نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۲۶۴-۲۴۱

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.2, Summer 2020, p. 241-264

مقاله علمی- پژوهشی

# ارزیابی خصوصیات اکوفیزیولوژیکی در کشت مخلوط ردیفی بزرک (*Linum usitatissimum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر منابع کودی در شرایط دیم

سهیلا اسدی[۱]، اسماعیل رضائی چیانه[۲*] و رضا امیرنیا[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۲۳

اسدی، س.، رضائی چیانه، ا.، و امیرنیا، ر.، ۱۳۹۹. ارزیابی خصوصیات اکوفیزیولوژیکی در کشت مخلوط ردیفی بزرک (*Linum usitatissimum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر منابع کودی در شرایط دیم. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۲۶۴-۲۴۱.

## چکیده

به‌منظور بررسی اثر مدیریت تلفیقی حاصلخیزی و الگوی کاشت بر عملکرد کمی و کیفی نخود (*Cicer arietinum* L.) و بزرک (*Linum usitatissimum* L.) در شرایط دیم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار درسال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی- شهرستان نقده به‌اجرا در آمد. عامل الگوی کاشت در شش سطح شامل: کشت خالص نخود، کشت خالص بزرک، کشت مخلوط جایگزین با نسبت یک ردیف بزرک و یک ردیف نخود، کشت مخلوط ردیفی با نسبت دو ردیف بزرک و دو ردیف نخود، کشت مخلوط ردیفی با نسبت دو ردیف بزرک و چهار ردیف نخود، کشت مخلوط ردیفی با نسبت چهار ردیف بزرک و دو ردیف نخود، وکود در چهار سطح شامل: عدم کاربرد کود (شاهد)، ۱۰۰٪ کود شیمیایی (دارای NPK)، کود زیستی (فسفاته بارور ۲ + ازتو بارور ۱ + پتا بارو۲ + سولفوبارور ۱-) و ورمی کمپوست (۱۰ تن در هکتار) بود. صفات مورد مطالعه برای گیاه نخود و بزرک شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پرولین، قندهای محلول، نیتروژن، فسفر و پتاسیم، زیست‌توده میکروبی خاک و تنفس میکروبی خاک بود. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a (۲/۹۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، میزان کلروفیل b (۱/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید (۱/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) نخود به‌ترتیب از تیمار یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک و کشت چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک به‌دست آمد، امّا بیشترین مقدار کلروفیل a (۲/۵۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) بزرک از کشت مخلوط دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک، کلروفیل b (۱/۴۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید (۱/۳۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) بزرک مربوط به الگوی کشت چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک و کمترین مقدار از کشت خالص به‌دست آمد. میزان پرولین و قندهای محلول در کشت خالص بالاتر از کشت مخلوط مشاهده گردید. در بین تیمارهای کودی بیشترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی هر دو گونه نخود و بزرک از تیمار ورمی‌کمپوست و کمترین میزان پرولین و قندهای محلول از عدم مصرف کود حاصل شد. بیشترین درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه هر دو گونه نخود و بزرک در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص بود. در بین تیمارهای کودی، بیشترین درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه هر دو گونه از کود ورمی‌کمپوست به‌دست آمد. همچنین، استفاده از کشت مخلوط منجر به افزایش تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک گردید. نتایج به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که استفاده از الگوهای مختلف کشت مخلوط و منابع کودی به‌خصوص ورمی‌کمپوست توانست اثرات منفی کمبود آب در شرایط دیم را کاهش و فعالیت‌های بیولوژی خاک را افزایش دهد که می‌تواند به نوبه خود موجب بهبود چرخش عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک گردد.

**واژه‌های کلیدی:** پرولین، تنفس خاک، زیست‌توده میکروبی خاک، عناصر غذایی، کود زیستی

## مقدمه

کشور ایران به‌دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک دنیا و با توجه به کاهش جدی منابع آبی در سال‌های اخیر درگیر مشکلات فراوانی در زمینه تأمین آب کشاورزی می‌باشد و در حال حاضر بهترین و باصرفه‌ترین راه، تغییر الگوی کشت گیاهان از گیاهان پرمصرف به گیاهان کم‌توقع نسبت به آب می‌باشد. خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که اثرات نامطلوبی بر رشدونمو گیاه و سایر فرآیندهای متابولیکی دارد (Todaka et al., 2015).

۱، ۲ و۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، استادیار و دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: (Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir
Doi:10.22067/jag.v12i2.75309

به‌طوری‌که کاهش رشد در اثر تنش کمبود آب به‌مراتب بیشتر از سایر تنش‌های محیطی است (Veisipour et al., 2012). در زمان تنش‌های غیرزیستی از جمله خشکی، مولکول‌های آلی با وزن مولکولی کمتر مانند قندهای محلول، پرولین، پروتئین و بتائین در ریشه‌ها و اندام‌های هوایی گیاهان به‌منزله تنظیم‌کننده‌های اسمزی تجمع پیدا می‌کنند (Lokhande et al., 2010). تنظیم اسمزی، نوعی سازگاری با تنش کمبود آب است که از طریق تجمع مواد محلول درون سلول‌ها، می‌تواند به حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرایندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های پایین آب منجر شود (Kirkham et al., 2016). غلظت بالای این مواد باعث کاهش پتانسیل اسمزی داخل سلول شده و اجازه حرکت آب به درون سلول را می‌دهد و در نتیجه، حفظ پتانسیل آماس سلول به افزایش تحمل گیاه به کمبود آب منجر می‌شود (Haileselasie & Teferri, 2012).

از جمله عوامل محدودکننده فتوسنتز در تنش خشکی می‌توان به کاهش یا توقف سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی نظیر کلروفیل‌ها اشاره کرد (Oliviera-Neto et al., 2009). گزارش شده است که کاهش شدید رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه تحت تنش خشکی مهم‌ترین دلیل کاهش جذب عناصر در خاک توسط ریشه گیاه محسوب می‌شود (Jafar-dokht et al., 2015)، امّا کاربرد منابع کودی از جمله کودهای زیستی و آلی تحت شرایط کمبود آب با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه از جمله رنگدانه‌های فتوسنتزی، تجمع کربوهیدرات، پرولین و جذب عناصر غذایی از جمله پتاسیم می‌تواند از اثرات منفی تنش خشکی بکاهد (Wang et al., 2015 a). افزایش محتوی کلروفیل در اثر تلقیح باکتریایی (محرک‌های رشد) در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgarise* L.) گزارش شده است (Stefan et al., 2013). به نظر می‌رسد که کاربرد کود آلی و زیستی با تأمین نیتروژن، تولید مواد محرک رشد، افزایش جمعیت میکروبی و همچنین افزایش دسترسی و جذب کاراتر عناصر غذایی منجر به افزایش سنتز و محتوی کلروفیل برگ می‌شوند.

در دهه‌های اخیر استفاده طولانی‌مدت و بی‌رویه از کودهای شیمیایی باعث فشردگی و کاهش حاصلخیزی و بهره‌وری خاک، افزایش آلودگی و خسارت زیست‌محیطی و در نهایت، منجر به افزایش هزینه‌های تولید شده است. بنابراین، با توجه به مصرف غیر اصولی این کودها زمینه‌های توجه بیشتر به مدیریت تلفیقی در کشاورزی پایدار مانند کاربرد کودهای زیستی و آلی در کشت مخلوط را فراهم کرده است (Ghost & Bhat., 1998) که در حفظ حاصلخیزی خاک مؤثر می‌باشد. شاخص‌های کیفیت خاک تحت تأثیر نوع و مقدار عناصری است که توسط گونه‌های گیاهی موجود در این سیستم کشت به خاک اضافه می‌شود (Machado, 2009). در بررسی کشت مخلوط یولاف (*Avena sativa* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) نتایج نشان داد که جذب عناصر غذایی از جمله جذب پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم در دانه یولاف در کشت مخلوط افزایش یافت (Reinhard et al., 2016). محققان در بررسی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) وگندم (*Triticum aestivum* L.) با باقلا (*Vicia faba* L.) به این نتیجه رسیدند که کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص، پایداری بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند درصد ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wang et al., 2015 b). تحقیق دیگری نشان داد که کارآیی استفاده و میزان جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو توسط دو گیاه ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص بود (Pakgohar & Ganbari, 2013). محققان دیگری در ارزیابی تأثیر کودهای شیمیایی و دامی بر تولید خالص اولیه، تنفس خاک و بیلان کربن در بوم‌نظام زراعی گندم دریافتند که تیمارهای کود دامی نسبت به تیمار کود شیمیایی از تنفس خاک و تنفس هتروتروفی بالاتری برخوردار بودند (Alizadeh et al., 2018).

فرآیندهای میکروبی کنترل‌کننده فرآیندهای اکولوژیک در اکوسیستم و حاصلخیزی خاک می‌باشند. جمعیت میکروبی خاک مسئول تنظیم چرخه عناصر غذایی در خاک است و در فراهم ساختن عناصر غذایی برای گیاه نقش مهمی را بر عهده داشته و بدین گونه به‌عنوان یکی از خدمات مهم اکوسیستمی در نظر گرفته می‌شود. محققان دیگری در کشت مخلوط گندم با سویا (*Glycine max* L.)، افزایش فعالیت میکروبی خاک را نسبت به کشت خالص هر دو گونه گزارش کردندکه دلیل اصلی بیشتر بودن زیست‌توده و جمعیت میکروبی خاک در سیستم‌های کشت مخلوط را فراهمی بیشتر عناصر غذایی به‌ویژه فسفر برای میکروارگانیسم‌ها بیان کردند (Bargaz et al., 2017). در کشت مخلوط ذرت، سویا و ختمی (*Althea officinalis* L.) مشخص شد که بیشترین تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک در کشت مخلوط سه‌گانه ذرت، سویا و ختمی به‌دست

آمد (Nourbakhsh et al., 2016).

با توجه به اهمیت جمعیت میکروبی خاک و نقش آن‌ها در چرخه عناصر غذایی و همچنین نقش منابع کودی در بهبود فعالیت بیولوژی خاک در کشت مخلوط، هدف این آزمایش ضمن ارزیابی مصرف عناصر غذایی و برخی خصوصیات بیولوژی خاک، سعی شده است تا برخی خصوصیات اکوفیزیولوژیکی کشت مخلوط بزرک و نخود تحت تأثیر منابع کودی در شرایط دیم نیز مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار درسال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی شهرستان نقده با طول جغرافیایی ۴۵° و ۲۴′ و عرض جغرافیایی ۳۶° و ۵۷′ و ارتفاع ۱۳۲۸ متر از سطح دریا به اجرا در آمد.

**جدول ۱- میانگین بارندگی، دما و رطوبت نسبی هوا شهرستان نقده در سال ۹۶- ۱۳۹۵**

**Table 1- Average rainfall, temperature and relative humidity of Naqadeh city during 2016-217**

| ماه‌ها Months | مهر Sep. | آبان Oct. | آذر Nov. | دی Dec. | بهمن Jan. | اسفند Feb. | فروردین Mar. | اردیبهشت Apr. | خرداد May. | تیر Jun. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میزان بارندگی Rainfall (mm) | 4.5 | 14.7 | 59 | 13.8 | 38.2 | 64.6 | 38.6 | 12 | 2.7 | 2.2 |
| دما Temperature (°c) | 15.1 | 10 | -1.60 | -4.68 | -2.7 | 3.6 | 10.7 | 22.5 | 20.23 | 24.5 |
| رطوبت نسبی Relative humidity (%) | 57.6 | 69.3 | 71.5 | 85.1 | 82.6 | 73.4 | 64.2 | 59.4 | 51.83 | 56 |

تیمارهای آزمایش شامل شش الگوی کشت: کشت خالص نخود، کشت خالص بزرک، کشت مخلوط با نسبت یک ردیف بزرک و یک ردیف نخود، کشت مخلوط با نسبت دو ردیف بزرک و دو ردیف نخود، کشت مخلوط با نسبت دو ردیف بزرک و چهار ردیف نخود، کشت مخلوط با نسبت چهار ردیف بزرک و دو ردیف نخود به‌عنوان عامل اول، و چهار سطح کود: عدم کاربرد کود (شاهد)، ۱۰۰٪ کود شیمیایی (NPK)، کود زیستی (فسفاته بارور۲ + ازتو بارور۱ + پتا بارو۲ + سولفوبارور -۱)، و ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار) به‌عنوان عامل دوم بودند. بذر مورد استفاده نخود از توده‌های بومی شهرستان نقده بود و بذر بزرک از توده بومی شاهین دژ بود که از سازمان تحقیقات و کشاورزی و منابع طبیعی ارومیه، مورد استفاد قرار گرفت.

**جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ورمی‌کمپوست**

**Table 2- Physical and chemical properties of soil and vermicopost**

| بستر Substrate | بافت Texture | اسیدیته pH | هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$) | ماده آلی Organic matter (%) | نیتروژن کل Total N (%) | فسفر قابل جذب P available ($mg.kg^{-1}$) | پتاسیم قابل جذب K available ($mg.kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خاک Soil | رس سیلتی Clay silty | 7.75 | 0.52 | 1.09 | 0.09 | 11.7 | 242 |
| | | **اسیدیته pH** | **هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)** | **ماده آلی Organic matter (%)** | **نیتروژن کل Total N (%)** | **فسفر قابل جذب P available (%)** | **پتاسیم قابل جذب K available (%)** |
| ورمی‌کمپوست Vermicompost | - | 8.15 | 4.08 | 8.69 | 3.82 | 3.10 | 2.61 |

کوددهی بر اساس آزمون خاک به‌مقدار ۵۰ کیلوگرم کود اوره به‌صورت سرک در زمان کاشت، ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار بر اساس آزمون خاک به‌صورت نواری عمقی هم‌زمان با بذرکاری تماماً قبل از کاشت برای

تیمار ۱۰۰٪ شیمیایی مورد نظر اعمال گردید. در تیمارهای کودهای زیستی و آلی از هیچ نوع کود شیمیایی استفاده نشد. بذر هر دو گیاه یک ساعت قبل از کشت با کود زیستی فسفاته بارور -۲ (حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های *باسیلوس لنتوس*[1] و *سودوموناس پوتیدا*[2] با تعداد $10^9$ باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک)، ازتو بارور ۱ (حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *ازتو باکتر* با تعداد $10^9$ باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) و پتا بارو -۲ (حاوی باکتری‌های آزادکننده پتاسیم از جنس *سودوموناس* با تعداد $10^8$ باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) هر سه به‌صورت پودر با نسبت‌های مشخص (۱۰۰ گرم در هکتار) بر اساس دستورالعمل توصیه شده شرکت زیست‌فناور سبز تلقیح شدند. به این صورت که محتوی بسته با آب مخلوط و روی بذرها اسپری شدند تا یک پوشش کاملاً یکنواخت روی سطح آن‌ها تشکیل شود و سپس بذرها در سایه خشک شدند و عملیات کاشت صورت گرفت. همچنین، در تیمار کود زیستی از سولفوبارور -۱ (حاوی باکتری *تیوباسیلوس* با تعداد $10^8$ باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) که به‌صورت پودر می‌باشد، به‌میزان هفت کیلوگرم در هکتار استفاده شد. برای اطمینان از اثربخشی آن، سه هفته قبل از کاشت به تیمارهای حاوی سولفوبارور -۱ مقداری گوگرد جهت فعالیت باکترهای موجود در این کودها اضافه و با خاک مخلوط گردید. کود ورمی‌کمپوست نیز قبل از کاشت به‌میزان ۱۰ تن در هکتار در تیمار مورد نظر به‌طور یکنواخت پخش و سپس توسط بیل با خاک مخلوط شد.

فاصله بین ردیف برای هر دو گونه ۵۰ سانتی‌متر به‌طول چهار متر بود. فاصله بین کرت‌ها یک‌ونیم متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر سه متر در نظر گرفته شد. بذرهای بزرگ به‌فاصله سه سانتی‌متر و بذور نخود به‌فاصله هشت سانتی‌متر روی ردیف‌ها با عمق دو الی چهار سانتی‌متر، در تاریخ ۲۰ اسفند ماه سال ۱۳۹۵ به‌صورت جوی و پشته، به‌صورت هم‌زمان کشت شدند. تراکم نهایی در کشت خالص برای نخود و بزرک به‌ترتیب ۲۵ و ۶۶/۶۶ بوته در مترمربع بود. بذرهای نخود قبل از کاشت با باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم*[3] نیز آغشته گردید که از سازمان تحقیقات آب و خاک کرج تهیه شده بود. عملیات وجین علف‌های هرز به‌طور مرتب به‌صورت دستی و در هنگام لزوم انجام شد. برداشت نخود و بزرک به‌صورت هم‌زمان در پنجم تیرماه سال ۱۳۹۶ زمانی‌که رنگ غلاف‌های نخود و کپسول‌های بزرک به زردی گرایش پیدا کرده بودند، صورت گرفت.

در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی، صفاتی مانند پرولین، قندهای محلول و کلروفیل اندازه‌گیری شدند. برای تعیین مقادیر کلروفیل‌های a و b، مقدار ۰/۲ گرم از بافت تازه برگی با پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به‌تدریج در هاون سائیده شد تا کلروفیل وارد محلول استونی شد. در نهایت، حجم محلول با استون ۸۰ درصد به ۲۵ میلی‌لیتر رسانیده شد. محلول حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ و جذب نوری کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئید به‌ترتیب در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل UV 2100 قرائت شد و با استفاده از معادلات ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئید محاسبه شد (Arnon, 1949).

معادله (۱)

$$\text{Chlorophyll a} = \frac{[12.7(D\,663) - 2.69\,(D\,645) \times V]}{1000\,W}$$

معادله (۲)

$$\text{Chlorophyll b} \quad \frac{[22.9\,(D\,645) \quad 4.48\,(D\,663) \times V]}{1000\,W}$$

معادله (۳)

$$\text{Carotenoids} = \frac{[100A100(A470) - 3.27\,(\text{mg. chl a}) - 104\,(\text{mg. chl b})470]}{227}$$

که در این معادلات، D: جذب در طول موج خاص، V: حجم نمونه بر حسب میلی‌متر و W: وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

برای تعیین میزان قندهای محلول گیاه از روش فنل اسید سولفوریک (Irrigoyen et al., 1992) و برای سنجش پرولین آزاد از روش بیتز و همکاران (Bates et al., 1973) استفاده شد. همچنین، برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک از روش اندرسون و دوموسوچ استفاده گردید (Anderson & Domsch, 1993). از روش گازدهی (تدخین) با کلروفرم نیز برای اندازه‌گیری زیست‌توده میکروبی خاک بهره‌گیری شد (Jenkinson & Powelson, 1976). در پایان مرحله رسیدگی کامل دانه، نیتروژن به‌روش کجلدال مدل BUCHI-B 324 (ساخت کشور سوئیس) و فسفر به‌روش کالیمتری اندازه‌گیری شد. میزان پتاسیم با استفاده از دستگاه فلم‌فتومتر (مدل 620G فاطر الکترونیک ساخت ایران) تعیین شد.

1- *Bacillus lentus*
2- *Pseudomonas putida*
3- *Rhizobium leguminosarum*

جهت تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار SAS ۹/۴ و مقایسه میانگین آماری توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### صفات فیزیولوژیک نخود

الگوهای مختلف کشت و تیمارهای کودی به‌کار رفته، بر صفات مورد بررسی گیاه نخود (کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پرولین، قندهای محلول، نیتروژن، فسفر و پتاسیم) اثر معنی‌دار داشت؛ امّا اثر متقابل الگوهای مختلف کشت و نوع کود بر هیچ‌کدام از صفات مورد نظر معنی‌دار نگردید (جدول ۳).

**جدول ۳ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای کودی و کشت مخلوط با بزرک بر صفات فیزیولوژیک نخود**

**Tabale 3- Analysis of variance (mean of squares) for fertilizer treatments and intercropping with linseed on physiological traits of chickpea**

| منابع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی d.f | کلروفیل a Chlorophyll a | کلروفیل b Chlorophyll b | کاروتنوئید Carotenoid | پرولین Proline | قند محلول Soluble carbohydrate | نیتروژن N | فسفر P | پتاسیم K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار Replication | 2 | 0.12* | 0.281 ** | 0.176** | 0.030 n.s | 0.312 ** | 0.368 ** | 0.002 * | 0.005 n.s |
| الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (I) | 4 | 0.22** | 0.467 ** | 0.259** | 0.144** | 0.678 ** | 1.029 ** | 0.020 ** | 0.745 ** |
| کود Fertilizer (F) | 3 | 0.35** | 0.219 ** | 0.175** | 0.228** | 0.464 ** | 0.533 ** | 0.007 ** | 0.442 ** |
| I×F | 12 | 0.01 n.s | 0.003 n.s | 0.009 n.s | 0.005 n.s | 0.012 n.s | 0.026 n.s | 0.000 n.s | 0.041 n.s |
| خطا Eerror | 38 | 0.02 | 0.013 | 0.011 | 0.023 | 0.026 | 0.034 | 0.000 | 0.052 |
| ضریب تغییرات CV (%) | - | 6.08 | 8.20 | 7.18 | 10.6 | 6.60 | 5.85 | 7.99 | 10.14 |

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

**, * and ns: significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively.

### رنگیزه‌های فتوسنتزی

بیشترین مقدار کلروفیل a نخود (۲/۹۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک و کمترین میزان آن (۲/۶۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت خالص به‌دست آمد، امّا بیشترین میزان کلروفیل b نخود (۱/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید نخود (۱/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از الگوی کشت چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک و کمترین آن‌ها (به‌ترتیب ۱/۱۳ و ۱/۲۳ میلی‌گرم درگرم وزن تر برگ) مربوط به کشت خالص بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a،کلروفیل b و کاروتنوئید) در کانوپی مخلوط به‌موازات افزایش سایه‌اندازی بوته‌ها، دسترسی بهتر به منابع محیطی از قبیل آب و عناصر غذایی و احتمالاً افزایش تثبیت نیتروژن و از طرفی، استفاده بهینه از نیتروژن موجود در خاک بوده باشد. از آن‌جا که بین میزان کلروفیل برگ و میزان نیتروژن آن رابطه مستقیم وجود دارد، می‌توان چنین استنباط کرد که هرقدر دسترسی گیاه به نیتروژن بیشتر باشد، کلروفیل برگ به‌طور مناسب‌تری افزایش می‌یابد و میزان فتوسنتز آن بهبود می‌یابد. همچنین در شرایط سایه‌اندازی، گیاه زراعی برای به‌دام انداختن نور در این شرایط جهت تولید فتوآسیمیلات، میزان کلروفیل برگ را افزایش می‌دهد (Ahmadvand & Hajinia, 2016). گزارش شده است که در کشت مخلوط بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) و ذرت، کشت مخلوط سبب افزایش کلروفیل اندام هوایی در هر دو گیاه شده است (Inal et al., 2007). محققان دیگری در بررسی کشت مخلوط لوبیا و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) اعلام داشتند که میزان کلروفیل در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیشتر بود (Hamzei & Babaei, 2017).

نتایج بررسی تیمارهای کودی نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a نخود (۲/۹۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، کلرفیل b (۱/۵۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید نخود (۱/۵۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) به‌ترتیب از تیمار ورمی‌کمپوست و

کمترین مقدار این رنگیزه‌ها در شرایط عدم مصرف کود به‌دست آمـد (جدول ۵).

**جدول ٤- مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیک نخود در الگوهای مختلف کشت مخلوط با بزرک**

**Table 4- Means comparison of physiological characteristics of chickpea in intercropping different patterns with linseed**

| الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern | کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$) | کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$) | کاروتنوئید Carotenoid ($mg.g^{-1}$) | پرولین Proline ($mg.g^{-1}$) | قند محلول Soluble carbohydrate ($mg.g^{-1}$) | نیتروژن N (%) | فسفر P (%) | پتاسیم K (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کشت خالص Pure cropping | 2.60 c* | 1.13 c | 1.23 c | 1.59 a | 2.86 a | 2.71 d | 0.18 c | 1.82 b |
| کشت مخلوط ۱:۱ 1 row chickpea + 1 row linseed | 2.93 a | 1.52 a | 1.56 a | 1.28 c | 2.40 b | 3.51 a | 0.29 a | 2.30 a |
| کشت مخلوط ۲:۲ 2 rows chickpea + 2 rows linseed | 2.92 a | 1.49 a | 1.51 a | 1.40 bc | 2.22 b | 3.28 b | 0.27 a | 2.34 a |
| کشت مخلوط چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک 4 rows chickpea + 2 rows linseed | 2.81 ab | 1.59 a | 1.59 a | 1.42 b | 2.39 b | 3.17 bc | 0.25 b | 2.49 a |
| کشت مخلوط چهار ردیف بزرک + دو ردیف نخود 2 rows chickpea + 4 rows linseed | 2.74 b | 1.23 b | 1.39 b | 1.44 b | 2.35 c | 3.10 c | 0.24 b | 2.29 a |

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

**جدول ٥- مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیک نخود در تیمارهای مختلف کودی**

**Table 5- Means comparison for physiological traits of chickpea affected as different fertilizer treatments**

| تیمار کودی | کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$) | کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$) | کاروتنوئید Carotenoid ($mg.g^{-1}$) | پرولین Proline ($mg.g^{-1}$) | قند محلول Soluble carbohydrate ($mg.g^{-1}$) | نیتروژن N (%) | فسفر P (%) | پتاسیم K (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عدم مصرف کود No use of fertilization | 2.61 c* | 1.23 c | 1.31 c | 1.59 a | 2.70 a | 2.90 c | 0.22 c | 2.01 b |
| کود زیستی Biofertilizer | 2.83 b | 1.45 ab | 1.49 b | 1.43 b | 2.30 b | 3.23 ab | 0.25 ab | 2.37 a |
| ورمی‌کمپوست Vermicopost | 2.97 a | 1.52 a | 1.57 a | 1.29 c | 2.42 b | 3.35 a | 0.26 a | 2.35 a |
| کود شیمیایی Chemical fertilizer | 2.80 b | 1.37 b | 1.46 b | 1.39 bc | 2.36 b | 3.15 b | 0.24 b | 2.21 a |

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

به‌نظر می‌رسد که با توجه به کمبود بارندگی در اغلب دیم‌زارهای مناطق ایران و اثر مثبت کاربرد کودهای آلی و زیستی در حفظ رطوبت خاک، بهبود کیفیت فیزیکوشیمیایی خاک، فعالیت میکروارگانیزم‌های خاک‌زی و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی می‌توانند از اثـرات

مخرب تنش کم‌آبی بکاهند که این موضوع می‌تواند باعث افزایش سطح برگ و میزان کلروفیل گیاه شود (Nemati Darband et al., 2014 a).

