



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۳ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۰

صفحه‌های ۱۵۴-۱۴۱

مقاله پژوهشی:

بررسی تأثیر بقایای کود سبز و منابع مختلف کودی بر خصوصیات آگروفیزیولوژیکی کتان روغنی در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی

مهديه فلاح^۱، هاشم هادی^{۲*}، رضا امیرنیا^۳، عبدالله حسن‌زاده قورته‌تپه^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲. استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳. دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۴. استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۲

چکیده

جهت بررسی تأثیر بقایای کود سبز و منابع مختلف کودی بر صفات فیزیولوژیکی، عملکرد بیولوژیکی و درصد روغن دانه گیاه کتان در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ارومیه در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل کود سبز در دو سطح بدون کود سبز و شبدر قرمز، منابع مختلف کودی بیولوژیکی در چهار سطح شاهد (عدم مصرف کود)، مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا+ ورمی‌کمپوست در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی بررسی شد. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که سال اثر معنی‌دار بر صفات کلروفیل *a* درصد کلونیزاسیون، درصد نیتروژن و فسفر دانه، عملکرد بیولوژیکی و درصد روغن دانه داشت. تیمار قطع آبیاری سبب کاهش تمامی صفات به‌جز پرولین و کربوهیدرات محلول شد. کود سبز، مایکوریزا و ورمی‌کمپوست سبب افزایش معنی‌دار صفات مورد مطالعه در هر دو سطح آبیاری شدند به‌جز نیتروژن دانه که کود سبز بر آن تأثیری نداشت. تیمار تغلیقی مایکوریزا+ ورمی‌کمپوست نسبت به کاربرد جداگانه هر یک از آن‌ها منجر به افزایش ۶۸/۹۸ درصد و ۶۱/۳۴ درصدی عملکرد بیولوژیکی و ۱۱/۱۸ درصد و ۴/۵ درصدی روغن دانه نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب در تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری شد. در نهایت کاربرد مایکوریزا و ورمی‌کمپوست پس از کود سبز سبب بهبود شاخص‌های کمی و کیفی کتان در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی شد.

کلیدواژه‌ها: پرولین، تنش خشکی، کود سبز، مایکوریزا، ورمی‌کمپوست.

Effect of Green Manure Residues and Fertilizer Sources on Agro-Physiological Characteristics of Flax Seed in Irrigation Termination at the Flowering Stage

Mahdiyeh Fallah¹, Hashem Hadi^{2*}, Reza Amirmia³, Abdollah Hasanazadeh Ghorttaped⁴

1. Ph.D. Student, Department of plant production and genetics, Faculty of Agriculture and natural resources, Urmia University, Urmia, Iran.

2. Assistant Professor, Department of plant production and genetics, Faculty of Agriculture and natural resources, Urmia University, Urmia, Iran.

3. Associate Professor, Department of plant production and genetics, Faculty of Agriculture and natural resources, Urmia University, Urmia, Iran.

4. Assistant Professor, Horticulture Crop Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Urmia, Iran.

Received: April 14, 2020

Accepted: September 2, 2020

Abstract

The present experiment has been conducted as a factorial based on randomized complete block design with three replications in the Agricultural and Natural Resources Research farm of Urmia for two years (2017-2018) to investigate the effect of green manure residues and fertilizer sources on physiological traits, biological yield, and seed oil content of linseed. Experimental factors include green manure in two levels: no green manure and red clover (*Trifolium pratense*), different sources of fertilizer in four levels: no fertilizer, mycorrhiza, vermicompost and mycorrhiza + vermicompost, both in full irrigation condition and irrigation termination at the flowering stage. Results of the combined analysis show that the year has a significant effect on chlorophyll *a*, colonization percentage, grain nitrogen and phosphorus, biological yield, and seed oil. Irrigation termination treatment decreases all traits except proline and soluble carbohydrate contents. Green manure, mycorrhizae, and vermicompost significantly increase the studied traits at both irrigation levels, except for grain nitrogen, not affected by green manure. The application of mycorrhiza+ vermicompost, with or without green manure, is more effective than their individual applications. The dual application results in an increase of 68.98% and 61.34% for biological yield and 11.8% and 4.5% for seed oil, compared to the control in complete irrigation treatment, respectively. In general, green manure, mycorrhiza, and vermicompost can improve the quantitative and qualitative performance of flaxseed in irrigation termination at the flowering stage.

Keywords: Green manure, irrigation cut-off, mycorrhiza, proline, vermicompost.

۱. مقدمه

کتان روغنی یا بزرک (*Linum usitatissimum L.*) به عنوان یک گیاه چندمنظوره در جهان کاربردهای صنعتی و دارویی فراوانی دارد. دانه‌های این گیاه به عنوان منبع امگا سه، به همراه اسیدهای چرب و مواد فیبری به مواد غذایی مختلف افزوده می‌شوند. میزان روغن دانه بین ۴۶-۳۵ درصد و میزان پروتئین آن بین ۲۵-۲۰ درصد است و افزون بر تولید روغن از دانه، کنجاله آن با درصد بالایی از پروتئین در جیره غذایی دام‌ها استفاده می‌شود. همچنین به دلیل داشتن اسید لینولئیک در صنایع رنگ‌سازی نیز کاربرد دارد (Zuk et al., 2015).

کمبود آب یکی از عوامل محدودکننده تولید در گیاهان زراعی می‌باشد. تغییرات اقلیمی در نتیجه ایجاد محدودیت آب قابل دسترس خاک و نیز توزیع نامناسب بارندگی، از مهم‌ترین عوامل بروز تنش خشکی در گیاهان و کاهش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی در سراسر جهان می‌باشد (Vaughan et al., 2018). تنش خشکی، به علت بسته‌بودن روزنه‌ها برای جلوگیری از تعرق و کاهش جذب CO_2 ، تولید کمتر ماده خشک را در پی دارد و در نتیجه از عناصر غذایی با کارایی کمتری استفاده می‌شود. بعضی از دوره‌های رشد گیاهان بیش‌ترین حساسیت را نسبت به تنش آب دارند. به عنوان مثال، تنش آب در زمان گرده‌افشانی باعث کاهش یا عدم لقاح تخمک‌ها شده و در نتیجه عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Shiri & Bahrapour, 2015).

گیاهان برای مقابله با شرایط تنش، مکانیسم‌های دفاعی مختلفی مانند تجمع متابولیت‌های سازگار از جمله پرولین و قندهای محلول (مانند ساکارز و مانیتول) در سیتوپلاسم را به کار می‌برند. این سازوکارها با تنظیم اسمزی موجب کاهش خسارت‌های ناشی از کمبود آب می‌گردند (Ahmad et al., 2012; Pessarakli, 2016).

