

اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک،
بیوشیمیایی، عملکرد دانه و روغن گیاهان دارویی خارمریم (*Silybum marianum*) و
شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) در شرایط کشت مخلوط

حسین محمودی^۱، علی عباسی سورکی^{۱*}، سینا فلاح^۱، امین صالحی^۲

^۱ گروه زراعت دانشگاه شهرکرد، ^۲ گروه زراعت دانشگاه یاسوج

چکیده

به منظور ارزیابی اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات بر عملکرد دانه و ترکیبات بیوشیمیایی خارمریم و شنبلیله در شرایط کشت مخلوط، آزمایشی در سال ۱۳۹۹ در استان کهگیلویه و بویراحمد، شهر یاسوج به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اول در پنج سطح شامل تیمار باکتری حل‌کننده فسفات، باکتری حل‌کننده سیلیکات، باکتری حل‌کننده فسفات + حل‌کننده سیلیکات و کاربرد همزمان کود فسفات و سیلیکات شیمیایی همراه با شاهد (بدون کود) بر الگوهای مختلف کشت به عنوان عامل دوم شامل کشت خالص خارمریم، کشت خالص شنبلیله، مخلوط خارمریم و شنبلیله با آرایش (۱:۱) و (۲:۲) در چهار سطح مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات باعث افزایش کلروفیل a شنبلیله (۰.۴۵٪) و خارمریم (۰.۲۱٪)، کلروفیل کل شنبلیله (۰.۲۰٪) و خارمریم (۰.۲۲٪) و کاروتنوئید شنبلیله (۰.۶۰٪) گردید و الگوی مخلوط (۲:۲) باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل b شنبلیله (۰.۱۶٪) شد. بیشترین میزان فنل خارمریم از کشت مخلوط (۲:۲) و کاربرد همزمان باکتری‌ها و بیشترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی در شنبلیله از کشت مخلوط (۱:۱) و کاربرد همزمان باکتری‌ها بدست آمد. کاربرد باکتری‌های حل‌کننده بصورت جدا و همزمان، فنل خارمریم و خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره شنبلیله را در تمام الگوهای کشت افزایش داد. بیشترین درصد روغن دانه در هر دو گیاه از الگوی مخلوط (۲:۲) و کاربرد همزمان باکتری‌ها و بیشترین عملکرد دانه خارمریم از الگوی مخلوط (۲:۲) و کود شیمیایی بدست آمد. بطور کلی نتیجه‌گیری می‌شود احتمالاً گونه‌های میکروبی، از طریق افزایش توان فتوسنتزی سبب بهبود عملکرد دانه و درصد روغن دانه می‌شوند. بعلاوه شرایط بهتر این دو گیاه در کشت مخلوط به همراه بهره‌گیری از فراهمی برخی عناصر در اثر عمل گونه‌های میکروبی سبب افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه و بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی، میزان فنل و فلاونوئید روغن دو گیاه می‌گردد.

کلمات کلیدی: خاصیت آنتی‌اکسیدانی، کشت مخلوط، کود زیستی

*: نویسنده مسئول، نشانی پست الکترونیک: aliabbasis.1359@gmail.com

مقدمه

در حال حاضر تولید مقدار کافی محصولات پاک یکی از چالش‌های جهانی پیش روی بشر است (Maleva et al., 2017). استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی در کشاورزی منجر به تخریب خاک، آلودگی آب، خاک و هوا گردیده است (Chen و همکاران، ۲۰۲۲). از این رو دستیابی به امنیت غذایی جهانی از طریق طراحی سیستم‌های پیشرفته کشاورزی که بتوانند بهره‌وری تولید را با کاربرد حداقل نهاده به حداکثر برسانند، ضروری است. بنابراین برای حفظ یا افزایش عملکرد محصول، کشاورزان می‌توانند از روش‌های جدید پایدار مانند میکروارگانیسم‌های مفید گیاهی بهره‌گیرند (Parvar et al., 2023). کودهای زیستی، موادی جامد، نیمه جامد یا مایع حاوی ریزجانداران زنده یا فرآورده‌های آن‌ها هستند که در ارتباط با تأمین زیستی نیتروژن یا فراهم کردن فسفر، گوگرد و سایر عناصر غذایی به ویژه ریزمغذی‌ها در خاک فعالیت می‌کنند (مستاجران و ضوئی، ۱۳۷۸). در حال حاضر کودهای زیستی به عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی، جهت افزایش حاصلخیزی خاک در کشاورزی پایدار مطرح می‌باشند (Wu et al., 2005).

باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات (Silicate Solubilizing Bacteria) کودهای زیستی متشکل از سویه‌های انتخاب شده از باکتری‌های جنس باسیلوس هستند که می‌توانند در کشاورزی ارگانیک با کودهای زیستی مانند باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاس، روی، سولفور، آهن، منگنز و قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بکار روند (Kumawat et al., 2019). این کودهای زیستی برای استفاده در کشت گیاهان دارویی و کنترل زیستی آفات، مورد استفاده قرار گرفته و اجزای موثر برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات و عناصر غذایی (IPM/INM) هستند، بنابراین منتهی به کاهش معنی‌دار استفاده از مواد شیمیایی می‌شوند که نه تنها بقایایی در خاک بر جا نمی‌گذارند بلکه باعث مقاومت و مشکلات ناشی از آن نیز نمی‌شوند (Kumawat et al., 2019). در بحران تغییرات اقلیمی پیش روی کره زمین، نقش سیلیسیم به عنوان بهبود دهنده توان فتوسنتزی به سبب نقش در فتوستتزی گیاه و همچنین اثر بر هر دو نوع تنش زیستی و غیرزیستی مانند پاتوژن‌ها، علف‌های هرز، دمای شدید، کمبود آب، شوری بالا و تنش مواد غذایی برای تولید عملکرد پایدار مورد توجه است (Kumawat et al., 2019). باکتری‌های حل‌کننده سیلیسیم نه تنها می‌توانند در حلالیت فرم‌های غیرقابل حل سیلیکون نقش داشته باشند بلکه حلالیت فسفر و پتاسیم را نیز افزایش داده و در نتیجه موجب افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (Maleva et al., 2017). طبق مشاهدات Vasanthi و همکاران (۲۰۱۴) از آنجایی که عنصر سیلیکون از طریق ایجاد استحکام در بافت‌های گیاه، شادابی ناشی از کاربرد نیتروژن را کاهش می‌دهد و رشد محصول و عملکرد را افزایش می‌دهد، بنابراین استفاده از کودهای معدنی، خاکستر و بقایای حاوی سیلیکون افزایش یافته است. در این حالت حلالیت سیلیکات برای تأمین نیاز گیاه توسط باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات انجام می‌شود.

میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات نیز به عنوان عاملی کلیدی برای پویایی فسفر در خاک‌ها در حال ظهور هستند و به عنوان یک رویکرد بالقوه مقرون به صرفه، پایدار و بی‌خطر زیستی برای غلبه بر محدودیت‌های فسفر خاک در نظر گرفته

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

می‌شوند (Eida et al., 2017). تبدیل فرم‌های غیرقابل حل فسفر به فرم‌های قابل دسترس برای گیاهان مثل اورتوفسفات یک ویژگی مهم باکتری‌های حل‌کننده فسفات در افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی است (Hariprasad and Niranjana, 2009). در میان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، ریزوباکتری‌ها برای تبدیل فسفات آلی و غیرآلی از فرم غیرقابل حل به فرم قابل حل دو مزیت دارند: در کنار حلالیت فسفات، آن‌ها می‌توانند دیگر عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن را برای گیاه فراهم کنند و همچنین قادرند از طریق هم‌افزایی با دیگر میکروارگانیسم‌ها باعث بهبود رشد بقولات شوند (Zaidi and Khan, 2007). افزایش ۱۵-۱۲ درصدی عملکرد و جایگزینی ۲۸-۲۵ درصد کودهای فسفاته در غلات، حبوبات، سیب‌زمینی و دیگر گیاهان زراعی با اضافه کردن سنگ فسفات و تلقیح با میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات قبلاً به اثبات رسیده است (Arun, 2007).

کشت مخلوط یکی دیگر از رویکردهای پایدار است که به سبب افزایش تولید محصول، ثبات محصول و کارایی استفاده از منابع، وابستگی کمتر به مواد شیمیایی جهت تولید و کنترل آفات در مقایسه با کشت‌های خالص در تولید پایدار گیاهان، مورد توجه می‌باشد (سلوکی و همکاران، ۱۳۹۷). بسیاری از پژوهشگران، برتری کشت مخلوط را بر کشت خالص گزارش کرده‌اند (Awal et al., 2006, Elhaisoufi et al., 2020, Rezaei-Chiyaneh et al., 2021, Zimdahl et al., 2007).

از سوی دیگر با توجه به اهمیت و نقش گیاهان دارویی در صنایع مختلف، نکته حائز اهمیت در تولید و پرورش آن‌ها افزایش تولید زیست‌توده آن‌ها بدون کاربرد نهاده‌های مضر شیمیایی می‌باشد. از آنجایی که در هر اکوسیستمی جریان انرژی در میان اجزاء آن، مهم‌ترین فرآیندی است که در نهایت، پویایی مواد غذایی، کارایی استفاده از انرژی و میزان تولید سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد، شناسایی و مطالعه عوامل تأثیرگذار محیطی و عوامل زراعی خصوصاً اثر سیستم‌های تغذیه بر کمیت و کیفیت متابولیت‌های ثانویه بسیار حائز اهمیت است (Halcon, 1999).

خارمریم با نام علمی *Silybum marianum* متعلق به تیره کاسنی (Asteraceae) است. گیاهی یک‌ساله، علفی، بدون کرک و خاردار، بومی نواحی مدیترانه‌ای شمال اروپا، شمال آفریقا و خاورمیانه است. این گیاه مقاوم به تنش‌های محیطی است (Karkanis et al., 2011; Afshar et al., 2015) و در جلگه‌های هموار با آب و هوای گرم و در خاک‌های سبک شنی می‌روید (بیوکی و عبادی، ۱۳۹۶). سیلی‌مارین ماده اصلی و مؤثره گیاه خارمریم در همه بخش‌های گیاه یافت می‌شود، اما در دانه تجمع بیشتری دارد (Ahmad et al., 2014). هم‌اکنون اداره دارو و غذای آلمان این گیاه دارویی را جهت اختلالات گوارشی، مسمومیت و سیروز کبدی و به عنوان یک مکمل دارویی در درمان التهاب کبدی پیشنهاد نموده است. این گیاه دارای اثرات مختلفی همچون درمان بیماری‌های کبد، کیسه صفرا، اختلالات پوستی، درمان ورم، دفع رطوبت و بلغم لزج، تقویت هضم معدی، گرم کردن کلیه‌ها و تقویت توان جنسی، افزایش تعریق و رفع بوی بد بدن می‌باشد (تویسرکانی و همکاران، ۱۳۹۸).

گیاه شنبلیله (Fenugreek) با نام علمی *Trigonella foenum-graecum* گیاهی یک‌ساله و علفی از خانواده حبوبات (Fabaceae) است (Altuntas et al., 2005). از نظر شرایط آب و هوایی شنبلیله می‌تواند طیف وسیع دمایی از آب و هوای سرد استپی و مرطوب تا گرمسیری خیلی خشک و دمای متوسط ۷/۸ تا ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد را تحمل کند. نکته جالب توجه در مورد شنبلیله طیف وسیع اثرات درمانی آن می‌باشد به طوری که اثرات ضد درد، ضد آترواسکلروز، ضد التهاب،

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

ضد نفخ، ضد اسپاسم، ضد سرطان، پایین آورنده قند خون، افزایش دهنده میل جنسی، قابض، مقوی قلب، صفرا آور، ملین، خلط آور، کاهش دهنده کلسترول خون، کاهش دهنده چربی خون، کاهش دهنده پرفشاری خون، کاهش دهنده تری گلیسرید خون، شیرافزایی، مسهل، اکسی توسیک، مقوی رحم و ضدکرم از این گیاه گزارش شده است (حسن زاده و همکاران، ۱۳۸۹).

کشت مخلوط دو گیاه خارمریم و شنبلیله به سبب تفاوت‌های ساختاری و عملکردی زیادی که دارند می‌تواند ترکیب مناسبی در جهت تولید پایدار باشد. سیستم ریشه‌ای عمیق خارمریم در مقابل ساختار ریشه‌ای انگشت مانند حجیم شنبلیله (Mehrafarin *et al.*, 2011) ارتفاع بلند خارمریم (بین ۱ تا ۳ متر) (بیوکی و عبادی، ۱۳۹۶) نسبت به ارتفاع کم شنبلیله (۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) (Ahmad *et al.*, 2015) و ساختار خشبی و خاردار خارمریم (بیوکی و عبادی، ۱۳۹۶) در مقابل ساختار نرم و علفی شنبلیله (Ahmad *et al.*, 2015) تفاوت‌هایی است که کشت مخلوط این دو گیاه را به عنوان دو گیاه مکمل توجیه‌پذیر می‌سازد. گیاه دارویی شنبلیله به عنوان یک لگوم تثبیت‌کننده نیتروژن (Ahmad *et al.*, 2015) می‌تواند تأمین‌کننده نیتروژن مورد نیاز خود و خارمریم باشد. همچنین کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات جهت تامین فسفر و باکتری حل‌کننده سیلیکون جهت تامین سیلیس و سایر عناصر مغذی نظیر پتاسیم، فسفر، آهن و کلسیم از خاک و ایجاد مقاومت در مقابل پاتوژن‌ها در این آزمایش پیشنهاد شده است.

دو گیاه دارویی خارمریم و شنبلیله گیاهانی مهم و پرکاربرد با پتانسیل بالا برای کشت وسیع و تجاری در ایران هستند. تأثیر کود زیستی بر کمیت و کیفیت ترکیبات دارویی موثر گیاهان خارمریم و شنبلیله موضوعی کمتر شناخته شده است. همین‌طور شنبلیله به عنوان یک لگوم تثبیت‌کننده نیتروژن، یک گیاه دارویی مهم با اثرات دگرآسیبی جهت کنترل علفهای هرز، یک منبع مهم پروتئین دامی و گیاهی چندمنظوره است. کشت مخلوط آن با خارمریم بعنوان یک گیاه دارویی با اثرات مهم آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی و اثرات مفید درمانی دیگر ممکن است در کشت مخلوط شرایط اکولوژیک متفاوتی را از نظر تغذیه‌ای فراهم کند. با توجه به اینکه در کشور ما به شرایط تولید گیاهان دارویی که مستقیماً با سلامت انسان مرتبط است، توجه کمی شده است، در صورت مطلوب بودن نتایج این آزمایش، می‌توان راهبردی مفید در تولید سالم و ایمن گیاهان دارویی در شرایط اقتصادی‌تر، با ریسک کمتر برای سلامت و محیط زیست و با ترکیبات بیوشیمیایی و دارویی با کیفیت‌تر را توصیه نمود. لذا اهداف این آزمایش ابتدا بررسی اثر کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات بر فاکتورهای رشدی و کمیت و کیفیت ترکیبات بیوشیمیایی دو گیاه دارویی (خارمریم و شنبلیله) در کشت مخلوط و مقایسه آن با تک‌کشتی و سپس دستیابی به یک الگوی کشت مناسب جهت حصول بیشترین عملکرد کمی و کیفی از این دو گیاه دارویی است.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی

به منظور ارزیابی اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات بر عملکرد دانه و ترکیبات بیوشیمیایی خارمریم و شنبلیله در شرایط کشت مخلوط، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در استان کهگیلویه و بویراحمد، شهر یاسوج، روستای چنارستان

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

با مشخصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۸۳۲ متر از سطح دریا، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا در آمد. عامل اول در پنج سطح کودی شامل: بدون کاربرد باکتری (شاهد)، باکتری حل‌کننده فسفات *Pseudomonas putida*، باکتری حل‌کننده سیلیکات *Bacillus circulans*، باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات و کاربرد همزمان کود فسفات + سیلیکات در چهار الگوی مختلف مخلوط به عنوان عامل دوم شامل: کشت خالص خارمریم، کشت خالص شنبلیله، کشت مخلوط خارمریم و شنبلیله بصورت تک ردیفی (۱:۱) و کشت مخلوط خارمریم و شنبلیله بصورت دوردیفی (۲:۲)، جمعاً شامل ۲۰ تیمار آزمایشی در سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفتند.