در بررسی اثر ورمی‌کمپوست بر غلظت کلروفیل در ذرت مشاهده گردید که میزان کلروفیل از ۱/۳۶ به ۱/۹۳ میلی‌گرم در گرم افزایش یافت (Amyanpoor et al., 2015). گزارش شده است که به‌دلیل تجزیه تدریجی کودهای آلی، مواد مغذی مناسب در اختیار گیاه قرار گرفته و باعث افزایش فتوسنتز، سرعت رشد و دیگر شاخص‌های فیزیولوژیک از جمله کلروفیل وکاروتنوئید می‌گردد (Liu et al., 2011). برخی از محققان بیان کرده‌اند که کودهای زیستی باعث افزایش سرعت فتوسنتزی در واحد سطح برگ گیاه میزبان می‌شوند و دلیل این امر را به جذب عناصر غذایی بالا و آب نسبت دادندکه منجر به افزایش غلظت نیتروژن برگ و به تبع آن افزایش مقدار کلروفیل، افزایش فعالیت آنزیم‌هایی چون نیترات ریداکتاز، نیتروژناز و گلوتامین سنتتاز و افزایش راندمان فتوسنتزی در گیاهان میزبان می‌شود (Britoe et al., 2008). طی تحقیقی با بررسی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر گیاه نخود مشاهده شد که تلقیح با باکتری‌های *ازتو باکتر* و *سودموناس* منجر به بهبود محتوی کلروفیل شدند (Ansari et al., 2015).

## محتوی پرولین برگ

بیشترین میزان پرولین برگ گیاه نخود (۱/۵۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت خالص و کمترین میزان محتوی پرولین (۱/۲۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک به‌دست آمد (جدول ۴). به نظر می‌رسد در کشت خالص به‌دلیل سایه‌اندازی کمتر، تبخیر و تعرق گیاه به‌ویژه در شرایط دیم بیشتر شده و به‌دنبال آن گیاه نخود با کمبود رطوبت مواجه گردیده است. در چنین شرایطی، گیاهان برای سازگاری با شرایط کمبود آب اسیدهای آمینه مثل پرولین را تولید و در سلول‌های خود ذخیره می‌کند تا از طریق مکانیسم‌های متفاوت نظیر تنظیم اسمزی، سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن، حفظ تمامیت غشا و ساختمان پروتئین‌ها، گیاهان را از تنش محافظت کند (Patade, 2011). در مطالعه و بررسی‌های انجام شده روی ژنوتیپ‌های نخود در شرایط تنش خشکی، افزایش پرولین در برگ گیاه به اثبات رسیده است (Zare Mehrjerdi et al., 2016)، امّا پائین بودن میزان پرولین در کشت مخلوط را می‌توان به سایه‌اندازی بوته‌ها و هم‌پوشانی بهتر آن‌ها و استفاده مؤثر از فضاهای خالی، افزایش رطوبت نسبی و پائین بودن دمای کانوپی نسبت داد. از آن‌جا که دمای میکروکلیما تا حدی به رطوبت نسبی کانوپی بستگی دارد، هوای مرطوب، دمای کانوپی کشت مخلوط را متعادل نگه می‌دارد. در این زمان به‌علت بالا بودن رطوبت در میکروکلیمای مخلوط، دمای آن نسبت به کانوپی خالص آهسته‌تر سرد می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد به‌دلیل عوامل ذکر شده در الگوهای مختلف کشت مخلوط میزان رطوبت ذخیره شده در خاک نسبت به کشت خالص بالا بوده و تحت چنین شرایطی از اثرات منفی کمبود آب در شرایط دیم کاسته شده و تولید پرولین افزایش چشمگیری را نشان نداده است.

مطابق با نتایج جدول ۵ مشخص گردید که بیشترین میزان پرولین برگ (۱/۵۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار عدم مصرف کود و کمترین مقدار آن (۱/۲۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) مربوط به کود ورمی‌کمپوست بود. کودهای آلی به‌خصوص ورمی‌کمپوست از طریق تأثیر بر قدرت جذب، نگهداری و تدارک بالای رطوبت، و همچنین کاربرد کودهای شیمیایی به‌خصوص کود فسفره از طریق افزایش ریشه‌زایی و کودهای زیستی در محیط ریشه گیاه توانایی ساخت و ترشح مواد زیستی فعال را دارند که در توسعه سیستم ریشه‌ای تأثیر مثبت و مفیدی دارند و با بهبود جذب آب و عناصر غذایی در شرایط دیم (کمبود آب) در جذب آب مؤثر می‌باشند و عامل تنش کمبود آب را به‌طور قابل ملاحظه‌ای جبران می‌کنند و در این صورت تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین کاهش می‌یابد. در ارتباط با اسید آمینه پرولین نیز گزارش شده است که، این ماده منجر به حفظ فشار تورژسانس و کاهش خسارت غشا در گیاهان می‌شود و بدین ترتیب تنظیم اسمزی یک سازگاری برای افزایش تحمل به خشکی می‌باشد (Naseri et al., 2011). در بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گزارش شده است که بروز تنش خشکی افزایش پرولین را به‌دنبال داشت (Rezaei-chiyaneh et al., 2017).

## قند محلول

بیشترین میزان قند محلول نخود (۲/۸۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت خالص وکمترین مقدار آن مربوط به تیمار دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک (۲/۲۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بود. هر چند اختلاف معنی‌داری بین الگوی دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک با

چهار ردیف نخود+ دو ردیف بزرک وجود نداشت (جدول ۴). در کشت مخلوط به‌دلیل اختلاف در مورفولوژی ریشه دو گونه، راندمان جذب آب و مواد غذایی افزایش می‌یابد که این خود منجر به کاهش اثرات کمبود آب به‌خصوص در شرایط دیم می‌گردد، امّا در کشت خالص به‌دلیل عدم پوشانندگی کافی سطح زمین، تبخیر از سطح خاک بیشتر بوده وگیاه با کمبود آب مواجه می‌شود. در این شرایط، جهت ادامه جذب از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله کربوهیدرات‌های محلول، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و پدیده فیزیولوژی نتظیم اسمزی انجام می‌گیرد (Xoconostle- Cazares, 2010). افزایش قندهای محلول را می‌توان با دلایلی از قبیل تجزیه پلی‌ساکاریدها نظیر نشاسته، سنتز قندها از مسیر غیرفتوسنتزی، عدم تبدیل این ترکیبات به محصولات دیگر، کاهش انتقال از برگ‌ها به دیگر اندام‌ها و یا متوقف شدن رشد توجیه نمود. با مطالعه روی گیاه سیر تحت شرایط تنش خشکی افزایش محتوی قند محلول مشاهده گردید (Akbari et al., 2017). انباشت قندهای محلول در واکنش به تنش خشکی در کرچک (*Ricinus communis* L.) نیز ثابت گردیده است (Karimi et al., 2012).

تیمارهای کودی به‌کار رفته بر محتوی قند محلول تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۵)، به‌طوری که بیشترین میزان آن (۲/۷۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از شاهد و کمترین مقدار آن (۲/۳۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار کود زیستی به‌دست آمد. هر چند اختلاف معنی‌داری بین کود زیستی و ورمی‌کمپوست وجود نداشت. کاربرد کودهای زیستی و آلی تحت شرایط کمبود آب با تأثیر بر ویژگی‌های مورفولوژیکی ریشه و فیزیولوژیک گیاه از اثرات منفی خشکی می‌کاهد. درآزمایشی روی گیاه شنبلیله مشاهده گردید که با کاربرد کودهای زیستی نیتروکسین (حاوی مجموعه‌ای از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* و حل‌کننده فسفات از جنس *سودوموناس*)، بیوفسفر (باکتری‌های حل‌کننده فسفات) و میکوریزا در شرایط کمبود آب، میزان قندهای محلول افزایش یافت (Jaberi et al., 2018).

### غلظت عناصر غذایی نخود

نتایج نشان داد که غلظت عناصر در نخود تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط با بزرک و تیمارهای کودی قرار گرفت (جدول ۳)؛ به‌طوری‌که بیشترین درصد نیتروژن دانه نخود (۳/۵۱ درصد) از الگوی کشت یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک و کمترین آن (۲/۷۱ درصد) از کشت خالص حاصل شد (جدول ۴). افزایش درصد نیتروژن دانه نخود در کشت مخلوط می‌تواند به‌دلیل افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، تأثیر مکملی و عدم رقابت اجزای کشت مخلوط در زمان یکسان برای جذب عناصر غذایی و افزایش کارآیی جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط باشد. در آزمایشی روی تأثیر کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت بر کارآیی جذب و مصرف نیتروژن مشاهده کردند که کارآیی جذب نیتروژن در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص دو گونه بود (Koocheki et al., 2010). محققان دیگری در بررسی کشت مخلوط ارزن و خلر به این نتیجه رسیدند که جذب نیتروژن در الگوهای مختلف کشت مخلوط از تیمارهای کشت خالص ارزن و خلر بالاتر بود (Pakgohar & Ganbari, 2013).

در بین تیمارهای کودی، بیشترین درصد نیتروژن دانه نخود (۳/۳۵ درصد) از کود ورمی‌کمپوست و کمترین آن (۲/۹۰ درصد) از عدم مصرف کود حاصل شد، امّا بین کود زیستی و ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۵). در تأیید نتایج این تحقیق، برخی از محققان اظهار داشتند که استفاده از کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست باعث افزایش مواد آلی خاک گردید و قابلیت جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش دادند (Raeisi et al., 5 201).

بیشترین درصد فسفر (۰/۲۹ درصد) از الگوی کشت یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک و کمترین آن (۰/۱۸ درصد) متعلق به کشت خالص بود (جدول ۴). در نظام‌های کشت مخلوط به‌دلیل حضور گیاهان لگوم، با تثبیت نیتروژن بیولوژیکی و تراوش $H^+$، محیط ریزوسفری ریشه اسیدی شده و حلالیت فسفر بیشتر می‌گردد، در نتیجه جذب فسفر افزایش می‌یابد. فلاح و همکاران (Fallah et al., 2018) در کشت مخلوط سویا و بارشبی (*Deracocephalum moldavica* L.) نیز گزارش کردند که کاربرد کودهای آلی در کشت مخلوط قابلیت جذب نیتروژن و فسفر را افزایش دادند. در کشت مخلوط گندم و ذرت با باقلا، غلظت فسفر دانه باقلا و گندم نسبت به کشت خالص دو گونه افزایش نشان دادند (Zhang et al., 2012).

بیشترین فسفر در دانه نخود از تیمار ورمی‌کمپوست (۰/۲۶ درصد) وکمترین درصد آن از عدم مصرف کود (۰/۲۲ درصد) به‌دست آمد، امّا بین کود زیستی و ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد که ورمی‌کمپوست به‌دلیل داشتن عناصر

غذایی کافی و تحریک و افزایش فعالیت ریزموجودات خاک‌زی، امکان دسترسی گیاه به منابع غیر قابل استفاده از جمله فسفر را فراهم کرده و در جذب و انتقال آن به گیاه نقش چشم‌گیری ایفا می‌کند. از طرفی، تولید اسیدهای آلی توسط باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب اسیدی شدن محیط ریزوسفر شده و در نتیجه، فسفر غیر قابل حل می‌تواند بر اثر جایگزینی یون $H^+$ با یون‌های کلسیم، در محیط آزاد شود (Tohidinejad et al., 2011). در تحقیق حاضر چنین به نظر می‌رسد که احتمالاً تأثیر افزایش جذب فسفر در الگوهای مختلف کشت مخلوط و تیمارهای کودی در شرایط دیم بر ریشه‌زایی و عمق نفوذ ریشه و افزایش فعالیت ریشه مؤثر بوده که از این طریق بر تداوم جذب عناصر غذایی و آب اثر گذاشته که نتیجه آن بهبود خصوصیات اکوفیزیولوژیکی دو گونه بوده است. گزارش شده است که سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر بهبود وضعیت جذب عناصر اصلی نیتروژن، فسفر و پتاسیم تأثیر مثبت دارد (Nemati Darband et al., 2014). در ارزیابی کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum – graecum* L.) مشاهده گردید که با افزایش سطح کودهای آلی میزان جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر افزایش یافت (Ghanbari et al., 2014).

