

ارزیابی کمیّت و کیفیت علوفه در کشت مخلوط افزایشی سورگوم- سویا تحت تأثیر کودهای زیستی نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کننده فسفات

عبدالله جوانمرد^{۱*}، مصطفی امانی ماچانی^۲ و محسن جان‌محمدی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۱۸)

چکیده

به منظور بررسی کمیّت و کیفیت علوفه در کشت مخلوط سویا با سورگوم، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال زراعی ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتور اول شامل الگوهای مختلف کشت در هشت سطح (کشت خالص سویا با تراکم‌های ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع، کشت خالص سورگوم با تراکم‌های ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع و کشت مخلوط دو گیاه با تراکم‌های ذکر شده) و فاکتور دوم شامل عدم کاربرد و کاربرد تلفیقی کودهای زیستی نیتروکسین (*Azotobacter chroococcum* و *Azospirillum brasilense*) و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*Pseudomonas fluorescense*) بودند. نتایج نشان داد بیشترین (۲۵/۵۹ تن در هکتار) و کمترین (۷/۷ تن در هکتار) میزان عملکرد کل علوفه خشک به ترتیب در کشت‌های مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) تلقیح شده و کشت‌های خالص سویای تلقیح نشده با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع حاصل شد. همچنین، بیشترین و کمترین میزان خاکستر علوفه (ASH)، ماده خشک قابل هضم (DDM) و انرژی ویژه شیردهی (NEL) به ترتیب در کشت مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۰ بوته در مترمربع) و کشت خالص سورگوم با تراکم ۱۵ بوته در مترمربع به دست آمد. بیشترین میزان دیواره سولی (NDF) و دیواره سلولی بدون همی سلولز (ADF) در کشت خالص سورگوم با تراکم ۱۵ بوته در مترمربع تلقیح نشده، حاصل شد. علاوه بر این با کاربرد کودهای زیستی میزان پروتئین خام (CP)، DDM، ماده خشک مصرفی (DMI) و NEL علوفه به ترتیب ۶/۲۹، ۱/۷۱، ۳/۲۹ و ۲/۷۲ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار پیدا کردند. همچنین، بیشترین میزان نسبت برابری زمین (LER) و شاخص سودمندی مالی مخلوط (MAI) در کشت مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) به دست آمد. به طور کلی بر اساس شاخص‌های کمی و کیفی ذکر شده می‌توان کشت مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) و سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۰ بوته در مترمربع) را به عنوان تیمارهای برتر معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: انرژی ویژه شیردهی، پروتئین خام، سویا علوفه‌ای، دیواره سلولی، ماده خشک مصرفی

۱، ۲ و ۳. به ترتیب دانشیار، دانشجوی دکتری و استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: A.Javanmard@maragheh.ac.ir

مقدمه

فقر مواد غذایی از جمله عوامل محدود کننده سلامتی در کشورهای در حال توسعه است و این در حالی است که در کشورهای پیشرفته پروتئین‌های دامی بخش قابل توجهی از غذای انسان را تأمین می‌کنند. یکی از شاخص‌های رفاه در جوامع میزان تأمین پروتئین مورد نیاز از محصولات دامی است. برای افزایش تولیدات محصولات دامی به علوفه با کیفیت بالا نیاز است (۲۴ و ۳۰). از نیمه دوم قرن بیستم با شروع انقلاب سبز و ورود بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی به کشاورزی، سیستم‌های کشاورزی شاهد گسترش کشت خالص گیاهان و افزایش عملکرد محصولات زراعی بوده است (۲۰). این سیستم‌ها اگرچه با بالا بردن راندمان تولید در واحد سطح توانسته‌اند تا حدی نیازهای جمعیت رو به افزایش را تأمین کنند ولی این سیستم‌ها به هزینه و انرژی فراوانی نیاز دارند (۲ و ۱۳). علاوه بر این استفاده مداوم از سموم و کودهای شیمیایی در این سیستم‌ها باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل آلودگی منابع آبی، فرسایش شدید خاک و از بین رفتن سریع منابع طبیعی شده است (۲ و ۵۲). بنابراین استفاده از کودهای زیستی به‌عنوان مکمل و یا جایگزین مناسب کودهای شیمیایی مورد توجه تولیدکنندگان بخش کشاورزی قرار گرفته است. کودهای زیستی حاوی قارچ‌ها و باکتری‌های مفید (آزوسپریلوم، ازتوباکتر، باسیلوس و سودوموناس‌ها) حل‌کننده عناصر غذایی هستند که معمولاً با اسیدی کردن خاک و یا ترشح آنزیم‌ها باعث آزادسازی عناصر از ترکیبات پیچیده معدنی و آلی شده و در دسترس گیاه قرار می‌گیرند. سازوکارهای عمده افزایش رشد ناشی از این باکتری‌ها کاملاً شناخته نیست، اما بسیاری از پژوهشگران، این پدیده را به دو گروه اثرات مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی می‌کنند (۵۶). در اثرات مستقیم، این باکتری‌ها رشد گیاه را با تولید ترکیبات مختلف، تثبیت نیتروژن اتمسفری، تسهیل جذب عناصر، حل کردن مواد معدنی مانند فسفات، تولید سیدروفور، تولید هورمون‌های گیاهی از قبیل جیبرلین و اکسین و یا از طریق ساخت آنزیم‌های دخیل در رشد

و نمو، افزایش می‌دهند (۲۲). در اثر غیرمستقیم، اغلب این باکتری‌ها از قبیل سودوموناس‌ها با کاهش یا حذف اثرات زیانبار عوامل بیماری‌زا از طریق سازوکارهای مختلفی همچون القای سیستم مقاومت به گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا، رشد و نمو گیاه را بهبود می‌بخشند (۵۴). بنابراین کاربرد کودهای زیستی میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی را کاهش و به تبع آن پایداری تولید را افزایش خواهد داد (۳۴). بلال و همکاران (۹) گزارش کردند که با تقلیح بذور یولاف (*Avena sativa* L.) با کودهای زیستی آزوسپریلوم و ازتوباکتر باعث افزایش معنی‌دار صفات تعداد پنجه، ارتفاع بوته، نسبت برگ به ساقه، عملکرد ماده خشک، عناصر معدنی، فیبر خام، پروتئین خام، عملکرد پروتئین خام و عملکرد پروتئین خام قابل هضم علوفه نسبت به تیمار شاهد شد. مهرورز و چایچی (۳۸) با بررسی اثر ریزجانداران حل‌کننده فسفات و کود شیمیایی بر کیفیت دانه و علوفه جو نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار پروتئین از کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات به دست آمد. علاوه بر این کودهای زیستی میزان خاکستر را به صورت معنی‌داری افزایش داد. در نتیجه با کاربرد کودهای زیستی، میزان فیبرهای شوینده خنثی کاهش و کیفیت علوفه افزایش پیدا کرد.

از معایب کاربرد سیستم‌های کشاورزی مرسوم می‌توان به استفاده بیشتر از نهاده‌های شیمیایی و انرژی‌های غیر قابل تجدید، کاهش تنوع گیاهی، بی‌ثباتی عملکرد، افزایش خسارت آفات و بیماری‌ها، کاهش کیفیت محصولات زراعی، فرسایش شدید خاک و از بین رفتن منابع طبیعی اشاره کرد (۲۰). از این رو، بازنگری در روش‌های مرسوم کشاورزی، استفاده بیشتر و بهتر از منابع محیطی و در نتیجه افزایش راندمان تولید ضروری است. کشت مخلوط به‌عنوان یکی از سیستم‌های کشاورزی قابل اجرا در بسیاری از کشورهای در حال توسعه برای افزایش تنوع و عملکرد گیاهان در واحد سطح و زمان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کشت مخلوط نوعی چندکشتی وابسته به مکان است و کشت دو یا چند محصول به صورت همزمان یا غیرهمزمان را در بر می‌گیرد (۲). در بین الگوهای

پروتئین خام علوفه سویا در مراحل ابتدای گل‌دهی و رسیدگی کامل به ترتیب ۱۸ و ۲۵ درصد بود. همچنین سویا به‌عنوان یک گیاه تثبیت‌کننده نیتروژن قادر به اضافه کردن این عنصر ضروری به خاک و در نتیجه کاهش میزان استفاده از کودهای شیمیایی و اثرات منفی زیست‌محیطی ناشی از استفاده آنهاست. به‌طور متوسط این گیاه قادر به اضافه کردن ۶۵ الی ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیکی در طول دوره رشدی خود است (۲۳). بررسی‌ها نشان داده است که کشت مخلوط گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک موجب افزایش رشد و بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان همراه می‌شود. کروسیول و همکاران (۱۵) نتیجه گرفتند که غلظت پروتئین خام برگ‌های گیاه *Palisade grass (Brachiaria brizantha)* در کشت مخلوط با سویا ۱۳۹-۱۰۷ گرم بر کیلوگرم ماده خشک بود که این مقادیر بیشتر از حداقل پروتئین مورد نیاز (۷۰ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) برای حفظ جمعیت میکروارگانیسم‌های در شکمبه دام است. همچنین این پژوهشگران گزارش کردند که با وجود پایین بودن نیتروژن خاک در این آزمایش، تولید ماده خشک و پروتئین خام گیاه *Palisade grass* به‌دلیل حضور سویا و انتقال نیتروژن تثبیت یافته افزایش یافت. صادق‌پور و همکاران (۴۸ و ۴۹) تولید محصول با کمیّت و کیفیت مناسب را به‌عنوان یک چالش در مناطق خشک و نیمه‌خشک معرفی کردند و بر این اساس معتقدند که کشت مخلوط لگوم و غلات یک روش مناسب برای بهبود عملکرد علوفه و افزایش کیفیت آن در مقایسه با سیستم‌های کشاورزی مرسوم است. نتایج پژوهش‌های لیما و همکاران (۳۱) نشان داد که کشت مخلوط سورگوم و سویا منجر به تولید بیشتر عملکرد علوفه خشک، درصد پروتئین بالاتر و عملکرد پروتئین بیشتری نسبت به علوفه حاصل از کشت خالص سورگوم شد. همچنین سیلوی حاصل از کشت مخلوط دو گیاه دارای کیفیت بهتری نسبت به سیلوی حاصل از کشت خالص آنها بود. یلماز و همکاران (۵۷) افزایش قابلیت هضم ماده خشک (DDM)، کاهش دیواره

مختلف کشت مخلوط، ترکیب گیاهان لگومینوز با غلات از جمله معمول‌ترین و قدیمی‌ترین سیستم‌ها در نقاط مختلف دنیا و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه است (۳۳).

