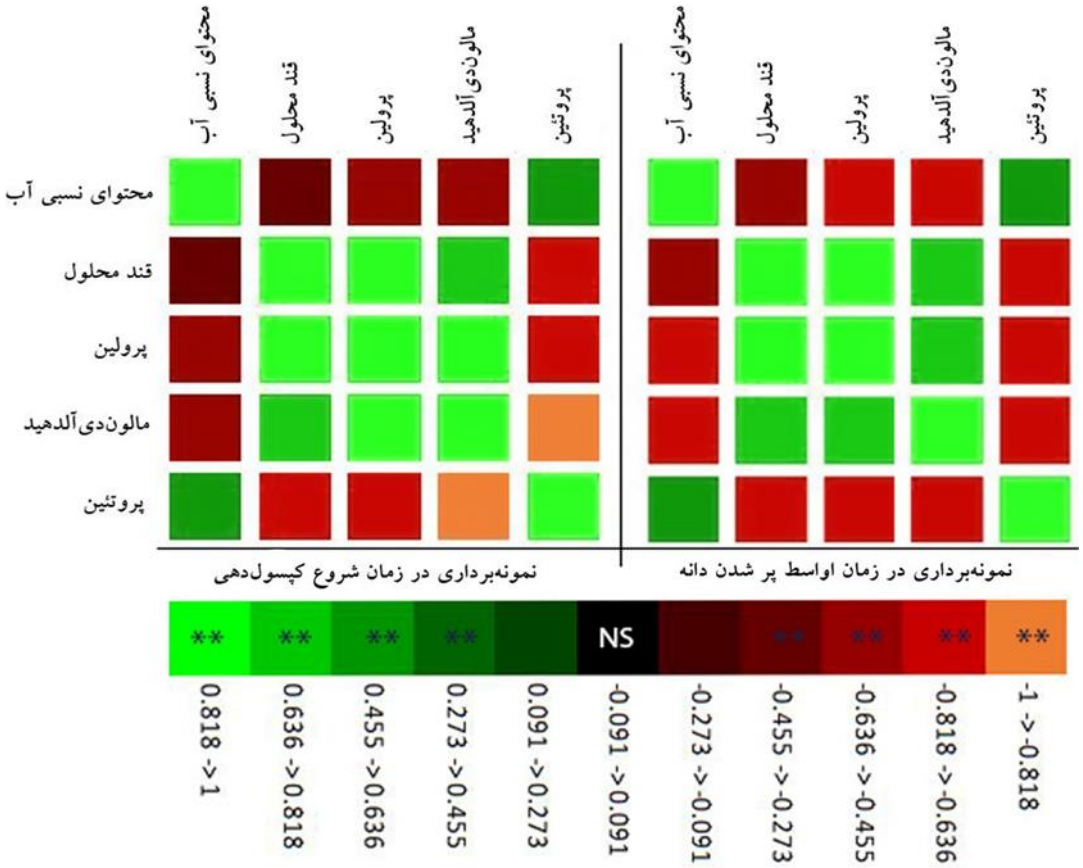
شکل ۲- اثر برهمکنش رژیم‌های آبیاری و کودزیستی بر میزان پرولین برگ. براساس تجزیه واریانس برش‌دهی در هر سطح آبیاری، ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک بوده براساس آزمون Lsmeans در سطح خطای (٪ ۵) اختلاف معنی‌داری ندارند.

آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی، بیشترین میزان پرولین در سطح فسفات بارور۲ + مایکوریزا (۱۱/۶ میکرومول بر گرم) و کمترین میزان پرولین در سطح بدون کود زیستی (۶/۳ میکرومول بر گرم برگ) به‌دست آمد و در سطح قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی میزان افزایش این صفت در تیمار تلفیقی کودزیستی فسفات بارور۲ و قارچ مایکوریزا نسبت به تیمار بدون کودزیستی برابر ۸۵/۳ درصد بود (شکل ۲). در این پژوهش همبستگی منفی و معنی‌داری بین محتوای نسبی آب برگ و میزان پرولین مشاهده گردید بدین ترتیب که با قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی و شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی، کاهش محتوای نسبی آب برگ، باعث تجمع برخی از ترکیبات از جمله پرولین گردید (شکل ۳).