ویژگی‌های خاک محل آزمایش، قبل از کاشت و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق (cm)	pH	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	کربن آلی %	ازت کل %	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mg kg ⁻¹)	سیلیس (mg kg ⁻¹)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک
۰-۳۰	۷/۹	۰/۳	۱	۰/۰۱	۸	۱۵۶	۷/۴	۲۸	۴۲	۳۰	رسی سیلتی

آماده سازی زمین و نهاده ها

ابتدا عملیات شخم، تسطیح و تهیه زمین و سپس کرت‌بندی زمین مطابق نقشه طرح انجام گرفت. بذرها قبل از کاشت با باکتری‌های حل‌کننده (فسفات و سیلیکات) تلقیح شدند (رضاپور کویشاهی و همکاران، ۱۳۹۴). سوبه‌های باکتری از مرکز ملی ذخایر ژنتیک و زیستی کشور به صورت محیط کشت فعال و بذور گیاهان مورد آزمایش از شرکت "بذر منتخب" کرج تهیه گردید. فاصله بین ردیف‌ها برای گیاه خارمریم ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر انتخاب شد. برای گیاه شنبلیله نیز فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۸ سانتی‌متر بود (بیوکی و عبادی، ۱۳۹۶). فاصله کرت‌ها از هم نیم متر و فاصله بلوک‌ها از هم یک متر و هر کرت شامل ۸ ردیف کشت شامل ۶ ردیف اصلی و ۲ ردیف حاشیه با عرض ۳ متر و طول ۴ متر بود که کشت مخلوط (۱:۱) بصورت یک ردیف خارمریم و یک ردیف شنبلیله بصورت ردیف‌های یک در میان با فاصله ردیف ۳۵ سانتی‌متر و کشت مخلوط (۲:۲) بصورت دو ردیف پشت سر هم خارمریم با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و دو ردیف پشت سر هم شنبلیله با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف شنبلیله و خارمریم ۳۵ سانتی‌متر در کرت قرار گرفت. پس از سبز شدن عملیات تنک کردن در شنبلیله در مرحله ۴ تا ۵ برگگی و در خارمریم در مرحله ۳ برگگی صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و سپس تا آخر فصل رشد هر هفته دو بار انجام شد و علف‌های هرز مزرعه نیز هر هفته یک بار به صورت دستی کنترل گردید.

صفات اندازه‌گیری شده

میزان کلروفیل a و b و کارتنوئیدها

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل در هر یک از دو گیاه در مرحله شروع گلدهی، مقدار نیم گرم اندام هوایی در هاون چینی ریخته شد و سپس با استفاده از نیتروژن مایع خرد و له گردید. ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ به نمونه اضافه، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده و عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای انتقال یافت. مقداری از نمونه داخل بالن در کووت اسپکتروفتومتر (مدل XD 7500 ساخت کمپانی آکوالیتیک آلمان) قرار داده شد. سپس به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مقدار جذب قرائت گردید.

در نهایت با استفاده از فرمول‌های ۱ تا ۳ میزان کلروفیل a، b و کارتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه بدست آمد (Arnon, 1967).

فرمول ۱ Chlorophyll a = (19.3 * A663 - 0.86 * A645) V/100W

فرمول ۲ Chlorophyll b = (19.3 * A645 - 3.6 * A663) V/100W

فرمول ۳ Carotenoids = 100(A470) - 3.27(mg chl. a) - 104(mg chl. b)/227

V = حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A = جذب نور

W = وزن تر نمونه بر حسب گرم

میزان فلاونوئید کل در گیاه

یک گرم نمونه گیاهی از هر کدام از دو گیاه مورد آزمایش در ۵۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد خیسانده و به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده شد. در طول مدت خیسانیدن در فواصل زمانی معین نمونه‌ها توسط شیکر هم زده و سپس عصاره‌ها صاف و جدا گردید. رسوب باقیمانده بر روی صافی بار دیگر با حلال به مدت یک شبانه‌روز با همان شرایط قبلی عصاره‌گیری گردید. این عصاره به عصاره اولیه اضافه شده و بعد حلال در دمای کمتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد توسط دستگاه تقطیر در خلأ تبخیر شد. اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید کل براساس روش کلاریمتری آلومینیوم کلراید و در طول موج ۴۱۵ نانومتر انجام گرفت (Marinova et al., 2005).

قدرت احیاء کنندگی عصاره

توانایی عصاره‌های هر دو گیاه مورد آزمایش برای احیاء یون‌های آهن سه ظرفیتی با این آزمون مورد ارزیابی قرار گرفت (Yildirim et al., 2001). برای این منظور محلول‌هایی با غلظت ۵۰۰-۱۲/۵ میکروگرم در میلی‌لیتر از عصاره‌های پودر شده هر گیاه در حلال‌های مربوطه تهیه گردید. ۱ میلی‌لیتر از محلول عصاره یا آنتی‌اکسیدان سنتزی با ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات (pH ۶/۶) و ۲/۵ میلی‌لیتر پتاسیم فری سیانید (۱۰ گرم در لیتر) مخلوط شد و به مدت نیم ساعت در حمام آب با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت. پس از افزودن ۲/۵ میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید ۱۰٪ (وزنی-حجمی)، نمونه‌ها ۱۰ دقیقه با

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

دور ۱۶۵۰g سانتیفریوژ شدند. از محلول بالایی پس از سانتیفریوژ، ۲/۵ میلی لیتر به دقت برداشته شد و پس از افزودن ۲/۵ میلی لیتر آب مقطر، جذب نمونه ها در طول موج ۷۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر UV قرائت گردید.

فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره با روش DPPH

رادیکال پایدار دی فنیل پیکریل هیدرازیل برای تعیین فعالیت به دام اندازی رادیکال آزاد به کار می رود. ۱ میلی لیتر محلول ۰/۱ میلی مولار DPPH به ۱ میلی لیتر از عصاره گیاهی هر کدام از دو گیاه، اضافه شده و مخلوط حاصل بخوبی توسط شیکر هم زده شد و به مدت ۱۵ دقیقه در اتاق تاریک قرار گرفت. سپس جذب مخلوط توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV در ۵۱۷ نانومتر با بلانک متانول قرائت گردید. آسکوربیک اسید به عنوان استاندارد استفاده شد. در نهایت مقدار به دام اندازی رادیکال

DPPH با فرمول شماره ۴ محاسبه گردید (Rojas *et al.*, 2001)

$$[AB - AS]/AB \times 100$$

فرمول ۴

AB = جذب بلانک

AS = جذب نمونه یا استاندارد

اجزای عملکرد و عملکرد دانه

بوتله های رسیده از یک مترمربع هر کرت برداشت و در گیاه خارمریم تعداد کاپیتول در بوتله، تعداد دانه در کاپیتول و وزن هزار دانه و در گیاه شنبلیله صفات تعداد نیام در هر بوتله، تعداد دانه در نیام و وزن هزار دانه اندازه گیری و در نهایت عملکرد دانه دو گیاه محاسبه گردید.

درصد روغن

استخراج روغن از دانه به روش Eller و همکاران (۲۰۱۱) صورت گرفت. برای استخراج روغن در هر دو گیاه از دستگاه سوکسله استفاده شد. نمونه هر گیاه آسیاب شده و در تیمبل قرار داده شد و به مدت ۶-۸ ساعت عمل استخراج روغن توسط حلال پترولیوم اتر انجام گرفت. این عمل به منظور تهیه روغن کافی برای انجام آزمایشات، چندین مرتبه تکرار شد. سپس حلال توسط دستگاه تبخیر کننده تحت خلاء از روغن جدا گردید. با توزین روغن استخراجی از ۷ گرم نمونه، درصد روغن دانه طبق فرمول شماره ۵ تعیین شد.

$$\text{Oil}(\%) = (W/7) \times 100$$

فرمول ۵

Oil: روغن دانه

W: وزن دانه

تجزیه آماری

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و رسم نمودارها توسط نرم افزار Excel انجام و مقایسه میانگین داده ها به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج

محتوای رنگیزه های فتوسنتزی

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

اثر رژیم‌های مختلف کودی بر میزان کلروفیل a در هر دو گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان کلروفیل a در هر دو گیاه شنبلیله و خارمریم، از تیمار تلفیقی باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات به دست آمد که به ترتیب سبب افزایش ۴۵ و ۲۱ درصدی نسبت به شاهد شد. در هر دو گیاه کمترین میزان کلروفیل a مربوط به تیمار شاهد یا عدم مصرف کود بود (جدول ۳). اما اثر الگوهای مخلوط و برهمکنش عوامل آزمایش بر میزان کلروفیل a در هر دو گیاه معنی‌دار نشد (جدول ۲). در مورد کلروفیل b، اما اثر الگوهای مختلف کشت در گیاه شنبلیله معنی‌دار ولی در گیاه خارمریم معنی‌دار نبود. بیشترین میزان کلروفیل b در شنبلیله از الگوی مخلوط (۲:۲) بدست آمد که افزایش ۱۶ درصدی نسبت به کشت خالص شنبلیله را نشان داد (جدول ۴). اثر رژیم‌های کودی و برهمکنش الگوی کاشت × کود روی کلروفیل b در هر دو گیاه معنی‌دار نشد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رژیم‌های مختلف کودی و الگوی کشت بر رنگدانه‌های فتوسنتزی شنبلیله و خارمریم

منابع تغییرات		درجه آزادی		میانگین مربعات					
				کلروفیل a		کلروفیل b		کلروفیل a+b	
				کاروتنوئیدها		کاروتنوئیدها		کاروتنوئیدها	
				شنبلیله		شنبلیله		شنبلیله	
				خارمریم		خارمریم		خارمریم	
تکرار	۲	۰/۱۳**	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۳۸ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۰/۰۲۶ ^{ns}	۰/۲۲**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}
تیمار کودی	۴	۰/۲۵۶**	۰/۴۱۵**	۰/۰۳۹ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۸۸**	۰/۰۸۹**	۰/۰۹۴**	۰/۱۵۵**
الگوی کشت	۳	۰/۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{ns}	۰/۰۸۳**	۰/۰۲۴ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۴۴ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}
الگوی کشت × تیمار کودی	۱۲	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۲۳ ^{ns}	۰/۰۴۱ ^{ns}	۰/۰۲۸**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}
خطا	۳۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۱۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۱۲
ضریب تغییرات (%)		۶/۴۵	۲/۴۰	۱۱/۱۲	۱۵/۹۹	۴/۰۵	۶/۱۵	۹/۲۰	۱۳/۳۱

ns, ** : به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف کودی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی شنبلیله و خارمریم

تیمارها	کلروفیل a (mg g ⁻¹ FW)		کلروفیل a+b (mg g ⁻¹ FW)		کاروتنوئیدها (mg g ⁻¹ FW)
	شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم	شنبلیله
کود C	۰/۹۰ ^d	۲/۵۱ ^e	۱/۲۵ ^c	۰/۲۸ ^e	۰/۵۸ ^b
PSB	۱/۱۸ ^b	۲/۷۸ ^c	۱/۴۳ ^b	۰/۳۶ ^c	۰/۸۴ ^a
SiSB	۱/۱۰ ^c	۲/۶۹ ^d	۱/۳۶ ^b	۰/۳۰ ^d	۰/۸۶ ^a
PSB+SiSB	۱/۳۱ ^a	۳/۰۵ ^a	۱/۵۲ ^a	۰/۴۵ ^a	۰/۸۴ ^a
P+Si	۱/۲۹ ^a	۲/۹۵ ^b	۱/۴۲ ^b	۰/۴۱ ^b	۰/۹۲ ^a

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارد. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB+SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات+باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات+کود سیلیکات

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر الگوی کشت بر کلروفیل **b** شنبلیله

کلروفیل b (mg g ⁻¹ FW) شنبلیله	تیمارها
	الگوی کشت
۰/۶۲ ^b	کشت خالص
۰/۵۷ ^b	کشت مخلوط (۱:۱)
۰/۷۲ ^a	کشت مخلوط (۲:۲)

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارد. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB+SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات+باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات+کود سیلیکات

محتوای کلروفیل کل (a + b) در هر دو گیاه تحت تأثیر رژیم‌های مختلف کودی قرار گرفتند اما در هیچ کدام از دو گیاه تحت تاثیر الگوهای مختلف کشت قرار نگرفت. همینطور برهمکنش این دو عامل در گیاه شنبلیله معنی‌دار ولی در خارمریم معنی‌دار نگردید (جدول ۲). به طور کلی در شنبلیله کاربرد جداگانه و همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات سبب افزایش میزان کلروفیل کل در هر سه الگوی مختلف کشت گردیده است و تیمارهای باکتریایی توانسته اند همپای کاربرد شیمیایی فسفات و سیلیکات مقدار کلروفیل را افزایش دهند. این تفاوت‌ها در کشت خالص فاحش‌ترند و این امر نشان می‌دهد که کشت مخلوط توانسته تفاوت بین تیمارهای کودی را کاهش داده و تا حدودی نیازهای اولیه گیاه را مرتفع کند که منجر به افزایش غلظت کلروفیل کل شده است (شکل ۱). Elhaissofi و همکاران (۲۰۲۰) معتقدند بهبود محتوای نیتروژن خاک در کشت مخلوط توسط گیاه لگوم سبب رشد و توسعه ریشه و بهبود جذب عناصر و رشد اندام هوایی و محتوای کلروفیل فتوسنتزی می‌گردد.