سورگوم (*Sorghum bicolor*) گیاهی یک‌ساله متعلق به خانواده غلات است. سورگوم به‌عنوان یک گیاه زراعی دومنظوره (دانه‌ای و علوفه‌ای) پس از گندم، جو، برنج و ذرت پنجمین غله مهم جهان شناخته شده است که نقش مهمی را در تغذیه انسان و دام ایفا می‌کند (۷). سطح زیر کشت سورگوم در ایران در سال ۱۳۶۵ فقط شش هکتار گزارش شده که در سال ۱۳۹۴ تا حدود ۲۵ هزار هکتار افزایش یافته است. با توجه به اینکه ذرت به‌عنوان یک گیاه علوفه‌ای مهم برای تولید عملکرد علوفه بالا در هر سال به ۷۰ میلی‌متر آب نیاز دارد، بنابراین از سورگوم در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌توان به‌عنوان یک جایگزین مناسب به‌دلیل داشتن نسبت تعرق پایین‌تر و مصرف ۲۵ درصد آب کمتر نسبت به ذرت، استفاده کرد (۳۷). اگرچه سورگوم توانایی بالایی در تولید ماده خشک دارد، با این حال علوفه این گیاه از نظر پروتئین فقیر است. درحالی‌که پروتئین برای رشد و تولید شیر کافی توسط دام و فعالیت باکتری‌های موجود در دستگاه گوارش حیوانات نشخوارکننده که مسئول هضم علوفه مصرف شده توسط دام هستند، ضروری است (۷). بنابراین، کشت مخلوط سورگوم با گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن به‌عنوان یک روش مناسب و جایگزین مصرف بیش از حد نهاده‌های شیمیایی برای افزایش کیفیت علوفه است (۸).

سویای علوفه‌ای (*Glycine max L.*) به‌عنوان یک گیاه علوفه‌ای جدید متعلق به خانواده لگومینوز است (۵۳). سویای علوفه‌ای یکی از گیاهان علوفه‌ای تابستانه پربازده و باکیفیت است و می‌تواند منبع خوبی از پروتئین برای تغذیه نشخوارکنندگان باشد (۳). شایان ذکر است کیفیت علوفه مشابه یونجه، مقاومت به خاک‌های اسیدی و دارا بودن ارزش تغذیه‌ای نسبی (RFV) معادل ۱۵۰ از مزایای سویای علوفه‌ای است (۴۶). علاوه بر این، بر خلاف یونجه، میزان پروتئین خام علوفه سویا با تأخیر در برداشت افزایش پیدا کرد. به‌طوری‌که میزان

۳۷ درجه، ۲۴ دقیقه عرض شمالی اجرا شد. قبل از اجرای آزمایش سه نمونه خاک از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری به صورت تصادفی از قسمت‌های مختلف محل اجرای آزمایش برداشته و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). همچنین نوسات بارندگی و دما در طول فصل آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار و ۱۶ تیمار اجرا شد. فاکتور اول شامل الگوهای مختلف کشت در هشت سطح (کشت خالص سویا رقم سپیده با تراکم‌های ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع، کشت خالص سورگوم هیبرید اسپیدفید با تراکم‌های ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع و کشت مخلوط دو گیاه با تراکم‌های ذکر شده) و فاکتور دوم شامل دو سطح (تلقیح با کود زیستی نیتروکسین و باکتری حل‌کننده فسفات و عدم تلقیح) بودند. مساحت کرت‌های مخلوط و کشت خالص سورگوم ۱۳/۵ مترمربع و مساحت کرت‌های کشت خالص سویا ۹ مترمربع در نظر گرفته شدند. در هر کرت مخلوط و خالص سورگوم چهار ردیف سورگوم به طول چهار متر و با فواصل ردیفی ۷۵ سانتی‌متر کشت شد. همچنین فاصله بین کرت‌های مجاور در یک بلوک یک خط نکاشت و فاصله بین بلوک‌ها دو متر لحاظ شد. روش کشت مخلوط از نوع افزایشی کامل بود. بدین صورت که در یک طرف پشته سویا و در طرف دیگر آن سورگوم با تراکم‌های مورد نظر کشت شدند. کشت بذرها به طریقه دستی و همزمان برای سورگوم و سویا در هفته اول خردادماه انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه خاک، توصیه کودی شامل ۲۱ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از کود سوپرفسفات تریپل با ۴۶ درصد اکسید فسفر، ۸ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از کود اوره با ۴۶ درصد نیتروژن بود. کود سوپرفسفات تریپل در پاییز همزمان با شخم عمیق به زمین داده شد و کود اوره هم در زمان کشت به‌عنوان استارتر مصرف شد. همچنین کود زیستی نیتروکسین (حاوی مجموعه‌ای از موثرترین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از قبیل *Azotobacter chroococcum* و

سلولی بدون همی سلولز (ADF) و دیواره سلولی (NDF) علوفه را به‌عنوان یکی از مزایای کشت مخلوط جو با ماشک معمولی (*Vicia sativa* L.) و ماشک پانونیکا (*Vicia panonnica* L.) برشمردند. لامعی هروانی (۲۹) در کشت مخلوط جو با لگوم‌های یک‌ساله نتیجه گرفت که بیشترین کیفیت علوفه بر اساس پروتئین خام، در الگوهای مختلف کشت مخلوط دو گیاه به‌دست آمد.

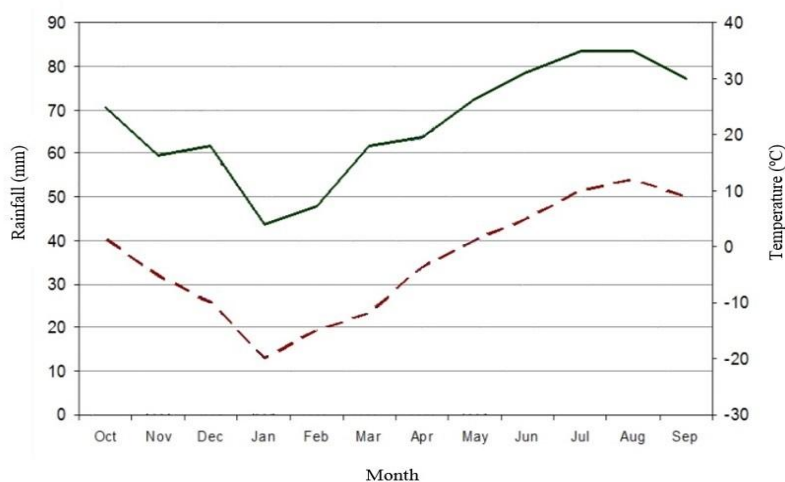
کیفیت علوفه یکی از عوامل مهمی است که در تعیین خوش‌خوراکی گیاهان توسط دام‌ها استفاده شود. برای تعیین کیفیت علوفه گیاهان از شاخص‌هایی از قبیل درصد پروتئین خام (Crude protein)، کربوهیدرات‌های محلول در آب (Watersoluble carbohydrate)، خاکستر علوفه (Ash forage)، ارزش نسبی تغذیه‌ای (Relative feed value)، انرژی ویژه شیردهی (Net energy of lactation)، کل ماده مغذی قابل هضم (Total digestible nutrients)، ماده خشک مصرفی (Dry matter intake)، ماده خشک قابل هضم (Digestible dry matter)، دیواره سلولی بدون همی سلولز (Acid detergent fiber) و دیواره سلولی (Neutral detergent fiber) استفاده می‌شود (۳۳). اگر چه سیستم کشت مخلوط لگوم- غلات یک سیستم جدید کشت مخلوط نیست، اما پژوهش‌های گذشته بیشتر بر مفاهیم کلی تولید از جمله کنترل علف‌های هرز، کاهش مشکلات ناشی از آفات و بیماری‌ها و تولید بیشینه عملکرد در شرایط نرمال تأکید داشته‌اند و کیفیت علوفه کشت مخلوط در تراکم‌های مختلف و استفاده از کودهای زیستی، کمتر بررسی شده است. بر همین اساس، پژوهشی با هدف بررسی کیفیت علوفه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط سورگوم با سویا در مراغه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با ارتفاع ۱۴۷۷ متر از سطح دریای آزاد و مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

روى	آهن	منگنز	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	کربن آلی	نیتروژن	اسیدیته	رس	شن	سیلت	بافت خاک
			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)		(درصد)			(درصد)			
۱/۲۰	۷/۴۶	۷/۷۶	۳۴۲	۸/۷۶	۰/۳۲	۰/۰۸	۷/۵	۳۱	۵۳	۱۶	لوم رسی شنی



شکل ۱. نوسانات بارندگی (میلی‌متر) و دما (درجه سانتی‌گراد) در طول فصل زراعی محل انجام آزمایش. خط ممتد و خط شکسته به ترتیب نشان‌دهنده میزان بارندگی و دما است.

هر کرت، ۱۰۰ گرم علوفه پودر شده با توجه به نسبت هر گیاه در کشت مخلوط انتخاب و برای اندازه‌گیری صفات کیفی به آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور انتقال داده شدند. صفات کیفی شامل پروتئین خام (CP)، خاکستر علوفه (ASH)، دیواره سلولی (NDF)، دیواره سلولی بدون همی سلولز (ADF) و کربوهیدرات محلول در آب (WSC) با استفاده از فناوری طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIRS) انجام شد. سیستم NIRS مورد استفاده سری اینفراماتیک ۸۶۰ شرکت پرتن با ۲۰ طول موج در دامنه ۲۴۰۰-۵۰۰ نانومتر بود (۲۷). سایر صفات کیفی از قبیل ارزش نسبی تغذیه‌ای (RFV)، انرژی ویژه شیردهی (NEL)، کل ماده مغذی قابل هضم (TDN)، ماده خشک مصرفی (DMI)، ماده خشک قابل هضم (DDM) با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند. همچنین عملکرد پروتئین خام از حاصل ضرب عملکرد علوفه خشک در درصد پروتئین خام به‌دست آمد (۳۳).

Azospirillum brasilense بوده و تعداد سلول زنده (UCF) آن ۱۰۸ در هر گرم ماده حامل از هر یک جنس‌های باکتری است) و باکتری حل‌کننده فسفات نیز (*Pseudomonas fluorescens*) طبق توصیه شرکت زیست‌فناور سبز به‌صورت بذرمال قبل از کاشت استفاده شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کشت و دفعات بعدی به‌صورت جوی و پشته و هر هفته یکبار انجام پذیرفت. برداشت سورگوم با ظهور کامل گل آذین (۱۵ مرداد) و سویا دو هفته پس از گل‌دهی (۳۰ مرداد) و از سطحی معادل سه مترمربع (دو ردیف وسطی با حذف اثرات حاشیه‌ای) انجام شد. علوفه‌های برداشت شده در هوای آزاد به اندازه‌ای خشک شدند تا وزن آنها در چند توزین متوالی به حالت ثابت درآمد و مقادیر ثبت شده به‌عنوان عملکرد خشک علوفه به تفکیک هر گیاه در نظر گرفته شد. علاوه بر این، برای محاسبه عملکرد کل علوفه خشک، مجموع عملکرد علوفه حاصل از هر کدام از گیاهان در نظر گرفته شد (۱۱). سپس از

میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه خشک سورگوم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد علوفه خشک سورگوم تنها تحت تأثیر معنی‌دار کاربرد کودهای زیستی و الگوهای مختلف کشت قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد علوفه خشک سورگوم (۲۰۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) به تیمار کشت خالص سورگوم با تراکم ۱۰ بوته در مترمربع و بعد از آن به ترکیب سویا (۴۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) مربوط بود. همچنین، کمترین میزان عملکرد علوفه خشک سورگوم در تیمارهای کشت مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سویا (۱۰ بوته در مترمربع) و سویا (۴۰ بوته در مترمربع) + سویا (۱۰ بوته در مترمربع) حاصل شد (جدول ۳). دلیل کاهش عملکرد در کشت مخلوط به رقابت بین گونه‌ای بیشتر نسبت داده می‌شود (۲ و ۴۱). لایتورگیدیس و دورداس (۳۲) گزارش کردند که عملکرد علوفه غلات در کشت مخلوط با لگوم‌ها متوسط و پایین‌تر از کشت خالص غلات بود. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش تراکم سویا در کشت مخلوط از عملکرد سورگوم کاسته شد. علاوه بر این استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین و حل‌کننده فسفات باعث افزایش ۱۸/۸ درصدی عملکرد علوفه خشک سورگوم نسبت به عدم تلقیح شد. از آنجایی که نیتروکسین شامل دو باکتری آزوسپریلیوم و ازتوباکتر است، تلقیح این باکتری‌ها با بذر، توان تثبیت زیستی نیتروژن، جذب آب و عناصر غذایی و تولید برخی ویتامین‌ها را افزایش داد که نتیجه آن به صورت افزایش عملکرد نمایان می‌شود (۳۹). علاوه بر این بیشنو (۱۰) گزارش کرد که کودهای زیستی با ترشح سیدروفورها و اسیدهای آلی، تولید هورمون‌های اکسین، جیبرلین، سیتوکینین و تنظیم سطح اتیلن به بهبود رشد و افزایش زیست‌توده کمک می‌کنند.

$$TDN = (-1/291 \times ADF) + 101/35 \quad (1)$$

$$DMI = 120 / \%NDF \text{ dry matter basis} \quad (2)$$

$$DDM = 88/9 - (0/779 \times \%ADF, \text{ dry matter basis}) \quad (3)$$

$$RFV = \%DDM \times \%DMI \times 0/775 \quad (4)$$

$$NE_L = (1/044 - (0/0119 \times \%ADF)) \times 2/205 \quad (5)$$

برتری نسبی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص برای هر نسبت کاشت با استفاده از نسبت برابری زمین (LER) محاسبه می‌شود. نسبت برابری زمین بر اساس سطح زیر کشت محاسبه و به وسیله آن مشخص می‌شود که برای به دست آوردن محصول حاصل از یک هکتار کشت مخلوط، چه مقدار از زمین به صورت خالص نیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود (۲).

$$LER = (Y_{SG} / Y_{SS}) + (Y_{GS} / Y_{GG}) \quad (6)$$

در این رابطه YGS و YSG به ترتیب عملکرد سورگوم و سویا در کشت مخلوط و YSS و YGG به ترتیب عملکرد سورگوم و سویا در کشت خالص است. زمانی که LER برابر یک باشد، کشت مخلوط هیچ برتری بر کشت خالص ندارد. این حالت در صورتی رخ می‌دهد که در اجزای مخلوط رقابت درون‌گونه‌ای با رقابت برون‌گونه‌ای برابر است. علاوه بر آن، اگر میزان افزایش یک محصول معادل با کاهش محصول دیگر در کشت مخلوط باشد، مقدار LER برابر یک خواهد شد. اگر مقدار LER کوچک‌تر از یک باشد کشت خالص بر کشت مخلوط برتری داشته و اگر مقدار LER بزرگ‌تر از یک باشد، کشت مخلوط سودمندی بیشتری نسبت به کشت خالص داشته است (۲ و ۵۷).

همچنین برای تعیین سودمندی اقتصادی از شاخص

سودمندی مالی مخلوط (MAI) استفاده شد (۲).

$$MAI = (YSG \times PS + YGS \times PG) \times (LER - 1 / LER) \quad (7)$$

در این رابطه YGS و YSG به ترتیب عملکرد سورگوم و سویا در کشت مخلوط و PS و PG به ترتیب قیمت علوفه سورگوم و سویا است. در نهایت پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس عملکرد علوفه خشک سورگوم

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
عملکرد علوفه خشک سویا	عملکرد علوفه خشک سورگوم		
۱/۹۶**	۱/۱۱ ^{ns}	۲	تکرار
۸/۲۳**	۶۱/۲**	۱	کود زیستی
۲۵/۷**	۸۹/۸**	۵	الگوی کشت
۰/۶۸*	۱/۱۲ ^{ns}	۵	کود زیستی × الگوی کشت
۰/۲	۰/۵۶	۲۲	اشتباه آزمایشی
۷/۰۱	۴/۷۹		ضریب تغییرات (درصد)

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین عملکرد علوفه خشک سورگوم

عملکرد علوفه خشک سورگوم (کیلوگرم در هکتار)	تیمارها
	الگوی کشت
۱۳۳۰۰ ^d	S _{۱۰}
۲۰۴۰۰ ^a	S _{۱۵}
۱۱۶۰۰ ^e	G _۲ .S _{۱۰}
۱۸۹۰۰ ^b	G _۲ .S _{۱۵}
۱۱۸۰۰ ^e	G _۵ .S _{۱۰}
۱۷۸۰۰ ^c	G _۵ .S _{۱۵}
	کودهای زیستی
۱۶۹۰۰ ^a	تلقیح
۱۴۳۰۰ ^b	عدم تلقیح

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

G_۲: تراکم ۴۰ بوته سویا در مترمربع، G_۵: تراکم ۵۰ بوته سویا در مترمربع،

S_{۱۰}: تراکم ۱۰ بوته سورگوم در مترمربع و S_{۱۵}: تراکم ۱۵ بوته سورگوم در مترمربع است.

عملکرد علوفه خشک سویا

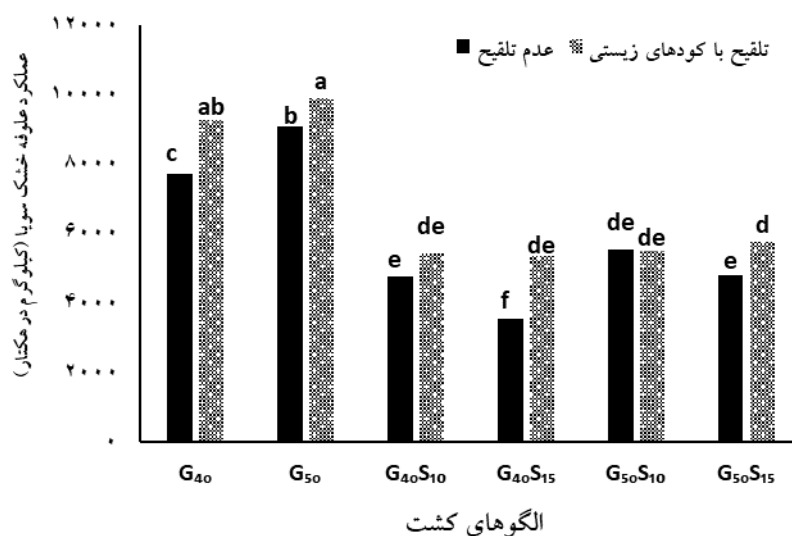
نتایج تجزیه واریانس نشان داد عملکرد علوفه خشک سویا تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت، کاربرد کودهای زیستی و برهم‌کنش الگوی کشت و کاربرد کود زیستی قرار گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین

میزان عملکرد علوفه خشک سویا به کشت‌های خالص سویا با تراکم‌های ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع تعلق داشت. همچنین، کمترین میزان عملکرد علوفه خشک (۳۵۲۰ کیلوگرم در هکتار) به ترکیب سویا (۴۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) تلقیح نشده مربوط بود (شکل ۲). با کاربرد کودهای

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس عملکرد علوفه کل، پروتئین خام، عملکرد پروتئین خام کل، دیواره سلولی بدون همی سلولوز و دیواره سلولی

میانگین مربعات						منابع تغییرات
دیواره سلولی بدون همی سلولوز (ADF)	دیواره سلولی (NDF)	عملکرد پروتئین خام (CPY)	پروتئین خام (CP)	عملکرد علوفه خشک کل	درجه آزادی	
۱۰۶۴**	۱۱۳۴۳**	۰/۰۲ ^{ns}	۴۶/۲ ^{ns}	۲/۵۳*	۲	تکرار
۲۱۶۳**	۳۴۳۹**	۲/۸۹**	۸۵۳**	۸۵/۷**	۱	کودهای زیستی
۶۱۰۱**	۲۷۸۱۰**	۳/۰۱**	۵۵۲۸**	۱۹۷**	۷	الگوی کشت
۹۹/۴ ^{ns}	۲۱۶ ^{ns}	۰/۱۱*	۵۶/۱ ^{ns}	۳/۲۷**	۷	کود زیستی × الگوی کشت
۱۲۱	۳۵۶	۰/۰۳	۵۹/۳	۰/۷۰۶	۳۰	اشتباه آزمایشی
۳/۵۳	۳/۸۱	۸/۷۴	۵/۸۶	۵/۰۹		ضریب تغییرات (درصد)

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی دار



شکل ۲. مقایسه میانگین عملکرد علوفه خشک سویا؛ حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد است.

G_{۴۰}: تراکم ۴۰ بوته سویا در مترمربع، G_{۵۰}: تراکم ۵۰ بوته سویا در مترمربع، S_{۱۰}: تراکم ۱۰ بوته سورگوم در مترمربع و S_{۱۵}: تراکم ۱۵ بوته سورگوم در مترمربع است.

زیستی به بهبود جذب عناصر ضروری (NPK) و افزایش کارایی تثبیت نیتروژن نسبت داده می‌شود. به طوری که نتایج آزمایش وسی و همکاران (۵۶) نشان داد که با کاربرد باکتری‌های *Pseudomonas fluorescens* میزان تجمع نیتروژن و کارایی تثبیت آن به ترتیب ۱۲ و ۲۸ درصد افزایش یافت. علاوه بر این یکی از دلایل کاهش عملکرد علوفه سویا در

زیستی نیتروکسین و حل‌کننده فسفات در الگوهای مختلف کشت خالص و مخلوط میزان عملکرد بیشتری نسبت به عدم تلقیح حاصل شد. عارف و همکاران (۳) نتیجه گرفتند با کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات، عملکرد سویا به دلیل بهبود گره‌زایی و کارایی هم‌زیستی با این باکتری‌ها افزایش پیدا کرد. همچنین افزایش عملکرد علوفه سویا در نتیجه تلقیح با کودهای

پژوهشگران بیان کردند که کاربرد کودهای زیستی به صورت ترکیبی دارای اثرگذاری بیشتری نسبت به استفاده جداگانه از آنها بود. علاوه بر این دلیل افزایش عملکرد کل علوفه در کشت مخلوط به تفاوت‌های فیزیولوژیک و موفولوژیک اجزای مخلوط در نحوه استفاده مکملی مثبت از منابع محیطی و نیاز کمتر به نهاده‌های خارجی نسبت داده می‌شود (۲ و ۴۵). نتایج مشابهی توسط لامعی هروانی (۲۹) در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) با ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa*) و جوانمرد و همکاران (۲۸) در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) با چند لگوم از قبیل گاودانه (*Vicia ervilia*)، لویا (*Phaseolus vulgaris* L.)، ماشک گل خوشه‌ای و شبدر برسیم (*Trifolium alexanderinum*) گزارش شده است.