مقایسه میانگین سطوح آبیاری در نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی نشان داد بیشترین غلظت قندهای محلول (۶۱/۳ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی و کمترین غلظت قندهای محلول (۳۵/۲ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد و تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی افزایش ۷۴/۱ درصدی را نسبت به آبیاری کامل، در صفت مذکور ایجاد کرده است (جدول ۶). در نمونه‌برداری در مرحله پرشدن دانه، بیشترین غلظت قندهای محلول برگ (۵۱/۱ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی و کمترین غلظت قندهای محلول (۳۰/۴ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی به‌دست آمد که با تیمار آبیاری کامل (۳۴/۲ میلی‌گرم بر گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). مقایسه میانگین سطوح کودزیستی نشان داد در نمونه‌برداری در هر دو مرحله بیشترین غلظت قندهای محلول در تیمار مایکوریزا + فسفات بارور۲ به‌دست آمد و کمترین غلظت قندهای محلول در تیمار بدون کود زیستی به‌دست آمد و تیمار کاربرد تلفیقی کود زیستی فسفات بارور۲ و قارچ مایکوریزا در نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی و پرشدن دانه به‌ترتیب افزایش ۲۱/۴ و ۲۱ درصدی را نسبت به تیمار بدون کودزیستی، در این صفت ایجاد کرده است (جدول ۶).

با توجه به جدول همبستگی صفات مشاهده می‌شود که غلظت قندهای محلول بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]



شکل ۳- نمودار همبستگی بین صفات فیزیولوژیکی. Ns و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

با غلظت پرولین در نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی و مرحله پرشدن دانه دارد، همچنین صفت مذکور دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با محتوای نسبی آب برگ در نمونه‌برداری در مرحله شروع و مرحله پرشدن دانه است (شکل ۳). در واقع افزایش غلظت قندهای محلول و پرولین، مکانیسم‌هایی هستند که گیاه در شرایط قطع آبیاری برای مقابله با کاهش محتوای آب نسبی برگ اعمال می‌کند.

محتوای مالون دی‌آلدهید برگ: نتایج نشان داد که در نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی اثر آبیاری و کودهای زیستی بر محتوای مالون دی‌آلدهید برگ معنی‌دار شد اما برهمکنش آبیاری و کودزیستی بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۵). همچنین نتایج نشان داد که در نمونه‌برداری در مرحله پرشدن دانه اثر آبیاری بر محتوای مالون دی‌آلدهید معنی‌دار شد اما اثر کودهای زیستی و برهمکنش آبیاری و کود زیستی بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۵). بیشترین میزان مالون دی‌آلدهید در نمونه‌برداری اول، تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی دیده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی بود اما در نمونه‌برداری دوم بیشترین سطح مالون دی‌آلددهید در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی دیده شد. در نمونه‌برداری اول بیشترین میزان مالون دی‌آلدهید مربوط به تیمار بدون کود زیستی بود ولی میزان مالون دی‌آلدهید در نمونه‌برداری دوم تحت تیمارهای کودی متفاوت تغییر معنی‌داری نکرد (جدول ۶).

محتوای پروتئین برگ: نتایج نشان داد در هر دو مرحله نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی و مرحله پرشدن دانه، اثر آبیاری و کودهای زیستی بر غلظت پروتئین محلول برگ معنی‌دار گردید اما برهمکنش آبیاری و کودهای زیستی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

بر این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین سطوح آبیاری برای غلظت پروتئین محلول در نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی نشان داد که بیشترین میزان پروتئین محلول (۴/۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد و کمترین میزان غلظت پروتئین محلول (۳/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی به‌دست آمد و میزان کاهش این صفت در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی نسبت به آبیاری کامل برابر ۳۵/۱ درصد بود (جدول ۶).

در نمونه‌برداری در مرحله پرشدن دانه بیشترین مقدار پروتئین محلول (۴/۰۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا شروع کپسول‌دهی به‌دست آمد که با تیمار آبیاری کامل (۳/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان غلظت پروتئین محلول (۱/۵۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی به‌دست آمد (جدول ۶). میـزان پروتئین‌های محلول در برگ‌های کتان تحت تیمارهای قطع آبیاری کمتر از گیاهان رشدیافته در آبیاری کامل بوده است. کاهش پروتئین محلول منجر به تولید بیشتر پرولین می‌شود و همبستگی منفی و معنی‌دار محتوای پروتئین محلول با میزان پرولین در هر دو مرحله نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی و مرحله پرشدن دانه نیز بر این موضوع تأکید می‌کند (شکل ۳). مقایسه میانگین‌های اثر سطوح کودهای زیستی نشان داد با کاربرد کودهای زیستی میزان پروتئین محلول افزایش می‌یابد. نتایج مقایسه میانگین در نمونه‌برداری در هر دو مرحله شروع کپسول‌دهی و پرشدن دانه نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین‌های محلول در تیمار فسفات بارور۲ + مایکوریزا به‌دست آمد و کمترین مقدار پروتئین‌های محلول در تیمار بدون کود زیستی به‌دست آمد به‌طوری‌که تیمار تلفیقی کود زیستی فسفات بارور۲ و قارچ مایکوریزا در نمونه‌برداری در مرحله شروع کپسول‌دهی و پرشدن دانه به‌ترتیب افزایش ۱۶/۸ و ۳۰/۱ درصدی را نسبت به تیمار بدون کودزیستی، در این صفت ایجاد کرده است (جدول ۶).