علاوه بر مکانیسم‌های درونی گیاه برای مقابله با تنش

خشکی، یکی از راه‌کارهای افزایش تولید و عملکرد گیاه در شرایط محدودیت آب استفاده از کودهای آلی و زیستی می‌باشد. استفاده از کودهای آلی از طریق ایجاد تعادل بین عناصر موجود در خاک و نیاز گیاه، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک و جلوگیری از آب‌شویی عناصر غذایی، باعث افزایش حاصلخیزی و باروری خاک و در نهایت بهبود وضعیت رشدی و عملکرد گیاه در شرایط مختلف تنش رطوبتی می‌شود (Ayyobi & Peyvast, 2014; Mir et al., 2013). کودهای سبز یکی از انواع کودهای آلی هستند که نقش مهمی در تأمین مواد غذایی گیاه، و افزایش عملکرد محصول دارند. کود سبز پس از اختلاط با خاک، سبب افزایش ماده آلی خاک می‌گردد. در نتیجه توانایی خاک در نگهداری آب و فراهمی عناصر غذایی افزایش یافته و موجب کاهش وابستگی به کود شیمیایی و افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Bai et al., 2013). کود سبز ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، را در مقایسه با شرایط بدون استفاده از کود سبز افزایش داده و از طریق کاهش فرسایش و کنترل علف‌های هرز سبب افزایش پایداری نظام‌های تولید می‌گردد (Algan & Celen, 2011; Samac et al., 2013). به علاوه، کودهای سبز نقش مثبتی در فعالیت و فراوانی میکروارگانیسم‌های خاک ایفا می‌کنند (Zhao et al., 2013). از انواع دیگر کودهای آلی می‌توان به ورمی‌کمپوست اشاره نمود که علاوه بر افزایش مواد غذایی خاک سبب افزایش میزان ذخیره آب می‌شود. ورمی‌کمپوست با افزایش فراهمی مواد غذایی به‌طور مستقیم رشد و عملکرد گیاه و به‌طور غیرمستقیم با تعدیل ویژگی‌های فیزیکی خاک سبب تحریک رشد گیاه می‌شود (Salehi et al., 2016). همچنین حاوی مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی (به عنوان مثال، ویتامین‌ها، هورمون‌ها و آنزیم‌ها) است که باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Zhang et al., 2012).

بودند. جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از کشت از شش نقطه مختلف، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری صورت گرفت که بعد از مخلوط‌نمودن نمونه‌ها میزان ترکیبات شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). مشخصات هواشناسی شهرستان در جدول (۲) و مشخصات ورمی‌کمپوست در جدول (۳) آورده شده است.

در اوایل شهریورماه هر سال شبدر قرمز به‌عنوان کود سبز پس از آماده‌سازی زمین کشت شده و در مرحله گلدهی به خاک برگردانده شد. پس از گذشت یک ماه از اختلاط کود سبز با خاک، منابع کودی قبل از کاشت به خاک اضافه شدند. جهت تلقیح خاک با مایکوریزا از مایه تلقیح قارچ *Rhizophagus irregularis* استفاده شد. کود موردنظر از شرکت زیست‌فناور پیشتاز رویان تهیه شد که شامل مخلوطی از ۱۰۰-۱۵۰ اسپور زنده در هر گرم خاک می‌باشد. برای اعمال تیمار ورمی‌کمپوست (میزان پنج تن در هکتار براساس بروشور شرکت تولیدکننده) در هنگام کاشت به‌طور یکنواخت در سطح خاک پخش گردیده و با خاک سطحی مخلوط شد. برای تلقیح مایکوریزا یک گرم خاک که حاوی ۱۰۰-۱۵۰ گرم مایکوریزا بود زیر هر بذر قرار داده شد (Hayman et al., 1981). سپس بذرها در عمق دو سانتی‌متر کشت شدند. بذور کتان تهیه‌شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی ارومیه به‌ترتیب در یکم اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۶ و چهارم اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷ در هشت ردیف با فواصل ۲×۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. به‌منظور جلوگیری از هرگونه خطا بین کرت‌های آزمایشی دو متر فاصله در نظر گرفته شد. پس از کاشت، مزرعه بلافاصله آبیاری شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی صورت گرفت.

قارچ مایکوریزا ارتباطات همزیستی با ریشه‌های اکثر گونه‌های گیاهی دارد (Kara et al., 2015). همزیستی با مایکوریزا سنتز متابولیت‌های ثانویه را تحریک کرده تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی و زیستی را از طریق جذب آب توسط هیف‌های خارجی و جذب مواد مغذی به‌ویژه فسفر افزایش می‌دهد (Birhane et al., 2012; Hodge & Storer, 2015).

با توجه به اهمیت کتان روغنی به‌عنوان یک گیاه دارویی- روغنی بسیار مهم و کمبود آب در کشور به‌ویژه در اواخر دوره رشد گیاهان، جهت حفظ پایداری تولید این گیاه در شرایط کم‌آبیاری، در این پژوهش تأثیر بقایای کود سبز و منابع مختلف کودی بر روی برخی صفات کمی و فیزیولوژیک کتان روغنی در شرایط محدودیت آب موردبررسی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان ارومیه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه و ۱۸ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه و ۹۵ ثانیه شرقی و با ارتفاع ۱۳۳۸ متر از سطح دریا به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی (۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷) انجام شد. تیمارهای موردبررسی شامل فاکتور اول کود سبز در دو سطح بدون کود سبز و شبدر قرمز^۱، فاکتور دوم منابع مختلف کودی در چهار سطح بدون کود، ورمی‌کمپوست، مایکوریزا^۲ و ورمی‌کمپوست+ مایکوریزا و فاکتور سوم آبیاری در دو سطح آبیاری کامل در مراحل مختلف رشدی (پس از کاشت، چهار برگگی، ساقه‌دهی، گلدهی و کپسول‌دهی) و قطع آبیاری در مرحله گلدهی

1. *Trifolium pratense*
2. *Rhizophagus irregularis*

جدول ۱. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

سال	بافت خاک	پتاسیم قابل جذب (mg kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)	نیتروژن (%)	کربن آلی (%)	اسیدیته خاک pH	هدایت الکتریکی (dS/m ⁻¹)
۱۳۹۶	سیلتی لومی	۱۸۴	۷/۱	۰/۰۹	۰/۹۱	۷/۸	۱/۴۱
۱۳۹۷	سیلتی لومی	۱۹۱	۸/۲	۰/۰۹	۱۲/۳	۷/۳	۱/۴۱

جدول ۲. دمای حداکثر، حداقل، مجموع ساعات آفتابی و میانگین بارندگی شهرستان ارومیه در سالهای ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

۱۳۹۶		۱۳۹۷							
فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد
۱۱/۵	۲۳/۵	۲۹/۳	۳۳/۳	۳۴/۷	۱۹/۲۷	۱۹/۵	۲۷/۳	۲۵/۷۸	۲۴/۴۳
۴/۲	۷/۹	۱۰/۹	۱۶/۱	۱۶/۸	۵	۸	۱۲/۱	۱۲/۳۲	۱۱/۶۵
۲۲۹	۲۸۲/۹	۳۸۹/۷	۳۶۶	۳۷۱/۱	۲۴۹/۸	۱۹۴/۸	۳۳۰/۱	۲۹۴/۹	۳۰۲
۷۰/۳	۱۳/۷	۰/۸	۰	۰/۷	۷۸	۲	۲۲/۷	۰	۰

جدول ۳. نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی ورمی کمپوست

هدایت الکتریکی	pH	ماده آلی (%)	نیتروژن (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	منیزیم (ppm)	کلسیم (ppm)	مس (ppm)	روی (ppm)
۵/۴۲	۷/۸۴	۱۲/۳	۱/۶	۰/۴۷	۰/۲۷	۱/۱	۸/۷۵	۳/۸۴	۶۶/۷۶

میزان کلروفیل a و b از روش استخراج عصاره برگ با استون ۸۰ درصد براساس روش Arnon (1949) اندازه‌گیری شد. سنجش پرولین برگ به روش Bates et al. (1973) انجام گرفت. بدین ترتیب که ۰/۱ گرم نمونه برگ به همراه پنج میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۵ درصد ساییده شد و به دو میلی‌لیتر از این محلول دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و دو میلی‌لیتر نین‌هیدرین اضافه گردید و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس بلافاصله نمونه‌ها در حمام یخ قرار گرفت. به هر نمونه شش میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. از دو فاز تشکیل شده جذب محلول رویی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل DR6000، ساخت کشور هندوستان) در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد.