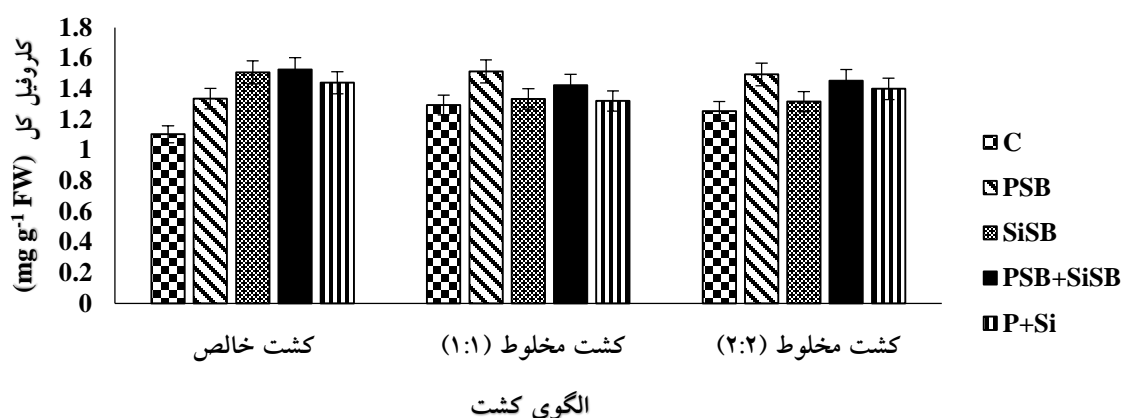
اثر رژیم‌های مختلف کودی در هر دو گیاه معنی‌دار بود اما اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط بر میزان کارتنوئید برگ هر دو گیاه شنبلیله و خارمریم معنی‌دار نشد. بر همکنش این دو عامل نیز بر میزان کارتنوئید برگ گیاهان مذکور معنی‌دار نگردید (جدول ۲). در گیاه دارویی شنبلیله، در بین رژیم‌های مختلف کودی بیشترین میزان کارتنوئید (۰/۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از تیمار تلفیقی باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات حاصل گردید که سبب افزایش ۶۰ درصدی نسبت به عدم مصرف کود شد و با هیچ کدام از تیمارهای کودی در یک گروه آماری قرار نگرفته و اختلاف معنی‌داری را نشان داد و کمترین میزان (۰/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) نیز از تیمار شاهد به دست آمد. در مورد گیاه دارویی خارمریم، در بین رژیم‌های مختلف کودی کمترین میزان کارتنوئید برگ (۰/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از تیمار شاهد حاصل گردید که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد و سایر سطوح کودی نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند. بیشترین میزان

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

کارتنوئید برگ هم از تیمار کود شیمیایی فسفات و سیلیکات حاصل شد که سبب افزایش ۵۹ درصدی نسبت به تیمار عدم مصرف کود (شاهد) شد (جدول ۴).

برخی محققان مانند Awal و همکاران (۲۰۰۶) بر این باورند که کشت مخلوط با افزایش جذب نور و سایر منابع موجب بهبود طول دوره رشد و پوشش بهتر خاک شده که در نهایت، افزایش بهره وری را به دنبال دارد (Zimdahl et al., ۲۰۰۷). رضایی چیانه و همکاران (۲۰۱۴) دلیل بهبود عملکرد را در کشت مخلوط دو گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) و باقلا (*Vicia faba*) به فنولوژی و مورفولوژی متفاوت و وجود حداقل رقابت بین دو گونه نسبت دادند. دلیل افزایش میزان کارتنوئید در کشت مخلوط دو ردیفه در این آزمایش را می توان به تفاوت مورفولوژی و ارتفاع دو بوته خارمریم و شنبلیله که منجر به جذب و بهره وری بهتر منابع می گردد و مجاورت با شنبلیله دانست که تثبیت کننده نیتروژن می باشد.



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر کلروفیل کل شنبلیله. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل کننده فسفات، SiSB: باکتری حل کننده سیلیکات، PSB+SiSB: باکتری حل کننده فسفات + باکتری حل کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات شیمیایی باکتری‌های متعلق به جنس سودوموناس و باسیلوس توانایی ارتقاء رشد گیاه را از طریق تولید ACC (۱-آمینو سیکلوپروپان-۱-کربوکسیلیک اسید) دی آمیناز، فیتوهورمون‌ها (اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها) و سیدروفورها دارا می‌باشند. باکتری‌های حل کننده فسفات می‌توانند از طریق افزایش جذب نیتروژن، سنتز فیتوهورمون‌ها، حلالیت فسفات‌های آلی و غیرآلی در خاک و تولید سیدروفورهایی که آهن را شلاته می‌کنند و آنرا در دسترس ریشه گیاه قرار می‌دهند، رشد گیاه را بهبود بخشند (Bouizgarne et al., 2023).

یکی از عوامل اثرگذار بر بهبود ظرفیت فتوسنتزی در گیاهان، غلظت کلروفیل می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد کشت مخلوط سبب افزایش کلروفیل b شنبلیله گردید (جدول ۴). از طرف دیگر کاهش تفاوت معنی دار بین شاهد و تیمارهای کودی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیانگر آنست که کشت مخلوط توانسته میزان کلروفیل کل گیاه را افزایش دهد (شکل ۱). افزایش جذب نیتروژن به واسطه تثبیت زیستی شنبلیله و رابطه مکملی مثبت ایجاد شده بین گیاه شنبلیله و خارمریم در کشت مخلوط و از طرفی نقش مهم نیتروژن بر فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و ساختار رنگدانه‌های فتوسنتزی (Huang et al., 2004) موجب افزایش کلروفیل در کشت مخلوط گردید. از آن جایی که نیتروژن در ساختار این رنگدانه‌ها

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

وجود دارد، افزایش محتوای کلروفیل بوسیله افزایش در محتوای نیتروژن کل برگ‌ها قابل توجه است. افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز ارتباط مستقیمی با جذب دی‌اکسید کربن دارد. افزایش نیتروژن در گیاه سبب افزایش پرتوپلاسم و در نتیجه افزایش اندازه سلول و سطح برگ شده و در نهایت باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی می‌گردد (Arefi et al., 2012). در کشت مخلوط بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) و ذرت، کشت مخلوط سبب افزایش کلروفیل اندام هوایی در هر دو گیاه شد (Inal et al., 2007). آزمایش Baharloi (۲۰۱۳) در کشت مخلوط نخودفرنگی (*Pisum sativum*) و کلزا (*Brassica napus L*) نشان داد کلروفیل b نخود فرنگی در تیمار کشت مخلوط به طور معنی‌داری نسبت به کشت خالص افزایش یافت. اگرچه برخی محققین اعتقاد دارند در کشت مخلوط، رقابت بر سر عناصر غذایی مانند نیتروژن سبب کاهش دسترسی گیاه به مقدار کافی نیتروژن و کاهش میزان کلروفیل برگ می‌گردد (Ohashi et al., 2012). همچنین تاثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر بهبود حلالیت فسفر خاک موجب بهبود رشد ریشه شد که با افزایش محتوای کلروفیل برگ کاملاً مرتبط است (Elhaissofi et al., 2020). باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات نیز از طریق افزایش ضخامت مزوفیل برگ، افزایش تعداد کلروپلاست‌ها و پلاستیدها در واحد سطح می‌توانند باعث افزایش میزان کلروفیل و بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه شوند (Maleva et al., 2017).

در آزمایش Maleva و همکاران (۲۰۱۷) با کاربرد باکتری حل‌کننده سیلیکات محتوای کلروفیل a تا ۸۲ درصد، کلروفیل b تا ۴۶ درصد و محتوای کاروتنوئیدها تا دو برابر نسبت به شاهد در خردل (*Brassica Juncea*) افزایش یافت. با مصرف کودهای زیستی با افزایش فراهمی نیتروژن برای گیاه، باعث افزایش میزان کلروفیل شده که به دنبال آن سبزیگی، توانایی جذب نور خورشید، تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. ضخامت لایه مزوفیل برگ و تعداد سلول‌های مزوفیل بطور متوسط ۲۴ درصد افزایش یافت که با افزایش شدید رنگدانه‌های فتوسنتزی و میزان جذب دی‌اکسیدکربن تا ۲ برابر مرتبط است و موجب بهبود فتوسنتز خردل چینی گردید. در آزمایشی که توسط Kumari و همکاران (۲۰۲۰) روی شنبلله انجام گرفت کاربرد همزمان نانوذرات و باکتری‌های افزایش دهنده رشد گیاه (PGPR) باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه، تعداد برگ، سطح برگ و وزن تر نسبت به شاهد گردید. ترکیب این دو تیمار همچنین بیشترین مقدار کلروفیل، قند، پروتئین محلول و فعالیت کاتالاز را در شنبلله سبب گردید.

صفات بیوشیمیایی

قدرت احیاکنندگی عصاره

اثر الگوهای کشت مخلوط بر قدرت احیاکنندگی عصاره شنبلله و خارمریم غیرمعنی‌دار بود ولی اثر رژیم‌های مختلف کودی در هر دو گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بر همکنش این عامل‌ها نیز بر قدرت احیاکنندگی در هیچ کدام از دو گیاه معنی‌دار نگردید (جدول ۵). مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان داد در شنبلله بین تیمارهای کودی بیشترین میزان قدرت احیاکنندگی عصاره (۳۸٪) از تیمار تلفیقی باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات حاصل شد که سبب افزایش ۱۲۳ درصدی نسبت به شاهد یا عدم مصرف کود گردید. کمترین میزان قدرت احیاکنندگی نیز از تیمار شاهد به دست آمد. در خارمریم نیز بیشترین قدرت احیاکنندگی از تیمار کود شیمیایی فسفات و سیلیکات حاصل گردید که اختلاف

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

معنی داری را با سایر رژیم‌های کودی نشان داد. کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات بصورت جداگانه و همزمان در هر دو گیاه موجب افزایش قدرت احیاکنندگی نسبت به شاهد گردید. در آزمایش توان احیاکنندگی، احیاء آهن فریک به فروس به عنوان یک نمایه، برای پتانسیل الکترون‌دهی بکار می‌رود. ترکیبات فنلی به عنوان دهنده الکترون عمل نموده و ممکن است واکنش‌های ناخواسته ایجاد شده توسط رادیکال‌های آزاد را خنثی کنند (Rajesh et al., 2008). ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنلی عمدتاً ناشی از قدرت احیاکنندگی و ساختار شیمیایی آنهاست که آن‌ها را قادر به خنثی کردن رادیکال‌های آزاد، تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی و خاموش کردن مولکول‌های اکسیژن یگانه و سه‌گانه می‌سازد (Pokorny, 2007).

میزان فنل

اثر رژیم‌های مختلف کودی و الگوهای مختلف کشت بر میزان فنل دو گیاه شنبلیله و خارمریم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ولی بر همکنش عامل‌ها تنها بر میزان فنل گیاه دارویی خارمریم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). در بین رژیم‌های مختلف کودی بیشترین میزان فنل (۱۳/۴۱ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) مربوط به تیمار کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات بود که سبب افزایش ۹۸ درصدی نسبت به تیمار عدم مصرف کود شد و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد و بعد از آن، تیمار کود شیمیایی فسفات و سیلیکات از بیشترین میزان فنل برخوردار بود و تیمار شاهد نیز کمترین میزان فنل (۶/۷۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) را داشت (جدول ۶). در گیاه دارویی شنبلیله در بین الگوهای مختلف کشت، الگوی مخلوط (۲:۲) از بالاترین میزان فنل (۱۰/۸۱ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) برخوردار بود که سبب افزایش ۲۸ درصدی نسبت به کشت خالص شد و کمترین میزان نیز (۸/۴۲ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) مربوط به الگوی کشت خالص این گیاه دارویی بود (شکل ۷). در گیاه دارویی خارمریم به طور کلی در تیمارهای مخلوط میزان فنل مقادیر بالاتری را به خود اختصاص داده است. این مقادیر بویژه الگوی (۲:۲) مشهود است. بعلاوه چنین به نظر می‌رسد که در کاربرد همزمان دو باکتری تولید فنل تحریک شده است بطوریکه بیشترین میزان فنل از الگوی مخلوط (۲:۲) و رژیم کودی کاربرد همزمان باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات و کمترین میزان نیز از الگوی کشت خالص و تیمار بدون مصرف کود بدست آمد (شکل ۲).

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رژیم‌های مختلف کودی بر قدرت احیاکنندگی، فنل، فلاونوئید و خاصیت آنتی‌اکسیدانی شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		قدرت احیاکنندگی		فنل		فلاونوئید	
		شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم
تکرار	۲	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}	۲/۰۶۴ ^{ns}	۶۳/۸۲**	۱۲/۷۰**	۶/۸۹**
تیمار کودی	۴	۰/۰۵۱**	۰/۴۱۵**	۷۰/۲۳**	۱۷۰/۶۱**	۳۵/۶۱**	۳۱/۹۲**
الگوی کشت	۳	۰/۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۶۶ ^{ns}	۲۱/۵۰**	۳۹۸/۰۱**	۷۷/۳۲**	۶۵/۴۷**
الگوی کشت X کود	۱۲	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۵۸ ^{ns}	۰/۲۷۱ ^{ns}	۱۲/۶۸**	۱/۰۷ ^{ns}	۱/۰۶ ^{ns}

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

خطا	۳۸	۰/۰۰۲	۰/۰۱۵	۰/۷۰۳	۱/۸۰	۰/۶۷۹	۰/۳۵۶	۶۱/۶۶	۸۳/۸۳
ضریب تغییرات (%)	۱۸/۵۵	۱۰/۶۸	۸/۷۱	۱۰/۵۸	۹/۸۸	۸/۰۶	۱۵/۲۷	۲۵/۴۳	

ns, ***: به ترتیب نبود تفاوت معنی دار و تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف کودی بر قدرت احیاکنندگی، فنل، فلاونوئید و خاصیت آنتی‌اکسیدانی شنبلیله و خارمریم

تیمارها	قدرت احیاکنندگی (%)	فنل (mg GAE/g seed DW)	فلاونوئید (mg QE/100g seed DW)	خاصیت آنتی-اکسیدانی (%)	کود
شنبلیله خارمریم	۰/۸۲ ^d	۶/۱۷ ^e	۴/۹۳ ^e	۲۸/۳۱ ^b	C
شنبلیله خارمریم	۱/۱۶ ^{bc}	۹/۲۹ ^c	۷/۶۰ ^c	۳۲/۵۰ ^b	PSB
شنبلیله خارمریم	۱/۰۹ ^c	۸/۰۸ ^d	۶/۳۴ ^d	۳۱/۲۴ ^b	SiSB
شنبلیله خارمریم	۱/۲۲ ^b	۱۳/۴۱ ^a	۹/۹۰ ^a	۵۴/۴۴ ^a	PSB+SiSB
شنبلیله خارمریم	۱/۴۱ ^a	۱۱/۱۸ ^b	۸/۲۱ ^b	۳۳/۵۱ ^b	P+Si