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۵ نشان می‌دهد کودزیستی و اعمال قطع آبیاری در هر دو مرحله از رشد گیاه تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه دارد ولی برهمکنش این تیمارها بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود. 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 صفت مذکور گردید. اما در این بین بیشترین کاهش این صفت 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 کاهش ۵۸/۵ درصد در عملکرد دانه شد (جدول ۶). مقایسه میانگین سطوح کودزیستی بیانگر آن است که سطوح مختلف کودزیستی باعث افزایش عملکرد دانه شد. اما در این بین بیشترین افزایش عملکرد دانه در کاربرد تلفیقی کودزیستی فسفات بارور۲ و قارچ مایکوریزا حاصل شد. به‌طوری‌که کاربرد تلفیقی کودزیستی فسفات بارور۲ و قارچ مایکوریزا باعث افزایش ۲۶/۵ درصد در عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد کودزیستی شد (جدول ۶).

بحث

مطابق نتایج ما، افزایش فسفر توسط مایکوریز در گیاه کتان تحت رژیم آبیاری گزارش شده است (Soltanian *et al.*, 2015) و علت آن را می‌توان حضور یک شبکه گسترده از هیف‌های برون ریشه‌ای قارچ مایکوریزا در خاک اطراف ریشه دانست؛ که فسفر را از نقاط دور در دسترس ریشه قرار می‌دهد. همچنین حضور گسترده هیف‌ها در ریزوسفر باعث می‌شود فسفر با سرعتی بسیار بیشتر از سرعت انتشار خود در خاک به ریشه‌های گیاه میزبان انتقال یابد؛ علاوه بر آن مایکوریزا می‌تواند با تولید آنزیم‌هایی نظیر فسفاتاز باعث افزایش میزان فسفر قابل جذب در گیاهان شود (Hu *et al.*, 2013) و این موارد می‌توانند یکی از اصلی‌ترین علل افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

فسفر در کتان توسط این قارچ باشد. در پژوهش‌های متعدد افزایش فسفر در گیاهان دارویی تلقیح‌شده با مایکوریزا نظیر بادرنجبویه (Abbaszadeh and Zakerian, 2016)، نعناع (Arango *et al*., 2012) مشاهده شده است. علاوه بر این فسفر توسط کودزیستی فسفاته نیز در کتان افزایش یافت زیرا ترشح اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز توسط گونه‌های مختلف باکتری-های محرک رشد مانند *Pseudomonas putida* با موجب انحلال و افزایش جذب فسفر خاک می‌شوند (Singh, 2013). مانند نتایج حاصل از این آزمایش مشاهده شده است که در گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا با افزایش سطح پتاسیم اندام هوایی خود باعث بهبود جذب سایر عناصر می‌شود. در واقع پتاسیم با دخالت در تغییرات روزنه‌های گیاه، باعث تنظیم تعادل در حمل‌ونقل فعال و انتقال مواد مغذی از ریشه به اندام هوایی می‌شود (Silva *et al*., 2007) و افزایش میزان سطح پتاسیم اندام هوایی توسط مایکوریزا باعث تحریک روزنه و بهبود سیستم انتقال مواد مغذی از ریشه به اندام هوایی است (Ruiz-Lozano and Azcon, 1995). یکی از علل افزایش میزان آهن توسط باکتری‌های محرک رشد نظیر *P. putida* توانایی این باکتری‌ها در تولید مواد کلاته‌کننده مانند سایدروفورها می‌باشد که باعث بهبود جذب آهن در گیاه می‌شوند (Bhattacharyya and Jha, 2012). با این وجود مشاهدات ما نشان داد که تلفیق استفاده از دو گونه باکتری *P. agglomerans* و *P. putida* باعث افزایش آهن در شرایط آبیاری کامل و یکی از سطوح قطع آبیاری (قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی) شد. در واقع به‌نظر می‌رسد کارآیی این دو باکتری در جذب آهن وابسته به شرایط و سطوح تنش خشکی است. مطابق نتایج ما در پژوهشی پاسخ تلفیق این دو باکتری بر میزان آهن در سطوح مختلف تنش متفاوت بود و فقط در برخی از سطوح تنش و شرایط بدون تنش باعث افزایش معنی‌دار آهن شد (Delshadi *et al*., 2017). گرچه قارچ مایکوریزا، توانایی تولید سایدروفورها را دارند که موجب افزایش آهن و روی در گیاهان تلقیح‌شده با این میکروارگانیسم‌ها می‌شود (Dehghanian *et al*., 2018) ولی یکی دیگر از علل افزایش میزان روی در اندام هوایی گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریز، افزایش فرآیند انتشار برای دستیابی به روی در گیاه است (Lehmann *et al*., 2014). در کل مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، تلفیق کاربرد قارچ مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد موجب بهبود میزان روی در گیاه در شرایط تنش شد (Ortiz *et al*., 2015). محتوای نسبی آب یکی از شاخص‌های مهم فیزیولوژیکی است که رابطه مهمی با میزان آب خاک دارد و کاهش این شاخص در شرایط تنش خشکی در ارقام مختلف گیاه کتان گزارش شده است و میزان این شاخص در شرایط تنش به ۶۰ درصد و حتی کمتر نیز می‌رسید (Kariuki *et al*., 2016) و حفظ محتوای نسبی آب در بافت گیاه برای فعالیت‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بهینه و روند رشد گیاه ضروری است (Silva *et al*. 2007). گرچه اثر کود زیستی بر میزان این شاخص معنی‌دار نبود ولی بیشترین میزان این شاخص در کتان تحت شرایط کابرد قارچ مایکوریزا بود و علت آن بهبود و افزایش سیستم ریشه کتان و دسترسی به آب قابل جذب بیشتر در خاک بود (Ansari *et al*., 2014).