حجم آب آبیاری از طریق کنتور محاسبه شد. میزان آب آبیاری در هر قطعه با استفاده از رطوبت‌سنج خاک (مدل EXTECH MO750، ساخت کشور آمریکا) اندازه‌گیری شد. به این ترتیب که رطوبت خاک در سطح و عمق ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری خاک با استفاده از رطوبت‌سنج در هر قطعه قبل از هر آبیاری تعیین شد. پس از آن، با توجه به کمبود رطوبت در زیر نقطه ظرفیت مزرعه، مقدار آب موردنیاز با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$V_n = (F_c - \theta) \times (A \times h) \quad (1)$$

در این رابطه، V_n حجم آب آبیاری (m^3)، F_c میزان رطوبت در نقطه ظرفیت مزرعه (حجم)، θ رطوبت خاک (حجم)، A مساحت کرت (m^2) و h عمق مؤثر ریشه کتان (m) بود.

بررسی تأثیر بقایای کود سبز و منابع مختلف کودی بر خصوصیات آگروفیزیولوژیکی کتان روغنی در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی

احتمال یک درصد برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۳) استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

براساس جدول تجزیه واریانس اثر متقابل کود سبز× آبیاری× منابع مختلف کودی بر صفات کلروفیل b، پرولین، کربوهیدرات محلول، درصد کلونیزاسیون و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل کود سبز× منابع مختلف کودی بر کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر کود سبز× آبیاری بر کلروفیل a و فسفر دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. تأثیر منابع مختلف کودی× آبیاری در کلروفیل a و فسفر دانه در سطح احتمال یک درصد و روغن دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. تأثیر سال× منابع مختلف کودی× آبیاری بر نیتروژن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

۳.۱. رنگی‌های فتوسنتزی

براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها مطابق جدول (۵) کود سبز سبب افزایش محتوای کلروفیل a در تیمارهای دارای کود به‌جز شاهد شد (شکل ۱). بررسی تأثیر منابع مختلف کودی در هر دو شرایط آبیاری نشان داد که تیمارهای دارای مایکوریزا و ورمی‌کمپوست بیش‌ترین میزان کلروفیل را در شرایط آبیاری مطلوب و کم آبیاری دارا بودند، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان کلروفیل (۴/۰۳ mg/gFW) در تیمار تلفیقی مایکوریزا+ ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۶). محتوای کلروفیل در سال دوم نسبت به سال اول در همه تیمارهای کودی افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین محتوای کلروفیل (۳/۳۰ mg/g FW) در تیمار کودی مایکوریزا+ ورمی‌کمپوست در سال دوم مشاهده شد (جدول ۸).

اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول براساس روش فنل سولفوریک اسید (Dubois et al. 1956) انجام شد. در این روش ۰/۵ گرم از بافت برگ‌گی تازه در اتانول هموزن شد. عصاره حاصل پس از صاف‌شدن با فنل ۵ درصد و اسید سولفوریک ۹۸ درصد تیمار شد. مخلوط حاصل به‌مدت یک ساعت در همان حالت باقی مانده و سپس جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. اندازه‌گیری نیتروژن دانه به‌ترتیب به‌روش کج‌دال Nelson & Sommers (1973) و فسفر با روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات و انادات) و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر انجام گرفت (Chapman & Pratt, 1961).

در انتهای فصل رشد هم‌زمان با برداشت بوته‌ها، از ریشه‌ها به‌ویژه ریشه‌های نازک و موئی نمونه‌برداری به‌طور تصادفی به‌عمل آمد. در ابتدا ریشه‌ها با آب مقطر شسته شدند. سپس ریشه‌ها برای رنگ‌بری در محلول KOH ۱۰ درصد به‌مدت ۱۰ دقیقه و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از شست‌وشوی نمونه‌ها با آب مقطر برای رنگ‌آمیزی ریشه‌ها از محلول ۰/۰۵ درصد تریپان بلو در لاکتوگلیسرول استفاده شد. نمونه‌ها جهت رنگ‌آمیزی به‌مدت ۱۰ دقیقه در این محلول قرار داده شده و سپس جهت رنگ‌زدایی، ریشه‌ها شسته شده و در محلول لاکتوگلیسرول قرار گرفتند (Phillips & Hayman, 1970). جهت تعیین درصد همزیستی از روش تلاقی خطوط مشبک استفاده شد (Giovannetti & Mosse, 1980). در پایان فصل رشد جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک یک متر مربع از هر کرت برداشت و پس از خشک شدن بوته‌های کف‌بر شده عملکرد بیولوژیک تعیین شد. درصد روغن دانه به روش Pomeranz (2013) تعیین شد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) و مقایسه میانگین‌ها از روش آزمون LSD در سطح

جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه تحت تأثیر کود سبزی، سطوح آبیاری و منابع مختلف کودی

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	پرولین	کربوهیدرات محلول	درصد کلونیزاسیون	درصد نیتروژن	درصد فسفر	عملکرد بیولوژیک	درصد روغن
سال	۱	۱/۱۴**	۰/۰۰۱ns	۱۰/۶۷ns	۲۳/۰۳ns	۲۸۰/۶۷۰**	۳/۲۸**	۰/۰۳**	۵۸۵۰۹۰۷/۰۹**	۵۰/۴۳**
سال×تکرار	۴	۰/۰۱ns	۰/۰۹۵**	۸/۵۸*	۲۴/۲*	۳۵/۹۹ns	۰/۱۳**	۰/۰۳**	۱۵۸۳۷۰۶/۰۹**	۳۰/۰۰**
کود سبزی	۱	۳/۰۹**	۰/۴۳**	۱۷۴/۱**	۵۰۲/۶۵**	۲۴۰۲/۲۰**	۰/۴۳**	۰/۰۵**	۱۲۸۱۱۲۸۴/۰**	۴۱۴/۰۲**
سال×کود سبزی	۱	۰/۰۱ns	۰/۰۰۰ns	۱/۷۰ns	۰/۰ns	۱۴/۵۲ns	۰/۰۰۹ns	۰/۰۰۲**	۳۱۴۰۴۶۳ns	۰/۱۵ns
منابع مختلف کودی	۳	۱۳/۱۳**	۷/۰۱**	۷۷۷/۷۶**	۷۸۰/۸۳**	۱۶۶۳۵/۶۳**	۱/۷۷**	۰/۰۷**	۳۳۲۸۰۹۹/۸**	۳۴/۵۸**
سال×منابع مختلف کودی	۳	۰/۰۷۲**	۰/۰۰۰ns	۱/۳۵ns	۰/۱ns	۲۴۳/۵۸**	۰/۰۶*	۰/۰۰۴**	۱۵۱۱۸۰۴/۵**	۰/۳۰ns
کود سبزی×منابع مختلف کودی	۳	۰/۱۲**	۰/۳۴**	۱۱۹/۹۵**	۵۲/۸۶**	۱۳۶/۴۲**	۰/۰۲ns	۰/۰۰۰ns	۳۳۴۱۱۶۶ns	۳/۹۲ns
سال×کود سبزی×منابع مختلف کودی	۳	۰/۰۰۷ns	۰/۰۰۰۰۶ns	۲/۰۸ns	۰/۴۶ns	۱۴/۵۲ns	۰/۰۳ns	۰/۰۰۱**	۱۶۵۸۹۲/۲ns	۰/۰۱ns
آبیاری	۱	۲۵/۲۷**	۱۲/۸۴**	۱۴۳۹/۲۵**	۷۱۶۴/۴۶**	۶۶۸۹/۳۵**	۱/۹۶**	۰/۳۸**	۲۱۵۰۹۴۹۶/۵**	۲۱۷/۱۵**
سال×آبیاری	۱	۰/۰۹۱*	۰/۰۰۰۰۰۱ns	۰/۱۶ns	۴/۷۸ns	۰/۲۶ns	۰/۰۳ns	۰/۰۰۰۲ns	۱۳۲۲۸/۳ns	۰/۲۱ns
کود سبزی×آبیاری	۱	۰/۰۶*	۰/۱۱**	۱۷۶/۷۷**	۲۷۲/۸۶**	۸۴۳/۱۲**	۰/۰۳ns	۰/۰۰۱*	۸۳۱۵۸۰/۵**	۲/۹۳ns
سال×کود سبزی×آبیاری	۱	۰/۰۲ns	۰/۰۰۰۳ns	۰/۰۰۹ns	۰/۲۵ns	۱/۳۵ns	۰/۰۵ns	۰/۰۰۰۳ns	۴۸۵۹/۸ns	۰/۲۰ns
منابع مختلف کودی×آبیاری	۳	۲/۶۷**	۰/۹۸**	۱۰/۹۲*	۴۶/۸۳*	۵۶۵/۰۴**	۰/۱۰**	۰/۰۰۷**	۱۸۸۲۳۴۶۷**	۳/۸۳**
سال×منابع مختلف کودی×آبیاری	۳	۰/۰۰۹ns	۰/۰۰۰۳ns	۰/۰۰۹ns	۰/۰۰۷ns	۰/۲۶ns	۰/۰۶**	۰/۰۰۰۰۷ns	۳۸۱۱۹/۴ns	۰/۰۱ns
کود سبزی×منابع مختلف کودی×آبیاری	۳	۰/۰۰۵ns	۰/۰۳۷**	۳۳/۱۳**	۳۲/۲۷**	۸۷/۷۱**	۰/۰۰۸ns	۰/۰۰۰۶ns	۷۷۱۵۱۹/۳**	۱/۴۰ns
سال×کود سبزی×منابع مختلف کودی×آبیاری	۳	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۰۲ns	۰/۰۰۸ns	۰/۰۰۲ns	۱/۳۵ns	۰/۰۱ns	۰/۰۰۰۱ns	۱۴۷۳۷/۴ns	۰/۰۹ns
خطای آزمایشی	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۷/۱۳	۰/۷۲	۱۷/۸۵	۰/۳۶	۰/۰۰۰۲	۱۳۹۶۵۰/۲	۱/۴۶
ضریب تغییرات (%)	۵/۴۲	۹/۸۵	۱۱/۶۷	۱۱/۳۱	۱۲/۹۷	۸/۰۲	۶/۴۶	۷/۸۲	۴/۰۷	۴/۲۲