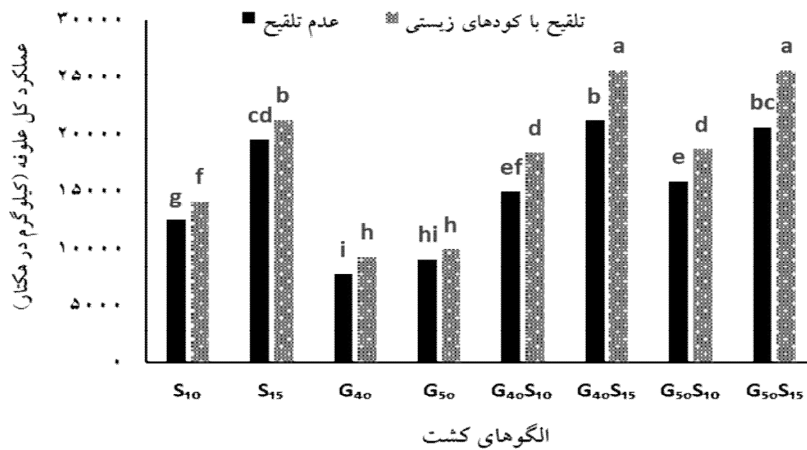
خاکستر علوفه (ASH)

خاکستر علوفه بیانگر مقدار مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاهی است که در دسترس بودن این عناصر باعث بهبود فرایندهای تولید ویتامین‌ها، هورمون‌ها، آنزیم‌ها و غیره می‌شود. (۵۸). نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بین الگوهای مختلف کشت از لحاظ میزان خاکستر علوفه است (جدول ۵). بیشترین میزان خاکستر علوفه (۱۰۸ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در کشت مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۰ بوته در مترمربع) و کمترین میزان آن نیز در کشت‌های خالص سورگوم با میانگین ۵۱/۸ گرم بر کیلوگرم ماده خشک حاصل شد (جدول ۶). افزایش میزان خاکستر علوفه با کاربرد کودهای زیستی به جذب بیشتر عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و ...) در نتیجه تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، حلالیت فسفر، توسعه ریشه و افزایش تولید سیدروفورها نسبت داده می‌شود (۱). کوبلنز و همکاران (۱۳) نتیجه گرفتند با در دسترس بودن عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن)، میزان خاکستر و پروتئین خام علوفه یولاف به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. همچنین اینال و همکاران (۲۶) در کشت مخلوط ذرت و بادام زمینی نتیجه

کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به کاهش میزان نور دریافتی و تغییر کیفیت نور در سطح کانوپی سویا نسبت داده می‌شود که باعث کاهش میزان فتوسنتز و به تبع آن کاهش عملکرد علوفه سویا خواهد شد (۳۵ و ۴۱). نتایج لیو و همکاران (۳۵) نشان داد که کاهش تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در کشت مخلوط دو ردیف سویا + دو ردیف ذرت و یک ردیف سویا + یک ردیف ذرت به ترتیب ۴۷ و ۶۶ درصد کمتر از کشت خالص سویا بود، همچنین نسبت نور قرمز به قرمز دور (F:FR) در الگوهای ذکر شده به ترتیب ۶۸ و ۸۳ درصد کاهش یافت. کاهش شدت نور دریافتی در این الگوها منجر به کاهش سطح برگ، قطر ساقه و در نتیجه کاهش بیوماس سویا شد.

عملکرد علوفه خشک کل (YT)

اثر الگوهای مختلف کشت، کاربرد کودهای زیستی و ترکیب تیماری آنها بر عملکرد کل علوفه خشک معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین عملکرد علوفه خشک به تیمارهای سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) تلقیح شده و ترکیب سویا (۴۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) تلقیح شده مربوط بود و کمترین میزان آن نیز در کشت‌های خالص سویای تلقیح نشده با تراکم‌های ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع به دست آمد (شکل ۳). کاربرد کودهای زیستی شامل باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات می‌تواند با توسعه رشد رویشی، گسترش و دوام سطح برگ، ساقه و نیز تولید شاخه بیشتر سبب افزایش عملکرد شود (۱ و ۳). در حقیقت بهبود رشد گیاه به افزایش میزان کلروفیل کل، فعالیت بیشتر آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و هورمون‌های تولید شده توسط باکتری‌های محرک رشد نسبت داده می‌شود (۵۰). استفان و همکاران (۵۰) نتیجه گرفتند که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی در گیاه لویای رونده (*Phaseolus coccineus* L.) منجر به افزایش فتوسنتز، کارایی مصرف آب و تعرق و در نتیجه افزایش ۲۷/۵۸ درصدی عملکرد نسبت به عدم تلقیح شد. همچنین این



شکل ۳. مقایسه میانگین عملکرد علوفه خشک کل در کشت خالص سورگوم و مخلوط آن با سویا؛ حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد است. G_{۴۰}: تراکم ۴۰ بوته سویا در مترمربع، G_{۵۰}: تراکم ۵۰ بوته سویا در مترمربع، S_{۱۰}: تراکم ۱۰ بوته سورگوم در مترمربع و S_{۱۵}: تراکم ۱۵ بوته سورگوم در مترمربع است.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس ماده مغذی قابل هضم، ماده خشک مصرفی کل علوفه، ماده خشک قابل هضم، کربوهیدرات محلول در آب، ارزش نسبی تغذیه‌ای، انرژی ویژه شیردهی و خاکستر علوفه در الگوهای مختلف کشت

میانگین مربعات								منابع تغییرات
درجه آزادی	ماده مغذی قابل هضم (TDN)	ماده خشک مصرفی کل علوفه (DMI)	ماده خشک قابل هضم (DDM)	کربوهیدرات محلول در آب (WSC)	ارزش نسبی تغذیه‌ای (RFV)	انرژی ویژه شیردهی (NEL)	خاکستر (ASH)	
۲	۱۷۷۴**	۲۶/۳**	۶۴۵**	۱۰۶۸**	۴۷۱**	۰/۰۰۸**	۸۴۰**	تکرار
۱	۳۶۰۶ ^{ns}	۷/۰۱*	۱۳۱۲**	۳۹/۹ ^{ns}	۳۹۲**	۰/۰۱۵**	۱۱۶ ^{ns}	کودهای زیستی
۷	۱۰۱۶۸**	۶۲/۳**	۳۷۰۲**	۵۴۲۵**	۲۳۵۵**	۰/۰۴۲**	۲۴۸۱**	الگوی کشت
۷	۱۶۵ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}	۶۰/۳ ^{ns}	۸۴/۱ ^{ns}	۶/۴۴ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۳۵/۲۸ ^{ns}	کود زیستی × الگوی کشت
۳۰	۲۰۲	۰/۹۸	۷۳/۷	۴۰/۲	۲۴/۷	۰/۰۰۱	۵۴/۱	اشتباه آزمایشی
	۲/۳۳	۴/۰۱	۱/۳۳	۳/۰۵	۴/۰۱	۱/۹۶	۸/۹۹	ضریب تغییرات (درصد)

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی دار

یافت و همه این موارد باعث افزایش کیفیت علوفه تولیدی شد. همچنین، استولز و نادو (۵۱) گزارش کردند که میزان خاکستر علوفه در کشت مخلوط ذرت با باقلا نسبت به کشت خالص ذرت ۲۰/۱۸ درصد افزایش نشان داد.

پروتئین خام کل (CP)

یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی کیفی علوفه، میزان

گرفتند که قابلیت دسترسی به آهن، فسفر، پتاسیم، روی و منگنز در نتیجه استفاده مکملی گیاهان از منابع محیطی و توسعه بهتر ریشه در شرایط کشت مخلوط بهبود یافته است. دلیل این امر به فعالیت آنزیم فریک ردوکتاز (FR) ریشه بادام زمینی و آزاد شدن فیتوسیدروفورها و افزایش فعالیت اسید فسفاتاز برای جذب بیشتر فسفر نسبت داده شد. به همین دلیل جذب فسفر و سایر عناصر غذایی نسبت به کشت خالص دو گیاه افزایش

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین صفات کیفی علوفه در الگوهای مختلف کشت و با کاربرد کودهای زیستی

NEl	RFV	WSC	DMI	DDM	TDN	CP	ASH	تیمارها
(Mcal kg ⁻¹)	(درصد)				(g kg ⁻¹ DM)			
الگوی کشت								
۱/۴ ^d	۹۸/۴ ^e	۲۳۸ ^b	۲۰/۵ ^d	۶۲ ^d	۵۶۸ ^d	۸۶/۹ ^f	۵۱/۲ ^d	S _{۱۰}
۱/۳۳ ^e	۹۳/۳ ^e	۲۴۸ ^a	۲۰/۱ ^d	۶۰ ^e	۵۳۵ ^e	۹۷/۱ ^e	۵۲/۳ ^d	S _{۱۵}
۱/۵۰ ^{bc}	۱۴۲ ^{ab}	۱۶۹ ^e	۲۸/۲ ^a	۶۵ ^{bc}	۶۱۷ ^{bc}	۱۶۲ ^b	۸۲/۳ ^c	G _۴
۱/۵۳ ^b	۱۴۸ ^a	۱۷۴ ^{de}	۲۸/۹ ^a	۶۶ ^b	۶۳۵ ^b	۱۷۷ ^a	۸۸/۴ ^{bc}	G _۵
۱/۵۱ ^{bc}	۱۲۵ ^{cd}	۲۱۹ ^c	۲۴/۷ ^c	۶۵ ^{bc}	۶۲۴ ^{bc}	۱۲۴ ^d	۹۳/۲ ^b	G _۴ .S _{۱۰}
۱/۴۹ ^c	۱۱۹ ^d	۲۲۲ ^c	۲۳/۹ ^c	۶۴ ^c	۶۱۳ ^c	۱۲۴ ^d	۸۱/۸ ^c	G _۴ .S _{۱۵}
۱/۶۰ ^a	۱۳۹ ^b	۱۸۱ ^d	۲۶/۴ ^b	۶۸ ^a	۶۶۷ ^a	۱۴۴ ^c	۱۰۸ ^a	G _۵ .S _{۱۰}
۱/۵۲ ^{bc}	۱۲۶ ^c	۲۱۴ ^c	۲۴/۸ ^c	۶۵ ^{bc}	۶۲۷ ^{bc}	۱۳۵ ^c	۹۵/۳ ^b	G _۵ .S _{۱۵}
کودهای زیستی								
۱/۵۱ ^a	۱۲۷ ^a	۲۰۷	۲۵/۱ ^a	۶۵ ^a	۶۱۹	۱۳۵ ^a	۸۳/۳	تلقیح
۱/۴۷ ^b	۱۲۱ ^b	۲۰۹	۲۴/۳ ^b	۶۴ ^b	۶۰۲	۱۲۷ ^b	۸۰/۲	عدم تلقیح

در هر ستون حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. G_۴: تراکم ۴۰ بوته سویا در مترمربع، G_۵: تراکم ۵۰ بوته سویا در متر مربع، S_{۱۰}: تراکم ۱۰ بوته سورگوم در مترمربع و S_{۱۵}: تراکم ۱۵ بوته سورگوم در مترمربع است.