طبق نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که بیشترین درصد پتاسیم (۲/۳۴ درصد) از الگوی کشت دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک و کمترین درصد پتاسیم (۱/۸۲ درصد) مربوط به کشت خالص بود (جدول ۴). غلظت بالای این عنصر در کشت مخلوط را می‌توان به‌دلیل رابطه مکملی اجزای تشکیل‌دهنده کانوپی در این نظام‌های کشت دانست که بیانگر وضعیت متفاوت رقابت، برای جذب این عنصر است. در تحقیقی دیگر مشخص شد که کشت مخلوط ذرت با نخود، جذب فسفر و پتاسیم در دانه افزایش یافت (Yamuna et al., 2017). بررسی الگوهای کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) نتایج نشان داد که جذب عناصر غذایی منیزیم، کلسیم، پتاسیم و فسفر در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافت (Eskandari & Ghanbari, 2011). نتایج به‌دست آمده از تحقیقی دیگر نشان داد که در کشت مخلوط یولاف و نخود، جذب پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم در تیمار کشت مخلوط با نسبت ۷۵ درصد یولاف + ۲۵ درصد نخود بیشترین مقدار بود، چرا که در کشت مخلوط ترشحات ریشه‌ای دو گیاه بر فراهمی و جذب عناصر غذایی و در نتیجه بر تغذیه و رشد آن، اثر مستقیم و غیرمستقیم دارند (Reinhard et al., 2016). بنابراین، از آن‌جایی که اغلب جذب عناصر غذایی توسط ریشه‌های لگوم‌ها در کشت خالص پایین است؛ جذب عناصر غذایی لگوم‌ها به‌خصوص فسفر و پتاسیم، در کشت مخلوط با سایر گیاهان به دلایل ذکر شده، افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل افزایش جذب فسفر نخود در کشت مخلوط با بزرک، تفاوت در میزان توسعه عمقی و جانبی و همچنین افزایش تراکم ریشه‌ها و ترشحات ریشه‌ای در کشت مخلوط دو گونه باشد. چرا که تفاوت در عمق و توسعه ریشه، میزان توسعه جانبی و تراکم ریشه، طول دوره رشد و سرعت رشد گیاه زراعی از جمله عواملی هستند که میزان رقابت اجزای کشت مخلوط را برای جذب عناصر غذایی تحت تأثیر قرار می‌دهند.

بیشترین درصد عنصر پتاسیم (۲/۳۷ درصد) در گیاه نخود از تیمار کود زیستی و کمترین درصد آن (۲/۰۱ درصد) از عدم مصرف کود به‌دست آمد، هر چند بین تیمارهای کودی به‌کار رفته اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). حضور کودهای زیستی و آلی در نظام‌های مختلف کشاورزی پایدار از طریق افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک و فعالیت این موجودات با ترشح اسیدهای آلی و ایجاد محیط محلول باعث افزایش دسترسی مطلوب به عناصر غذایی و قابلیت جذب این عناصر در گیاه می‌گردد. در مطالعه روی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) بیشترین درصد پتاسیم تحت تیمار کود زیستی و تنش شدید کم‌آبی به‌دست آمد (Sadeghian Dehkordi., 2015). کاربرد منابع کودی از جمله کودهای زیستی تحت شرایط کمبود آب با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه و جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم که از جمله مواد تنظیم‌کننده پتانسیل اسمزی بوده از اثرات منفی تنش خشکی می‌کاهد (Wang et al., 2015).

## صفات فیزیولوژیک بزرک

اثر الگوهای مختلف کشت و نوع کود مصرفی بر صفات مورد بررسی گیاه بزرک (کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پرولین، قندهای محلول، نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید، ولی اثر متقابل الگوی کشت و کود بر هیچ‌کدام ازاین صفات معنی‌دار نشد (جدول ۶).

**جدول ٦ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر منابع کودی و کشت مخلوط بر صفات فیزیولوژیک بزرک**

**Tabale 6- Analysis of variance (mean of squares) of fertilizer sources and intercropping on physiological traits of linseed**

| منابع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی d.f | کلروفیل a Chlorophyll a | کلروفیل b Chlorophyll b | کاروتنوئید Carotenoid | پرولین Proline | قند محلول Soluble carbohydrate | نیتروژن N | فسفر P | پتاسیم K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار Replication | 2 | 0.018 $^{n.s}$ | 0.030 $^{n.s}$ | 0.041 $^{n.s}$ | 0.005 $^{n.s}$ | 0.761 $^{**}$ | 0.204 $^{*}$ | 0.002 $^{*}$ | 0.009 $^{n.s}$ |
| الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (I) | 4 | 0.477 $^{**}$ | 0.264 $^{**}$ | 0.100 $^{**}$ | 0.150$^{**}$ | 0.345 $^{**}$ | 0.793$^{**}$ | 0.018 $^{**}$ | 0.494 $^{**}$ |
| کود Fertilizer (F) | 3 | 0.256 $^{**}$ | 0.144 $^{**}$ | 0.133 $^{**}$ | 0.176 $^{**}$ | 0.357 $^{**}$ | 0.717 $^{**}$ | 0.009 $^{**}$ | 0.647 $^{**}$ |
| I×F | 12 | 0.007 $^{n.s}$ | 0.008 $^{n.s}$ | 0.007 $^{n.s}$ | 0.007 $^{n.s}$ | 0.034 $^{n.s}$ | 0.023 $^{n.s}$ | 0.000 $^{n.s}$ | 0.015 $^{n.s}$ |
| خطا Eerror | 38 | 0.035 | 0.014 | 0.019 | 0.013 | 0.025 | 0.047 | 0.000 | 0.022 |
| ضریب تغییرات CV (%) | - | 7.73 | 9.17 | 10.85 | 10.09 | 8.02 | 7.23 | - | 6.56 |

**، * وns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

$^{**}$، $^{*}$ and $^{ns}$: significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively.

**جدول ۷- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک بزرک در الگوهای مختلف کشت مخلوط با نخود**

**Table 7- Means comparison for physiological characteristics of linseed in intercropping different patterns with chickpea**

| الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern | کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$) | کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$) | کاروتنوئید Carotenoid ($mg.g^{-1}$) | پرولین Proline ($mg.g^{-1}$) | قند محلول Soluble carbohydrate ($mg.g^{-1}$) | نیتروژن N (%) | فسفر P (%) | پتاسیم K (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کشت خالص Pure cropping | 2.09 $^{c*}$ | 1.06 $^{c}$ | 1.13 $^{b}$ | 1.31 $^{a}$ | 2.25 $^{a}$ | 2.57 $^{c}$ | 0.17 $^{d}$ | 1.91 $^{c}$ |
| کشت مخلوط ۱:۱ 1 row chickpea + 1 row linseed | 2.53 $^{a}$ | 1.39 $^{a}$ | 1.28 $^{a}$ | 1.04 $^{b}$ | 1.87 $^{c}$ | 3.07 $^{ab}$ | 0.26 $^{b}$ | 2.28 $^{b}$ |
| کشت مخلوط ۲:۲ 2 rows chickpea + 2 rows linseed | 2.59 $^{a}$ | 1.37 $^{a}$ | 1.31$^{a}$ | 1.12 $^{b}$ | 1.84 $^{c}$ | 3.15 $^{ab}$ | 0.27 $^{a}$ | 2.43 $^{a}$ |
| کشت مخلوط چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک 4 rows chickpea + 2 rows linseed | 2.57 $^{a}$ | 1.41$^{a}$ | 1.39 $^{a}$ | 1.06 $^{b}$ | 2.03 $^{b}$ | 3.04 $^{b}$ | 0.24 $^{c}$ | 2.29 $^{b}$ |
| کشت مخلوط چهار ردیف بزرک + دو ردیف نخود 2 rows chickpea + 4 rows linseed | 2.35 $^{b}$ | 1.30 $^{b}$ | 1.26 $^{a}$ | 1.13 $^{b}$ | 1.85 $^{c}$ | 3.24 $^{a}$ | 0.26 $^{b}$ | 2.42 $^{a}$ |

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

## رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a بزرک (۲/۵۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت مخلوط دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک و بیشترین مقدار کلروفیل b (۱/۴۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید بزرک (۱/۳۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک و کمترین مقدار

کلروفیل a (۲/۰۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، کلروفیل b (۱/۰۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید بزرک (۱/۱۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت خالص به‌دست آمد (جدول ۷).

به نظر می‌رسد که افزایش سایه‌اندازی بوته‌ها روی یکدیگر و تثبیت نیتروژن توسط نخود و از طرفی، استفاده بهینه و بالاتر بزرک از نیتروژن موجود در خاک و در نتیجه آسمیلاسیون بهتر موجب افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در کشت مخلوط شده است. از آن‌جا که بین میزان کلروفیل برگ و میزان نیتروژن آن رابطه مستقیم وجود دارد، می‌توان استنباط کرد که هر قدر دسترسی گیاه به عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن بیشتر باشد، کلروفیل برگ به‌طور مناسب‌تری افزایش می‌یابد و میزان فتوسنتز آن بهبود می‌یابد. محققان دیگری در بررسی کشت مخلوط سویا و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) گزارش کردند که میزان کلروفیل سورگوم در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص همواره بالاتر بوده است، که علت این امر را به سایه‌اندازی این دو گیاه روی همدیگر و نیتروژن تثبیت شده توسط سویا نسبت دادند (Ghosh et al., 2006).

رنگیزه‌های فتوسنتزی بزرک تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی قرار گرفت؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل a (۲/۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، کلروفیل b (۱/۳۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید بزرک (۱/۳۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار این رنگیزه‌ها؛ کلروفیل a (۲/۲۵میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، کلروفیلb (۱/۱۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید بزرک (۱/۱۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از عدم مصرف کود به‌دست آمد.

**جدول ۸- مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیک بزرک در تیمارهای مختلف کودی**

**Table 8- Means comparison for physiological traits of linseed affected as different fertilizer treatments**

| کود Fertilization | کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$) | کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$) | کاروتنوئید Carotenoid ($mg.g^{-1}$) | پرولین Prolin e ($mg.g^{-1}$) | قند محلول Soluble carbohydrate ($mg.g^{-1}$) | نیتروژن N (%) | فسفر P (%) | پتاسیم K (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عدم مصرف کود No use of fertilization | 2.25 c * | 1.15 b | 1.14 b | 1.28 a | 2.20 a | 2.68 b | 0.21 d | 2.02 c |
| کود زیستی Biofertilizer | 2.47 b | 1.31 a | 1.31 a | 1.11 b | 1.92 b | 3.05 a | 0.27 a | 2.45 a |
| ورمی‌کمپوست Vermicopost | 2.56 a | 1.38 a | 1.37 a | 1.03 c | 1.91 b | 3.15 a | 0.25 b | 2.41 a |
| کود شیمیایی Chemical fertilizer | 2.41 ab | 1.32 a | 1.28 a | 1.12 b | 1.85 b | 3.16 a | 0.23 c | 2.13 b |

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست در خاک با تولید مواد محرک رشد، افزایش جمعیت میکروبی خاک و همچنین دسترسی و جذب کاراتر عناصر غذایی منجر به افزایش سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ شده‌اند. بررسی‌ها نشان داده است که کودهای زیستی از طریق افزایش غلظت نیتروژن برگ و به تبع آن افزایش مقدار کلروفیل سیستم فتوسنتزی و افزایش فعالیت آنزیم‌هایی چون نیترات ریداکتاز، نیتروژناز و گلوتامین سنتتاز در گیاهان میزبان باعث افزایش سرعت فتوسنتزی در واحد سطح برگ گیاه و افزایش راندمان فتوسنتزی برگی می‌شوند (Seyed sharifi, 2016). محققان دیگری در کشت مخلوط شنبلیه با سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گزارش کرده‌اند که میزان کلروفیل a در کشت مخلوط و تحت تأثیر منابع کودی بیشتر از کشت خالص بوده است (Rostaei & Fallah, 2016). گزارش‌های دیگری تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر افزایش سطح برگ و بهبود محتوی کلروفیل برگ در ذرت و کنجد را تأیید کرده‌اند (Gahan et al., 2013; Wang et al., 2015 b). در تحقیقی دیگر مشخص شد که با کاربرد ورمی‌کمپوست محتوی کلروفیل، پروتئین و روبیسکو در گیاه جو به‌طور معنی‌داری بهبود یافت (Campitelli & Ceppi, 2008).