ns، * و **: به ترتیب نشانگر عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

جدول ۵. مقایسه میانگین تیمارهای کود سبزی و آبیاری بر صفات کلروفیل a و درصد فسفر دانه

تیمار (آبیاری×کود سبزی)	کلروفیل a (mg/g FW)	فسفر دانه (%)
آبیاری کامل	۲/۶۶ b	۰/۱۸ c
شیدر قرمز	۳/۰۷ a	۰/۳۰ a
بدون کود سبزی	۱/۶۹ d	۰/۱۲ d
شیدر قرمز	۱/۹۹ c	۰/۲۶ b

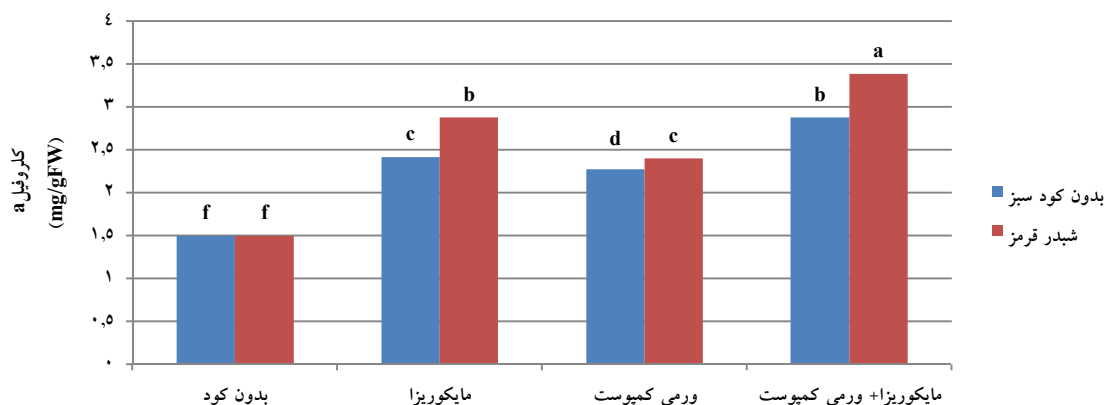
حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد است.

جدول ۶. مقایسه میانگین منابع مختلف کود و آبیاری بر صفات کلروفیل a، درصد فسفر دانه و درصد روغن دانه

تیمار (کود بیولوژیک×آبیاری)	کلروفیل a (mg/g FW)	فسفر دانه (%)	روغن دانه (%)
شاهد	۱/۷۶ f	۰/۲۰ d	۲۷/۷۲ c
مایکوریزا	۳/۱۶ b	۰/۲۸ b	۳۰/۶۹ a
ورمی کمپوست	۲/۸۶ c	۰/۲۸ b	۲۹/۹۸ a
مایکوریزا+ورمی کمپوست	۴/۰۳ a	۰/۳۳ a	۳۰/۸۲ a
شاهد	۱/۲۶ h	۰/۰۵ f	۲۴/۸۲ d
مایکوریزا	۲/۱۱ e	۰/۱۹ d	۲۸/۴۰ bc
ورمی کمپوست	۱/۴۲g	۰/۱۶ e	۲۷/۴۹ c
مایکوریزا+ورمی کمپوست	۲/۲۴ d	۰/۲۲ c	۲۸/۹۷ b

حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد است.

بررسی تأثیر بقایای کود سبز و منابع مختلف کودی بر خصوصیات آگروفیزیولوژیکی کتان روغنی در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی



شکل ۱. اثر کود سبز و منابع مختلف کودی بر کلروفیل a (حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد است).

بر افزایش میزان کلروفیل در شرایط کمبود آب در کنت می باشد.

استفاده از کود سبز می تواند دسترسی به نیتروژن را جهت استفاده گیاه در تولید کلروفیل افزایش دهد. با توجه به نقش کلروفیل در فتوسنتز، افزایش کلروفیل باعث بهبود واکنش های فتوسنتزی و در نهایت رشد و تولید گیاه می شود. افزایش محتوای کلروفیل در گیاه ذرت در شرایط استفاده از کود سبز گزارش شده است (Subaedah & Aladin, 2016).

۲.۳. پرولین

قطع آبیاری سبب افزایش میزان پرولین در تمامی تیمارها شد. استفاده از کود سبز در هر دو شرایط آبیاری به جز تیمار تلفیقی مایکوریزا+ ورمی کمپوست در شرایط آبیاری کامل و تیمار ورمی کمپوست در شرایط قطع آبیاری سبب افزایش پرولین شد. مشخص گردید کاربرد کود ورمی کمپوست به همراه کود سبز تأثیری بر میزان پرولین نداشت. بیشترین میزان تجمع پرولین ($42/08 \mu\text{mol/g FW}$) در تیمار تلفیقی مایکوریزا+ ورمی کمپوست در شرایط قطع آبیاری در تیمار دارای کود سبز و کمترین میزان ($11/89 \mu\text{mol/g FW}$) در تیمار شاهد در شرایط آبیاری کامل بود (جدول ۷).