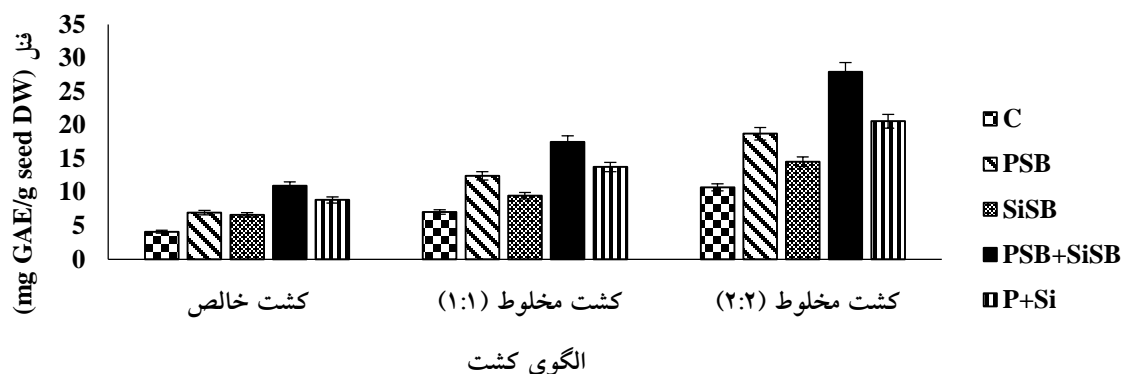
در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارد. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB + SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر فنل و فلاونوئید شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط

تیمارها	فنل (mg GAE/g seed DW)	فلاونوئید (mg QE/100g seed DW)	الگوی کشت
شنبلیله خارمریم	۸/۴۲ ^c	۵/۱۷ ^c	کشت خالص
شنبلیله خارمریم	۹/۶۴ ^b	۷/۷۵ ^b	کشت مخلوط (۱:۱)
شنبلیله خارمریم	۱۰/۸۱ ^a	۹/۲۶ ^a	کشت مخلوط (۲:۲)

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارد. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB + SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش کود \times الگوی کاشت بر میزان فنل خار مریم. میله ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل کننده فسفات، SiSB: باکتری حل کننده سیلیکات، PSB + SiSB: باکتری حل کننده فسفات + باکتری حل کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که متابولیت‌های ثانویه از جمله فنل‌ها نقش مهمی در تعامل مختلف بین گیاهان و محیط طبیعی بازی می‌کنند. کودهای زیستی و آلی با ایجاد تغییرات قابل توجه در فعالیت‌های آنزیمی و سازوکارهای فیزیولوژیک درگیر، منجر به تجمع متابولیت‌های ثانویه مانند پلی‌فنل‌ها در گیاهان میزبان می‌شوند (Bagheri *et al.*, 2015). فنل‌ها از اجزای مهم محافظ سلول‌های گیاهی هستند و ساختار شیمیایی مناسبی برای حذف رادیکال‌های آزاد فعال دارند. این ترکیبات فعالیت آنتی‌اکسیدانی مؤثرتری از آسکوربات و توکوفرول دارند که ناشی از فعالیت بالای هیدروژنی یا الکترون-دهندگی آن‌ها می‌باشد (Kiarostami *et al.*, 2010). احتمالاً همجواری با یک گونه متفاوت در کشت مخلوط دو گیاه و بهره‌گیری از نیتروژن تثبیت شده سبب تحریک تولید متابولیت‌های ثانویه و از اینرو فنل شده است (Fathi *et al.*, 2016).

میزان فلاونوئیدها

تأثیر رژیم‌های کودی و الگوهای مختلف کشت بر میزان فلاونوئید شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار اما برهمکنش این دو عامل معنی‌دار نگردید (جدول ۵). مقایسه میانگین (جدول ۷)، نشان داد در بین الگوهای مختلف کشت در هر دو گیاه شنبلیله و خارمریم، الگوی کشت مخلوط (۲:۲) از بیشترین میزان فلاونوئید (۹/۹۱ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) و (۹/۲۶ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) به ترتیب در گیاه شنبلیله و خارمریم برخوردار بود که سبب افزایش ۷۳ و ۷۹ درصدی نسبت به الگوی کشت خالص این گیاهان شد. کمترین میزان در هر دو گیاه مربوط به کشت خالص آن‌ها بود. در شنبلیله در مجموع کشت مخلوط میزان فلاونوئیدها را افزایش داد. در بین کودهای مورد استفاده بیشترین میزان فلاونوئید مربوط به تیمار تلفیقی باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات بود که در هر دو گیاه دارویی، این تیمار با هیچ کدام از تیمارهای دیگر در یک گروه آماری قرار نگرفت و اختلافش با سایر تیمارها معنی‌دار گردید و کمترین میزان فلاونوئید در هر دو گیاه نیز مربوط به تیمار عدم مصرف کود بود که در هر دو گیاه با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد. کاربرد همزمان باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات در شنبلیله و خارمریم میزان فلاونوئیدها را به ترتیب ۹۵ و ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۶).

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

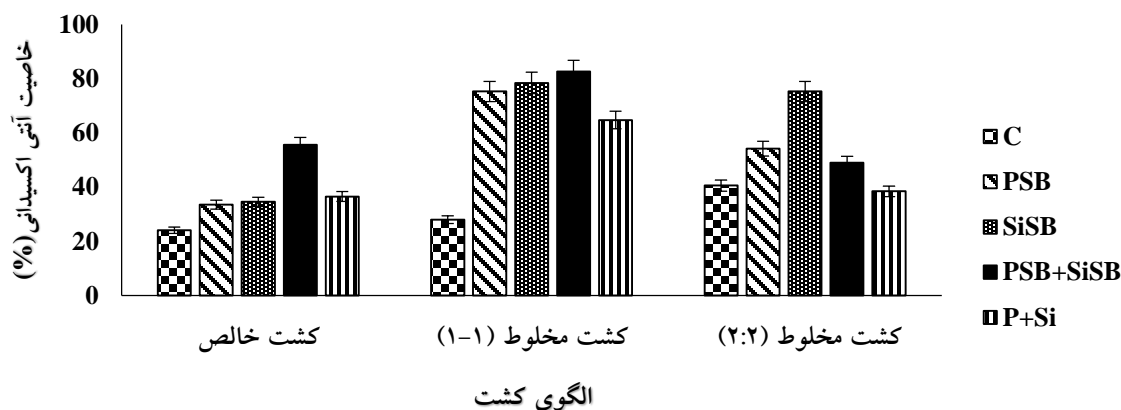
مجله فرایند و کارکرد گیاهی

فلاونوئیدها ترکیبات پلی فنولیک و از مهمترین ترکیبات ثانویه گیاهان می باشند. مسیر فنیل پروپانوئید که با تولید و فعالیت آنزیم فنل آلانین آمونیا لیا ز فعال می شود مسیر اصلی برای بیوسنتز مواد فنلی و فلاونوئیدها است. فلاونوئیدها همانند سایر ترکیبات غیر آنزیمی آنتی اکسیدانی، جاروب کننده قوی ROSها هستند (Hasanloo et al., 2016). گیاهان به محرک های محیطی پاسخ می دهند و متابولیت های ثانویه دارای نقش کلیدی در برهمکنش بین گیاه و محیطشان هستند و مطابق نتایج محققان، فلاونوئیدها نیز از جمله متابولیت های ثانویه ای هستند که مسیر بیوسنتزی آنها تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می گیرد و در مراحل نمو و شرایط محیطی دارای نوسان هستند (حاتم وند، ۱۳۹۳). طبق مشاهدات و مقایسه میانگین های حاصل از این تحقیق محتوای فلاونوئید تحت تأثیر کاربرد همزمان کودهای زیستی قرار گرفت. از آنجا که سیلی مارین، ماده مؤثره خارمریم ترکیبی فلاونوئیدی متشکل از ۵ نوع فلاونولیگنان مختلف است، می توان نتیجه گرفت که با کاربرد کود زیستی، میزان سیلی مارین گیاه نیز افزایش می یابد. آزمایش Naghdibadi و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که کودهای زیستی به طور معنی داری سبب افزایش میزان فلاونوئید در گیاه دارویی گل گاوزبان ایرانی می شود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در آزمایش های Shetty و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۲) کاربرد سیلیکون برای رز بطور محسوسی غلظت اسیدهای فنلی ضد- میکروبی و فلاونوئیدها را در پاسخ به آلودگی رز به سفیدک پودری افزایش داد. همچنین بیان ژن های کدکننده آنزیم های کلیدی در مسیر فنیل پروپانوئید را بازتنظیم کرد. افزایش در این ترکیبات فنلی در رز باعث کاهش ۴۶ درصدی بیماری قارچی سفیدک پودری در مقایسه با عدم کاربرد سیلیس شد.

خاصیت آنتی اکسیدانی

اثر رژیم های مختلف کودی و الگوهای مختلف کشت بر خاصیت آنتی اکسیدانی شنبلیله در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود اما در خارمریم خاصیت آنتی اکسیدانی فقط تحت تاثیر رژیم های کودی قرار گرفت. برهمکنش این دو عامل نیز تنها در گیاه دارویی شنبلیله معنی دار گردید (جدول ۵). در مجموع کشت مخلوط میزان خاصیت آنتی اکسیدانی شنبلیله را افزایش داد. این نکته بویژه در الگوی (۱:۱) مخلوط شنبلیله و خارمریم و در تیمارهای باکتریایی مشهودتر بود. بطوریکه بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی شنبلیله در کشت مخلوط (۱:۱) و کاربرد همزمان باکتری های حل کننده فسفات و سیلیکات حاصل شد و کمترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی از الگوی کشت خالص شنبلیله و شاهد به دست آمد (شکل ۳). این در حالی است که در کشت خالص شنبلیله هیچ کدام از تیمارها تقریباً اختلاف معنی داری را با هم نشان ندادند. در خارمریم در بین تیمارهای کودی نیز بیشترین میزان خاصیت آنتی اکسیدانی از رژیم کودی کاربرد همزمان باکتری حل کننده فسفات و سیلیکات با افزایش ۹۲ درصدی نسبت به شاهد بدست آمد. سایر تیمارهای کودی اختلاف معنی داری را در میزان خاصیت آنتی اکسیدانی با هم نشان ندادند و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۶).

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی شنبليله در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB + SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات

گیاهان دارویی منابع مهم و غنی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی هستند. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی یک گیاه ارتباط مستقیم با نوع و میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجود در آن گیاه نظیر کاروتنوئیدها، فنل و اسیداسکوربیک دارد (Askon *et al.*, 2008). DPPH، یک رادیکال آزاد پایدار است و اندازه‌گیری میزان آن یکی از مهم‌ترین روش‌های ارزیابی قدرت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان به شمار می‌رود (Lee *et al.*, 2003). تفاوت در فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌تواند ناشی از تفاوت در میزان فنل و سایر ترکیبات موثره باشد. در این آزمایش افزایش کاروتنوئیدها و سایر رنگدانه‌های فتوسنتزی بواسطه نقش باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات و نیتروژن تثبیت شده توسط شنبليله، همچنین افزایش میزان فنل بدست آمده می‌تواند دلیلی بر افزایش میزان خاصیت آنتی‌اکسیدانی و توان احیاکنندگی عصاره گیاهان خارمریم و شنبليله باشد. حتی وجود باکتری‌های حل‌کننده به عنوان یک مهاجم خارجی برای گیاه ممکن است منجر به فعال شدن مکانیسم دفاعی گیاه و در نتیجه تولید مواد آنتی‌اکسیدان در گیاه شود. مشابه همین یافته در گیاهانی چون نعناع، بومادران، درمنه و آویشن تأیید شده است (Nieto *et al.*, 2020). تیمارهایی که باعث کاهش تنفس و تولید اتیلن و در نتیجه کاهش سرعت پیری می‌شوند، باعث کاهش سرعت تولید رادیکال‌های آزاد و در نتیجه کاهش مصرف آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شوند. در آزمایشی که توسط Gharakhani-Beni و همکاران (۲۰۲۲) انجام شد، بیشترین عملکرد روغن‌های ضروری و فعالیت آنتی‌اکسیدانی از تیمار تک‌کشتی زوفا و کشت مخلوط زوفا و شنبليله (۳:۱) بدست آمد اما در آزمایش Salehi و همکاران (۲۰۱۸)، در کشت مخلوط شنبليله و گندم سیاه، نسبت (۲:۱) (گندم سیاه : شنبليله) بیشترین افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات بیواکتیو را نسبت به سایر نسبت‌های کشت مخلوط نشان داد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. همچنین در آزمایشی که توسط Mahfouz و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد نسبت (۲:۱) (چاودار : شنبليله) بیشترین مقدار روغن و پروتئین را نسبت به سایر نسبت‌های کشت مخلوط سبب شد. Ghorbanpour و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثر تلقیح با دو سویه ریزوباکتری *Pseudomonas putida* و *fluorescens* *pseudomonas* روی آلکالوئید تروپان در گیاه *Hyoscyamus niger* تحت سه سطح تنش خشکی (۳۰ درصد، ۶۰ درصد و

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

۹۰ درصد) نشان دادند که هر دو سویه باکتری، محتوای آلكالوئیدها را افزایش دادند و سویه *Pseudomonas putida* در تنش خشکی ۳۰ درصد، بیشترین افزایش میزان آلكالوئیدها را در اندام‌های هوایی و زمینی داشت.

اجزای عملکرد

اثر رژیم‌های مختلف کودی و الگوهای کشت بر اجزای عملکرد شنبلیله (تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام و وزن هزار دانه) معنی‌دار اما برهمکنش این دو عامل بر هیچ کدام از اجزای عملکرد معنی‌دار نگردید (جدول ۸). در بین کودهای مختلف مورد استفاده بیشترین تعداد نیام در بوته (۱۷/۳۳)، تعداد دانه در نیام (۱۲/۵۶) و وزن هزار دانه (۱۳/۷۳ گرم) شنبلیله از تیمار کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات حاصل شد که به ترتیب سبب افزایش ۴۱/۸۱، ۴۴/۸۷ و ۱۹/۸۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد یا عدم مصرف کود شد (جدول ۹). بین الگوهای مختلف کشت نیز بیشترین تعداد نیام در بوته (۱۶/۴۰)، تعداد دانه در نیام (۱۲) و وزن هزار دانه (۱۳/۸۸ گرم) از الگوی کشت مخلوط (۲:۲) و کمترین میزان این صفات از تیمار کشت خالص حاصل شد (جدول ۹). در خارمریم هم اثر رژیم‌های مختلف کودی و الگوهای مختلف کشت بر اجزای عملکرد (تعداد کاپیتول در بوته، تعداد دانه در کاپیتول و وزن هزار دانه) معنی‌دار اما برهمکنش این عوامل تنها بر وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (جدول ۸). در بررسی برهمکنش عوامل در خارمریم بیشترین تعداد کاپیتول در بوته از الگوهای کشت مخلوط و کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات و نیز تیمار کود شیمیایی حاصل شد. اگرچه تیمارهای باکتریایی حتی در کشت خالص نیز همپای این تیمارها در کشت مخلوط بودند اما در تیمار شیمیایی کشت خاص تعداد کاپیتول‌ها کاهش یافت (شکل ۴).