افزایش میزان پرولین (Rahimzadeh and Pirzad, 2017) و قندهای محلول (Movahedi Dehnavi *et al*., 2011) در کتان تحت تنش خشکی گزارش شده است. پرولین و قندهای محلول یکی از منابع مهم تنظیم‌کننده پتانسیل اسمزی در سطح سلول گیاهان در شرایط تنش خشکی هستند (Mohammadkhani and Heidari, 2008). باکتری‌های محرک رشد و قارچ مایکوریزا با تغییر در سطح هورومون‌های گیاهی و تغییردر میزان جذب عناصر غذایی در سنتز و تولید این دو اسمولیت تأثیر دارند. بعضی از باکتری‌های محرک رشد مانند باکتری *Pseudomonas putida* باعث بیان ژن‌های دخیل در سنتز پرولین و افزایش آن در گیاه می‌شود (Ghosh *et al*., 2017). همچنین مایکوریزا باعث افزایش سطح قندهای محلول در گیاهان می‌شود زیرا تلقیح گیاهان با مایکوریزا باعث افزایش چندین آنزیم دخیل در سنتز ساکارز می‌شود و افزایش فعالیت این آنزیم‌ها با میزان ساکارز، گلوکز و فروکتوز (در کل قندهای محلول) ارتباط مثبت و معنی‌دار دارد (Wu *et al*., 2017). از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

طرفی افزایش دسترسی گیاه به حجم بیشتری از ریزوسفر یکی از مهم‌ترین سازوکارهایی است که در گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریز و باکتری‌های محرک رشد ایجاد می‌شود؛ در واقع مایکوریزها به‌وسیله هیف‌های برون ریشه‌ای (Celebi *et al.*, 2010) و باکتری‌های محرک رشدی مانند *Pseudomonas Putida* با تولید هرومون اکسین و تحریک رشد ریشه و ریشه‌های مویی (Zabihi *et al.*, 2011) باعث گسترش منطقه جذب گیاه در خاک و افزایش آب و مواد غذایی درنتیجه افزایش عملکرد در گیاه می‌شوند.