قطع آبیاری سبب کاهش میزان کلروفیل b در تمامی تیمارهای کودی گردید. استفاده از کود سبز در تیمار آبیاری کامل چندان تأثیری بر میزان کلروفیل b نداشت. با این حال بیشترین میزان کلروفیل b ($2/4 \text{ mg/g FW}$) در این شرایط در تیمار تلفیقی مایکوریزا+ ورمی کمپوست + کود سبز به دست آمد. در شرایط قطع آبیاری میزان کلروفیل b در تیمارهای دارای مایکوریزا بدون کود سبز یکسان بود ولی کود سبز میزان کلروفیل b را در تمام تیمارهای کودی بیشتر کرد، به طوری که تیمار تلفیقی مایکوریزا+ ورمی کمپوست نسبت به تیمار شاهد ۶۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۷).

محدودیت آب باعث کاهش محتوای کلروفیل برگ می شود. یکی از نشانه های رایج تنش اکسیداتیو در شرایط خشکی کاهش میزان کلروفیل است که ممکن است به دلیل اکسیداسیون نوری و تخریب رنگدانه باشد (Oraki & Aghaalikhana, 2012). گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا قادر به جبران کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی به دلیل افزایش رنگیزه های فتوسنتزی می باشند (Zhu et al., 2011). نتایج پژوهش های Hosseinzadeh & Ahmadpour (2018) نشان دهنده تأثیر ورمی کمپوست

جدول ۷. مقایسه میانگین تیمارهای کود سبز، منابع مختلف کودی و آبیاری بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد بیولوژیک گیاه

تیمار (آبیاری × کود سبز × کود بیولوژیک)	کلروفیل b (mg/g FW)	پرولین (μmol/g FW)	کربوهیدرات محلول (μmol/g FW)	کلونیزاسیون (%)	عملکرد بیولوژیک (kg h ⁻¹)
بدون کود	۰/۷۲i	۱۱/۸۹ m	۸/۸۵ j	۱۵/۰۰ jk	۷۴۴۱ h
مایکوزیما	۱/۷۹cd	۱۹/۵۱jk	۱۱/۰۵ ghi	۷۵/۷۱ cd	۱۰۷۰۹/۷b
بدون کود سبز	۱/۶۱e	۱۸/۲۴ kl	۱۰/۰۹ ij	۷۰/۵۹ e	۱۰۰۹۱/۸c
ورمی کمپوست	۲/۴۰a	۲۵/۲۶ efg	۱۷/۲۹de	۸۰/۹۴ ab	۱۰۹۹۲/۸ b
مایکوزیما+ورمی کمپوست	۰/۸۲hi	۱۶/۹۲ l	۱۱/۹۹ ghi	۱۶/۷۲ j	۷۷۳۹/۷ gh
بدون کود	۱/۹۲c	۲۵/۱۷ fg	۱۳/۹۵ gh	۷۶/۶۷ bc	۱۲۲۵۰/۹ a
مایکوزیما	۱/۶۷de	۲۲/۶۳ hi	۱۴/۱۳g	۷۱/۲۳ de	۱۰۲۴۸/۶c
بدون کود سبز	۲/۱۰b	۲۵/۲۸ efg	۲۰/۴۳f	۸۳/۰۸ a	۱۲۵۷۴/۲ a
ورمی کمپوست	۰/۳۱i	۲۰/۹۵ ij	۲۲/۶۰f	۱۰/۲۱ jk	۵۹۲۱/۸ j
مایکوزیما	۰/۹۴h	۲۷/۴۳d	۲۸/۷۹de	۵۴/۷۰ h	۸۴۹۱/۴ f
بدون کود سبز	۰/۴۷kj	۲۵/۴۸ efg	۳۱/۱۰ dc	۳۹/۵۴ i	۷۷۸۳/۴ gh
ورمی کمپوست	۰/۸۶h	۳۳/۳۱b	۳۷/۴۵ b	۵۹/۶۷ g	۸۹۴۱/۸ e
مایکوزیما+ورمی کمپوست	۰/۴۱kl	۲۳/۳۹ gh	۲۷/۷۶e	۱۳/۱۱ jk	۶۳۹۴/۸ i
بدون کود	۱/۴۰f	۲۹/۷۹c	۳۳/۶۱c	۶۵/۳۹ f	۹۴۴۰/۰۰ d
مایکوزیما	۰/۵۸j	۲۷/۲۶de	۳۳/۸۰c	۴۰/۹۳ i	۸۱۱۸/۹ fg
بدون کود سبز	۱/۲۲g	۴۲/۰۸a	۴۲/۶۸a	۶۹/۰۴ ef	۹۵۵۳/۵ d
ورمی کمپوست					

حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد است.

جدول ۸. مقایسه میانگین تیمارهای سال و منابع مختلف کودی بر صفات کلروفیل a، درصد کلونیزاسیون و عملکرد بیولوژیک گیاه

تیمار (سال × کود بیولوژیک)	کلروفیل a (mg/g FW)	کلونیزاسیون (%)	عملکرد بیولوژیک (kg h ⁻¹)
شاهد	۱/۳۰ f	۱۳/۱۳ e	۷۵۴۶/۸۰ e
مایکوزیما	۲/۵۱ d	۶۴/۹۴ c	۹۰۰۷/۸۲ d
بدون کود سبز	۲/۲۰ e	۵۴/۳۸ d	۸۷۴۰/۲۰ d
ورمی کمپوست	۲/۷۶ c	۷۰/۵۵ b	۹۷۲۸ c
مایکوزیما+ورمی کمپوست	۱/۳۷ f	۱۴/۳۹ e	۷۸۰۲/۵۰ e
شاهد	۲/۹۷ b	۶۸/۳۸ b	۱۰۱۳۵/۱۰ b
مایکوزیما	۲/۴۲ d	۵۶/۵۵ d	۹۹۴۰ c
بدون کود سبز	۳/۳۰ a	۷۸/۹۴ a	۱۰۹۴۵/۹۰ a
ورمی کمپوست			

حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد است.

در تیمار بدون کود فاقد کود سبز در شرایط آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۷).

نتایج مطالعات انجام شده توسط Vijayalakshmi *et al.* (2012) نشان داده است که محدودیت آب می تواند تجمع کربوهیدرات محلول در برگ را بالا ببرد. افزایش تجمع کربوهیدرات محلول در تیمارهای مایکوریزا و ورمی کمپوست در هر دو شرایط آبیاری رخ داد. با این حال، در شرایط قطع آبیاری، افزایش کربوهیدرات محلول در تیمارهای دارای مایکوریزا و حضور کودهای سبز به طور چشم گیری بالاتر بود. مایکوریزا تجمع کربوهیدرات محلول و الکترولیت را در گیاهان میزبان تقویت می کند. افزایش کربوهیدرات های محلول در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا ممکن است به افزایش کربن فتوسنتزی نسبت داده شود. از طرفی افزایش میزان کربوهیدرات محلول در تیمارهای دارای کود سبز و ورمی کمپوست می تواند به دلیل نقش این کودها در افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی به ویژه نیتروژن باشد. مشابه نتایج به دست آمده در این پژوهش، پژوهشگران دیگری از افزایش کربوهیدرات در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا گزارش داده اند (Amiri *et al.*, 2017). علاوه بر این، Tejada *et al.* (2008) گزارش داد که محتوای کربوهیدرات محلول در گیاهان ذرت پس از کود سبز شبدر قرمز افزایش یافت. افزایش کربوهیدرات های محلول برگ گیاهان با تیمار ورمی کمپوست توسط Salehi *et al.* (2016) گزارش شده است.