در مورد تعداد دانه در کاپیتول تقریباً اکثر تیمارهای کودی مقدار این پارامتر را در تمام الگوهای کشت بویژه مخلوط نسبت به شاهد افزایش دادند. این امر نشان می‌دهد که این جزئی عملکردی در گیاه خارمریم نسبت به سایر اجزا کمتر تحت تاثیر تیمارها قرار می‌گیرد و اثر تیمارها در سایر اجزای عملکرد جبران می‌شود (شکل ۵).

از نظر وزن هزار دانه خارمریم در بین الگوهای مختلف کشت، بیشترین میزان (۱۳/۱۳ گرم) از کشت مخلوط (۲:۲) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری را با سایر الگوهای مختلف کشت نشان داد و دو الگوی کشت مخلوط (۱:۱) و کشت خالص نیز از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را با هم نشان ندادند. تیمارهای کودی مورد استفاده سبب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه خارمریم نسبت به تیمار شاهد شدند به گونه‌ای که همه تیمارهای کودی در یک گروه آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌داری را با هم نشان ندادند اما اختلافشان با تیمار شاهد معنی‌دار شد (جدول ۹).

کودهای زیستی مورد استفاده با تاثیر بر میزان جذب عناصر غذایی و افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی (جدول ۳) و در نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتزی دو گیاه شنبلیله و خارمریم باعث افزایش اجزای عملکرد این دو گیاه شدند. فنایی و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک (نیتروکارا و نیتروکسین) و کود شیمیایی بر عملکرد دانه و بعضی صفات زراعی گلرنگ اظهار کردند که کاربرد کود زیستی باعث افزایش معنی‌دار تعداد طبق در بوته و عملکرد دانه شد. به نظر می‌رسد با کاربرد کودهای زیستی منجر به بهبود فعالیت میکروبی خاک و تثبیت نیتروژن توسط کود زیستی شده که منجر به بهبود میزان فتوسنتز و تولید زیست‌توده گیاهی شده است و در نتیجه شرایط مناسبی را برای دسترسی به عناصر غذایی در خاک فراهم نموده که منجر به بهبود رشد و دوام پرشدن دانه و نهایتاً افزایش وزن هزاردانه می‌گردد (درزی و همکاران، ۲۰۱۲).

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

در پژوهشی دانشور و خواجه‌نژاد (۲۰۱۴) افزایش وزن هزار دانه ارقام مختلف گلرنگ را با کاربرد کودهای زیستی نیتروژنی (*Azospirillum* و *Azotobacter*) و فسفات بارور ۲ گزارش نمودند و اظهار داشتند که استفاده از کودهای زیستی به دلیل افزایش توسعه ریشه و افزایش جذب مواد غذایی سبب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش وزن هزاردانه شده است. شاکری و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاربرد کود زیستی نیتروکسین باعث افزایش وزن هزاردانه کنجد شد و دلیل آن را به افزایش طول دوره پرشدن دانه و تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه از طریق افزایش مقدار مواد فتوسنتزی ذخیره شده در طول مدت پرشدن دانه نسبت داده‌اند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در آزمایشی Jahani و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که در کشت مخلوط عدس و زیره سبز وزن خشک اندام‌های رویشی، عملکرد زیست توده، وزن ۱۰۰۰ دانه و تعداد دانه در هر چتر در زیره سبز و عملکرد دانه آن به طور معنی‌داری افزایش یافت.

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رژیم‌های مختلف کودی بر اجزای عملکرد شنبليله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط

منابع تغییرات		درجه		میانگین مربعات	
آزادی	تعداد نیام	تعداد کاپیتول	تعداد دانه در نیام	تعداد دانه در کاپیتول	وزن هزاردانه
تکرار	۲	۱/۶۳۳ ^{ns}	۲/۴۶۷*	۹/۴۷۲*	۴۵/۵۳ ^{***}
تیمار کودی	۴	۳۲/۱۳ ^{***}	۱۶/۰۷۸ ^{***}	۲۰/۴۱*	۲۴/۲۱۲ ^{***}
الگوی کشت	۳	۵۳/۹۹۳ ^{***}	۱۷/۸۶۷ ^{***}	۳۵/۰۹ ^{***}	۱۳/۶۵ ^{***}
الگوی کشت X تیمار کودی	۱۲	۱/۸۶۷ ^{ns}	۲/۳۱۱*	۰/۹۶ ^{ns}	۲/۰۴۸ ^{ns}
خطا	۳۸	۱/۱۶۰	۰/۷۷۶	۱/۰۱۸	۱/۶۴۶
ضریب تغییرات (%)		۷/۲۸	۱۱/۳۰	۹/۵۴	۱۰/۵۴

ns, **, *, به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف کودی بر اجزای عملکرد شنبليله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط

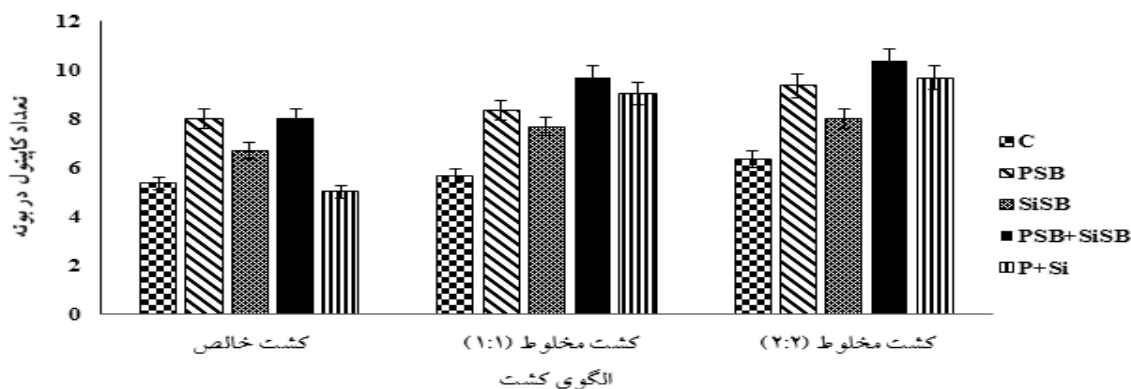
تیمارها	تعداد نیام در بوته	تعداد دانه در نیام	وزن هزار دانه
الگوی کشت			
کشت خالص	۱۲/۷۳ ^c	۸/۸۰ ^c	۱۱/۲۷ ^b
کشت مخلوط (۱:۱)	۱۵/۲۷ ^b	۱۰/۹۳ ^b	۱۲/۱۶ ^b
کشت مخلوط (۲:۲)	۱۶/۴۰ ^a	۱۲/۰۰ ^a	۱۳/۱۳ ^a
کود			
شنبليله			
خارمریم			

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

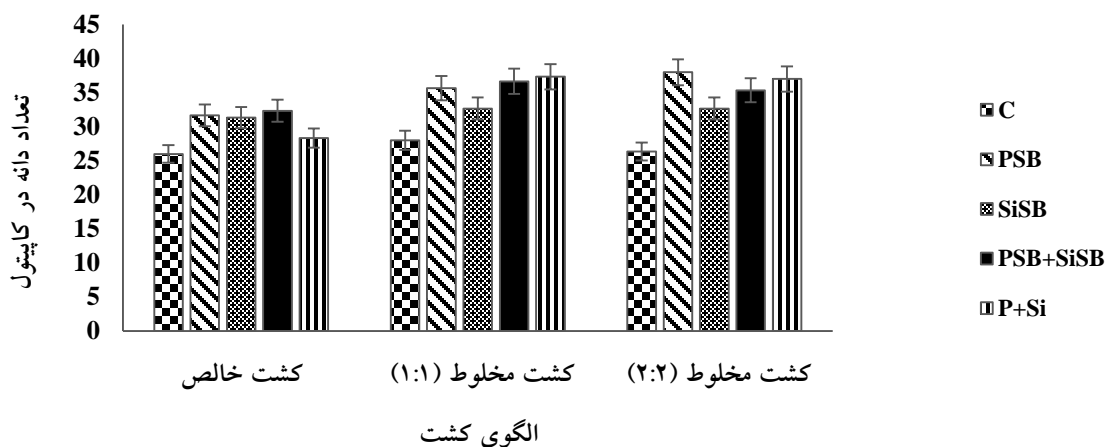
مجله فرایند و کارکرد گیاهی

۹/۳۵ ^c	۱۱/۴۶ ^d	۸/۶۷ ^c	۱۲/۲۲ ^d	C
۱۲/۷۸ ^a	۱۳/۰۳ ^{ab}	۱۱/۰۰ ^b	۱۴/۸۹ ^{bc}	ΔPSB
۱۲/۱۷ ^a	۱۲/۰۲ ^{cd}	۹/۵۷ ^c	۱۴/۰۰ ^c	SiSB
۱۳/۲۸ ^a	۱۳/۷۳ ^a	۱۲/۵۶ ^a	۱۷/۳۳ ^a	PSB+SiSB
۱۳/۲۸ ^a	۱۲/۵۰ ^{bc}	۱۱/۱۱ ^b	۱۵/۵۶ ^b	P+Si

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح (۰/۰۵) اختلاف معنی‌داری ندارد. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB + SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر تعداد کاپسول در بوته خارمریم در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB + SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات



این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر تعداد دانه در کاپیتول خارمریم در شرایط کشت مخلوط. میله ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل کننده فسفات، SiSB: باکتری حل کننده سیلیکات، PSB + SiSB: باکتری حل کننده فسفات + باکتری حل کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس تأثیر رژیم‌های مختلف کودی و الگوهای مختلف کشت بر خارمریم و شنبلیله در شرایط کشت مخلوط (جدول ۱۰)، نشان دهنده تأثیر معنی‌دار عامل‌های مورد بررسی بر عملکرد دانه شنبلیله و خارمریم و برهمکنش آنها در شرایط کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد بود. در مورد گیاه دارویی خارمریم و شنبلیله طبق شکل ۶ و ۷ بیشترین میزان عملکرد دانه خار مریم از الگوهای کشت مخلوط و تیمار کود شیمیایی فسفات + سیلیکات به دست آمد که با کاربرد همزمان دو باکتری و نیز باکتری حل کننده فسفات تفاوت معنی داری نداشت. بالا بودن عملکرد دانه در تیمار اخیر احتمالاً بیانگر این موضوع است که عنصر فسفر نسبت به سیلیس نقش مهمتری را در تشکیل دانه و نهایتاً عملکرد دانه خار مریم دارد (شکل ۶). برای شنبلیله اما کاربرد همزمان دو باکتری عملکرد دانه را در تیمارهای مخلوط افزایش داد. این امر نشان می‌دهد که خارمریم توانسته بهره بیشتری از فسفر شیمیایی ببرد حال آنکه در شنبلیله باکتری‌های حل کننده نقش مهمتری در شکل‌گیری عملکرد دانه داشته‌اند. کمترین نیز از الگوی کشت خالص خارمریم و تیمار شاهد یا عدم مصرف کود به دست آمد (شکل ۷).

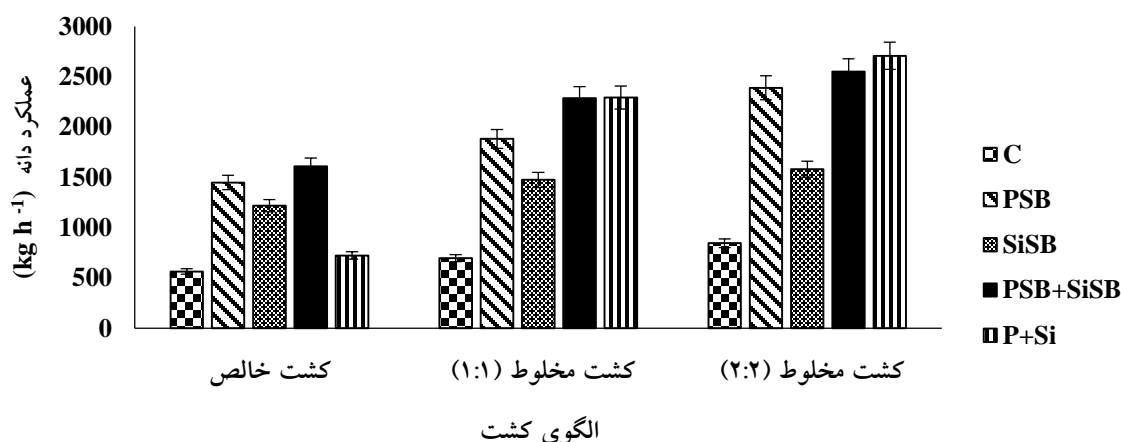
جدول ۱۰- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های مختلف کودی بر درصد روغن و عملکرد دانه شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط

منابع تغییرات		درجه آزادی		عملکرد دانه		درصد روغن	
				شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم
تکرار	۲	۳۵۵۸۸۶/۳**	۱۷۸۱۸/۵ ^{NS}	۰/۰۳۸ ^{NS}	۶/۶۷**		
تیمار کودی	۴	۱۰۴۹۱۰۶/۸**	۲۹۹۴۵۰۱/۷**	۶/۲۳۹**	۴۸/۰۷**		
الگوی کشت	۳	۲۰۹۳۹۴۰/۶**	۳۱۹۷۰۸۹/۴**	۲۲/۲۴۴**	۴۴/۳۰**		
الگوی کشت × تیمار کودی	۱۲	۱۰۳۰۸۷/۰۴**	۴۱۴۸۸۰/۵**	۰/۹۶۶**	۳/۰۵**		
خطا	۳۸	۳۳۱۵۸/۱۳	۲۳۰۷۳/۷	۰/۰۵۳	۰/۳۵		
ضریب تغییرات (%)		۱۷/۳۸	۹/۳۸	۳/۱۸	۲/۵۴		

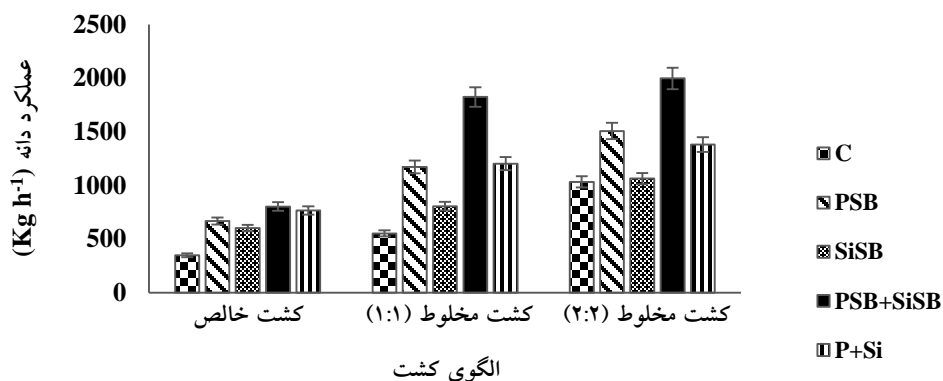
NS, **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی



شکل ۶- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر عملکرد دانه خار مریم در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB+SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات+ باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات



شکل ۷- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر عملکرد دانه شنبلیله در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB+SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات+ باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات

نتایج بررسی‌های Borghi و همکاران (۱۹۹۸) نشان داد هنگامی که دو گونه با ارتفاع بوته، پوشش گیاهی و الگوی رشد متفاوت به صورت همزمان در کشت مخلوط قرار می‌گیرند، کمترین رقابت را با یکدیگر ایجاد می‌کنند و این موضوع باعث افزایش عملکرد کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. تحقیقات Weston و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که سیستم‌های کشت خالص غالباً به دلیل افزایش رقابت درون گونه‌ای منجر به کاهش اجزاء عملکرد گیاهان می‌شوند، در حالیکه کشت مخلوط به دلیل وارد کردن گونه همراه و کاهش رقابت درون گونه‌ای معمولاً

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

سبب افزایش اجزاء عملکرد می‌گردد که در نتایج حاضر نیز عملکرد کشت خالص به شکل معنی‌داری کمتر از کشت مخلوط بود. بررسی‌های Hauggard-Nielson و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد در شرایطی که رقابت بین گونه‌ای کمتر از درون گونه‌ای باشد، گیاهان در کشت مخلوط برای نیچ‌های یکسان رقابت نکرده و عملکرد افزایش می‌یابد. تفاوت مورفولوژیک محسوس بین خارمریم و شنبلیله نظیر ارتفاع متفاوت، شکل برگ‌ها و تفاوت عمق ریشه آن‌ها می‌تواند دلیلی بر کاهش رقابت بین این دو گونه باشد که منجر به بهبود عملکرد مخلوط نسبت به کشت خالص گردیده است. نتایج آزمایش Chalk (۱۹۹۶) نشان داد که برتری عملکرد گیاهان در کشت مخلوط نتیجه تثبیت و انتقال نیتروژن لگوم‌ها در زراعت مخلوط است.