**پرولین**

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار پرولین بزرک (۱/۳۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت خالص و کمترین میزان پرولین (۱/۰۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت مخلوط یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک به‌دست آمد. در صورتی که بین سایر الگوهای کشت از لحاظ میزان اسید آمینه پرولین اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۷). به نظر می‌رسد در کشت خالص به‌علت پایین بودن گونه‌های گیاهی در راستای پوشاندن سطح خاک و سایه‌اندازی اندک کانوپی، پتانسیل آب خاک کاهش یافته و گیاه با تنش کمبود آب مواجه می‌گردد. در چنین شرایطی با سنتز و تجمع ترکیبات اسمزی مانند اسید آمینه پرولین در سلول‌های گیاه مکانیسم تنظیم اسمزی انجام می‌گیرد تا از اثرات منفی کمبود آب در گیاه کاسته شود (Manivannan et al., 2007). محققان دیگری نیز گزارش کردند که میزان اسید آمینه پرولین در بزرک (Ghorbanli et al., 2011) و سیاهدانه (Rezaei Chiyaneh et al., 2018) تحت شرایط تنش کمبود رطوبت افزایش یافته است.

بیشترین میزان پرولین بزرک (۱/۲۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار عدم مصرف کود و کمترین مقدار آن (۱/۰۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار ورمی‌کمپوست حاصل گردید. اختلاف معنی‌داری بین کودهای زیستی و کود شیمیایی از نظر میزان پرولین وجود نداشت (جدول ۸). ورمی‌کمپوست یکی از کودهای آلی می‌باشد که به دلیل تخلخل زیاد، قدرت جذب و نگهداری بالای عناصر غذایی و آزادسازی تدریجی آن و همچنین با ظرفیت بالای نگهداری رطوبت موجود در خاک از اثرات منفی تنش خشکی می‌کاهد (Arancon et al., 2004). همچنین، افزایش نیتروژن و سایر عناصر غذایی حاصل از کودهای زیستی می‌توانند بر دوام سطح برگ تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته و می‌تواند اثر تنش کم‌آبی را تا حدی تعدیل کند، زیرا در این شرایط، غلظت پرولین و قندها در سلول افزایش یافته، در نتیجه پتانسیل اسمزی منفی‌تر شده و در نهایت، جذب آب افزایش می‌یابد (Habyarimana et al., 2004).

**قندهای محلول**

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار قندهای محلول بزرک (۲/۲۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در گیاه بزرک از کشت خالص و کمترین مقدار آن (۱/۸۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار کشت دو ردیف بزرک + دو ردیف نخود به‌دست آمد (جدول ۷). گیاه در شرایط تنش شدید کمبود آب سعی در افزایش تجمع مواد تنظیم‌کننده اسمزی دارد تا از اثرات منفی تنش کم‌آبی بکاهد (Izadpanah & Calagari, 2014). به نظر می‌رسد که در کشت مخلوط به‌دلیل کارآیی بیشتر استفاده از منابع محیطی از جمله رطوبت موجود در خاک و عناصر غذایی با حفظ تورژسانس سلولی از اثرات منفی تنش کمبود رطوبت کاسته شده و در نتیجه، میزان سنتز تنظیم‌کننده‌های اسمزی از جمله کربوهیدرات محلول در گیاهان کاهش می‌یابد. قندهای محلول به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی ثبات‌دهنده غشای سلولی و حفظ تورژسانس سلول‌ها عمل می‌کنند. در حقیقت قندهای محلول در گیاهان در پاسخ به تنش خشکی تجمع می‌یابند (Slama et al., 2007).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان قندهای محلول بزرک (۲/۲۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار عدم مصرف کود و کمترین میزان آن (۱/۸۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار کود شیمیایی حاصل گردید؛ هر چند اختلاف معنی‌داری بین سایر تیمارهای کودی به‌کار رفته با این کود وجود نداشت (جدول ۸). محتویات قندهای محلول در آب می‌تواند تحت تأثیر عملکردهای مدیریتی مانند مصرف منابع کودی قرار گیرند. در واقع با تأمین عناصر مورد نیاز گیاه در دروه رشد، شرایط برای جذب آب و فرآیند فتوسنتز فراهم و در نهایت، گیاه در شرایط کمبود آب نیازی به افزایش مواد تنظیم‌کننده اسمزی از جمله قندهای محلول نداشته است (Nnadi & Haque, 1986). در تحقیق حاضر چنین به نظر می‌رسد که با عدم کاربرد منابع کودی تحت شرایط تنش کمبود آب به‌دلیل عدم تأمین عناصر غذایی مورد نیاز طی فصل رشد، از مقاومت گیاه به کمبود آب کاسته شده است. تحت چنین شرایطی، گیاه برای کاهش اثرات مخرب تنش کمبود آب اقدام به افزایش قندهای محلول نموده است. در تحقیقی روی گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) مشاهده گردید که تحت تنش میزان قندهای محلول افزایش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان قند محلول از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و کمترین مقدار قند محلول از ۶۰ میلی متر تبخیر به‌دست آمد (Rezaei chiyaneh et al., 2013).

**غلظت عناصر غذایی**

اثر الگوهای مختلف کشت و نوع کود مصرفی بر میزان عناصر

غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) موجود در دانه بزرک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. درحالی‌که اثر متقابل نوع کود و الگوی کشت بر میزان عناصر موجود در دانه معنی‌دار نگردید (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن دانه بزرک (۳/۲۴ درصد) در کشت چهار ردیف بزرک + دو ردیف نخود و کمترین درصد نیتروژن موجود در دانه (۲/۵۷ درصد) در کشت خالص به‌دست آمد (جدول ۷). به نظر می‌رسد بزرک در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص با بهره‌برداری مطلوب‌تر از شرایط موجود و منابع ایجاد شده از طرف نخود به‌ویژه تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، میزان بیشتری از نیتروژن خاک را دریافت می‌کند. محققان دیگری با مقایسه کشت مخلوط و تک‌کشتی اسفرزه *Plantago ovata* (Forsk.) و عدس (*Lens culinaris* L.) بیشترین غلظت نیتروژن گیاه اسفرزه را در کشت مخلوط مشاهده نمودند (Asgharipur & Rafiei, 2010).

در بین تیمارهای کودی، بیشترین مقدار نیتروژن بزرک (۳/۱۶ درصد) از کود شیمیایی و کمترین میزان نیتروژن بزرک (۲/۶۸ درصد) از عدم مصرف کود به‌دست آمد، امّا بین این کود با سایر کودهای مصرفی از نظر نیتروژن دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۸). به نظر می‌رسد اثر منابع کودی میزان جذب نیتروژن توسط ریشه را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه، میزان عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در دانه افزایش یافته است (Sheikhpur et al., 2014). در تأیید این نتایج می‌توان به افزایش غلظت نیتروژن در گیاه سویا در کشت مخلوط با بادرشبی تحت تأثیر تیمار کود شیمیایی و کود آلی اشاره نمود. این محققان علت افزایش نیتروژن در سویا را به تثبیت زیستی نیتروژن نسبت دادند. چرا که در کشت مخلوط، لگوم‌ها بیشتر نیتروژن مورد نیاز خود را از طریق تثبیت نیتروژن اتمسفری و غیر لگوم از نیتروژن معدنی خاک به‌دست می‌آورند؛ این امر باعث کاهش رقابت برای نیتروژن غیرآلی می‌شود. این عوامل باعث افزایش جذب نیتروژن در کشت مخلوط می‌شود (Fallaha et al., 2018).

طبق نتایج (جدول ۷) مشخص گردید که بیشترین درصد فسفر دانه بزرک (۰/۲۷ درصد) مربوط به کشت دو ردیف بزرک + دو ردیف نخود و کمترین مقدار آن (۰/۱۷ درصد) از کشت خالص به‌دست آمد. افزایش راندمان جذب فسفر موجود و بهبود خواص میکروبیولوژیکی در ریزوسفر محصولات نسبت به تک‌کشتی و افزایش بهره‌وری و استفاده کارآمدتر از منابع موجود از مهم‌ترین ویژگی‌های کشت مخلوط می‌باشد (Mobasser & Vazirimehr, 2014). به نظر می‌رسد که یکی از دلایل افزایش جذب فسفر بزرک در کشت مخلوط با نخود همین بهبود ویژگی‌های شیمیایی و زیستی ریزوسفر باشد. محققان دیگری اظهار داشتند که بهبود تغذیه عناصر غذایی، بر اثر ترشح اسیدهای آلی، ترکیبات فنلی، فیتوسیدروفورها به‌وسیله ریشه گیاهان موجود در کشت مخلوط می‌باشد (Zou & Zhang, 2011). در کشت مخلوط ذرت و بادام‌زمینی نیز گزارش شده است که با افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در ریشه و خاک، قابلیت جذب فسفر در محیط ریزوسفر افزایش یافته است (Inal et al., 2007). محققان دیگری در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی استفاده کارآمدتر از منابع موجود به‌ویژه عناصر غذایی پرمصرف مانند فسفر و افزایش بهره‌وری در کشت مخلوط را نسبت به تک‌کشتی این گیاهان گزارش کردند (Nyasasi & kisetu, 2014).

بیشترین مقدار فسفر موجود در دانه بزرک (۰/۲۷ درصد) از تیمار کود زیستی و کمترین میزان فسفر (۰/۲۱ درصد) مربوط به عدم کاربرد کود بود (جدول ۸). فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر معدنی ضروری بعد از نیتروژن برای رشد گیاهان است. اگرچه قابلیت دسترسی به این ماده غذایی در گیاهان توسط واکنش‌های شیمیایی مختلف به‌ویژه در خاک‌های خشک و نیمه خشک محدود می‌گردد، امّا استفاده از کودهای زیستی یکی از راهکارهای مؤثر در حفظ کیفیت مطلوب خاک محسوب می‌گردد که باعث افزایش واکنش‌های مفید بین گیاه و میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر ریشه شده و توان گیاه را برای جذب عناصر غذایی غیر قابل دسترس به‌ویژه فسفر افزایش می‌دهد (Kokalis et al., 2006).

بیشترین مقدار پتاسیم دانه بزرک (۲/۴۳ درصد) از الگوی کشت دو ردیف بزرک + دو ردیف نخود و کمترین میزان پتاسیم موجود در دانه بزرک (۱/۹۱ درصد) موجود از کشت خالص به‌دست آمد (جدول ۷). دلیل افزایش جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط می‌تواند بیانگر رابطه مکملی و وضعیت متفاوت رقابت برای جذب این عنصر در کشت مخلوط مربوط باشد (Asgharipur & Rafiei, 2010). در بررسی کشت مخلوط خلر وارزن مشخص شد که جذب عناصر غذایی از جمله پتاسیم در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گونه افزایش یافت (Pakgohar & Ganbari, 2013).

کمترین میزان پتاسیم در دانه بزرک (۲/۰۴ درصد) از عدم کاربرد کود و بیشترین مقدار آن (۲/۴۵ درصد) از تیمار کود زیستی حاصل

گردید، امّا اختلاف معنی‌داری با تیمار ورمی‌کمپوست نشان نداد (جدول ۸). کود زیستی پتا بارور با داشتن باکتری‌های موجود از جنس *سودوموناس* از طریق ترشح اسیدهای آلی با آزاد کردن پتاسیم خاک و افزایش جذب این عنصر نقش مهمی در عملکرد گیاه دارد. در تحقیقی دیگر مشخص شد که استفاده از کودهای زیستی حاوی *سودوموناس* تأثیر معنی‌داری در افزایش غلظت پتاسیم دانه در گیاه دارویی رازیانه داشته است (Darzil et al., 2009).

### زیست‌توده میکروبی خاک

اثر الگوهای مختلف کشت، نوع کود مصرفی و اثرات متقابل الگوی کشت و نوع کود بر زیست‌توده میکروبی خاک معنی‌دار بود (جدول ۹).

**جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای مختلف کشت و منابع کودی بر تنفس میکروبی و زیست‌توده میکروبی خاک**
**Table 9- Analysis of variance (mean of squares) for effects of different intercropping patterns and fertilizer sources on microbial respiration and microbial biomass of soil**

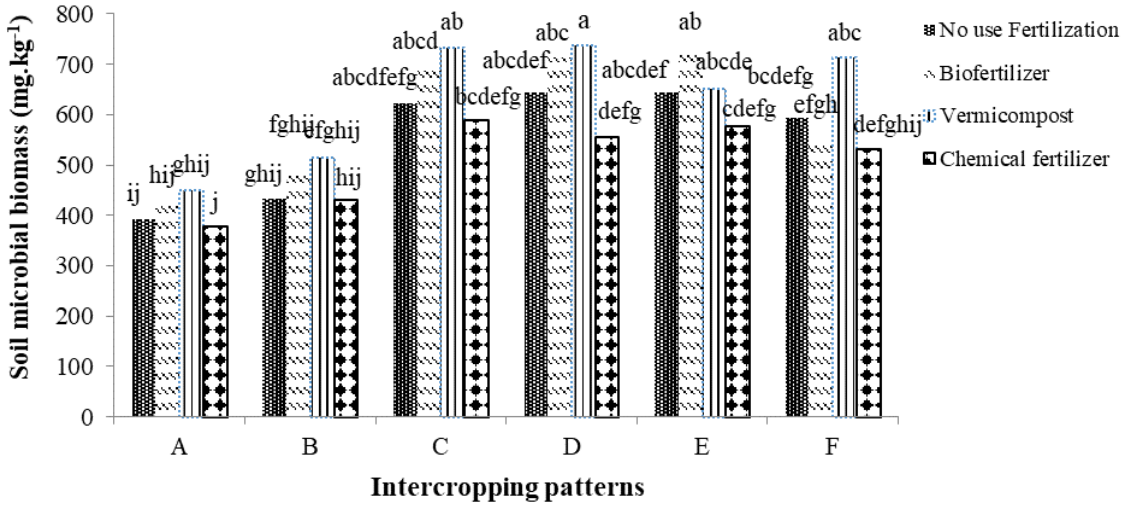
| منابع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی d.f | زیست‌توده میکروبی Microbial biomass | تنفس میکروبی Microbial respiration |
|---|---|---|---|
| تکرار Replication | 2 | 8088.288 $^{n.s}$ | 6.54 $^{n.s}$ |
| الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (I) | 5 | 146923.658 $^{**}$ | 172.94 $^{**}$ |
| کود Fertilizer (F) | 3 | 48922.543 $^{**}$ | 181.17 $^{**}$ |
| I×F | 15 | 13785.691 $^{**}$ | 3.75 $^{n.s}$ |
| خطا Eerror | 46 | 2993.466 | 9.49 |
| ضریب تغییرات CV (%) | - | 9.50 | 6.41 |

** وns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.
** and ns: significant at 1% probability levels and non-significant, respectively.

الگوهای مختلف کشت مخلوط از زیست‌توده میکروبی بالایی نسبت به کشت خالص دو گونه برخوردار بودند؛ به‌طوری‌که در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط تیمار دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک با کاربرد کود ورمی‌کمپوست از بیشترین زیست‌توده میکروبی خاک (۷۳۶/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) برخوردار بود، امّا کمترین زیست‌توده میکروبی خاک (۳۹۳/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) از کشت خالص بزرک در شراط عدم مصرف کود به‌دست آمد (شکل ۱).

به‌طور کلی، حضور توأم گونه‌ها در سیستم‌های کشت مخلوط به‌خصوص در شرایط کاربرد کود ورمی‌کمپوست باعث افزایش زیست‌توده میکروبی خاک نسبت به کشت خالص گردید. قابلیت تحریک‌کنندگی و اثرات تشدیدکنندگی فعالیت میکروب‌های مفید خاک توسط ورمی‌کمپوست را به‌دلیل توانایی آن در حفظ و نگهداری رطوبت خاک و افزایش سهل‌الوصول شدن جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف گزارش کردند (Arguello et al., 2006). محققان دیگری در بررسی فعالیت میکروبی خاک در سیستم‌های کشت مخلوط به این نتیجه رسیدند که افزایش تنوع محصولات در کشت مخلوط منجر به افزایش زیست‌توده میکروبی خاک نسبت به سیستم‌های تک‌کشتی می‌گردد (Tang et al., 2014). همچنین، این محققان دلیل بالا بودن زیست‌توده میکروبی خاک در کشت مخلوط را تنوع بیشتر میکروارگانیسم‌ها و پیچیدگی روابط شکارگری و باکتری‌خواری در بین میکروارگانیسم‌های موجود در خاک بیان نمودند. تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد گیاه، بر جامعه میکروبی ریزوسفر، با تولید ترکیبات آلی غنی از انرژی و کاهش pH خاک تأثیر می‌گذارند. علاوه‌بر نقش تلقیح میکروبی بر میزان کربن زیست‌توده میکروبی، گیاهان نیز ترکیباتی مانند قندها، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها، دی‌اکسید کربن، اسیدهای آلی و آنزیم‌های مختلف را به ریزوسفر ترشح کرده و به‌واسطه ترشحات ریشه‌ای، سبب افزایش زیست‌توده میکروبی می‌شوند. محققان دیگری در کشت مخلوط یولاف و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) دریافتند که زیست‌توده میکروبی خاک در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در شرایط

مصرف کودهای آلی افزایش داشت که دلیل آن را به‌خاطر بالا بودن نیتروژن، کربن و فسفر بالای کودهای آلی و افزایش تنوع در سیستم کشت مخلوط عنوان نمودند (Jannoura et al., 2014).




**شکل ۱-مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای کودی و الگوی کشت مخلوط دو گیاه بزرک و نخود بر زیست‌توده میکروبی خاک**

**Fig. 1- Mean comparison for interaction of fertilizers and intercropping patterns of linssed and chickpea on soil microbial biomass**

A: خالص بزرک، B: خالص نخود، C: کشت مخلوط یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک، D: کشت مخلوط دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک، E: کشت مخلوط چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک، F: کشت مخلوط چهار ردیف بزرک + دو ردیف نخود

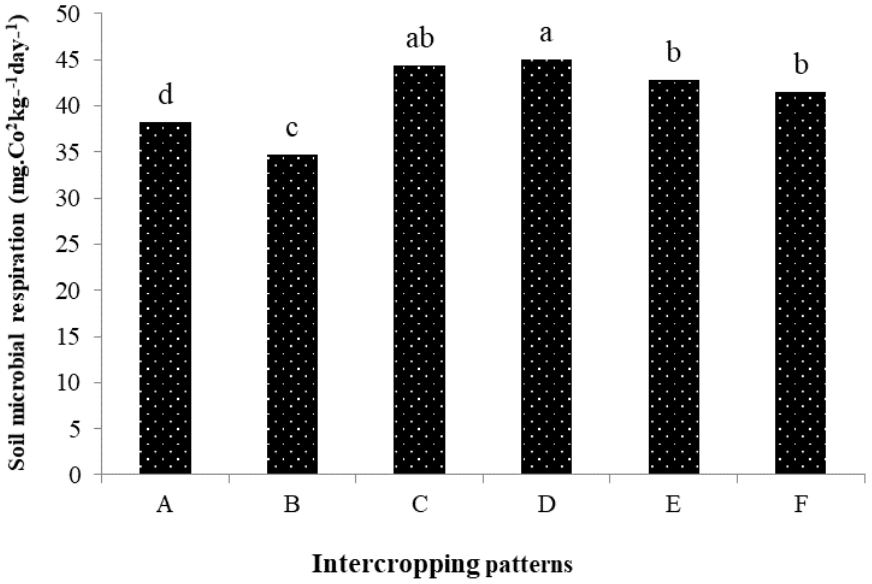
A: pure cropping of chickpea, B: pure cropping of linseed, C: 1 row chickpea+ 1 row linseed, D: seed 2 rows chickpea+ 2 rows linseed, E: 4 rows chickpea+ 2 rows linseed, F: 2 rows chickpea+ 4 rowd linseed

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

**تنفس میکروبی خاک**

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوی‌های مختلف کشت و نوع کود مصرفی بر تنفس میکروبی خاک معنی‌دار بود؛ امّا اثر متقابل الگوی کشت و نوع کود معنی‌دار نگردید (جدول ۹). تنفس میکروبی خاک در الگوهای مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر دو گونه بالاتر بود؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار تنفس میکروبی خاک (۴۵/۰۳ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز) از الگوی کشت مخلوط دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک و کمترین مقدار تنفس میکروبی خاک (۳۴/۶۷ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در کیلوگرم خاک در روز) از کشت خالص بزرک به‌دست آمد (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد که یکی از دلایل افزایش تنفس میکروبی خاک در کشت مخلوط افزایش مواد آلی و فعالیت ریزموجودات خاک و هم زمان بهبود تهویه خاک باشد. در تأیید نتایج این آزمایش، محققان دیگر افزایش تنفس میکروبی خاک در کشت مخلوط را افزایش تنوع گونه‌های زراعی گزارش کردند و بیان نمودند که افزایش تنوع گیاهان زراعی در چند کشتی منجر به افزایش تنفس میکروبی خاک در مقایسه با تک‌کشتی گیاهان می‌گردد (Azizi et al., 2013).




**شکل ۲- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط بزرک و نخود بر تنفس میکروبی خاک**

**Fig. 2- Mean comparisons for the effect of intercropping different patterns of chickpea and linseed on soil microbial respiration**

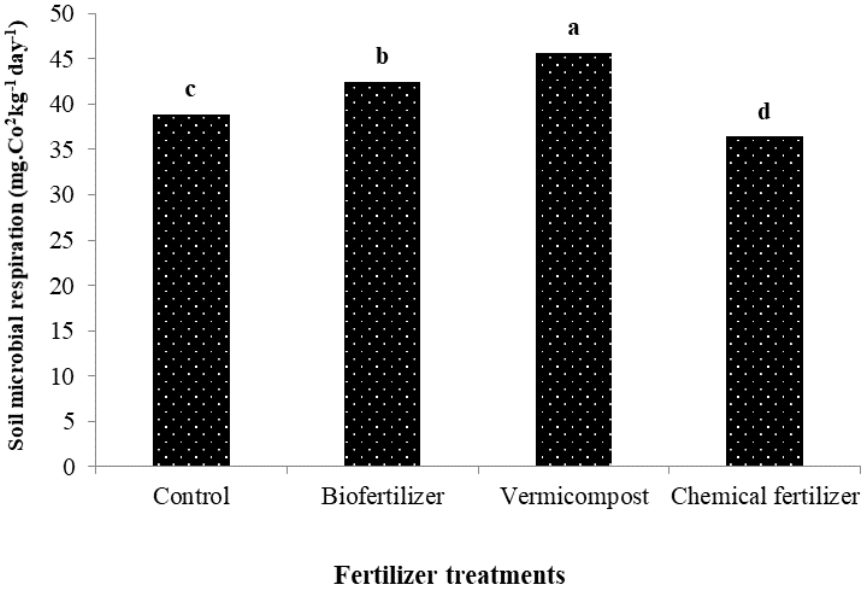
A: خالص بزرک، B: خالص نخود، C: کشت مخلوط یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک، D: کشت مخلوط دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک، E: کشت مخلوط چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک، F: کشت مخلوط چهار ردیف بزرک + دو ردیف نخود

A: pure cropping of chickpea, B: pure cropping of linseed, C: 1 row chickpea+ 1 row linseed, D: seed 2 rows chickpea+ 2 rows linseed, E: 4 rows chickpea+ 2 rows linseed, F: 2 rows chickpea+ 4 rowd linseed

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters in each shape are not significantly different based on Duncan's multiple range test $P \leq 0.05$.

مقایسه میانگین تنفس میکروبی خاک نشان داد که کودهای آلی و زیستی تنفس خاک را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۳). به‌طوری‌که بیشترین مقدار تنفس میکروبی خاک (۴۵/۶۹ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در کیلوگرم خاک در روز) از تیمار ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار تنفس خاک (۳۶/۴۳ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در کیلوگرم خاک در روز) از تیمار کود شیمیایی به‌دست آمد. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش تنفس میکروبی خاک توسط ورمی‌کمپوست به‌علت افزایش مواد آلی، فراهمی عناصر غذایی و ایجاد بستر مناسب برای فعالیت و افزایش میکروارگانیسم‌های خاک می‌باشد که در این شرایط تجزیه مواد آلی خاک بیشتر شده و در نتیجه، انتشار گاز دی‌اکسید کربن را به‌دنبال خواهد داشت. آزاد شدن دی‌اکسید کربن شاخصی از تجزیه مواد آلی و یا فعالیت موجودات خاک‌زی در یک اکوسیستم می‌باشد (Garcia Orenes et al., 2007).کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست از طریق ایجاد تخلخل، تشکیل کمپلس‌های آلی و تأمین عناصر غذایی و آزادسازی تدریجی آن‌ها باعث بهبود فعالیت میکروبی در خاک شده و متعاقب آن با افزایش تجزیه مواد آلی، تنفس میکروبی در خاک را افزایش می‌دهد (Tohidinejad et al., 2011). امّا در اغلب دیم‌زارهای ایران به‌دلیل کمبود آب و پایین بودن ماده آلی خاک، تجزیه و جذب کودهای شیمیایی پایین است. از طرف دیگر، کودهای شیمیایی فاقد مواد آلی هستند. در چنین شرایطی، ترشحات ریشه‌ای به محیط ریزوسفر کاهش یافته و فعالیت انواع جمعیت میکروبی کم شده که خود در کاهش تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده مؤثر می‌باشد. چنین به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر، استفاده از کشت مخلوط و کودهای زیستی و آلی، با بالا بردن جمعیت و فعالیت قارچ‌ها و باکتری‌ها در خاک، باعث افزایش کربن زیست‌توده میکروبی و تنفس شده که نشان‌دهنده کارآیی بالاتر این تیمارها است که می‌تواند به‌دلیل اثرات متقابل مثبت بین این میکروارگانیسم‌ها نیز باشد.




**شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر تنفس میکروبی خاک**

**Fig. 3- Mean comparison for effect of fertilizer treatment on soil microbial respiration**

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters in each shape are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤ 0.05.

## نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از الگوهای مختلف کشت مخلوط توانست اثرات منفی کمبود آب در شرایط دیم را کاهش و فعالیت‌های بیولوژی خاک را افزایش دهد که در جذب عناصر غذایی مؤثر بود. به‌طوری‌که میزان کلروفیل a، b، کاروتنوئید و غلظت عناصر غذایی در هر دو گونه در تمامی الگوهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص‌شان بالاتر بود. تلقیح با باکتری محرک رشد و کاربرد کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست باعث بهبود رشد گیاه و افزایش احتمالی ترشحات ریشه گیاه می‌شود و افزایش این ترشحات به نوبه خود موجب افزایش شاخص‌های زیستی خاک و بهبود حاصلخیزی خاک و در نهایت، ارتقاء وضعیت تغذیه گیاه می‌گردد. با توجه به تأثیر متقابل و مفید گیاه و منابع کودی و جوامع میکروبی ریزوسفری، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط کشت اکولوژیک و پایدار می‌توان با کمک باکتری‌های محرک رشد گیاه و کود آلی ورمی‌کمپوست موجب ارتقاء شاخص‌های زیستی خاک شده و از این طریق باعث جذب عناصر غذایی خاک شده و در نهایت، رشد و عملکرد گیاه را افزایش داد. بنابراین، با توجه به کمبود بارندگی در اغلب دیم‌زارهای مناطق ایران و اثر مثبت کاربرد کود آلی و زیستی در حفظ رطوبت خاک، بهبود کیفیت فیزیکوشیمیایی خاک، فعالیت میکروارگانیزم‌های خاک‌زی و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی می‌توان برای دستیابی به عملکرد مناسب در شرایط دیم از کودهای آلی و زیستی استفاده نمود.

## References

1. Ahmadvand, G., and Hajinia, S., 2016. Ecological aspects study of replacement intercropping patterns of soybean (*Glycine max* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.). Journal of Agroecology 7(4): 485-498. (In Persian with English Summary)
2. Akbari, S.H., Kafi, M., and Rezvan Beidokhti, S., 2017. The effect of drought stress and plant density on

biochemical and physiological characteristics of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. Iranian Journal of Field Crops Research 14(4): 665-674. (In Persian with English Summary)

3. Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2018. Assessing effect of manure and chemical fertilizer on net primary production, soil respiration and carbon budget in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) ecosystem under Mashhad climatic condition. Journal of Agroecology 4(9): 1070-1083. (In Persian with English Summary)
4. Amyanpoori, S., Ovassi, M., and Fathinejad, E., 2015. Effect of vermicompost and triple superphosphate on yield of corn (*Zea mays* L.). Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences 3(4): 494-499.
5. Anderson, T.H., and Domsch, K.H., 1993. The metabolic quotient for $CO_2$ ($qCO_2$) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biology and Biochemistry 25: 393-395.
6. Ansari, M.F., Tipre, D.R., and Dave, S.R., 2015. Efficiency evaluation of commercial liquid biofertilizers for growth of chickpea (*Cicer aeritinum* L.) in pot and field study. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 4(1): 17-24.
7. Arancon, N., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J.D., 2004. Influences of vermicompost on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology 93: 145-53.
8. Arguello, J.A., Ledesma, A., Nunez, S.B., Rodriguez, C.H., and Goldfarb, M.D.D., 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield and quality of Rosado paraguayo garlic bulbs. Horticultural Sciences 41(3): 589-592.
9. Asgharipour, M., and Rafiei, M., 2010. Intercropping of isabgol (*Plantago ovate* L.) and lentil as influenced by drought stress. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 9(1): 62-69.
10. Azizi, G., Koocheki, A., Nassiri mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P., 2013. Effect of plant diversity and nutrition source on soil microbial respiration and density of weeds in different planting patterns. 5th Congress of Weed Science, Tehran University, Iran. (In Persian)
11. Bargaz, A., Noyce, G., Fulthorpe, R., Carlsson, G., Furze, J., Jensen, E., Dhiba, D., Maney E.Isaac, M., 2017. Species interactions enhance root allocation, microbial diversity and p acquisition intercropped wheat and soybean under p deficiency. Applied Soil Ecology 120: 179-188.
12. Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, L.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.
13. Brito, I., Goss, M.J., de Carvalho, M., van Tuinen, D., and Antunes, P.M., 2008. Agronomic management of indigenous mycorrhizas. p. 375-402. In A. Varma (Ed.). Mycorrhiza. Springer-Verlag.
14. Campitelli, P., and Ceppi, S., 2008. Effects of composting technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids. Geoderma 14: 325-33.
15. Darzi, M.T., Ghalavand, A., and Rejali, F., 2009. The effects of biofertilizers application on N, P, K assimilation and seed yield in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 25(1): 1-19. (In Persian with English Summary)
16. Eskandari, H., and Ghanbari, A. 2011. Evaluation of competition and corn (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vignu sinesis* L.) intercropping for nutrient consumption. Agricultural Science and Sustainable Production 21(2): 67- 75. (In Persian with English Summary)
17. Eskandari, H., and Ghanbari, A., 2011. The evaluation of competing and complementary components of mixed cropping of maize and cowpea. Journal of Sustainable Agricultural production 21 (2): 68-75. (In Persian with English Summary)
18. Fallaha,S., Rostaeia, M., Lorigooinib, Z., and Abbasi Surkia, A., 2018. Chemical compositions of essential oil and antioxidant activity of dragonhead (*Dracocephalum moldavica*) in sole crop and dragonhead-soybean (*Glycine max*) intercropping system under organic manure and chemical fertilizers. Industrial Crops and Products 115: 158–165
19. Garcia Orenes, F., Roldan, A., guerrero, C., Mataix Solera, J., Navarro Pedreno, J., Gomez, I., and MataixBeneyto, J., 2007. Effect of irrigation on the survival of total coliforms in three semiarid soils after amendment withsewage sludge. Waste Management 27(12): 1815-1819.
20. Ghanbari, S., Moradi Telavat, M.R., and Siadat, S.A., 2017. Effect of Manure application on forage yield and some nutrients consumption in barley and fenugreek intercropped system. Iranian Journal of Field Crops Research 15(3): 603-614. (In Persian with English Summary)

21. Ghorbanli, M., BakhshiKhaniki, G.H., and Zakeri, A., 2011. Effect of drought stress on anti oxidan compound on linseed (*Linum usitatissimum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(4): 646-658. (In Persian with English Summary)
22. Ghosh, P.K., Manna, M., Bandyopadhyay, K., Ajay, A., Tripathi, A., Wanjari, R.H., Hati, K.M., Misra, A.K., Acharya, C.L., and Subba Rao, A., 2006. Interspecific interaction and nutrient use in (soybean/sorghum )intercropping system. Agronomy Journal 98: 1097-1108.
23. Ghost, B.C., and Bhat, R., 1998. Environmental hazards of nitrogen loading in wetland rice fields. Environmental Pollution 102: 123-126.
24. Gnaana, S., and Paliwal, K., 2011. Drought induced changes in growth, leaf gas exchange and biomassproduction in *Albizia lebbeck* and *Cassia siamea* seedlings. Journal Environmental Biology 32: 173-178.
25. Habyarimana, E., Laureti, D., De Ninno, M., and Lorenenzoni, C., 2004. Performances of biomass sorghum under different water regimes in Mediterranean region. Industrial Crops and Products 20: 23-28
26. Haileselasie, T.H., and Teferii, G., 2012. The Effect of salinity stress on germination of chickpea (*Cicer arietinum* L.) land race of tigray. Current Research Journal of Biological Sciences 4: 578-583.
27. Hamzei, J., and Babaei, M., 2017. Study of quality and quantity of yield and land equivalent ratio of sunflower in intercropping series with bean. Journal of Agroecology 8(4): 490-504. (In Persian with English Summary)
28. Inal, A., Gunes, A., Zhang, F., and Cakmak, I., 2007. Peanut/ maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. Plant Physiology and Biochemistry 20: 1-7.
29. Irrigoyen, J.H., Emerich, D.W., and Sanchez Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plant. Physiological Pantarum 84: 55-60.
30. Izadpanah, M., and Calagari, M., 2014. Effects of drought on osmotic adjustment, antioxidant enzymes and pigments in wild *Achillea tinctoria* populations. Ethno-Pharmaceutical Products 1(2): 43-54.
31. Jaberi, M., Baradaran, R., Mousavi, G., and Aghhavani Shajari, M., 2018. Effect of biofertilizers and irrigation management on physiological indices of fenugreek (*Trigonella foenum- graecum* L.). Journal of Plant Ecophysiology 9(32): 142-151. (In Persian with English Summary)
32. Jafar-dokht, R., Mosavi Nik, S. M., Mehraban, A., and Basiri, M., 2015. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological characteristics and nutrient uptake in mung bean. Journal of Crop Production 8(1): 121-141. (In Persian with English Summary)
33. Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M.B., and Ehyayi, H.R., 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. Industrial Crops and Products 43: 606-611.
34. Jannoura, R., Joergensena, R.G., and Bruns, C., 2014. Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and soil microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oats under organic farming conditions. European Journal of Agronomy 52: 259–270.
35. Jenkinson, D.S., and Powelson, D.S., 1976. The effect of biocidal treatments of metabolism in soil-V: A method for measuring soil biomass. Soil Biology and Biochemistry 8: 209-213.
36. Karimi, S., Abbaspour, H., Sinaki, J.M., and Makarian, H., 2012. Effects of water deficit and chitosan spraying on osmotic adjustment and soluble protein of cultivars castor bean (*Ricinus communis* L.). Journal of Stress Physiology and Biochemistry 8: 160–169.
37. Kirkham, M.B., 2016. Elevated Carbon Dioxide: Impacts on Soil and Plant Water Relations. Boca Raton, CRC Press. 80 p.
38. Kokalis-Buerelle, N., Kloepper, J.W., and Reddy, M.S., 2006. Plant growth-promoting rhizobacteria as transplant amendments and their affects on indigenous rhizosphere microorganisms. Applied Soil Ecology 31:91-100.
39. Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M., Borumand-Rezazadeh, Z., and Khorramdel, S., 2010. Effect of delayed, intercropping wheat and corn on nitrogen use and utility efficiency. 1th Iranian Conference of Sustainable Agricultural and Healthy Crop Production. Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran. (In Persian with English Summary)
40. Liu, X., Ren, G., and Shi,Y., 2011. The effect of organic manure and chemical fertilizer on growth and developmentof *Stevia rebaudiana* Bertoni. Energy Procedia 5: 1200-1204.
41. Lokhande, V.H., Nikam, T.D., and Penna, S., 2010. Biochemical, physiological and growth changes in response to salinity in callus cultures of *Sesuvium portulacastrum* L.. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 102: 17-25.