۴.۳. کلونیزاسیون

تنش خشکی درصد کلونیزاسیون ریشه را در همه تیمارها کاهش داد. کود سبز به جز تیمار تلفیقی مایکوریزا+ ورمی کمپوست و مایکوریزا به تنهایی تأثیر معنی داری بر افزایش درصد کلونیزاسیون نداشت. در مقایسه تأثیر منابع مختلف کودی، بیشترین میزان کلونیزاسیون (۸۳/۰۸ و

تجمع پرولین در شرایط تنش به عنوان یکی از راه کارهای بهبود تنظیم اسمزی در گیاهان شناخته می شود. این اسمولیت، به عنوان یک مولکول سیگنال و آنتی اکسیدان عمل می کند (Song *et al.*, 2018). در این پژوهش، گیاهان تیمار شده با مایکوریزا تجمع بیش تری از پرولین را در شرایط محدودیت آب نشان دادند. این نتایج با نتایج پژوهش های Tyagi *et al.* (2018) مطابقت دارد. یافته های Zardak *et al.* (2017) نشان داد گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا می توانند از نظر فیزیولوژیکی نسبت به خشکی تحمل بیش تری داشته باشند و در هنگام قرار گرفتن در معرض شرایط تنش، فعالیت اسمزی بیش تری نشان دهند. همچنین Chinsamy *et al.* (2013) افزایش در غلظت پرولین در گوجه فرنگی تحت تنش شوری با استفاده از ورمی کمپوست را گزارش کرد.

در این آزمایش کاربرد کود سبز سبب افزایش میزان پرولین گردید. بر اساس نظریه مارشنر (Marschner 1995) ترکیباتی مانند پرولین دارای ساختار نیتروژنی هستند و با توجه به نقش کود سبز در افزایش مواد آلی و قابلیت افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر می تواند سبب افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن و افزایش پرولین گردد (Jahantigh & Asgharipour, 2014).

۳.۳. کربوهیدرات محلول

تنش خشکی سبب افزایش محتوای کربوهیدرات محلول در تمامی تیمارها شد (جدول ۷). کود سبز میزان کربوهیدرات محلول در اکثر تیمارها در هر دو رژیم آبیاری را افزایش داد. در شرایط قطع آبیاری بین تیمار مایکوریزا و ورمی کمپوست اختلاف معنی داری از لحاظ آماری مشاهده نشد. بیشترین میزان تجمع کربوهیدرات محلول (۴۲/۶۸ $\mu\text{mol/g FW}$) در شرایط قطع آبیاری در تیمار کود سبز به همراه تیمار تلفیقی مایکوریزا+ ورمی کمپوست و کمترین میزان آن (۸/۸۵ $\mu\text{mol/g FW}$)

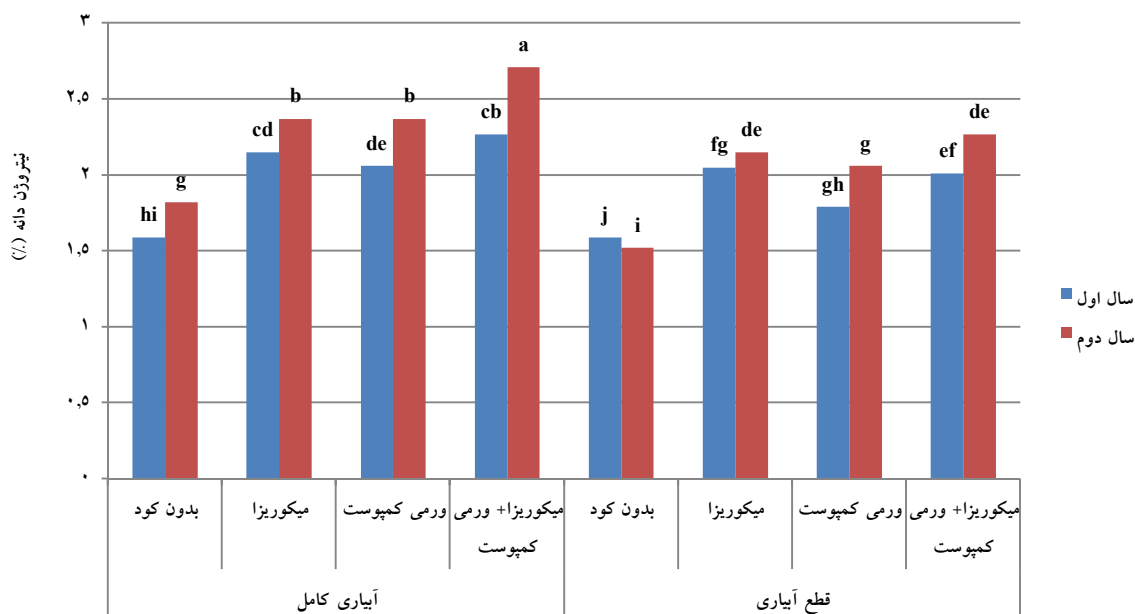
آلی بر فعالیت و فراوانی میکروارگانیسم‌های خاک مانند قارچ میکوریزا ترکیب ورمی‌کمپوست، میکوریزا و کود سبز در این پژوهش بیش‌ترین میزان کلونیزاسیون ریشه را به‌خود اختصاص داده است (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008; Osoli & Taleshi, 2018).

۳.۵. درصد نیتروژن و فسفر دانه

تنش خشکی سبب کاهش تجمع نیتروژن دانه در هر دو سال زراعی شد. با این وجود میزان تجمع نیتروژن در سال دوم در تمام تیمارها نسبت به سال اول بیش‌تر بود. در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری تأثیر استفاده از منابع مختلف کودی بر میزان تجمع نیتروژن در دانه یکسان بود ولی در سال دوم بیش‌ترین تجمع نیتروژن (۲/۷۱ و ۲/۲۷ درصد) به‌ترتیب در تیمارهای با کاربرد تلفیقی میکوریزا+ ورمی‌کمپوست در آبیاری کامل و قطع آبیاری مشاهده شد (شکل ۲).

۶۹/۰۴ درصد) در تیمارهای تلفیقی میکوریزا+ ورمی‌کمپوست دارای کود سبز به‌ترتیب در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری مشاهده شد (جدول ۷). درصد کلونیزاسیون در سال دوم نسبت به سال اول در تیمارهای دارای میکوریزا افزایش یافت. کاربرد ورمی‌کمپوست به‌تنهایی در هر دو سال تأثیر یکسانی بر میزان کلونیزاسیون ریشه داشت (جدول ۸).

نتایج این مطالعه نشان داد کمبود آب سبب کاهش درصد کلونیزاسیون در ریشه‌های کتان می‌شود. مشابه این نتایج، گزارش شده است که کلونیزاسیون ریشه در سطوح کم رطوبت خاک کاهش می‌یابد (Shukla *et al.*, 2013). جوانه‌زنی بسیار کند اسپورها، گسترش اندک هیف‌ها و کاهش مواد غذایی دریافتی از گیاهان میزبان در شرایط خشکی می‌تواند از اثرات نامطلوب خشکی بر ریشه‌زایی قارچ عنوان شود. از طرفی با توجه به نقش بقایای کود سبز و ورمی‌کمپوست بر افزایش ماده آلی خاک و نقش مثبت مواد



شکل ۲. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل منابع مختلف کودی بر درصد نیتروژن دانه در دو سال زراعی (حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است).

استفاده از کود سبز سبب افزایش تجمع فسفر دانه گردید (جدول ۵). بیشترین میزان تجمع فسفر در دانه به میزان ۰/۳۳ و ۰/۲۲ درصد به ترتیب در تیمار تلفیقی مایکوریزا+ ورمی کمپوست در تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری مشاهده شد (جدول ۶).