در آزمایشی که توسط Rezaei-Chiyaneh و همکاران (۲۰۲۱) صورت گرفت، نتایج حاکی از افزایش میزان نیتروژن و فسفر دانه در شرایط کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی بود و تلقیح با باکتری بیشترین عملکرد دانه را هم در شنبلیله و هم گندم سیاه نشان داد. کشت مخلوط شنبلیله و گندم سیاه (۶۶:۳۴) بیشترین نسبت برابری زمین را داشت. اگرچه مطالعه انجام شده توسط Ofori و همکاران (۱۹۸۷) نشان دادند هنگامی که کشت دو گونه در یک زمان انجام می‌شود رقابت برای منابع شدیدتر است و لذا کاهش عملکرد دو گونه در این گونه سیستم‌ها بیشتر به چشم می‌خورد.

نتایج پژوهش‌های Choudhary و همکاران (۲۰۱۷) بر گندم نشان داد که باکتری‌های حل‌کننده فسفات به دلیل شرایط مناسب محیطی و در اختیار قرار دادن آب و عناصر غذایی برای گیاه موجب زیاد شدن شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و سرعت رشد نسبی می‌شود. با توجه به مطالعات انجام شده توسط Jaleel و همکاران (۲۰۰۷) باکتری‌های محرک رشد از طریق کمک به جذب نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می‌کنند در کنار کود نیتروژنه به توسعه بهتر ریشه، تحریک رشد گیاه و افزایش انباشت ماده خشک کمک می‌کنند. در پژوهشی که توسط Hamzei و Salimi (۲۰۱۵) صورت گرفت تلقیح بذرهای خار مریم با مایکوریزا و کود فسفره بطور معنی‌داری صفات تعداد کاپیتول در بوته، تعداد دانه در متر مربع، وزن دانه، عملکرد دانه، شاخص کلروفیل و کارایی مصرف فسفر را افزایش داد. بیشترین و کمترین مقدار اجزای عملکرد دانه به ترتیب در ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره و تلقیح با مایکوریزا بدست آمد و عملکرد دانه را ۵۸ درصد در مقایسه با تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره و عدم تلقیح با مایکوریزا افزایش داد. در پژوهش صورت گرفته توسط Rezaei-Chiyaneh و همکاران (۲۰۱۵) الگوی کشت بر تمام صفات آزمایش اثر معنی‌دار داشت. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی از کشت مخلوط ۱۲ رديف زيان و ۶ رديف شنبلیله بدست آمد. اثر نوع کود نیز به جز تعداد نیام بر سایر صفات مورد بررسی شنبلیله اثر معنی‌داری داشت. بالاترین عملکرد دانه شنبلیله و عملکرد بیولوژیکی از تیمار کود شیمیایی و کمترین عملکرد از تیمار شاهد بدست آمد. بیشترین نسبت برابری زمین از کشت مخلوط نواری با نسبت ۴ رديف زيان و دو رديف شنبلیله بدست آمد.

Santi و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند کاربرد سیلیسیم به شکل بیونانوآورتوسالیسیک اسید توانست عملکرد سویای سیاه را تا ۲۶ درصد و کارایی مصرف آب را تا ۳۷ درصد افزایش دهد و میزان مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم را تا ۵۰ درصد کاهش دهد. از سوی Sun و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند کاربرد دو نوع باکتری افزایش دهنده رشد گیاه *Bacillus mucilaginosus* و *Aspergillus niger* باعث افزایش عملکرد دانه برنج در مقایسه با تیمار شاهد شد. کاربرد این دو باکتری با هم اثر هم‌افزایی داشت و اثر آن‌ها بطور هم‌زمان نسبت به زمانی که هر کدام به تنهایی بکار می‌رفت، بیشتر بود. کاربرد

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

همزمان آن‌ها باعث آزادسازی سیلیکون قابل حل شد و محتوای سیلیکون گیاه را افزایش داد. در این آزمایش میکرواورگانیسم های خاک، بیومس میکروبی، فعالیت آنزیمی و فعالیت بیوشیمیایی خاک بطور معنی داری افزایش یافتند. آنچه در تحقیق حاضر مشاهده شد نیز موید همین مطلب است که اثر دو باکتری با هم نسبت به کاربرد هر کدام از آنها به تنهایی روی اکثر صفات اثر مثبت معنی داری داشت که نشان از اثر هم افزایی این دو نوع باکتری دارد. در آزمایشی که توسط Song و همکاران (۲۰۲۱) انجام شد تامین سیلیکون خاک بطور معنی داری باعث کاهش دسترسی به کادمیوم خاک، جذب آن در بافت‌های گیاه، افزایش سلامتی و رشد و عملکرد گندم گردید. در این آزمایش تیمار سیلیسیم بیشترین تأثیر (۲۵/۵۴٪) را روی عملکرد دانه نسبت به تیمارهای شاهد، بیوچار و کود برگی داشت. بیشترین کاهش در دسترسی زیستی به کادمیوم خاک مربوط به تیمار سیلیسیم (۲۹/۵۶٪) بود. اصلاح کننده‌های خاک مانند بیوچار، کود سیلیکون و کود برگی نقش حیاتی در کاهش دسترسی به کادمیوم خاک و حمایت از رشد گیاه و سلامت محصول و امنیت غذایی در اکوسیستم بازی می‌کنند.

مطالعات Galindo و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد کاربرد باکتری حل‌کننده سیلیکون در حضور سنگ آهک به عنوان منبع سیلیکات و کود نیتروژن، باعث بهبود پارامترهای رشد گندم و کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد دانه می‌شود. نتایج این آزمایش نشان داد استفاده از سیلیسیم در حضور باکتری حل‌کننده سیلیکات می‌تواند سبب بهبود جذب نیتروژن شود. در تحقیق Rezakhani و همکاران (۲۰۱۹) در یک محیط گلدانی پرلیت با کاربرد جداگانه سیلیسیم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات همه پارامترهای مورفولوژیکی (وزن خشک اندام‌های هوایی، ریشه و عملکرد دانه)، پارامترهای تغذیه‌ای (جذب سیلیسیم و پتاسیم) و پارامترهای فیزیولوژیکی (فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز و پراکسیداز) گیاه سورگوم (*Sorghum bicholar L*) بهبود یافت. استفاده از باکتری حل‌کننده فسفات برای گیاهان سورگوم رشد یافته در فسفر قابل حل یا غیرقابل حل بطور معنی داری کارایی استفاده از فسفر را افزایش داد. سیلیکون نه تنها جذب فسفر از منبع فسفر کم‌محلول (سنگ فسفات) را افزایش داد بلکه جذب فسفر از منبع فسفر محلول در آب را نیز بهبود بخشید. در آزمایشی اثر باکتری حل‌کننده فسفات *Bacillus megaterium* و باکتری حل‌کننده پتاسیم *Bacillus mucilaginosus* روی جذب مواد معدنی، دسترسی خاک و رشد گیاه بادمجان، به طور معنی داری باعث افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن، فسفر و پتاسیم و نهایتاً افزایش رشد و عملکرد محصول بادمجان شد (Han and Lee, 2006). Sarker و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان داشتند در کاربرد دو سویه باکتری (PSB₁ و PSB₈) و منابع مختلف فسفر روی گیاه گندم و برنج، هر دو سویه به طور معنی داری رشد گیاهچه (اندام هوایی و طول ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه) و محتوای عناصر غذایی (NPK) در بافت‌های گیاه گندم را در مقایسه با شاهد افزایش دادند.

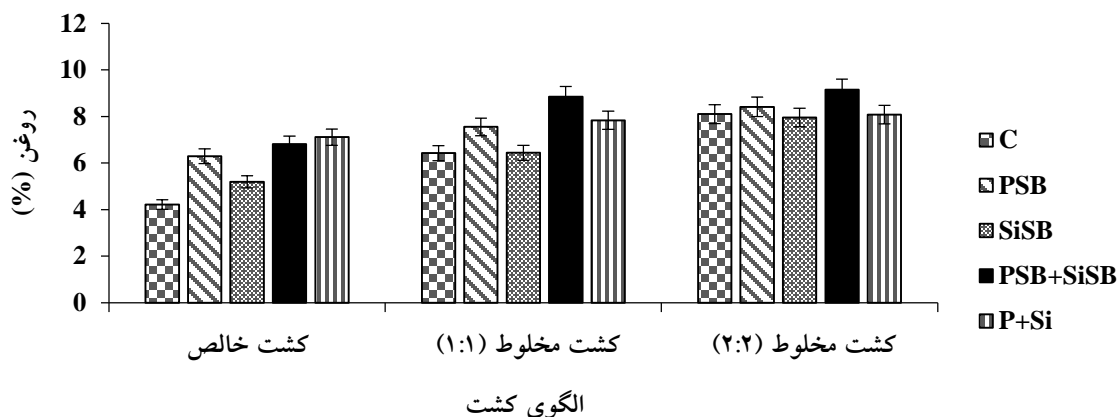
درصد روغن

تجزیه واریانس تأثیر رژیم‌های کودی و الگوهای مختلف کشت بر درصد روغن خارمریم و شنبلیله در شرایط کشت مخلوط (جدول ۱۰)، نشان دهنده تأثیر معنی دار عامل‌های مورد بررسی و برهمکنش آن‌ها بر درصد روغن شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد بود. در بررسی برهمکنش عامل‌ها در شنبلیله بیشترین میزان درصد روغن از الگوهای کشت مخلوط و کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات بدست آمد که تفاوت معنی داری را در سطح احتمال یک درصد نسبت به سایر تیمارها نشان داد (شکل ۸). در خارمریم نیز بیشترین درصد روغن دانه از الگوهای

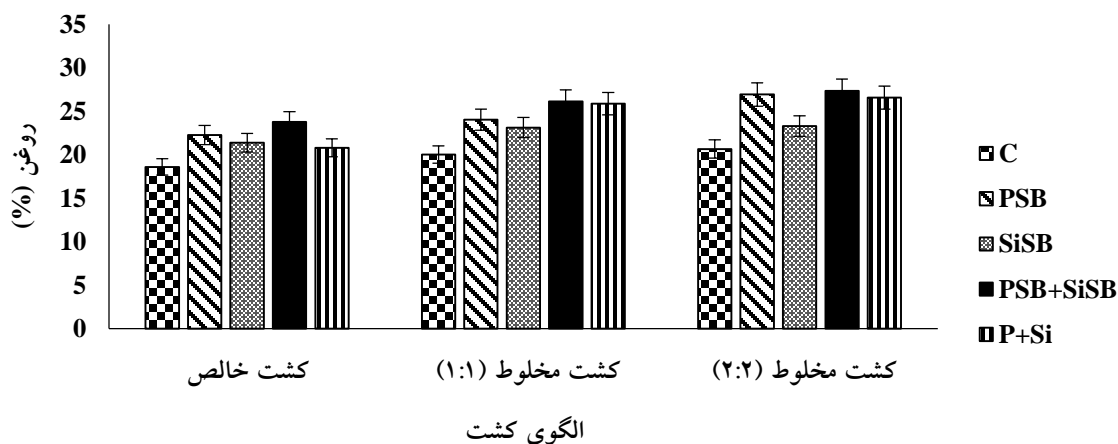
این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

کشت مخلوط و کاربرد همزمان باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات بدست آمد که با کاربرد شیمیایی فسفر و سیلیس تفاوت معنی داری نداشت. بعلاوه در الگوی مخلوط (۲:۲) باکتری حل‌کننده فسفات به تنهایی توانست درصد روغن آن را افزایش دهد (شکل ۹).