در کل افزایش سطح پرولین و قندهای محلول در گیاهان توسط مایکوریزا (Al-Arjani *et al.*, 2020) و باکتری‌های محرک رشد (Vardharajula *et al.*, 2011) در شرایط تنش خشکی و بدون تنش دیده شد. همچنین گزارشاتی از تغییر در میزان پرولین در گیاهان تحت رژیم‌های آبیاری مختلف در شرایط مزرعه نیز وجود دارد. به‌طور مثال کود زیستی فسفات بارور ۲ تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله زایشی گلرنگ (حساس‌ترین مرحله رشدی گلرنگ به کمبود آب)، موجب افزایش معنی‌دار پرولین شده است (Heshmati *et al.*, 2016). همچنین این کود باعث افزایش میزان پرلین در گیاه دارویی زیره سبز تحت شرایط دیم همراه با آبیاری تکمیلی در زمان گلدهی شد (Mehrabi *et al.*, 2020). یکی از بارزترین اثرات تنش خشکی تأثیر آن در متابولیسم پروتئین است؛ در شرایط تنش خشکی چندین ژن سنتزکننده آنزیم‌های مرتبط با تخریب پروتیئن در گیاه کتان بیان می‌شود (Dash *et al.*, 2014). یکی دیگر از علت کاهش میزان پروتئین افزایش سطح گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه کتان تحت شرایط تنش خشکی است (Aghdam *et al.*, 2016) و گونه‌های اکسیژن فعال تأثیر مخربی بر میزان پروتئین‌ها و اکسیداسیون این ملکول‌ها در گیاه دارند (Vurukonda *et al.*, 2016). از طرفی تنش خشکی با تأثیر در ساختار و میزان تشکیل پلی‌زوم موجب مهار سنتز پروتئین در سطح سلول‌های گیاه می‌شود (Yazdanpanah *et al.*, 2011). تلقیح باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش سطح پروتئین گیاه شد و علت آن را می‌توان در تأثیر این میکروارگانیسم‌ها در بیان ژن سنتزکننده گونه‌های مختلف پروتئین درنتیجه افزایش سطح میزان پروتئین کل در گیاه دانست (Naseem and Bano, 2014). مایکوریزا با بهبود تغذیه و سیستم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه باعث افزایش و جلوگیری از تخریب پروتئین می‌شوند (Abbaspour *et al.*, 2012). مطابق با نتایج آزمایش حاضر در شرایط تنش خشکی افزایش میزان مالون دی‌آلدهید در گیاهان مختلف (Saruhan *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2011) و کتان (Aghdam *et al.*, 2016) مشاهد شده است. در واقع تنش خشکی باعث افزایش میزان گونه‌های اکسیژن فعال، پراکسیداسیون لیپید و تخریب غشاء سیتوپلاسمی می‌شود که حاصل آن تولید ترکیباتی مانند مالون دی‌آلدهید است (Chakrabarty *et al.*, 2007). پراکسیداسیون لیپیدها و مـالون دی‌آلدهید تولیدشده، شاخصی برای میزان خسارت تنش خشکی است. در این آزمایش در تیمارهای قطع آبیاری و بدون کاربرد کودزیستی بیش‌ترین میزان مالون دی‌آلدهید مشاهده شد. بیشترین خسارت به عملکرد در زمان قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی رخ داد. رژیم‌های آبیاری می‌توانند با کاهش محتوای نسبی آبی، پتانسیل آب، هدایت روزنه و فتوسنتز و کاهش انتشار CO_2 در سلول‌های مزوفیل برگ باعث کاهش عملکرد دانه کمتری در گیاه شود (Li *et al.*, 2013). همان‌طورکه ما مشاهده کردیم در شرایط تنش خشکی عملکرد گیاهان به‌دلیل اختلال در سیستم جذب املاح نظیر فسفر و برهم‌خوردن تعادل اسمزی و افزایش بیش از حد نیاز به انرژی برای مقابله با تنش مانند تولید اسمولیت‌ها (قند محلول و پرولین) کاهش می‌یابد (Gholamhoseini *et al.*, 2013).

نتیجه‌گیری

تنش خشکی باعث خسارت به ساختارهای لیپیدی و پروتئین‌ها در گیاه کتان شد علاوه بر آن کاهش توانایی تنظیم اسمزی و اختلال در سیستم جذب املاح و برهم‌خوردن تعادل اسمزی همچنین افزایش بیش از حد نیاز به انرژی برای مقابله با تنش، مانند تولید اسمولیت‌هایی نظیر قند محلول و پرولین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

باعث کاهش عملکرد در این گیاه شد. اما با توجه سطح مالون دی‌آلدهید، بیشترین سطح خسارت در زمان قطع آبیاری در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی بود و در این مرحله عملکرد گیاه ۵۸ درصد نسبت به آبیاری کامل افت کرد. در واقع می‌توان بیان کرد که گیاه کتان به تنش در مرحله شروع کپسول‌دهی تا پایان رسیدگی بسیار حساس است. کاربرد کودزیستی با افزایش در جذب عناصر غذایی و افزایش میزان اسمولیت‌ها در گیاه باعث کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی شدند.

منابع

Abbaspour, H., Saeidi-Sar, S., Afshari, H. and Abdel-Wahhab, M. A. (2012) Tolerance of mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. Journal of Plant Physiology 169: 704-709.

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: 47-59.

Aghdam, M. T. B., Mohammadi, H. and Ghorbanpour, M. (2016) Effects of nanoparticulate anatase titanium dioxide on physiological and biochemical performance of *Linum usitatissimum* (Linaceae) under well-watered and drought stress conditions. Brazilian Journal of Botany 39: 139-146.

Al-Arjani, A. B. F., Hashem, A. and Abd-Allah, E. F. (2020) Arbuscular mycorrhizal fungi modulates dynamics tolerance expression to mitigate drought stress in *Ephedra foliata* Boiss. Saudi Journal of Biological Sciences 27: 380-394.