Buekholderia sp. باعث افزایش ۳۰ درصدی میزان نیتروژن تثبیت یافته و به تبع آن افزایش عملکرد شد. همچنین نتایج آزمایش دس سانتوس و همکاران (۱۹) نشان داد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد در سورگوم منجر به افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، کارایی استفاده از آن و عملکرد دانه شد. به طوری که میزان تثبیت نیتروژن و عملکرد دانه به ترتیب ۲۱/۴ و ۲۴ درصد با کاربرد کودهای زیستی و باکتری‌های محرک رشد افزایش یافت. استولز و ناديو (۵۱) گزارش کردند که میزان پروتئین خام علوفه ذرت در کشت مخلوط با باقلا ۶۹/۸ درصد نسبت به کشت خالص افزایش پیدا کرد. همچنین چپاگین و رایزمن (۱۱) نتیجه گرفتند که در کشت مخلوط نخود فرنگی میزان نیتروژن تثبیت یافته ۱۸-۹ درصد در نتیجه رقابت با گیاه جو افزایش یافت و در الگوهای مختلف کشت مخلوط میزان نیتروژن انتقال یافته به جو ۲۰-۵ درصد بوده است.

پروتئین خام ذخیره شده در بافت‌های گیاهان علوفه‌ای است (۵۸). نتایج تجزیه واریانس نشان داد پروتئین خام کل تحت تأثیر معنی دار الگوهای مختلف کشت و کاربرد کودهای زیستی قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین (۱۷۷ گرم در کیلوگرم ماده خشک) و کمترین (۸۶/۹ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) میزان پروتئین خام به ترتیب در کشت خالص سویا با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و کشت خالص سورگوم با تراکم ۱۰ بوته در مترمربع حاصل شد (جدول ۶). همچنین با کاربرد کودهای زیستی میزان پروتئین خام ۶/۲۹ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت. به نظر می‌رسد میزان پروتئین خام علوفه به دلیل افزایش میزان نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در نتیجه استفاده از کودهای زیستی و کشت مخلوط و انتقال آن به گیاه همراه بهبود یافته است. در تطابق با نتایج این آزمایش، بالدانی و همکاران (۶) گزارش کردند که تلقیح برنج با باکتری‌های *Herbasprillum seropediacae*

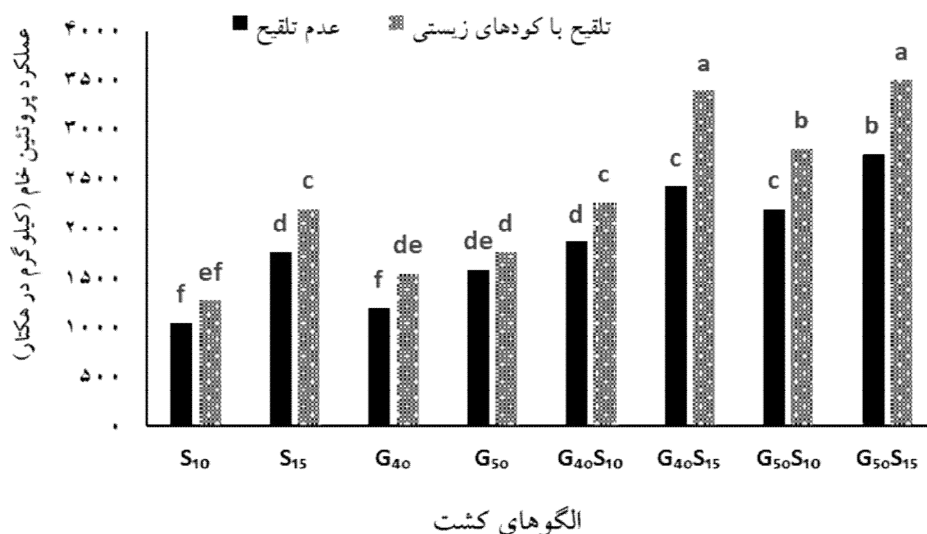
عملکرد پروتئین خام کل (YCP)

اثر الگوهای مختلف کشت، کاربرد کودهای زیستی و ترکیب تیماری آنها بر عملکرد پروتئین خام کل معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین میزان عملکرد پروتئین خام کل در کشت‌های مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) تلقیح شده (۳۵۱۰ کیلوگرم در هکتار) و سویا (۴۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) تلقیح شده (۳۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. همچنین کمترین میزان آن نیز به ترتیب در کشت‌های خالص سورگوم و سویای تلقیح نشده با تراکم‌های ۱۰ و ۴۰ بوته در مترمربع به دست آمد (شکل ۴). از آنجایی که میزان درصد و عملکرد پروتئین خام همبستگی منفی با میزان ADF و NDF دارند (جدول ۷) چنین به نظر می‌رسد با کاهش میزان NDF و ADF در نتیجه کاربرد کودهای زیستی و الگوهای مختلف کشت، میزان عملکرد پروتئین خام افزایش یافته است. ناصری و همکاران (۴۴) نتیجه گرفتند که کاربرد کودهای زیستی از توباکتر و آروسپریلیوم در ذرت و جو منجر به افزایش نسبت برگ به ساقه و در نهایت افزایش پروتئین خام و عملکرد کل پروتئین خام شد. همچنین اختلاف در عملکرد پروتئین خام گیاهان علوفه‌ای را می‌توان به تفاوت در عملکرد علوفه خشک و همچنین میزان غلظت نیتروژن در بافت اندام‌های هوایی این گیاهان نسبت داد (۹ و ۱۴). آتیس و همکاران (۵) در کشت مخلوط گندم و ماشک گل‌خوشه‌ای نتیجه گرفتند که بیشترین عملکرد پروتئین خام در تیمار ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد گندم مشاهده شد. چن و همکاران (۱۲) بیان کردند که گیاهان لگوم از نظر محتوای پروتئین و غلات از نظر مقدار کربوهیدرات‌ها غنی هستند، به طوری که با کاهش نسبت جو و افزایش نسبت نخود علوفه‌ای در نسبت‌های مخلوط، عملکرد کیفی علوفه از طریق افزایش میزان پروتئین بهبود می‌یابد.

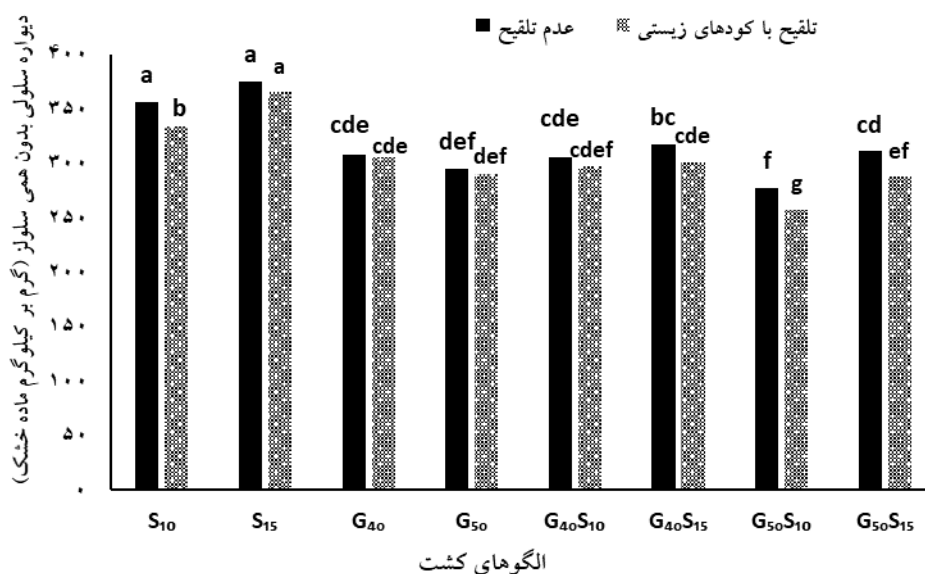
دیواره سلولی (NDF) و دیواره سلولی عاری از همی سلولز**(ADF)**

الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی (NDF) و اسیدی (ADF) به عنوان شاخصی برای بیان میزان دیواره سلولی گیاه شناخته شده

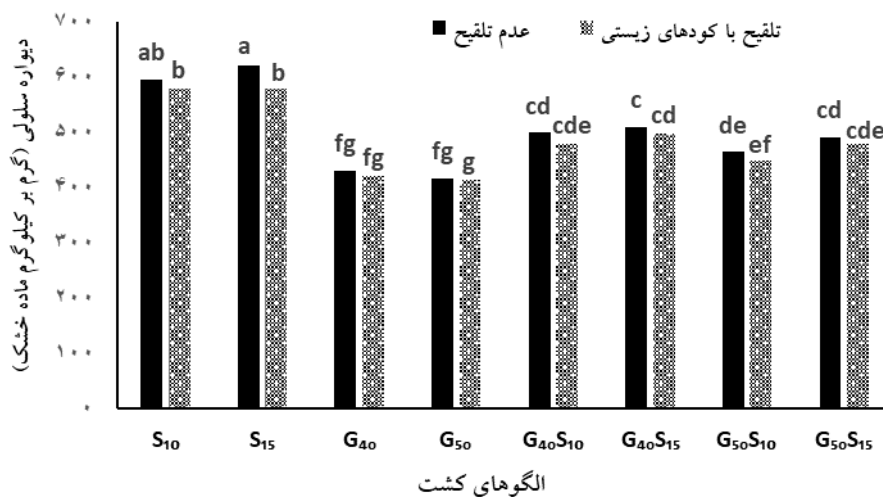
و عاملی تأثیرگذار بر کیفیت و خوش‌خوراکی علوفه است. افزایش میزان شاخص‌های ذکر شده موجب کاهش قابلیت هضم علوفه می‌شود (۲۱). اثر الگوهای مختلف کشت، کاربرد کودهای زیستی و ترکیب تیماری آنها بر دیواره سلولی (NDF) و دیواره سلولی عاری از همی سلولز (ADF) معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین میزان ADF (۳۷۵ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در کشت خالص سورگوم تلقیح نشده با تراکم ۱۵ بوته در مترمربع و کمترین میزان آن (۲۵۸ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در کشت مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۰ بوته در مترمربع) تلقیح شده به دست آمد (شکل ۵). همچنین بیشترین (۶۲۲ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و کمترین میزان NDF (۴۱۴ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) به ترتیب در تیمارهای کشت خالص سورگوم تلقیح نشده با تراکم ۱۵ بوته در مترمربع و کشت خالص سویای تلقیح شده با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع مشاهده شد (شکل ۶). به نظر می‌رسد با کاربرد کودهای زیستی و افزایش جذب عناصر غذایی و به تبع آن بهبود رشد رویشی گیاه (افزایش نسبت برگ به ساقه)، میزان NDF و ADF با کاهش میزان مواد لیگنوسلولوزیکی کاهش یافت (۹). علاوه بر این با افزایش تراکم سورگوم در کشت‌های خالص و مخلوط میزان NDF و ADF علوفه افزایش پیدا کرده است. کوسیکانکویی و لایوئر (۱۶) نتیجه گرفتند که کیفیت علوفه ذرت در تراکم بالا به دلیل افزایش NDF و ADF در نتیجه افزایش میزان فیبر کاهش یافت. دانش‌نیا و همکاران (۱۸) نتیجه گرفتند که میزان NDF و ADF در کشت مخلوط به دلیل رقابت برون‌گونه‌ای و به تبع آن کاهش نسبت ساقه به برگ کاهش می‌یابد. همچنین مجیدی دیزج و همکاران (۳۶) در کشت مخلوط یونجه و اسپرس مشاهده کردند که بیشترین و کمترین میزان ADF به ترتیب در کشت خالص یونجه و اسپرس مشاهده شد. همچنین این پژوهشگران بیان کردند که افزایش میزان اسپرس در الگوهای مختلف کشت مخلوط از میزان ADF کاسته است. تفاوت در میزان NDF و ADF گیاهان توسط رس و همکاران (۴۷)، لیتورگایدیس و دورداس (۳۲)، واسیلاکوگلو و دهیما (۵۵) و صادق‌پور و همکاران (۴۹) گزارش شده است.