شکل ۸- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر درصد روغن دانه شنبلیله در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB+SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات



شکل ۹- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر درصد روغن خارمریم در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB+SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفات + کود سیلیکات

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

در آزمایشی که توسط Rezaei- Chiyaneh و همکاران (۲۰۲۱) صورت گرفت، کشت مخلوط شنبلیله و گندم سیاه (۶۶:۳۴) بیشترین مقدار عملکرد دانه و درصد روغن دانه را داشت. Ghaderimokri و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند کشت مخلوط با نسبت (۲:۲) به همراه کود زیستی بیشترین محتوای روغن دانه را در رازیانه و شنبلیله تولید کرد. کاربرد هیومیک اسید و کود زیستی عملکرد روغن دانه را در رازیانه ۶۶ تا ۷۵ درصد و در شنبلیله ۴۰ تا ۵۷ درصد افزایش داد. Rezvani- moghadam و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند اثر الگوی کشت روی عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه در دو گیاه شنبلیله و زیره سبز تفاوت معنی داری را در مقایسه با شاهد نشان دادند. کود بیولوژیک اثر معنی داری روی عملکرد روغن زیره سبز نداشت ولی اثر معنی داری روی عملکرد روغن دانه در شنبلیله نسبت به شاهد نشان داد. کود زیستی سودوموناس پوتیدا، نسبت برابری زمین بیشتری را در مقایسه با سایر تیمارهای کود زیستی (نیتروکسین و تیمار شاهد) داشت. مهمترین دلیل افزایش و کاهش عملکرد روغن به افزایش و کاهش عملکرد دانه باز می‌گردد؛ در تحقیق حاضر نیز با توجه به کاهش عملکرد دانه در شرایط کشت خالص شنبلیله و خارمریم، عملکرد روغن نیز کاهش پیدا کرد و افزایش عملکرد در کشت مخلوط به همراه کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات هم عملکرد دانه و هم میزان درصد روغن دانه نسبت به شاهد افزایش داشت. در آزمایشی که توسط Mahfouz و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد نسبت (۲:۱) (چاودار : شنبلیله) بیشترین مقدار ترکیبات فیتوشیمیایی (درصد روغن و پروتئین) را نسبت به سایر نسبت‌های کشت مخلوط داشت. در بررسی Shehata و El-khawas (۲۰۰۳) افزایش معنی دار میزان روغن آفتابگردان با مصرف کود زیستی گزارش شد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که اثر الگوهای مختلف کشت و رژیم‌های مختلف کودی بر صفات مورد بررسی در هر دو گیاه شنبلیله و خارمریم معنی دار اما بر همکنش این دو عامل در گیاه دارویی شنبلیله بر صفات کلروفیل کل، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و درصد روغن و در گیاه خارمریم بر صفات فنل کل، درصد روغن و عملکرد دانه معنی دار شد. بیشترین میزان اکثر صفات مورد بررسی مانند درصد روغن در هر دو گیاه خارمریم و شنبلیله از الگوی کشت مخلوط دو ردیفه (۲:۲) این دو گیاه و کاربرد همزمان باکتری حل‌کننده (فسفات + سیلیکات) بدست آمد و بیشترین عملکرد دانه به میزان (۲۰۱۴/۰۳) کیلوگرم در هکتار) و (۲۷۰۹/۶۳ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب در گیاه شنبلیله و خارمریم، در کشت مخلوط دو ردیفه (۲:۲) و کاربرد همزمان باکتری حل‌کننده (فسفات + سیلیکات) یا کاربرد کود شیمیایی فسفات و سیلیکات حاصل شد. این نشان می‌دهد در بیشتر موارد کاربرد همزمان دو باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات در شرایط کشت مخلوط توانسته نیاز شیمیایی این دو گیاه را به فسفر و سیلیکات مرتفع سازد که احتمالاً از طریق افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و به دنبال آن افزایش ظرفیت فتوسنتزی و نهایتاً اثر بر صفات رشدی و عملکرد دانه است. بعلاوه حضور شنبلیله در کنار خارمریم، از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات از طریق بهبود سیستم ریشه و حضور باکتری حل‌کننده سیلیکات از طریق افزایش کلروفیل و اثرات هم‌افزایی این عوامل همگی شرایط خوبی را برای دو گیاه بوجود آورده است که از نظر تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه و منجر به افزایش فنل، فلاونوئید و خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای زیستی در کشت مخلوط یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب کمی

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

مجله فرایند و کارکرد گیاهی

و کیفی این دو گیاه دارویی با حداقل مصرف نهاده‌های خارجی است که در بلندمدت می‌تواند منجر به کاهش نیاز سیستم‌های زراعی به نهاده‌های شیمیایی شود.

منابع

- تویسرکانی، فاطمه، حرمتی، احمد، مرادی، حسین، و علی‌اصل، فاطمه (۱۳۹۸). نگاهی گذرا به گیاه خارمریم از دیدگاه طب سنتی ایرانی و مطالعات نوین. *مجله دانشگاه علوم پزشکی قم*، ۱۳(۱)، ۷۸-۸۶. DOI: 10.29252/qums.13.1.78
- حاتم‌وند، معصومه، حسنلو، طاهره، دهقان نیری، فاطمه، شیرانی‌راد، امیرحسین، طباطبایی، سیدعلی، و حسینی، سیدمحمد (۱۳۹۳). بررسی برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام کلزا تحت تاثیر تنش خشکی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۷(۲)، ۱۷۳-۱۸۵. <https://doi.org/10.22077/escs.2015.174>
- حسن‌زاده، الناز، رضازاده، شمسعلی، شمس‌ا، سیدفاضل، دولت‌آبادی، رضا، و زرین‌قلم، جلال (۱۳۸۹). مروری بر خواص درمانی و فیتوشیمیایی شنبلیله. *فصلنامه گیاهان دارویی*، ۹(۳)، ۱-۱۸. DOR: 20.1001.1.2717204.2010.9.34.1.9
- رضاپورکوشاهی، طاهره، انصاری، محمدحسین، و مصطفوی‌راد، معرفت (۱۳۹۴). اثر برخی سویه‌های باکتری حل‌کننده فسفات بر عملکرد و خصوصیات زراعی مهم لوبیای محلی (*vulgaris Phaseolus. L*) گیلان در مقادیر مختلف کود فسفاته. *نشریه به‌زراعی کشاورزی*، ۱۷(۳)، ۸۰۱-۸۱۴. <https://doi.org/10.22059/jci.2015.54387>
- سلوکی، حسام‌الدین، نصیری‌محللاتی، مهدی، کوچکی، علیرضا، و رضوانی‌مقدم، پرویز (۱۳۹۷). ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط جایگزینی ماریتیغال و رازیانه. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۱۰(۲۰)، ۳۱۳-۳۲۶. <https://doi.org/10.22067/jag.v10i2.34659>
- صالح‌راستین، ناهید (۱۳۷۷). کودهای بیولوژیک و نقش آنها در راستای نیل به کشاورزی پایدار. *مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور، نشریه علوم آب و خاک*، ۳(۱۲)، ۱-۴۵.
- مستاجران، ا. و ضوئی، ف. (۱۳۷۸). همزیستی (سیستم های همیاری گیاه و باکتری). *جلد ۳، دانشگاه اصفهان، اصفهان*.
- هاشمی‌دزفولی، ابولحسن، ابدی، علیرضا، و سیادت، عطاله (۱۳۷۹). تأثیر نسبت اختلاط و تاریخ کاشت بر روی عملکرد کمی و کیفی علوفه و دانه در کشت مخلوط ذرت و آفتابگردان در منطقه اهواز. *مجله علوم زراعی ایران*، ۲(۲)، ۱-۱۶. DOR: 20.1001.1.15625540.1379.2.2.1.0
- یزدانی‌بیوکی، ر. و عبادی، م. ت. (۱۳۹۶). دستورالعمل تولید گیاه دارویی خارمریم محصولی متحمل به شوری. چاپ ۱، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی، کرج.

- Afshar, R. K., Chaichi, M. R., Rezaeie, K., Asareh, M. H., Karimi, M., & Hashemi, M. (2015). Irrigation regime and organic fertilizers influence on oil content and fatty acid composition of milk thistle seeds. *Agronomy Journal*, 107, 187-194. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0368>.
- Ahmad, A., Alghamdi, S. S., Mahmood, K., & Afzal, M. (2015). Fenugreek a multipurpose crop: Potentialities and improvements. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23, 300-310. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.09.015>.
- Ahmad, M., Zafar, M., Sultana, S., Azam, A., & Khan, M. A. (2014). The optimization of biodiesel production from a novel source of wild non-edible oil yielding plant *Silybum marianum*. *International Journal Green Energy*, 11, 589-594. <https://doi.org/10.1080/15435075.2013.777910>.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

- Altuntas, E., Ozgoz, E., & Taser, O. F. (2005). Some physical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seeds. *Journal of Food Engineering*, 71, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.015>.
- Arefi, I., Kafi, M., Khazaei, H. R., & Banayan Aval, M. (2012). Effect of nitrogen phosphorous and potassium fertilizer levels on yield, photosynthetic rate photosynthetic pigments, chlorophyll content, and nitrogen concentration of plant components of *Allium altissimum* Regel. *Iran Journal of Agroecology*, 4(3), 207–214. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/JAG.V4I3.15309>.
- Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112–121.
- Arun, K. S. (2007). Bio-fertilizers for sustainable agriculture. Mechanism of P Solubilization. Agribios publishers. *Jodhpur. India*, 6, 196–197.
- Ascon, D. B., Lopez-Briones, S., Liu, M., Ascon, M., Savransky, V., & Colvin, R. B. (2006). Phenotypic and functional characterization of kidney-infiltrating lymphocytes in renal ischemia reperfusion injury. *Journal of Immunology Research*, 177, 3380–3387. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.177.5.3380>.
- Awal, M. A., Koshi, H. & Ikeda, T. (2006). Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139, 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.06.001>.
- Bagheri, R., Bashir, H., Ahmad, J., Iqbal, M., & Qureshi, M. I. (2015). Spinach (*Spinacia Oleracea* L) modulates its proteome differentially in response to salinity, cadmium and their combination stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 97, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.10.012>.
- Baharloi, S. (2013). Effect of plant competition on nitrogen requirement of intercropping of *Pisum sativum* and rapeseed. M.Sc Thesis, Shahrekord University, Shahrekord. Iran (In Persian).
- Borghi, E., Crucioli, C. A. C., Nascente, A. S., Sousa, V. V. & Martins, P. O. (2013). Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. *European Journal of Agronomy*, 51, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.006>.
- Bouizgarne, B., Bakki, M., Boutasknit, A., Banane, B., El Ouarrat, H., Ait El Maalem, S., Amenzou, A., Ghousmi, A., & Meddich, A. (2023). Phosphate and potash solubilizing bacteria from Moroccan phosphate mine showing antagonism to bacterial canker agent and inducing effective tomato growth promotion. *Front Plant Science*. 14, 970382. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.970382>.
- Chalk, P. M. (1996). Nitrogen transfer from legumes to cereals in intercropping. In: Proceeding of the International Workshop: Dynamics of Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). Patancheru, Andhra Pradesh. (1994). Pp: 351–374.
- Choudhary, R. R., Yadav, H. L., Choudhary, S. L., Prajapat. A. L., & Choudhary. R. (2017). Effect of integrated nutrient management on growth of wheat (*Triticum aestivum*) cultivars. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(8), 2369–2374. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.280>.
- Daneshvar, F., & Khajoei-Nejad, G. h. (2014). Study of bio-fertilizers application effects on yield potential and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under different irrigation regimes, *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 4 (4), 59–69. (In Persian).
- Dar, A. A., Verma, N. K., & Arumugam, M. (2015). An updated method for isolation, purification and characterization of clinically important antioxidant lignans Sesamin and sesamol, from sesame oil. *Industrial Crops and Products*, 64, 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.10.026>.
- Darzi, M. T., Hadj Seyed Hadi, M. R., & Rejali, F. (2012). Effects of cattle manure and plant growth promoter bacteria application on some morphological traits and yield in coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 28(3), 434–446. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.2945>.
- Eida, A. A., Hirt, H., & Saad, M. M. (2017). Challenges faced in field application of phosphate-solubilizing bacteria. *Springer Nature Singapore. Rhizotrophs: Plant Growth Promotion to Bioremediation, Microorganisms for Sustainability*, 43–125. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4862-3_6.
- Elhaisoufi, W., Khourchi, S., Ibnasser, A., Ghoulam, C., Rchiad, Z., Zeroual, Y., Lyamlouli, K., & Bargaz, A. (2020). Phosphate Solubilizing Rhizobacteria Could Have a Stronger Influence on Wheat Root Traits and Aboveground Physiology than Rhizosphere P Solubilization. *Frontier in Plant Science*, 11, 979. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00979>.
- Eller, F. J., Cermak, S. C., & Taylor, S. L. (2011). Supercritical carbon dioxide extraction of cuphea seed oil. *Industrial Crops and Products*, 33, 554–557. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.017>.

- Fanaei, H. R., Azmal, A., & Piri, I. (2017). Effect of biological and chemical fertilizers on oil, seed yield and some agronomic traits of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 8(4), 551-566. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/JAG.V8I4.46602>.
- Fathi, A., Tahmasebi, A., & Teimoori, N. (2016). Effect of sowing date and weed interference on chickpea seed quantitative and traits in genotypes under dryland conditions. *Iranian Journal of dryland Agriculture*, 5(2), 135-156. <https://doi.org/10.22092/IDAJ.2016.109662>.
- Galindo, F. S., Buzetti, S., Rodrigues, W. L., Boleta, E. H. M., Silva, V. M., Tavanti, R.F.R., Fernandes, G. C., Biagini, A. L. C., Rosa, P. A. L., & Teixeira Filho, M. C. M. (2020). Inoculation of *Azospirillum brasilense* associated with silicon as a liming source to improve nitrogen fertilization in wheat crops. *Science Report*, 10(1), 6160. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63095-4>.
- Ghaderimokri, L., Rezaei-Chiyaneh, E., Ghiyasi, M., Gheshlaghi, M., Battaglia, M. L., & Kadambot H. M. (2022). Application of humic acid and biofertilizers changes oil and phenolic compounds of fennel and fenugreek in intercropping systems. *Science Report*, 12(1), 5946. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09645-4>.
- Gharakhani-Beni, A., Ghasemi Pirbalouti, A., Javanmard, H., Soleymani, A., & Golparvar, A. (2022). Chemical compositions, yield and antioxidant activity of the essential oil of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Natural Product Research*, 37(4), 675-680. <https://doi.org/10.1080/14786419.2022.2078971>.
- Ghorbanpour, M., Hatami, M., & Khavai, K. (2013). Role of plant growth promoting rhizobacteria on antioxidant enzyme activities and tropane alkaloid production of *Hyoscyamus Niger* under water deficit stress. *Turkish Journal of Biology*, 37, 350-360. <https://doi.org/10.3906/biy-1209-12>.
- Halcon, L. (2002). Aromatherapy therapeutic applications of plant essential oils. *Minnesota Medicine*, 85, 6-42.
- Hamzei, J., & Salimi, F. (2015). Root Colonization, Yield and Yield Components of milk thistle (*Silybum marianum*) Affected by Mycorrhizal Fungi and Phosphorus Fertilizer. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 24, 85-96.
- Hariprasad, P., & Niranjana, S. R. (2009). Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. *Journal of Plant Soil*, 316, 13-24. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9754-6>.
- Hasanloo, T., Sepehrifar, R., & Hajimehdipoor, H. (2011). Levels of phenolic compounds and their effects on antioxidant capacity of wild *Vaccinium arctostaphylos* L. (Qare-Qat) collected from different regions of Iran. *Turkish Journal of Biology*, 35(3), 371-377. <https://doi.org/10.3906/biy-0909-96>.
- Haggard-Nielson, H., Ambus, P., and Jensen, E.S. (2001). Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea barley intercropping. *Field Crop Research*, 70, 101-109. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00126-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00126-5).
- Haymes, R., Lee, H. C. (1999). Competition between autumn and spring planted grain intercrops of wheat (*Triticum aestivum*) and field bean (*Vicia faba*), *Field Crops Research*, 62(2), 167-176. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00016-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00016-7).
- Huang, D., Jiang, Y., Yang, J., & Sun, S. (2004). Effects of nitrogen deficiency on gas exchange, chlorophyll fluorescence, and anti oxidant enzymes in leaves of rice plants. *Agronomy Journal*, 42(3), 357-364. <https://doi.org/10.1023/B:PHOT.0000046153.08935.4c>.
- Iinal, A., Gunes, A., Zhang, F. S., & Cakmak, I. (2007). Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45, 350-356. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.03.016>.
- Jahani, M., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2008). Comparison of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum*) and lentil (*Lens culinaris*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 6(1): 67-78. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/GSC.V6I1.1177>.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2007). *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. *Plant and Soil*, 60(1), 7-11. <https://doi.org/10.1016/j.colsurf.2007.05.012>.
- Kang, S. M., Waqas, M., Shahzad, R., You, Y. H., Asaf, S., Khan, M. A., Lee, K. E., Joo, G. J., Kim, S. J., & Lee, I. J. (2017). Isolation and characterization of a novel silicate solubilizing bacterial strain *Burkholderia*