Ansari, A., Razmjoo, J., Karimmojeni, H. and Zarei, M. (2014) Effect of mycorrhizal inoculation and pre-treatment with salicylic acid at different levels of drought on morphological traits and yield of flax. Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing 4: 181-195.

Arango, M. C., Ruscitti, M. F., Ronco, M. G. and Beltrano, J. (2012) Mycorrhizal fungi inoculation and phosphorus fertilizer on growth, essential oil production and nutrient uptake in peppermint (*Mentha piperita* L.). Revista Brasileira de Plantas Medicinais 14: 692-699.

Armada, E., Probanza, A., Roldan, A. and Azcon, R. (2016) Native plant growth promoting bacteria *Bacillus thuringiensis* and mixed or individual mycorrhizal species improved drought tolerance and oxidative metabolism in *Lavandula dentata* plants. Journal of Plant Physiology 192: 1-12.

Bhattacharyya, P. N. and Jha, D. K. (2012) Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. World Journal of Microbiology and Biotechnology 28: 1327-1350.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. Analytical Biochemistry 38: 248-252.

Bukhat, S., Imran, A., Javaid, S., Shahid, M., Majeed, A. and Naqqash, T. (2020) Communication of plants with microbial world: Exploring the regulatory networks for PGPR mediated defense signaling. Microbiological Research 238: 126486.

Celebi, S. Z., Demir, S., Celebi, R., Durak, E. D. and Yilmaz, I. H. (2010) The effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) applications on the silage maize (*Zea mays* L.) yield in different irrigation regimes. European Journal of Soil Biology 46: 302-305.

Chakrabarty, D., Chatterjee, J. and Datta, S. K. (2007) Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in *chrysanthemum florets*. Plant Growth Regulation 53: 107-115.

Chapman, H. D. and Pratt, P. (1961) Methods of analysis for soil, plant and water. Division of Agriculture Science, University of California. Riverside. Journal of Soil Science 93: 67-68.

Chaves, M. M. and Pereira, J. S. (2003) Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. Functional Plant Biology 30: 239-264.

Chiyaneh, E. R., Khorramdel, S., Movludi, A. and Rahimi, A. (2017) Effects of nano chelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 15.

Dash, P. K., Cao, Y., Jailani, A. K., Gupta, P., Venglat, P., Xiang, D., Rai, R., Sharma, R., Thirunavukkarasu, N., Abdin, M. Z. and Yadava, D. K. (2014) Genome-wide analysis of drought induced gene expression changes in flax (*Linum usitatissimum*). GM Crops and Food 5: 106-119.

Dehghanian, H., Halajnia, A., Lakzian, A. and Astaraei, A. R. (2018) The effect of earthworm and arbuscular mycorrhizal fungi on availability and chemical distribution of Zn, Fe and Mn in a calcareous soil. Applied Soil Ecology 130: 98-103.

Delshadi, S., Ebrahimi, M. and Shirmohammadi, E. (2017) Effectiveness of plant growth promoting rhizobacteria on bromus tomentellus boiss seed germination, growth and nutrients uptake under drought stress. South African Journal of Botany 113: 11-18.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

Etesami, H. and Maheshwari, D. K. (2018) Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. Ecotoxicology and Environmental Safety 156: 225-246.

Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E. and Khodaei-Joghan, A. (2013) Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. Agricultural Water Management 117: 106-114.

Ghosh, D., Sen, S. and Mohapatra, S. (2017) Modulation of proline metabolic gene expression in *Arabidopsis thaliana* under water-stressed conditions by a drought-mitigating *Pseudomonas putida* strain. Annals of Microbiology 67: 655-668.

Guo, R., Hao, W. and Gong, D. (2012) Effects of water stress on germination and growth of linseed seedlings (*Linum usitatissimum* L), photosynthetic efficiency and accumulation of metabolites. Journal of Agricultural Science 4: 253.

Hadian, J., Esmaeili, H., Nadjafi, F. and Khadivi-Khub, A. (2014) Essential oil characterization of satureja rechingeri in Iran. Industrial Crops and Products 61: 403-409.

Hamed, A., Wu, Q. S., Abd-Allah, E. F., Hashem, A., Kumar, A., Lone, H. A. and Ahmad, P. (2014) Role of AM fungi in alleviating drought stress in plants. In Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses 2: 55-75.

Hanafy, R. S. (2017) Using moringa olifera leaf extract as a bio-fertilizer for drought stress mitigation of *Glycine max* L. Plants. Biological and Geological Sciences Department 56: 281-292.

Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125: 189-198.