42. Machado, S., 2009. Does intercropping have a role in modern agriculture? Journal of Soil Water Conservation 64: 55-57.
43. Madani, H., Naderi Brojerdi, G.H., Aghajani, H., and Pazaki, A.R., 2010. Evaluating of chemical phosphate fertilizers and phosphor solubilizing bacteria on seed yield, biological yield and tissues relative phosphorus content in winter rapseed (*Brassica napus* L.). Journal of Agronomy and Plant Breeding 6(4): 95-104. (In Persian with English Summary)
44. Manivannan, P., Abdul Jaleel, C., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A., and Panneerselvam, R., 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *(Helianthus annuus* L.) as induced by drought stress. Colloids and Surfaces 59: 141-149.
45. Mehrvarz, S., and Chaichi, M.R., 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus fertilizer on forage and grain quality of barley (*Hordeum vulgare* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science 3(6): 855-860.
46. Mobasser. H.R., Vazirimehr, M.R., and Rigi, K., 2014. Effect of intercropping on resources use, weed management and forage quality. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences 4(2): 706-713.
47. Najafi, N., and Mostafae, M., 2015. Improvement of corn plant nutrition by farmyard manure application and intercropping with bean and bitter vetch in a calcareos soil. Journal of Soil Management and Sustainable Production 5(1): 1- 22. (In Persian with English Summary)
48. Naseri, Z., Abbassi, F., and Mahmoodzadeh, H., 2011. Effects of different water deficit levels and $GA_3$ on the accumulation of proline and soluble and insoluble sugars in leaves of a new cultivar of barley (*Hordeum vulgar* L.). Journal of Plant Science Researches 6(2): 1-10. (In Persian with English Summary)
49. Nemati Darbandi, M., Azizi Mohammadi, S., and Karimpour, S., 2014. Foliar application of different concentration of vermiwash effects on morphological traits, yield, and essence of lemon balm drug (*Melisa officinalis* L.). Journal of Horticultural Science (Agricultural Science and Technology) 27(4):411-417. (In Persian with English Summary)
50. Nnadi, L.A., and Haque, I., 1986. Forage legume cereal systems: improvement of soil fertility and agricultural production with special reference to sub-Saharan Africa. In I. Haque, S. Jutzi and P.J.H. Neate (Eds.). Potential of Forage Legumes in Farming Systems of Sub-Saharan Africa. Addis Ababa, Ethiopia. p. 330-362.
51. Nurbakhsh, F., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2016. Evaluation of Species diversity effect on some of agroecosystem services in the intercropping of corn, soybean and marshmallow 2- yield, land equivalent ratio, soil microbial respiration and biomass, carbon sequestration potential. Journal of Crop Production 9(2): 49-68 . (In Persian with English Summary)
52. Nyasasi, B.T., and Kisetu, E., 2014. Determination of land productivity under maize-cowpea intercropping system in agro-ecological zone of mount Uluguru in Morogoro, Tanzania. Global Journal of Agricultural Sciences 2(2): 147-157.
53. Oliviera-Neto, C.F., Silva-Lobato, A.K., Goncalves-Vidigal, M.C., Costa, R.C.L., Santos-Filho, B.G., Alves, G.A.R., Silva-Maia, W.J.M., Cruz, F.J.R., Neres, H.K.B., and Santos- Lopes, M.J., 2009. Carbon compounds and chlorophyllcontents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. Science and Technology 7: 588-593.
54. Pakgohar, N., and Ghanbari, A., 2013. Evaluation of competition and nutrient consumption of Nutrifid millet and green pea in intercropping. Journal of Crops Improvement 15(4): 137-150. (In Persian with English Summary)
55. 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.
56. Raeisi, N., Vakili, M.A., Sarhadi, J., and TorkiNejad, F., 2015. The effect of manure, iron and zinc on yield and cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 31(1): 138-139. (In Persian with English Summary)
57. Reinhard, W., Neugschwandtner, R., and Kaul, P.H., 2016. Concentrations and uptake of macronutrients by oat and pea in intercrops in response to N fertilization and sowing ratio. Archives of Agronomy and Soil Science 62(9): 1236-1249.
58. Rezaei-Chiyaneh, E., Khorramdel, S., Movludi, A., and Rahimi, A., 2017. Effects of nanchelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristic of safflower (*Carthamus*

*tinctorius* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 15(1): 168-184. (In Persian with English Summary)

59. Rezaei-Chiyaneh, E., Seyyedi, S.M., Ebrahimian, E., Siavash Moghaddama., S., and Damalasd., C.A., 2018. Exogenous application of gamma-aminobutyric acid (GABA) alleviates the effect of water deficit stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). Industrial Crops and Products 112: 741–748.
60. Rezaei-Chiyaneh, E., Zehtab Salmasi, S., Ghasemi Golazani, K., and Del Azar, A., 2013. Physiological reaction of fennel (*Foeniculum vulgar*) in water restriction. Journal of Agroecology 4(4): 347-355. (In Persian with English Summary)
61. Rostaei, M., and Fallah, S., 2016. Assessment of canopy characteristics and essential oil yield of fenugreek and black cumin in intercropping under application of organic and chemical fertilizer. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 25(4): 1-23. (In Persian with English Summary)
62. Sadeghian Dehkordi, S.A., Tadayyon, A., Tadayon, M.R., and Saffar, A., 2015. Effect of drought stress and bio-fertilizers and chemical fertilizers on some morphological and physiological characteristis of linseed (*Linum usitatissimum* L.). Arid Biome Scientific and Research Journal 5(2):83-92. (In Persian with English Summary)
63. Sallaku, G., Babaj, I., Kaciu, S., and Balliu, A., 2009. The influence of vermicompost on plant growth characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under saline conditions. Journal of Food, Agriculture and Environment 7: 869-872.
64. Seyed Sharifi, R., 2016. Application of biofertilizers and zinc increases yield, nodulation and unsaturated fatty acids of soybean. Zemdirbyste-Agriculture 103(3): 251-258.
65. Sheikhpour, S., Sirousmehr, A.R., and Fakheri, B.R., 2014. Evaluation of chlorophyll content, nutrients and yield of borage (*Borago officinalis* L.) in responses to chemical and biological fertilizers. Advanced in Crop Science 2: 131-140.
66. Slama, I., Ghnaya, T., Hessini, k., Messedi, D., Savoure, A., and Abdelly, C., 2007. Compretivestady of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum*. Environmental and Expermental Botany 61: 10-17.
67. Stefan, M., Munteanu, N., Stoleru, V., Mihasan, M., and Hritcu, L., 2013. Seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria enhances photosynthesis and yield of runner bea (*Phaseolus coccineus* L.). Scientia Horticulturae 151: 22-29.
68. Tang, X., Bernard, L., Brauman, A., Daufresne, T., Deleporte, P., Desclaux, D., Souche, G., Placella, S.A., and Hinsinger, P., 2014. Increase in microbial biomass and phosphorus availability in the rhizosphere of intercropped cereal and legumes under field conditions. Soil Biology and Biochemistry 75: 86-93.
69. Todaka, D., Shinozaki, K., and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2015. Recent advances in the dissection of drought-stress regulatory networks and strategies for development of drought-tolerant transgenic rice plants. Frontiers in Plant Science 6: 2-20.
70. Tohidinejad, E., Madani, H., and Jenabi, M., 2011. Organic fertilizers and vermicompost. Shahid Bahonar University of Kerman Publication. p. 150. (In Persian)
71. Veisipoor, A., Majidi, M.M., and Mirlohi, A., 2012. Traits relationship in sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) under normal and water stress conditions. Iranian Journal of Field Crop Science 42(4): 745-756. (In Persian with English Summary)
72. Wang, B., Mei, C., and Seiler, J.R., 2015 a. Early growth promotion and leaf level physiology changes in Burkholderia phytofirmans strain PsJN inoculated switchgrass. Plant Physiology and Biochemistry 86: 16-23.
73. Wang, Z., Bao, X., Li, X., Jin, J., Zhao, J., Sun, J., Christie, P., and Li, L., 2015 b. Intercropping maintains soil fertility in terms of chemical properties and enzyme activities on a timescale of one decade. Plant and Soil 391: 265–282.
74. Xoconostle-Cazares, B., Ramirez-Ortega, F.A, Flores-Elenes, L., and Ruiz-Medrano, R., 2010. Drought tolerance in crop plants. American Journal of Plant Physiology 5(5): 241-256.
75. Yamuna, B.G., Yogananda, S.B., Thmmegowda, M.N., and Lalitha, B.S., 2017. Effect of maize- based intercropping system on nutrient uptake and yield of crops in southern dry zone of Karnataka. International Journal of Farm Sciences 7(1): 142-164.
76. Zare Mehrjerdi, M., Bagheri, A., Bahrami, A., Nabati, J., and Masoumi, A., 2016. Effect of drought stress on osmotic adjustment, proline and soluble sugars in root, shoot, and relationship with drought tolerance in 12

genotypes of Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Field Crop Science 47(3): 451-462. (In Persian with English Summary)

77. Zhang, Y., Chen, F., Li, L., Chen, Y., Liu, B., Zhou, Y., Yuan, L., Zhang, F., and MI, G., 2012. The role of maize root size in phosphorus uptake and productivity of maize/faba bean and maize/wheat intercropping systems. Science China Life Sciences 11: 993-1001.
78. Zuo, Y., and Zhang, F., 2011. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. Plant and Soil 339: 83-95.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.2, Summer 2020, p. 241-264

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۲۶۴-۲۴۱

# Evaluation of Ecophysiological Characteristics of Row Intercropped Linseed (*Linum usitatissimum* L.) with Chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected as Fertilizer Sources under Dryland Conditions

**S. Asadi[1], E. Rezaei-Chiyaneh[2]*and R. Amirnia[3]**
Submitted: 10-09-2018
Accepted: 14-11-2018

Asadi, S., Rezaei-chiyaneh, E., and Amirnia. R., 2020. Evaluation of ecophysiological characteristics of row intercropped linseed (*Linum usitatissimum* L.) with chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected as fertilizer sources under dryland conditions. Journal of Agroecology 12(2):241-264.

## Introduction

The use of organic fertilizers such as vermicompost is a major component of organic farming practices. Vermicompost can provide the essential plant nutrients and enhance crop productivity, but also leave a beneficial residual effect on succeeding crops. Intercropping is the cultivation of two or more crops in such a way that they interact agronomically. Intercropping legumes with non-legumes is particularly important in organic farming because it enhances yield stability, concentrations and uptake of nutrients and on the other hand reduces disease and weed pressure. There is no information available about the effects of fertilizer source in intercropping system on the ecophysiological characteristics of linseed and chickpea in dry conditions. Therefore, the purpose of the present study was to contribute to a better understanding of the eco-physiology responses of linseed and chickpea plants to fertilizer source and cropping pattern.

## Materials and Methods

The field experiments were conducted at Agricultural Experimental in a farm located in Naqadeh, West Azerbaijan, Iran (longitude 45˚24' E, latitude 38˚52' N, altitude 1318 m) in 2017. The first factor included six cropping patterns consist of 1 row chickpea + 1 row lineseed, 2 rows chickpea + 2 rows linseed, 4 rows chickpea + 2 rows linseed, 2 rows chickpea + 4 rows linseed and monocropping of each crop and the second factor was included four levels control (no use fertilizer), 100% chemical fertilizers (NPK), biofertilizers (Azoto Barvar -1+ PhosphateBarvar -2+ PotaBarvar-2+ Sulfur Barvar -1) and vermicompost (10 $t.ha^{1-}$). In order to measure different elements in seed of linseed and chickpea, dry ash method was used. Concentration of potassium (K) was analyzed by a flame photometer. Nitrogen measurements by Kjeldahl and phosphorus were calculated by yellow method, in which vanadate–molybdate is used as an indicator. Phosphorus (P) content was determined at 430 nm using a spectrophotometer. To measure the microbial respiration of the soil, the Anderson and Dumasuch methods were used and microbial biomass carbon was determined by fumigation- extraction method.

## Results and Discussion

**Chickpea:** According to the results of the experiment, intercropping and fertilizer source had a significant effect on improving nutrients uptake of linseed and chickpea plants. The highest amounts of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids were obtained from 1 row chickpea + 1 row lineseed and four row chickpea + two rows of lineseed, respectively and the lowest amount was related to sole cropping. The results of fertilizer treatments showed that the highest amounts of chlorophyll a and chlorophyll b and carotenoid were obtained from vermicompost treatment and the lowest amount of these photosynthetic pigments was obtained in non-fertilized conditions. In addition, the results showed that nutrients uptake were affected by cropping pattern and fertilizer treatments. Among the fertilizer treatments, the highest percentage of nitrogen and phosphorus in chickpea were achieved from vermicompost fertilizer and these values were obtained from control treatment.

1, 2 and 3- Graduate Student of Agronomy, Assistant Professor and Associated Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i2.75309

**Linseed:** Mean comparison of data showed that photosynthetic pigments were affected by different fertilizer treatments. So that the highest amounts of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids were obtained from vermicompost treatment and the least amount of these photosynthetic pigments were achieved from control treatment. Among the applied fertilizer treatments, the highest amount of phosphorus and potassium were obtained from biofertilizer treatment and the lowest values were recorded from control (non-usage of fertilizer. Soil microbial respiration and microbial soil biomass were only affected by cropping patterns and fertilizer source. The highest Soil microbial respiration and soil microbial biomass were recorded in two rows of chickpea + two rows of linseed with vermicompost application.

## Conclusion

The use of fertilizer source plays an effective role in increasing the uptake nutrients of chickpea and linseed, which is probably due to the supply of water and improved activity of beneficial microorganisms in the soil. Soil respiration and microbial biomass increased under the influence of fertilizer treatments (both biofertilizer and organic fertilizer), however the activity of soil microorganisms was the main reason for the increased soil respiration under application of vermicompost fertilizer.

**Keywords:** Biofertilizer, Nutrients, Proline, Soil microbial respiration, Soil microbial biomass