شکل ۴. مقایسه میانگین عملکرد پروتئین خام کل در الگوهای مختلف کشت؛ حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است. G_{۴۰}: تراکم ۴۰ بوته سویا در مترمربع، G_{۵۰}: تراکم ۵۰ بوته سویا در مترمربع، S_{۱۰}: تراکم ۱۰ بوته سورگوم در مترمربع و S_{۱۵}: تراکم ۱۵ بوته سورگوم در مترمربع است.



شکل ۵. مقایسه میانگین ADF علوفه در الگوهای مختلف کشت. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است. G_{۴۰}: تراکم ۴۰ بوته سویا در مترمربع، G_{۵۰}: تراکم ۵۰ بوته سویا در مترمربع، S_{۱۰}: تراکم ۱۰ بوته سورگوم در مترمربع و S_{۱۵}: تراکم ۱۵ بوته سورگوم در مترمربع است.



شکل ۶. مقایسه میانگین NDF علوفه در الگوهای مختلف کشت؛ حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد است. G_{۴۰}: تراکم ۴۰ بوته سویا در مترمربع، G_{۵۰}: تراکم ۵۰ بوته سویا در مترمربع، S_{۱۰}: تراکم ۱۰ بوته سورگوم در مترمربع و S_{۱۵}: تراکم ۱۵ بوته سورگوم در مترمربع است.

جدول ۷. همبستگی صفات کمی و کیفی علوفه در الگوهای مختلف کشت با کاربرد کودهای زیستی

ASH	NE _L	RFV	TDN	DMD	DMI	NDF	ADF	YCP	CP	YT	
										۱	YT
									۱	-۰/۳۹**	CP
								۱	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۸۵**	YCP
							۱	-۰/۳۷**	-۰/۶۴**	۰/۰۵ ^{ns}	ADF
						۱	۰/۶۵**	-۰/۱۳ ^{ns}	-۰/۸۸**	۰/۳۵*	NDF
					۱	-۰/۹۹**	-۰/۶۲**	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۸۸**	-۰/۴۱**	DMI
				۱	۰/۶۲**	-۰/۶۵**	-۱/۰۰**	۰/۳۷**	۰/۶۴**	-۰/۰۵ ^{ns}	DMD
			۱	۱/۰۰**	۰/۶۲**	-۰/۶۵**	-۱/۰۰**	۰/۳۷**	۰/۶۴**	-۰/۰۴ ^{ns}	TDN
		۱	۰/۷۵**	۰/۷۵**	۰/۹۸**	-۰/۹۸**	-۰/۷۵**	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۸۹**	-۰/۳۶*	RFV
	۱	۰/۷۵**	۱/۰۰**	۱/۰۰**	۰/۶۲**	-۰/۶۵**	-۱/۰۰**	۰/۳۷**	۰/۶۴**	-۰/۰۵ ^{ns}	NE _L
۱	۰/۷۳**	۰/۷۲**	۰/۷۳**	۰/۷۳**	۰/۶۷**	-۰/۷۲**	-۰/۷۳**	۰/۴۷**	۰/۶۷**	۰/۰۶ ^{ns}	ASH

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی داری

الگوهای مختلف کشت قرار گرفت (جدول ۵). بیشترین (۶۶۷ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و کمترین (۵۳۵ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) میزان TDN به ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۰ بوته در مترمربع) و کشت خالص سورگوم با تراکم ۱۵ بوته در مترمربع

میزان کل ماده مغذی قابل هضم (TDN) و ماده خشک مصرفی کل علوفه (DMI)

اثر الگوهای مختلف کشت و کاربرد کودهای زیستی بر میزان ماده خشک مصرفی کل علوفه (DMI) معنی دار بود. همچنین میزان کل ماده مغذی قابل هضم (TDN) تحت تأثیر معنی دار

بهبود بخشیده‌اند (۴۲). همچنین با افزایش تراکم سورگوم در کشت‌های خالص و مخلوط کاهش میزان DDM مشاهده شد. با توجه به همبستگی منفی بین ماده خشک قابل هضم و ADF و NDF (۵۷) و با توجه به کاهش این شاخص‌ها در نتیجه کشت مخلوط و کاربرد کودهای زیستی، افزایش ماده خشک قابل هضم قابل توجیه است. لایتورگایدیس و همکاران (۳۳) پایین بودن قابلیت هضم علوفه را به بالا بودن دیواره سلولی عاری از همی سلولز (ADF) آن نسبت دادند. محمدآبادی و همکاران (۴۰) و بیلال و همکاران (۹) نتایج مشابهی را گزارش کردند.

ارزش نسبی تغذیه‌ای (RFV)

ارزش نسبی تغذیه‌ای شاخصی برای رتبه بندی علوفه بر اساس تخمینی از قابلیت هضم و پتانسیل مصرف علوفه است و بیانگر میزان انرژی و مصرف علوفه‌ای است که از DDM و DMI مشتق شده است. اثر الگوهای مختلف کشت و کاربرد کودهای زیستی بر میزان ارزش نسبی تغذیه‌ای (RFV) معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین میزان RFV (۱۴۸ درصد) به کشت خالص سویا با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع بدون تفاوت معنی‌دار با کشت آن در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع تعلق داشت و کمترین میزان این شاخص در کشت‌های خالص سورگوم با میانگین ۹۵/۹ درصد مشاهده شد (جدول ۶). همچنین با کاربرد کودهای زیستی نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کننده فسفات میزان RFV ۴/۹۵ درصد افزایش یافت. به‌طور کلی مشاهده می‌شود با افزایش مقادیر NDF و ADF در بین الگوهای مختلف کشت از میزان RFV علوفه کاسته شده است. با توجه به اینکه DMI و DDM به ترتیب همبستگی منفی با NDF و ADF علوفه دارند (جدول ۷) و با توجه به کاهش معنی‌دار این شاخص‌ها در کشت مخلوط، افزایش RFV در این الگوهای کشت قابل انتظار است. یلماز و همکاران (۵۷) در کشت مخلوط جو با ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia sativa* L.) و ماشک پانونیکا (*Vicia pannonica* L.) نتیجه گرفتند که الگوهای

مشاهده شد. بیشترین و کمترین میزان DMI نیز به ترتیب در کشت‌های خالص سویا و سورگوم حاصل شد (جدول ۶). نتایج نشان داد که با تلقیح کودهای زیستی میزان TDN و DMI علوفه به ترتیب ۲/۸۹ و ۳/۲۹ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش نشان داد. به‌طور کلی TDN و DMI بیانگر مواد غذایی قابل دسترس برای دام است و به‌میزان غلظت ADF و NDF علوفه بستگی دارد. از آنجایی که میزان TDN همبستگی منفی با میزان ADF و NDF دارند (جدول ۷) بنابراین با کاهش میزان NDF و ADF در نتیجه کاربرد کودهای زیستی و الگوهای مختلف کشت، میزان TDN و DMI افزایش یافته است. کوبلز و همکاران (۱۳) نتیجه گرفتند که با افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و به‌دنبال آن بهبود میزان پروتئین خام، میزان TDN افزایش پیدا می‌کند. همچنین لایتورگایدیس و همکاران (۳۲ و ۳۳) نتیجه گرفتند که همبستگی منفی بین TDN و DMI با میزان ADF و NDF وجود دارد و با افزایش میزان ADF و NDF کیفیت و میزان ماده خشک مصرفی کاهش می‌یابد.

ماده خشک قابل هضم (DDM)

ماده خشک قابل هضم، کارایی تبدیل عناصر مغذی را به‌وسیله دام بهبود بخشید و مهم‌ترین شاخص برای افزایش وزن دام و تولید شیر محسوب می‌شود (۵۷). اثر الگوهای مختلف کشت و کاربرد کودهای زیستی بر میزان ماده خشک قابل هضم (DDM) معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین میزان DDM (۶۸۱ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در کشت مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۰ بوته در مترمربع) به‌دست آمد. همچنین کمترین میزان این شاخص (۶۰۰ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در کشت خالص سورگوم با تراکم ۱۵ بوته در مترمربع حاصل شد (جدول ۶). علاوه بر این، در کلیه تیمارهای تلقیح شده با کودهای زیستی میزان ماده خشک قابل هضم بیشتری نسبت به عدم تلقیح به‌دست آمد. دلیل آن را می‌توان به کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه و تأثیر آنها بر عملکرد کمی و کیفی سورگوم نسبت داد که کیفیت علوفه سورگوم را از طریق افزایش میزان قابلیت هضم ماده خشک

چاودار و یولاف تأثیری بر میزان NEL نداشت، درحالی که کشت مخلوط لگوم‌ها با گندم و تریتیکاله موجب افزایش میزان NEL نسبت به کشت خالص آنها شد. یلماز و همکاران (۵۷) در کشت مخلوط جو با ماشک معمولی و ماشک مجارستانی به نتیجه مشابهی دست یافتند.

کربوهیدرات‌های محلول در آب (WSC)

کربوهیدرات‌های غیرساختمانی یا قندهای محلول در آب (WSC) یکی از اصلی‌ترین ذخایر غذایی گیاهان علوفه‌ای محسوب شده که میزان آنها در اندام‌های گیاهان، تعیین کننده خوش خوراکی علوفه است. غلظت این مواد در مراحل اولیه رشد گیاه کم ولی در طی گل‌دهی به اوج خود می‌رسد. طبق جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب (WSC) فقط تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفت. بیشترین میزان WSC (۲۴۸ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در کشت خالص سورگوم با تراکم ۱۵ بوته در مترمربع و کمترین میزان آن نیز در کشت‌های مخلوط سویا با میانگین ۱۷۲ گرم بر کیلوگرم ماده خشک مشاهده شد (جدول ۶). علاوه بر این، با افزایش تراکم سورگوم در کشت‌های خالص و افزایش نسبت آن در کشت مخلوط میزان WSC افزایش پیدا کرد. به طوری که میزان WSC علوفه در کشت خالص سورگوم با افزایش تراکم آن از ۱۰ به ۱۵ بوته در مترمربع، ۴/۲ درصد افزایش نشان داد. دلیل این امر را می‌توان به بیشتر بودن میزان کربوهیدرات‌های گیاهان گرامینه در مقایسه با لگوم‌ها نسبت داد (۴۳). دهمرده و همکاران (۱۷) نتیجه گرفتند که در کشت مخلوط ذرت و باقلا بیشترین و کمترین میزان WSC به ترتیب در کشت خالص ذرت و کشت‌های مخلوط دو گیاه به دست آمد. همچنین، نخزری مقدم و همکاران (۴۳) در کشت مخلوط ذرت و ماش نتیجه گرفتند که بیشترین درصد کربوهیدرات‌های محلول در آب در کشت خالص ذرت به دست آمد. در این رابطه نتایج مشابه توسط حسینمردی و همکاران (۲۵) و آرمسترانگ و همکاران (۴) گزارش شده است.