جذب مواد غذایی توسط گیاه در نتیجه آزاد شدن مواد غذایی معدنی و آلی از فاز جامد خاک به محلول خاک می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمارهای دارای کود سبز، مایکوریزا و ورمی کمپوست بیشترین درصد تجمع نیتروژن و فسفر دانه را نشان دادند. تأثیر کود سبز بر افزایش جذب مواد غذایی با بهبود خواص فیزیکی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، افزایش دسترسی به مواد غذایی همراه می‌باشد (Bai et al., 2015). پژوهشگران در مطالعه‌ای بیان کردند که ورمی کمپوست میزان نیتروژن و فسفر اندام هوایی ذرت را در شرایط تنش خشکی افزایش داد. نیتروژن و فسفر موجود در ورمی کمپوست چند برابر بیش‌تر از خاک بوده و با اصلاح خواص فیزیکی خاک قادر است عناصر معدنی را به صورت مواد قابل دسترس برای گیاه تبدیل کند (Rashtbari & Alikhani, 2012). علاوه بر این، تلقیح با مایکوریزا به دلیل گسترش سیستم ریشه گیاه و احاطه کردن خاکدانه‌ها به وسیله هیف‌های خارجی در ریشه‌های مویی به جذب نیتروژن و فسفر کمک می‌کند (Kong et al., 2014). به نظر می‌رسد افزایش میزان تجمع نیتروژن در تیمارهای شاهد در سال دوم به دلیل افزایش میزان بارندگی باشد.

ورمی کمپوست به ترتیب افزایش ۶۸/۹۸ درصد و ۶۱/۳۴ درصد را در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در تیمارهای دارای کود سبز نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۷). عملکرد بیولوژیک در سال دوم نسبت به سال اول افزایش یافت. بیشترین و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک در هر دو سال زراعی به ترتیب در تیمارهای تلفیقی مایکوریزا+ ورمی کمپوست و شاهد کمترین مشاهده شد (جدول ۸).

جذب مواد غذایی از مهم‌ترین پارامترهای افزایش رشد گیاهان می‌باشد. در این مطالعه کاربرد سه گانه کود سبز، مایکوریزا و ورمی کمپوست به دلیل افزایش فراهمی و یا بهبود جذب مواد غذایی سبب افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری شد با توجه به نقش تغذیه در گیاه، نیتروژن و فسفر تأثیر به‌سزایی در افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه ایفا می‌کنند (Silva et al., 2017). مشخص شده است که مصرف ورمی کمپوست از طریق بهبود جذب عناصر غذایی، سبب افزایش فتوسنتز و ماده خشک گیاهی و متعاقب آن، افزایش عملکرد عدس و ذرت می‌شود (Goswami et al., 2017; Hosseinzadeh & Ahmadpour, 2018). تلقیح با مایکوریزا باعث افزایش عملکرد بیولوژیک آفتابگردان در مقایسه با گیاهان غیرمایکوریزایی تحت شرایط آبیاری بهینه و تنش شد. دلیل این امر را در شرایط محدودیت آب، به نقش مهم کلونیزاسیون در کنترل کمبود مواد مغذی و آب گیاه نسبت دادند (Ansari et al., 2016).

۳.۷. درصد روغن دانه

درصد روغن دانه تحت تأثیر تیمار قطع آبیاری قرار گرفت (جدول ۶). تأثیر منابع مختلف کودی بر درصد روغن در هر دو تیمار آبیاری یکسان بود ولی استفاده از این کودها سبب افزایش درصد روغن نسبت به تیمار بدون کود شد.

۳.۶. عملکرد بیولوژیک

محدودیت آب عملکرد بیولوژیک گیاه کتان را کاهش داد (جدول ۷). کود سبز عملکرد بیولوژیک را فقط در تیمار تلفیقی مایکوریزا+ ورمی کمپوست و مایکوریزای تنها افزایش داد. به طوری که تیمار تلفیقی مایکوریزا+

۵. تشکر و قدردانی

از مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان غربی به دلیل در اختیار قراردادن مزرعه تحقیقاتی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Ahmad, P., Azooz, M., & Prasad, M. N. V. (2012). *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*. Springer Science & Business Media.
- Algan, N., & Celen, A.S. (2011). Evaluation of mung bean (*Vigna radiata* L.) as green manure in Aegean conditions in terms of soil nutrition under different sowing dates. *African Journal of Agricultural Research*, 6(7), 1744-1749.
- Amiri, R., Nikbakht, A., Rahimmalek, M., & Hosseini, H. (2017). Variation in the essential oil composition, antioxidant capacity, and physiological characteristics of *Pelargonium graveolens* L. inoculated with two species of mycorrhizal fungi under water deficit conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(2), 502-515.
- Ansari, A., Razmjoo, J., & Karimmojeni, H. (2016). Mycorrhizal colonization and seed treatment with salicylic acid to improve physiological traits and tolerance of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) plants grown under drought stress. *Acta physiologiae plantarum*, 38(2), 34-43.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, 24(1), 1-12.
- Ayyobi, H., & Peyvast, G. A. (2014). The effects of cow manure vermicompost and municipal solid waste compost on peppermint (*Mentha piperita* L.) in Torbat-e-Jam and Rasht regions of Iran. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(4), 147-153.
- Bai, J.S., Cao, W.D., Fan, Y.Y., & Gao, S.J. (2013). Nutrient characteristics of four kinds of winter green manure and their influences on soil mineral nitrogen before incorporation. *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 19, 413-419.
- Bai, J. S., Cao, W. D., Xiong, J., Zeng, N. H., Gao, S. J., & Katsuyoshi, S. (2015). Integrated application of February Orchid (*Orychophragmus violaceus*) as green manure with chemical fertilizer for improving grain yield and reducing nitrogen losses in spring maize system in northern China. *Journal of ntegrative griculture*, 14(12), 2490-2499.

در شرایط قطع آبیاری مایکوریزا و ورمی‌کمپوست در یک گروه آماری قرار گرفتند و تیمار تلفیقی مایکوریزا+ ورمی‌کمپوست افزایش ۴/۵ درصدی روغن را نسبت به تیمار بدون کود نشان داد (جدول ۶). نتایج نشان داد که انباشت روغن در شرایط آبیاری محدود کاهش می‌یابد. Moradi-Ghahderijani *et al.* (2017) دلیل کاهش روغن دانه در شرایط محدودیت آب را انتقال سطح بالاتر اسید آسبزیک از برگ‌ها به دانه عنوان کردند. استفاده از کودهای آلی و زیستی با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، رهاسازی آهسته مواد غذایی و افزایش جذب آنها و افزایش جذب دی‌اکسیدکربن و فتوستتس سبب افزایش درصد روغن می‌شود (Yasari & Patwardhan, 2007).

۸. نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با کاهش آبیاری رنگیزه‌های فتوستتزی و درصد کلونیزاسیون کاهش یافت که در نهایت سبب کاهش جذب عناصر غذایی، عملکرد بیولوژیک و درصد روغن دانه شد. قطع آبیاری منجر به افزایش تجمع اسمولیت‌ها (پرولین و کربوهیدرات محلول) گردید. علاوه بر این کاربرد توام کود سبز، مایکوریزا و ورمی‌کمپوست سبب افزایش مقاومت گیاه به خشکی از طریق تجمع اسمولیت‌ها و تنظیم اسمزی شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده کاربرد کود سبز در تمام صفات مورد مطالعه به‌جز درصد نیتروژن دانه تأثیر افزایشی داشت. استفاده از منابع مختلف کودی سبب افزایش تمامی صفات شد. با این حال اثر هم‌افزایی مایکوریزا و ورمی‌کمپوست نسبت به تیمارهای جداگانه در شرایط استفاده از کود سبز یا بدون آن بیش‌ترین تأثیر را بر صفات مورد مطالعه داشت. بقایای کود سبز، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا در جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی کتان روغنی در شرایط آبیاری محدود می‌تواند به‌عنوان راه‌کاری برای دستیابی به تولید پایدار مدنظر قرار گیرد.