- eburnean CS4-2 that promotes growth of japonica rice (*Oryza sativa L.* cv. Dongjin). *Soil Science and Plant Nutrition*, 63, 233-241. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1314829>.
- Karkanis, A., Bilalis, D., & Efthimiadou, A. (2011). Cultivation of milk thistle (*Silybum marianum L. Gaertn.*), a medicinal weed. *Industrial Crops Production*, 34, 825– 830. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.03.027>.
- Khiriya, K. D. & Singh, B. P. (2003). Effect of phosphorus and farmyard manure on yield, yield attributes and nitrogen, phosphorus and potassium uptake of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Indian Journal of Agronomy*, 48(1), 62-65. <https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.4.775>.
- Kiarostami, K. H., Mohseni, R., & Saboora, A. (2010). Biochemical changes of *Rosmarinus officinalis* under salt stress. *Journal of Stress Physiological Biochemical*, 6(3), 114-122.
- Kumari, S., Sharma, A., Chaudhary, P., & Khati, P. (2020). Management of plant vigor and soil health using two agrisusable nanocompounds and plant growth promotory rhizobacteria in Fenugreek. *King Abdulaziz City for Science and Technology*, 11, 461. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02448-2>.
- Kumawat, N., Kumar, R., Khandkar, U. R., Yadav, R. K., Saurabh, K., Mishra, J. S., Dotaniya, M. L., & Hans, H. (2019). Silicon and zinc solubilizing microorganisms: role in sustainable agriculture. *Springer Nature Switzerland*, 55, 109-135. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_6.
- Lee, K. E., Adhikari, A., Kang, S. M., You, Y. H., Joo, G. J., Kim, J. H., Kim, S. J., & Lee, I. J. (2019). Isolation and Characterization of the High Silicate and Phosphate Solubilizing Novel Strain *Enterobacter ludwigii* GAK2 that Promotes Growth in Rice Plants, *Agronomy*, 9, 144. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030144>.
- Lee, S. E., Hwang, H. J., Ha, J. S., Jeong, H. S., & Kim, J. H. (2003). Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Life Sciences*, 73, 167-179. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(03\)00259-5](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(03)00259-5).
- Mahfouz, S. A., Mohamed, M. A., Atteya, A., & Ibrahim, M. E. (2017). Impact of intercropping system on yield and quality of *Lotium Multiflorum* and *Trigonella foenum-graecum l.* *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 9, 324-331. <https://doi.org/10.25258/ijpcr.v9i04.8542>.
- Maleva, M., Borisova, G., Koshcheeva, O., & Sinenko, O. (2017). Biofertilizer based on silicate solubilizing bacteria improves photosynthetic function of *Brassica Juncea*. *Agrofor International Journal*, 2, 13-19. <https://doi.org/10.7251/AGRENG1703013M>.
- Marinova, D., Ribarova, F., & Atanassova, M. (2005) Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *Journal of Chemical Technolgy Metall*, 40, 255-260.
- Mehrafarin, A., Rezazadeh, S. H., Naghdi Badi, H., Noorohaadi, G., Zand, E., & GHaderi, A. (2011). A review on biology, cultivation and biotechnology of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum L.*) as a valuable medicinal plant and multipurpose. *Journal of medicinal plants*, 10(37), 6-24.
- Naghdi badi, H., Omidi, H., Rezazadeh, S. H., & Zeinali Mobarakeh, Z., (2012). Morphological, agronomical and phytochemical changes in borage (*Borago officinalis L.*) under biological and chemical fertilizers. *Journal of Medicinal Plants*, 2(42), 145-156.
- Nieto, G. A. (2020). Review on Applications and Uses of *Thymus* in the Food Industry. *Plants (Basel)*, 9 (8), 961. <https://doi.org/10.3390/plants9080961>.
- Ofori, F., & Stern. W. R. (1987). Cereal-legume intercropping systems. *Advanced agronomy*, 41: 4-9. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60802-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60802-0).
- Ohashi, Y., Saneoka, H., & Fujita, K. (2012). Effect of water stress on growth, photosynthesis, and photoassimilate translocation in soybean and tropical pasture legume siratro. *Soil Science and Plant Nutrient*, 46(2), 417-425. <https://doi.org/10.1080/00380768.2000.10408795>.
- Peterson, D. M., Emmons, C. L., & Hibbs, A. (2001). Phenolic antioxidant activity in pearling fractions of oat groats. *Cereal Science*. 33(1), 97-103. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0347>.
- Pieterse, C. M., Van Wees, S. C., Hoffland, E., Van Pelt, J. A., & Van Loon, L. C. (1996). Systemic resistance in arabidopsis induced by biocontrol bacteria is independent of salicylic acid accumulation and pathogenesis-related gene expression. *Plant Cell*, 8, 1225–1237. <https://doi.org/10.1105/tpc.8.8.1225>.
- Pokorny, J.P., (2007). Are Natural Antioxidants Better and Safer Than Synthetic Antioxidants? *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109, 629-642. <http://dx.doi.org/10.1002/ejlt.200700064>.
- Rajesh, M., Nagarajan, A., Perumal, S., & Sellamuthu, M. (2008). The antioxidant activity and free radical scavenging potential of two different solvent extracts of camellia sinensis. *Ficus bengalensis* and *Ficus racemosa*. *Food Chemistry*, 107, 1000-1007. <https://doi.org/10.1016/j>

- Rezaei- chiyaneh, E., Khorramdel, S., & Garachal, P. (2014). Evaluation of relay intercropping of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) on their yield and land use efficiency. *Journal of Crop Improve. (Journal of Agriculture) In Press (In Persian)*.
- Rezaei- Chiyaneh, E., Leonardo Battaglia, M., Sadeghpour, A., Shokrani, F., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Raza, M. A., von Cossel, M. (2021). Optimizing Intercropping Systems of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) and Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) through Inoculation with Bacteria and Mycorrhizal Fungi. *Advanced Sustainable Systems*, (5)9: 2000269. <https://doi.org/10.1002/adsu.202000269>.
- Rezaei- Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., & Fotohi Chiyaneh, S. (2015), Yield and Yield Components of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in Strip Intercropping with Ajowan (*Carum copticum* L.) Influenced by Bio and Chemical Fertilizer. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 24, 1-15.
- Rezakhani, L., Motesarezadeh, B., Tehrani, M. M., Etesami, H., & Hosseini, H. M. (2019). Effect of silicon and phosphate-solubilizing bacteria on improved phosphorus (P) uptake is not specific to insoluble P-fertilized sorghum (*Sorghum bicolor* L.) plants. *Journal of Plant Growth Regulation. Springer*, 173, 504-513. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09978-x>.
- Rezvani moghadam, P., & moradi, R. (2012). Assessment of Planting Date, Biological Fertilizer and Intercropping on Yield and Essential Oil of Cumin and Fenugreek. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 43(2), 217-230. <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2012.28484>.
- Rojas G., Levaro, J., Tortoriello, J., & Navarro, V. (2001). Antimicrobial evaluation of certain plants used in Mexican traditional medicines for the treatment of respiratory disease. *Journal of Ethnopharmacology*, 74, 97-101. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(00\)00349-4](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00349-4).
- Rugheim, A. M. E., Taha, K. E. M., & Ali, S. E. A. (2017). Influence of nitrogen fixing and phosphorus solubilizing bacteria inoculation on fenugreek symbiotic properties, growth and yield. *International Journal of Horticulture, Agriculture and Food Science*, 1, 42-47. <https://dx.doi.org/10.22161/ijhaf.1.3.8>.
- Salehi, A., Fallah, S., Zitterl-Eglseer, K., Kaul, H., Abbasi Surki, A., & Mehdi, B. (2018). Effect of organic fertilizers on antioxidant activity and bioactive compounds of fenugreek seeds in intercropped systems with buckwheat. *Agronomy*, 9, 367. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070367>.
- Santi, L. P., Goenadi, D. H., Barus, J., Dariah, A., & Kalbuadi, D. N. (2020). Effects of Bio-nano OSA Application on Fertilizer Use and Water Consumption Efficiencies of Black Soybean Grown on Rice-Field. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 2(43), 109-116. <https://doi.org/10.21082/jti.v43n2.2019.109-116>.
- Sarker, A., Khan, M. A., & Islam, T. (2012). Phosphate solubilizing bacteria on phosphorus nutrition of wheat and rice. Conference: 22nd Bangladesh Science Conference of Bangladesh Association for the Advancement of Science (BAAS) at: Dhaka, Bangladesh. <https://doi.org/10.1556/AMicr.59.2012.2.5>.
- Shakeri, E., Amini Dehaghi, M., Tabatabaei, S.A., Modares Sanavi, S. A. M. (2013). Effect of nitrogen and biological fertilizers on seed yield and fatty acid composition of sesame cultivars under Yazd conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10 (4), 742-750. (In Persian). 10.22067/GSC.V10I4.20385.
- Shehata, M. M., & El-khawas, S. A. (2003). Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, Yield. *Pakistan Journal of Biological Sciences: 6*(14), 1257- 1268. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.1257.1268>.
- Shetty, R., Frette, X., Jensen, B., Shetty, N. P., Jensen, J. D., Jorgensen, H. J. L., Newman, M. A., & Christensen L. P. (2011). Silicon-induced changes in antifungal phenolic acids, flavonoids and key phenylpropanoid pathway genes during the interaction between miniature roses and the biotrophic pathogen *Podosphaera pannosa*. *Plant Physiology*, 157, 2194– 2205. <https://doi.org/10.1104/pp.111.185215>.
- Shetty, R., Jensen, B., Shetty, N. P., Hansen, M., Hansen, C. W., Starkey, K. R., & Jorgensen, H. J. L. (2012). Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. *Plant Pathology*, 61, 120–131. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02493.x>.
- Song, A., Li, Z., Wang, E., Xu, D., Wang, S., Bi, J., Wang, H., Jeyakumar, P., Li, Z., & Fan, F. (2021). Supplying silicon alters microbial community and reduces soil cadmium bioavailability to promote health wheat growth and yield. *Science of the Total Environment*, 796, 148797 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148797>.
- Sun, T., Liu, Y. Y. N., Wu, S., Zhang, J. Z., Qu, B., & Xu, J. G. (2020). Effects of background fertilization followed by co-application of two kinds of bacteria on soil nutrient content and rice yield in Northeast China. *International Journal of Agriculture and Biological Engineering*, 13(2), 154–162. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201302.4863>.

- Valifard, M., Mohsenzadeh, S., Kholdebarin, B., & Rowshan, V. (2014). Effects of salt stress on volatile compounds, total phenolic content and antioxidant activities of *Salvia mirzayanii*. *South African Journal of Botany*, 93, 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.04.002>.
- Vasanthi, M., Lilly, M., & Anthony Raj, S. (2014). Silicon in crop production and crop protection. *Rom Vijay Bioo tech Private limited. Pondicherry- 607 402, India*, 35(1), 14-23. <https://doi.org/10.5958/J.0976-0741.35.1.002>.
- Weston, E. J., King, A. J., Strong, W. M., Lehane, K. J., Cooper, J. E., & Holmes, C. J., (2002). Sustaining productivity of a vertisoil at warra. Queens land, with fertilizers, no tillage or legumes. Production and nitrogen benefits from annual medic in rotation with wheat. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42, 961-969. <https://doi.org/10.1071/EA03166>.
- Wu, S. C., Coa, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., & Wong, M. H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and fungi on maize growth. *Geoderma*, 125, 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003>.
- Yildirim, A., Mavi, A., & Kara, A. A. (2001). Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus L.* extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 4083- 4089. <https://doi.org/10.1021/jf0103572>.
- Zaidi, A., & Khan, M. S. (2007). Stimulatory effects of dual inoculation with phosphate solubilizing microorganisms and arbuscular mycorrhizal fungus on chickpea. *Australian Journal Experimental Agriculture*, 47, 1016–1022. <https://doi.org/10.1071/EA06046>.
- Zimdahl, R. H. (2007). *Fundamentals of Weed Sciences*. Academic Press, New York.

The effect of phosphate and silicate solubilizing bacteria on some physiological, biochemical characteristics, seed and oil yield of Milk Thistle (*Silybum marianum*) and Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) in Intercropping conditions

Hossein Mahmoudi¹, Ali Abbasi Surki^{1*}, Sina Fallah¹, Amin Salehi²

¹ Department of agronomy Shahrekord University

² Department of agronomy Yasouj University

Abstract

In order to evaluate the effect of phosphate and silicate solubilizing bacteria on grain yield and biochemical compounds of Milk thistle and Fenugreek in intercropping conditions, an experiment was conducted in 2019 in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces, Yasouj, Iran. Five different levels of fertilizers includes phosphate solubilizing bacteria, silicate solubilizing bacteria, phosphate solubilizing bacteria + silicate solubilizing bacteria, and phosphate and silicate chemical fertilizers versus control (no fertilizer) as the first factor, were evaluated in different intercropping patterns (monocropping of Milk thistle, monocropping of Fenugreek, intercropping of Milk thistle and Fenugreek with arrangements (1:1) and (2:2)) as second factor in a RCBD factorial experiment with three replications. The results showed that the simultaneous application of phosphate and silicate solubilizing bacteria increased the chlorophyll a of Fenugreek (45%) and Milk thistle (21%), the total chlorophyll of Fenugreek (20%) and Milk thistle (22%), and the carotenoid of Fenugreek (60%) and intercropping pattern (2:2) caused a significant increase in chlorophyll b of Fenugreek (16%) at the probability level of one percent. The highest phenol rate of Milk thistle was obtained from the intercropping pattern (2:2) and the simultaneous application of bacteria, and the highest antioxidant property of Fenugreek was obtained from the intercropping pattern (1:1) and the simultaneous application of bacteria. The application of solubilizing

bacteria increased the phenol of Milk thistle and the antioxidant property of Fenugreek extract in all cropping patterns. The highest percentage of seed oil in both plants was obtained from the intercropping pattern (2:2), and the simultaneous application of bacteria and the highest yield of Milk thistle seeds were obtained from the intercropping pattern (2:2) and chemical fertilizer. In general, it could be concluded that the application of microbial species will probably improve the yield and percentage of seed oil. In addition, better conditions for both plants in the intercropping system and more available nutrients resulting from microbial activity will increase the production of secondary metabolites and improve antioxidant property, phenol and flavonoid contents of the oil.

Key words: Antioxidant property, Intercropping, biofertilizers.

پس انتشار