مختلف کشت مخلوط دارای میزان بالاتری از TDN، DMI، RFV و میزان کمتری از ADF و NDF نسبت به کشت خالص جو بودند. همچنین این پژوهشگران دلیل افزایش ارزش نسبی تغذیه‌ای علوفه حاصل از کشت مخلوط را به افزایش ماده خشک قابل هضم (DDM) و ماده خشک مصرفی کل علوفه (DMI) نسبت دادند. هورکس و والتاین (۲۴) گزارش کردند که علوفه‌هایی که دارای RFV مابین ۱۵۱-۱۲۵ درصد باشند از لحاظ کیفیت در رتبه عالی (Premium) قرار می‌گیرد. در این آزمایش علوفه حاصل از کشت‌های خالص سویا در رتبه عالی قرار گرفته و پایین‌ترین رتبه کیفی علوفه هم به کشت‌های خالص سورگوم تعلق داشت. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج صادق‌پور و همکاران (۴۸ و ۴۹) و لایتورگیدیس و همکاران (۳۳) مطابقت داشت.

انرژی ویژه شیردهی (NEL)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۵) بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین الگوهای مختلف کشت و کودهای زیستی از لحاظ NEL در سطح احتمال یک درصد است. بیشترین میزان NEL (۱/۶۰ مگا کالری بر کیلوگرم) به ترکیب سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۰ بوته در مترمربع) مشاهده شد. همچنین کمترین میزان NEL (۱/۳۳ مگا کالری بر کیلوگرم) در کشت خالص سورگوم با تراکم ۱۵ بوته در مترمربع تعلق داشت (جدول ۶). علاوه بر این با کاربرد کودهای زیستی میزان NEL علوفه ۲/۷۲ درصد نسبت به عدم کاربرد افزایش معنی‌داری نشان داد. افزایش انرژی ویژه شیردهی به بهبود دسترسی بیشتر به عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در نتیجه کشت مخلوط و استفاده از کودهای زیستی نسبت داده می‌شود (۹ و ۵۲). صادق‌پور و همکاران (۴۸) افزایش انرژی ویژه شیردهی در کشت مخلوط یونجه یک‌ساله و جو را به حضور لگوم نسبت داده‌اند. به طوری که با افزایش نسبت لگوم در ترکیب‌های کشت مخلوط NEL به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین لاریالت و کرکسی (۳۰) گزارش کردند که کشت مخلوط لگوم‌ها با

جدول ۸. میزان نسبت برابری زمین (LER) و سودمندی مالی مخلوط (MAI) در الگوهای مختلف کشت مخلوط

سودمندی مالی مخلوط (MAI)	LER			تیمار
	کل	سویا	سورگوم	
۹۶/۴	۱/۴	۰/۵۸	۰/۸۱	G _۴ .S _{۱۰}
۱۴۵/۷	۱/۴۱	۰/۵۲	۰/۸۹	G _۴ .S _{۱۵}
۱۰۴/۹	۱/۴۳	۰/۶	۰/۸۳	G _۵ .S _{۱۰}
۱۶۱/۳	۱/۴۶	۰/۵۶	۰/۹	G _۵ .S _{۱۵}

G_۴: تراکم ۴۰ بوته سویا در مترمربع، G_۵: تراکم ۵۰ بوته سویا در مترمربع، S_{۱۰}: تراکم ۱۰ بوته سورگوم در مترمربع و S_{۱۵}: تراکم ۱۵ بوته سورگوم در مترمربع است.

۸. علاوه بر این میزان شاخص سودمندی مالی در کلیه الگوهای مختلف کشت مخلوط مثبت بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط سورگوم و سویا نسبت به کشت خالص دو گیاه است. بالا بودن شاخص سودمندی مالی در الگوهای ذکر شده به بالاتر بودن میزان نسبت برابری زمین در الگوهای ذکر شده نسبت داده می‌شود. به‌طور مشابه، امانی ماچیانی و همکاران (۲) گزارش کردند در کلیه الگوهای مختلف کشت مخلوط سویا و نعنای فلفلی میزان شاخص سودمندی مالی کشت مخلوط مثبت بود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که عملکرد علوفه خشک کل و شاخص‌هایی از قبیل عملکرد پروتئین خام، دیواره سلولی، دیواره سلولی بدون همی سلولز، کل ماده مغذی قابل هضم، ماده خشک مصرفی، ارزش نسبی تغذیه‌ای و انرژی ویژه شیردهی در نتیجه کشت مخلوط سورگوم با سویا و کاربرد کودهای زیستی بهبود پیدا کردند. بیشترین عملکرد علوفه خشک کل و عملکرد پروتئین خام کل در کشت‌های مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۰ بوته در مترمربع) و سویا (۴۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۰ بوته در مترمربع) تلقیح شده با کودهای زیستی نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کننده فسفات به‌دست آمد. علاوه بر این، بیشترین میزان نسبت برابری زمین (LER) و شاخص

نسبت برابری زمین (LER) و سودمندی مالی مخلوط (MAI)

نسبت برابری زمین در تمامی الگوهای مختلف کشت بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط سورگوم و سویا نسبت به کشت خالص است. بیشترین (۱/۴۶) و کمترین (۱/۴) نسبت برابری زمین به‌ترتیب در کشت‌های مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) و سویا (۴۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۰ بوته در مترمربع) به‌دست آمد (جدول ۸). بر اساس مقادیر نسبت برابری زمین، ۴۶-۴۰ درصد سطح زیرکشت بیشتری در کشت خالص نیاز است تا عملکردی مشابه کشت مخلوط حاصل شود. استفاده کارآمد از منابع محیطی، تبادل مواد غذایی، افزایش توانایی رقابتی در کنترل علف‌های هرز، تثبیت نیتروژن، وجود اختلاف در سیستم ریشه‌ای اجزای مخلوط و جذب بیشتر تشعشع دلیل افزایش نسبت برابری زمین در کشت مخلوط است (۲ و ۲۰). در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، امانی ماچیانی و همکاران (۲) نتیجه گرفتند در الگوهای مختلف کشت مخلوط سویا و نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L) میزان نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود.

همچنین بیشترین میزان شاخص سودمندی مالی (۱۶۱/۳) در کشت مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) و پس از آن در الگوی مخلوط سویا (۴۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) به‌دست آمد (جدول

و انرژی ویژه شیردهی افزایش پیدا کرد. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان بیان کرد که کشت مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) و سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۰ بوته در مترمربع) را به‌عنوان تیمار برتر از لحاظ کمی و کیفی معرفی کرد.

سودمندی مالی مخلوط (MAI) در کشت مخلوط سویا (۵۰ بوته در مترمربع) + سورگوم (۱۵ بوته در مترمربع) به‌دست آمد. همچنین بیشترین میزان دیواره سلولی و دیواره سلولی بدون همی سلولز در کشت‌های خالص سورگوم حاصل شد. علاوه بر این با کاهش میزان ADF و NDF، میزان کل ماده مغذی قابل هضم، ماده خشک مصرفی، ارزش نسبی تغذیه‌ای

منابع مورد استفاده

- Ahemad, M. and M. Kibret. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University- Science* 26(1): 1-20.
- Amani Machiani, M., A. Javanmard, M. R. Morshedloo and F. Maggi. 2018. Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. *Industrial Crops and Products* 111: 743-754.
- Arif, M. S., M. Riaz, S. M. Shahzad, T. Yasmeen, S. Ali and M. J. Akhtar. 2017. Phosphorus mobilizing plant growth promoting rhizobacteria *Bacillus cereus* GS6 improved symbiotic efficiency of soybean (*Glycine max*, L.) in compost amended aridisol. *Pedosphere* 27(6): 1049-1061.
- Armstrong, K. L., K. A. Albrecht, J. G. Lauer and H. Riday. 2008. Intercropping corn with lablab bean, velvet bean, and scarlet runner bean for forage. *Crop Science* 48: 371-379.
- Atis, I., K. Kokten, R. Hatipoglu, S. Yilmaz, M. Atak and E. Can. 2012. Plant density and mixture ratio effects on the competition between common vetch and wheat. *Australian Journal of Crop Science* 6: 498-505.
- Baldani, V. L. D., J. I. Baldani and J. Dobereiner. 2000. Inoculation of rice plants with the endophytic diazotrophs *Herbaspirillum seropedicae* and *Burkholderia* spp. *Biology and Fertility of Soils* 30: 485-491.
- Bean, B. W., R. L. Baumhardt, F. T. McCollum and K. C. McCuiston. 2013. Comparison of sorghum classes for grain and forage yield and forage nutritive value. *Field Crops Research* 142: 20-26.
- Belel, M. D., R. A. Halim, M. Y. Raffi and H. M. Saud. 2014. Intercropping of Corn with some selected legumes for improved forage production: A Review. *Journal of Agricultural Science* 6(3): 48-62.
- Bilal, M., M. Ayub, M. Tariq, M. Tahir and M. A. Nadeem. 2017. Dry matter yield and forage quality traits of oat (*Avena sativa* L.) under integrative use of microbial and synthetic source of nitrogen. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 16: 236-241.
- Bishnoi, U. 2015. PGPR interaction: An ecofriendly approach promoting the sustainable agriculture system. *Advances in Botanical Research* 75: 81-113.
- Chapagain, T. and A. Riseman. 2014. Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research* 166: 18-25.
- Chen, C., M. Westcott, K. Neill, D. Wickman and M. Knox. 2004. Row configuration and nitrogen application for barley- pea intercropping in Montana. *Agronomy Journal* 96: 1730-1738.
- Coblentz, W. K., M. S. Akins, J. S. Cavadini and W. E. Jokela. 2017. Net effects of nitrogen fertilization on the nutritive value and digestibility of oat forages. *Journal of Dairy Science* 100: 1739-1750.
- Contreras-Govea, F. E., R. E. Muck, K. L. Armstrong and K. A. Albrecht. 2009. Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. *Animal Feed Science and Technology* 150: 1-8.
- Crusciol, C. A. C., A. S. Nascente, G. P. Mateus, C. M. Pariz, P. O. Martins and E. Borghi. 2014. Intercropping soybean and palisade grass for enhanced land use efficiency and revenue in a no till system. *European Journal of Agronomy* 58: 53-62.
- Cusicanqui, J. A. and J. G. Lauer. 1999. Plant density and hybrid influence on corn forage yield and quality. *Agronomy Journal* 91: 911-915 .
- Dahmardeh, M., A. Ghanbri, B. A. Syahsar and M. Ramroudi. 2010. Evolution of forage yield and protein content of maize and cowpea intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research* 3:633-642. (In Farsi).
- Daneshnia, F., A. Amini and M. R. Chaichi. 2016. Berseem clover quality and basil essential oil yield in intercropping system under limited irrigation treatments with surfactant. *Agricultural Water Management* 164: 331-339 .
- Dos Santos, C. L. R., G. C. Alves, A. V. D. M. Macedo, F. G. Giori, W. Pereira, S. Urquiaga and V. M. Reis. 2017. Contribution of a mixed inoculant containing strains of *Burkholderia* spp. and *Herbaspirillum* ssp. to the growth of three sorghum genotypes under increased nitrogen fertilization levels. *Applied Soil Ecology* 113: 96-106.