- Bates, L. S., Waldren, R.P., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Birhane, E., Sterck, F.J., Fetene, M., Bongers, F., & Kuyper, T.W. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance photosynthesis, water use efficiency, and growth of frankincense seedlings under pulsed water availability conditions. *Oecologia*, 169(4), 895-904.
- Chapman, H., & Pratt, P. (1961). *Methods of Analysis for Soils Plants and Waters* (Berkeley: University of California Division of Agricultural Science).
- Chinsamy, M., Kulkarni, M. G., & Van Staden, J. (2013). Garden-waste-vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. *Plant growth regulation*, 71(1), 41-47.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. t., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New phytologist*, 84(3), 489-500.
- Goswami, L., Nath, A., Sutradhar, S., Bhattacharya, S. S., Kalamdhad, A., Vellingiri, K., & Kim, K. H. (2017). Application of drum compost and vermicompost to improve soil health, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants. *Journal of environmental management*, 200, 243-252.
- Gutiérrez-Miceli, F., Moguel-Zamudio, B., Abud-Archila, M., Gutiérrez-Oliva, V., & Dendooven, L. (2008). Sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation. *Bioresource Technology*, 99(15), 7020-7026.
- Hayman, D. S., Morris, E. J., & Page, R. J. (1981). Methods for inoculating field crops with mycorrhizal fungi. *Annals of Applied Biology*, 99(3), 247-253.
- Hodge, A., & Storer, K. (2015). Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. *Plant and soil*, 386(1-2), 1-19.
- Hosseinzadeh, S. R., & Ahmadpour, R. (2018). Evaluation of vermicompost fertilizer application on growth, nutrient uptake and photosynthetic pigments of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under moisture deficiency conditions. *Journal of plant nutrition*, 41(10), 1276-1284.
- Jahantigh, B., & Asgharipour, M. R. (2014). Effects of organic fertilizer on yield, yield attributes and essential oil percentage of basil under drought conditions. *Advances in Environmental Biology*, 8(17), 539-543.
- Kara, Z., Arslan, D., Güler, M., & Güler, Ş. (2015). Inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and application of micronized calcite to olive plant: Effects on some biochemical constituents of olive fruit and oil. *Scientia Horticulturae*, 185, 219-227.
- Kong, J., Pei, Z., Du, M., Sun, G., & Zhang, X. (2014). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the drought resistance of the mining area repair plant Sainfoin. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(4), 485-489.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd Addition Academic Press Inc.
- Mir, M., Hassan, G., Mir, A., Hassan, A., & Sulaimani, M. (2013). Effects of bio-organics and chemical fertilizers on nutrient availability and biological properties of pomegranate orchard soil. *African Journal of Agricultural Research*, 8(37), 4623-4627.
- Moradi-Ghahderijani, M., Jafarian, S., & Keshavarz, H. (2017). Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. *Rhizosphere*, 4, 54-61
- Nelson, D., & Sommers, L. (1973). Determination of Total Nitrogen in Plant Material 1. *Agronomy Journal*, 65(1), 109-112.
- Oraki, H., & Aghaalikhana, M. (2012). Effect of water deficit stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and grain yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. *African journal of Biotechnology*, 11(1), 164-168.
- Osoli, N., & Taleshi, K. (2018). Evaluation the effects of biological fertilizers and vermicompost on some of biological characteristics and essential oil quality of fennel plant (*Foeniculum vulgare* L.) in Khoramabad. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 4(2), 123-138. (In Persian).
- Pessarakli, M. (2016). *Handbook of plant and crop stress*. CRC press.
- Phillips, J. M., & Hayman, D. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society*, 55(1), 158-161.
- Pomeranz, Y. (2013). *Food analysis: theory and practice*. Springer Science & Business Media.
- Rashtbari, M., & Alikhani, H. (2012). Effect and efficiency of municipal solid waste compost and vermicompost on morpho-physiological properties and yield of canola under drought stress

- conditions. *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 2(4), 395-402.
- Samac, D. A., Lamb, J. F. S., Kinkel, L. L., & Hanson, L. (2013). Effect of wheel traffic and green manure treatments on forage yield and crown rot in alfalfa (*Medicago sativa*). *Plant Soil*, 372, 349-359.
- Salehi, A., Tasdighi, H., Gholamhoseini, M. (2016). Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer treatments. *Asian Pacific journal of ropical iomedicine*, 6(10), 886-891.
- Shiri, M. R., & Bahrapour, T. (2015). Genotype × environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research*, 5(1): 83-94.
- Shukla, A., Kumar, A., Jha, A., Salunkhe, O., & Vyas, D. (2013). Soil moisture levels affect mycorrhization during early stages of development of agroforestry plants. *Biology and ertility of oils*, 49(5), 545-554.
- Silva, S. M., Luz, J. M. Q., Nogueira, P. A. M., Blank, A. F., Sampaio, T. S., Pinto, J. A. O., & Junior, A. W. (2017). Organo-mineral fertilization effects on biomass and essential oil of lavender (*Lavandula dentata* L.). *Industrial Crops and Products*, 103, 133-140.
- Song, H., Li, Y., Zhou, L., Xu, Z., & Zhou, G. (2018). Maize leaf functional responses to drought episode and rewatering. *Agricultural and orest eteorology*, 249, 57-70.
- Subaedah, S. & Aladin, A. (2016). Fertilization of nitrogen, phosphor and application of green manure of *Crotalaria juncea* in increasing yield of maize in marginal dry land. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 20-25.
- Tejada, M., Gonzalez, J., Garcia-Martinez, A., & Parrado, J. (2008). Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresource Technology*, 99(6), 1758-1767.
- Tyagi, J., Varma, A., & Pudake, R. N. (2017). Evaluation of comparative effects of arbuscular mycorrhiza (*Rhizophagus intraradices*) and endophyte (*Piriformospora indica*) association with finger millet (*Eleusine coracana*) under drought stress. *European ournal of oil iology*, 81, 1-10.
- Vaughan, M. M., Block, A., Christensen, S. A., Allen, L. H., & Schmelz, E. A. (2018). The effects of climate change associated abiotic stresses on maize phytochemical defenses. *Phytochemistry reviews*, 17(1), 37-49.
- Vijayalakshmi, T., Varalaxmi, Y., Jainender, S., Yadav, S., Vanaja, M., Jyothilakshmi, N., & Maheswari, M. (2012). Physiological and biochemical basis of water-deficit stress tolerance in pearl millet hybrid and parents. *American Journal of Plant Sciences*, 3(12), 1730.
- Yasari, E., & Patwardhan, A. (2007). Effects of (*Azotobacter* and *Azospirillum*) inoculants and chemical fertilizers on growth and productivity of canola (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(1), 77-82.
- Zardak, S. G., Dehnavi, M. M., Salehi, A., & Gholamhoseini, M. (2018). Effects of using arbuscular mycorrhizal fungi to alleviate drought stress on the physiological traits and essential oil yield of fennel. *Rhizosphere*, 6, 31-38.
- Zhang, Z., Wang, H., Zhu, J., Sunceethi, S., & Zheng, J. (2012). Swine manure vermicomposting via housefly larvae (*Musca domestica*): the dynamics of biochemical and microbial features. *Bioresource technology*, 118, 563-571.
- Zhao, Q., Gao, X., Ning, X., Lin, M., & Cao, W. (2013). Effect of *Orychophragmus violaceus* cover on growing environment of a peach orchard and quality of peach. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 1, 93-96.
- Zhu, X. C., Song, F. B., Liu, S. Q., & Liu, T. D. (2011). Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on photosynthesis and water status of maize under high temperature stress. *Plant and soil*, 346(1-2), 189-199.
- Zuk, M., Richter, D., Matuła, J., & Szopa, J. (2015). Linseed, the multipurpose plant. *Industrial Crops and Products*, 75, 165-177.