Heshmati, S., Amini Dehaghi, M., Rezazadeh, A. and Fathi Amirkhiz, K. (2016) Study the effect of different Phosphorus fertilizers on physiological characteristic of photosynthetic pigments and soluble sugars of safflower under water deficit condition. Iranian Journal of Field Crops Research 14: 304-317.

Hu, J., Chan, P. T., Wu, F., Wu, S., Zhang, J., Lin, X. and Wong, M. H. (2013) Arbuscular mycorrhizal fungi induce differential Cd and P acquisition by alfred stonecrop (*Sedum alfredii* Hance.) and upland kangkong (*Ipomoea aquatica* Forsk.) in an intercropping system. Applied Soil Ecology 63: 29-35.

Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced change in concentrations of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa*) plant. Physiologia Plantarum 84: 55-60.

Kar, M. and Mishra, D. (1976) Catalase, peroxides and poly phenol oxides activities during rice leaf senescence. Plant Physiology 57: 315-319.

Kariuki, L. W., Masinde, P., Githiri, S. and Onyango, A. N. (2016) Effect of water stress on growth of three linseeds (*Linum usitatissimum* L.) varieties. SpringerPlus 5: 759.

Khan, M. L., Sharif, M. and Sarwar, M. (2010) Chemical composition of different varieties of linseed. Issues in Law and Medicine 5: 273-318.

Knudsen, D., Peterson, G. A. and Pratt, P. F. (1982) Methods of soil analysis Part 2. Soil Science Society, America 246.

Lehmann, A., Veresoglou, S. D., Leifheit, E. F. and Rillig, M. C. (2014) Arbuscular mycorrhizal influence on zinc nutrition in crop plants–a meta-analysis. Soil Biology and Biochemistry 69: 123-131.

Li, D., Liu, H., Qiao, Y., Wang, Y., Cai, Z., Dong, B., Shi, C., Liu, Y., Li, X. and Liu, M. (2013) Effects of elevated CO_2 on the growth, seed yield, and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress. Agricultural Water Management 129: 105-112.

Madani, K., AghaKouchak, A. and Mirchi, A. (2016) Iran's socio-economic drought: Challenges of a water-bankrupt nation. Iranian Studies 49: 997-1016.

Marulanda, A., Porcel, R., Barea, J. M. and Azcon, R. (2007) Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought-tolerant or drought-sensitive Glomus species. Microbial Ecology 54: 543-552.

Mehrabi,Y., Movahedi Dehnavi, M., Salehi, A., Mohtashami, P. and Hamidian, M. (2020) Improving physiological traits, yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.) via application of phosphorus bio-fertilizers and supplementary irrigation under dryland condition. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 35: 1044-1057.

Mohammadkhani, N. and Heidari, R. (2008) Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. World Applied Sciences Journal 3: 448-453.

Movahedi Dehnavi, M., Ranjbar, M., Yadavi, A. and Kavousi, B. (2011) Effect of cycocel on proline, soluble sugars, protein, oil and fatty acids of flax (*Linum usitatissimum* L.) plants under drought stress in a pot trial. Environmental Stresses in Crop Sciences 3: 129-138.

Naseem, H. and Bano, A. (2014) Role of plant growth-promoting rhizobacteria and their exopolysaccharide in drought tolerance of maize. Journal of Plant Interactions 9: 689-701.

Novozamsky, I., Van Eck, R., Van Schouwenburg, J. Ch. and Walinga, I. (1974) Total nitrogen determination in plant material by means of the imdophenol blue method. Netherlands Journal of Agricultural Science 22: 3-5.

Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldan, A. and Azcon, R. (2015) Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: Effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. Journal of Plant Physiology 174: 87-96.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

Pali, V. and Mehta, N. (2014) Evaluation of oil content and fatty acid compositions of flax (*Linum usitatissimum* L.) varieties of India. Journal of Agricultural Science 6: 198.

Paquine, R. and Lechasseur, P. (1979) Observations surune methode dosage la libre dans les de plantes. Canadian Journal of Botany 57: 1851-1854.

Patade, V. Y., Bhargava, S. and Suprasanna, P. (2011) Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: Growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. Journal of Plant Interactions 6: 275-282.

Rahimzadeh, S. and Pirzad, A. (2017) Arbuscular mycorrhizal fungi and Pseudomonas in reduce drought stress damage in flax (*Linum usitatissimum* L.): A field study. Mycorrhiza 27: 537-552.

Røtset, O. (1985) Determination of phosphate species in nutrient solutions and phosphorus in plant material as phosphovanadomolybdic acid by flow injection analysis. Analytica Chimica Acta 178: 217-221.

Ruiz-Lozano, J. M., Azcon, R. and Gomez, M. (1995) Effects of arbuscular-mycorrhizal glomus species on drought tolerance: Physiological and nutritional plant responses. Applied and Environmental Microbiology 61: 456-460.