20. Duchene, O., J. F. Vian and F. Celette. 2017. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 240: 148-161.
21. Esmaeili, A. R., M. B. Hosseini, M. Mohammadi and F. S. Hosseinikhah. 2012. Evaluation of grain yield, dry matter production and some of the forage and silage quality properties in annual medic (*Medicago scutellata*) and spring barley (*Hordeum vulgare*) intercropping. *Seed and Plant Production Journal* 28(2): 277-296.
22. Gray, E. J. and D. L. Smith. 2005. Interacellular and extracellular PGPR: Commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil Biology and Biochemistry Journal* 37: 395-412.
23. Herridge, D. F., F. J. Bergersen and M. B. Peoples. 1990. Measurement of nitrogen fixation by soybean in the field using the ureide and natural ¹⁵N abundance methods. *Plant Physiology* 93: 708-716.
24. Horrocks, R. D. and J. F. Vallentine. 1999. Harvested Forage. Academic Press, London, UK.
25. Hosseinmardi, M., S. M. Bagher Hosseini and M. R. Jahansoz. 2017. Study the effect of intercropping maize and pearl millet on fodder yield quantity and quality. *Iranian Journal of Field Crop Science* 48(2): 329-338.
26. Inal, A., A. Gunes, F. Zhang and I. Cakmak. 2007. Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. *Plant Physiology and Biochemistry* 45: 350-356.
27. Jafari, A. V., A. C. Frolich and E. K. Walsh. 2003. A note on estimation of quality in perennial rye grass by near infrared spectroscopy. *Irish Journal of agriculture and Food Research* 42: 293-299.
28. Javanmard, A., A. D. M. Nasab, A. Javanshir, M. Moghaddam and H. Janmohammadi. 2009. Forage yield and quality in intercropping of maize with different legumes as double-cropped. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 7: 163-166.
29. Lameie-Harvani, J. 2013. Assessment of dry forage and crude protein yields, competition and advantage indices in mixed cropping of annual forage legume crops with barley in rain fed conditions of Zanjan province in Iran. *Seed and Plant Production Journal* 2(29): 169-183. (In Farsi).
30. Lauriault, L. M. and R. E. Kirksey. 2004. Yield and nutritive value of irrigated winter cereal forage grass- legume intercrops in the southern high plains. *Agronomy Journal* 96: 352-358.
31. Lima, R., R. F. Diaz, A. Castro and V. Fievez. 2011. Digestibility, methane production and nitrogen balance in sheep fed ensiled or fresh mixtures of sorghum-soybean forage. *Livestock Science* 141: 36-46.
32. Lithourgidis, A. S. and C. A. Dordas. 2010. Forage yield, growth rate, and nitrogen uptake of faba bean intercrops with wheat, barley, and rye in three seeding ratios. *Crop Science* 50: 2148-2158.
33. Lithourgidis, A. S., I. B. Vasilakoglou, K. V. Dhima, C. A. Dordas and M. D. Yiakoulaki. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research* 99: 106-113.
34. Liu, R. and R. Lal. 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. Science of the total environment. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 25(2): 17-32.
35. Liu, X., T. Rahman, C. Song, B. Su, F. Yang, T. Yong, Y. Wu, C. Zhang and W. Yang. 2017. Changes in light environment, morphology, growth and yield of soybean in maize-soybean intercropping systems. *Field Crops Research* 200: 38-46.
36. Madjidi Dizadj, H., D. Mazaheri, Gh. Sabahi and M. Mirab Zadeh. 2014. Evaluation of the yield and quality in sainfoin and alfalfa intercropping. *Iranian Journal of Crop Sciences* 16(1): 51 -61. (In Farsi).
37. Marsalis, M. A., S. V. Angadi and F. E. Contreras-Govea. 2010. Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. *Field Crops Research* 116: 52-57.
38. Mehrvarz, S. and M. R. Chaichi. 2008. Effect of Phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on forage and grain quality of barely (*Hordeum vulgare* L.). *American- Eurasian Journal Agricultural and Environmental Science* 3: 855-860.
39. Mirzakhani, M. 2015. Relationship of simultaneous cropping with legumes and application of chemical and biological fertilizers with agronomic nitrogen use efficiency in corn. *Journal of Agricultural Science* 25(2): 17-32. (In Farsi).
40. Mohammad Abadi, A. A., P. Rezvani Moghaddam, J. Fallahi and Z. Bromand Rezazadeh. 2012. Effect of chemical and organic fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.) forage. *Agroecology* 3(4): 491-499. (In Farsi).
41. Nachigera, G. M., J. F. Ledent and X. Draye. 2008. Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. *Environmental and Experimental Botany* 64: 180-188.
42. Naghizadeh, M. and M. Galavi. 2012. Evaluation of phosphorous biofertilizer and chemical phosphorous influence on fodder quality of corn (*Zea mays* L.) and grass pea (*Lathyrus sativa* L.) intercropping. *Agroecology* 4(1): 52-62. (In Farsi).
43. Nakhzari-Moghaddam, A., M. R. Chaichi, D. Mazaheri, H. Rahimian Mashhadi, N. Majnoon hoseini and A. A. Noorinia. 2009. The effects of corn and green gram intercropping on yield, LER and some quality characteristics of

- forage. *Iranian Journal of Field Crops Reaserch* 40(4): 151-159. (In Farsi).
44. Naseri, R., A. Moghadam, F. Darabi, A. Hatami and G. R. Tahmasebei. 2013. The Effect of deficit irrigation and *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* on grain yield, yield components of maize (S.C. 704) as a second cropping in western Iran. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 2(10): 104–112.
 45. Nassiri Mahallati, M., A. Koocheki, F. Mondani, H. Feizi and S. Amirmoradi. 2015. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. *Journal of Cleaner Production* 106: 343–350.
 46. Nielsen, D. C. 2011. Forage soybean yield and quality response to water use. *Field Crops Research* 124: 400–407.
 47. Roos, S. M., J. R. King, J. T. O. Donovan and D. Spaner. 2005. The productivity of oats and berseem clover intercrops. I. Primary growth characteristics and forage quality at four densities of oats. *Grass and forage Science* 60: 74- 86.
 48. Sadeghpour, A., E. Jahanzad, A. Esmaili, M. B. Hosseini and M. Hashemi. 2013. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. *Field Crops Research* 148: 43-48.
 49. Sadeghpour, A., E. Jahanzad, A. S. Lithourgidis, M. Hashemi, A. Esmaili and M. B. Hosseini. 2013. Forage yield and quality of barley-annual medic intercrops in semi-arid environments. *International Journal of Plant Production* 8: 77–89 .
 50. Stefan, M., N. Munteanu, V. Stoleru, M. Mihasan and L. Hritcu. 2013. Seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria enhances photosynthesis and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). *Scientia Horticulturae* 151: 22–29.
 51. Stoltz, E. and E. Nadeau. 2014. Effects of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N in organically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research* 169: 21-29.
 52. Tang, C. H., X. Yang, X. Chen, A. Ameen and G. Xie. 2018. Sorghum biomass and quality and soil nitrogen balance response to nitrogen rate on semiarid marginal land. *Field Crops Research* 215: 12-22.
 53. Uchino, H., S. Uozumi, E. Touno, H. Kawamoto and S. Deguchi. 2015. Soybean growth traits suitable for forage production in an Italian ryegrass living mulch system. *Field Crops Research* 193: 143–153 .
 54. Van Loon, L. C. 2007. Plant response to plant growth promoting rhizobacteria. *European Journal of Plant Pathology* 119: 243-254.
 55. Vasilakoglou, I. and K. Dhima. 2008. Forage yield and competition indices of berseem clover intercropped with barley. *Agronomy Journal* 100: 1749–1756.
 56. Vessy, K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil* 255: 571-586.
 57. Yilmaz, S., A. Özel, M. Atak and M. Erayman. 2014. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 39: 135–143.
 58. Yolcu, H., M. Dasci and M. Tan. 2009. Evaluation of annual legumes and barley as sole crops and intercrop in spring frost conditions for animal feeding I. Yield and quality. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 8: 1337–1342.

Quantity and Quality Evaluation of the Forage in Sorghum- Soybean Additive Intercropping under the Influence of Nitroxin and Phosphate Solubilizing Bacteria Bio-Fertilizers

A. Javanmard^{1*}, M. Amani Machiani² and M. Janmohamadi³

(Received: November 13-2017; Accepted: April 7-2019)

Abstract

In order to evaluate the forage quantity and quality of Sorghum in intercropping with soybean, a field experiment was carried out as a factorial based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications at the Faculty of Agriculture, University of Maragheh, during the 2016 growing season. The first factor included different planting patterns with eight levels (soybean monocultures with densities of 40 and 50 plants m⁻², sorghum monocultures with densities of 10 and 15 plants m⁻², and intercropping of the two plant species with the mentioned densities); the second factor consisted of two levels of inoculation with nitroxin (*Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense*) Bio-fertilizers and Phosphate solubilizing bacteria (*Pseudomonas fluorescense*) and non-inoculation. The results showed that the highest (25.59 tons ha⁻¹) and lowest total dry forage yield was obtained in intercropping soybean (with densities of 40 and 50 plants m⁻²) + sorghum (15 plants m⁻²) with inoculation and soybean monocultures (with densities of 40 and 50 plants m⁻²) without inoculation, respectively. Also, the highest and lowest values of forage ash, digestible dry matter (DDM) and net energy of lactation (NEL) were obtained in intercropping soybean (50 plants m⁻²) + sorghum (10 plants m⁻²) and monoculture of sorghum (15 plants m⁻²), respectively. The highest content of the acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent fiber (NDF) was obtained in the monoculture of sorghum (15 plants m⁻²) without inoculation. In addition, application of bio-fertilizer increased the content of crude protein (CP), DDM, dry matter intake (DMI) and NEL by 6.29, 1.71, 3.29 and 2.72%, respectively, as compared to the control. Also, the highest land equivalent ratio and monetary advantage intercropping (MAI) were achieved in the intercropping of soybean (50 plants m⁻²) + sorghum (15 plants m⁻²). Generally, intercropping of soybean (50 plants m⁻²) + sorghum (15 plants m⁻²) and soybean (50 plants m⁻²) + sorghum (10 plants m⁻²) could be introduced as the best treatment in terms of forage quantity and quality, respectively.

Keywords: Crude protein (CP), Dry matter intake (DMI), Forage soybean, Net energy of lactation (NEL), Neutral detergent fiber (NDF)

1, 2, 3. Associate Professor, Ph.D. Student and Professor, Respectively, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

*: Corresponding Author, Email: A.Javanmard@maragheh.ac.ir