Saraker, A. M., Rahman, M. S. and Paul, N. K. (1999) Effect of soil moisture on -relative leaf water content, chlorophyll, proline and sugar accumulation in wheat. Journal of Agronomy and Crop Science 183: 225-229.

Saruhan, N., Saglam, A. and Kadioglu, A. (2012) Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. Acta Physiologiae Plantarum 34: 97-106.

Shinwari, Z. K. (2010) Medicinal plants research in Pakistan, Journal of Medicinal Plants Research 4: 161-176.

Silva, M. D. A., Jifon, J. L., Da Silva, J. A. and Sharma, V. (2007) Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilian Journal of Plant Physiology 19: 193-201.

Singh, J. S. (2013) Plant growth promoting rhizobacteria. Resonance 18: 275-281.

Soltanian, M., Tadayyon, A. and Falah, S. (2015) Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on some vegetative traits and yield of linseed under water deficit stress conditions. Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture) 17: 621-634. (In pesian)

Tadesse, T., Singh, H. and Weyessa, B. (2009) Correlation and path coefficient analysis among seed yield traitsand oil content in ethiopian linseed germplasm. International Journal of Sustainable Crop Production 4: 8-16.

Vardharajula, S., Zulfikar Ali, S., Grover, M., Reddy, G. and Bandi, V. (2011) Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp.: Effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. Journal of Plant Interactions 6: 1-14.

Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M. and Skz, A. (2016) Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiological Research 184: 13-24.

Weatherley, P. E. (1950) Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. New Phytologist 49: 81-97.

Wu, H. H., Zou, Y. N., Rahman, M. M., Ni, Q. D. and Wu, Q. S. (2017) Mycorrhizas alter sucrose and proline metabolism in *trifoliate orange* exposed to drought stress. Scientific Reports 7: 42389.

Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A. and Abbassi, F. (2011) The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of Satureja hortensis. African Journal of Agricultural Research 6: 798-807.

Zabihi, H. R., Savaghebi, G. R., Khavazi, K., Ganjali, A. and Miransari, M. (2011) Pseudomonas bacteria and phosphorous fertilization, affecting wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and P uptake under greenhouse and field conditions. Acta Physiologiae Plantarum 33: 145-152.

Zhang, F., Zou, Y. N. and Wu, Q. S. (2018) Quantitative estimation of water uptake by mycorrhizal extraradical hyphae in citrus under drought stress. Scientia Horticulturae 229: 132-136.

Zhu, X., Song, F. and Liu, Sh. (2011) Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. Journal of Food Agriculture and Environment 9: 583-587.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]

Improvement of physiological characteristics and nutrient uptake of linseed (*Linum usitatissimum*) with biofertilizers application under irrigation withholding at different growth stages

Fatemeh Shojaeian kishi, Alireza Yadavi*, Mohsen Movahhedi Dehnavi, Amin Salehi, Mohammad Hamidian

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran
(Received: 02/09/2020, Accepted: 06/04/2021)

Abstract

In order to investigate the effect of biofertilizers on physiological characteristics and nutrient concentration in linseed under irrigation withholding at different growth stages, a farm experiment was conducted as split plot based on randomized complete block design with three replication at research field of Yasouj University in 2017. Irrigation regimes (full irrigation, irrigation withholding at beginning of flowering until beginning of podding, irrigation withholding at beginning of podding to end of maturity) and bio-fertilizer application at four levels (mycorrhiza fungi, Phosphate Barvar2, mycorrhiza arbuscular fungi + Phosphate Barvar2 and non-application of bio-fertilizer) were considered as the main and the sub plots, respectively. The results showed that the highest concentration of phosphorus (8.27 $g.kg^{-1}$) and potassium (4.20 $g.kg^{-1}$) in the leaf was observed in the treatment of mycorrhiza bio-fertilizers. In both stages of flowering and seed filling, irrigation withholding compared to the full irrigation increased the soluble sugars, malondialdehyde, whereas reduced the relative water content and soluble protein of leaf. The highest leaf prolin cintent (11.63 $\mu mol.g^{-1}$) was observed in both biofertilizer combination treatments in condition of irrigation with holding at beginning of podding to end of maturity. Application of both type of biofertilizer increased soluble sugar concentration, soluble protein and reduced malondialdehyde levels. The highest grain yield was observed from application of mycorrhiza+ phosphate Barvar2. The results indicate that linseed is sensitive to drought stress in the encapsulation to ripening stage (58% reduction). This damage was modified by application of biofertilizer trough improving the absorption of nutrients and changing the concentration of osmolites.

.

Keywords: Droght, Linseed, mycorrhiza, Nutrients, Proline

Corresponding author, Email: yadavi@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5]