Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 51, No 4, Winter 2021 (85-99)
DOI: 10.22059/ijfcs.2020.283922.654619

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹ (ص۹۹-۸۵)

ارزیابی تأثیر تلقیح کودهای زیستی بر صفات مرتبط با عملکرد در کشت مخلوط نیشکر- بقولات

علی احسانی پور*[۱]، حمید عباس دخت[۲]، منوچهر قلی پور[۲]، علیرضا ابدالی مشهدی[۳]
۱و۲- به‌ترتیب دانش آموخته مقطع دکتری و دانشیار، گروه زراعت دانشگاه صنعتی شاهرود، ۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/٤/۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۲۸)

چکیده

به‌منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد نیشکر و بقولات، شاخص برداشت نیشکر و نسبت برابری زمین در کشت مخلوط نیشکر با بقولات، آزمایشی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در دو محل (شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا و امام خمینی) در استان خوزستان، به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ١٤ تیمار و چهار تکرار به اجرا در آمد. تیمارها شامل کشت خالص نیشکر (*Saccharum officinarum* L.)، خالص سویا (*Glycine max* L.)، خالص لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*)، سویا + تلقیح با باکتری رایزوبیوم، لوبیا چشم بلبلی + تلقیح با رایزوبیوم، نیشکر + تلقیح با قارچ میکوریزا، مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی به‌صورت افزایشی، مخلوط نیشکر و سویا به‌صورت افزایشی، مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی + تلقیح با رایزوبیوم، مخلوط نیشکر و سویا + تلقیح با رایزوبیوم، مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی، مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و سویا، مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و سویا + تلقیح با رایزوبیوم، مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی + تلقیح با رایزوبیوم بودند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تیمارهای گوناگون، روی عملکرد و شاخص برداشت نیشکر، نسبت برابری زمین (LER)، عملکرد لوبیا چشم بلبلی، تعداد غلاف در لوبیا چشم بلبلی و سویا، وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی، طول غلاف در لوبیا چشم بلبلی و سویا، تعداد و وزن خشک گره‌های ریشه لوبیا چشم بلبلی تأثیر معنی‌داری داشت. محل‌های مختلف آزمایش نیز روی عملکرد و شاخص برداشت نیشکر، عملکرد لوبیا چشم بلبلی، تعداد غلاف در لوبیا چشم بلبلی، وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا، طول غلاف لوبیا چشم بلبلی، تعداد و وزن خشک گره‌های ریشه لوبیا چشم بلبلی و شاخص برداشت سویا تأثیر معنی‌داری داشتند. مقدار LER در همه تیمارها بیش‌تر از یک شد که نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط می‌باشد. بهترین نتایج در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم) به‌دست آمدند.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، رایزوبیوم، عملکرد، میکوریزا، نسبت برابری زمین.

Effect of biofertilizers on crop yield in intercropping of sugarcane an Legumes

Ali Ehsanipour*[1], Hamid Abbasdokht[2], Manouchehr Gholipour[2], Alireza Abdali Mashhadi[3]
1,2. Department of Agronomy, Shahrood University of Technology, 3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University.
(Received: June 23, 2019- Accepted: October 20, 2019)

ABSTRACT

To evaluate the yield and yield components of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) and legumes, harvest index of sugarcane and land equivalent ratio in intercropping of sugarcane and legumes, experiments were conducted as randomized complete block design with 14 treatments and four replications during 2016-2017 at two locations (Dehkhoda Sugarcane Agro-industry Co. and Emam Khomeini) in Khuzestan province. The treatments were pure sugarcane, pure soybean (*Glycine max* L.), pure cowpea (*Vigna unguiculata* L.), pure soybean stand + rhizobium, pure cowpea stand + rhizobium, pure sugarcane stand + mycorrhizal, intercropping of sugarcane with cowpea, intercropping of sugarcane with soybean, intercropping of sugarcane with cowpea + rhizobium, intercropping of sugarcane with soybean + rhizobium, intercropping of sugarcane + mycorrhizal and cowpea, intercropping of sugarcane + mycorrhizal and soybean, intercropping of sugarcane + mycorrhizal and soybean + rhizobium and intercropping of sugarcane + mycorrhizal and cowpea + rhizobium. Combined analysis of variance showed that different treatments had significant effects on yield and harvest index of sugarcane, land equivalent ratio (LER), cowpea seed yield, number of pods in cowpea and soybean, weight of 1000- grain of cowpea, length of pod of cowpea and soybean and number of nodules and dry weight in cowpea root. Different locations also had a significant effect on yield and harvest index of sugarcane, cowpea seed yield, number of pods in cowpea, weight of 1000- grain of cowpea and soybean, length of pod of cowpea, number of nodules and dry weight in cowpea

* Corresponding author E-mail: habbasdokht@shahroodut.ac.ir

root and harvest index of soybea. LER in all treatments was higher than one, indicating the beneficial effects of intercropping. The best results were obtained in sugarcane (inoculated with fungi) and cowpea (inoculated with *Rhizobium*).
Keywords: Harvest index, LER, mycorrhiza, *Rhizobium*, yield.

مقدمه

یکی از روش‌های افزایش ماده خشک در واحد سطح، استفاده از سیستم کشت مخلوط دو یا چند گیاه با هم در یک محل است. کشت مخلوط غلات – بقولات، یکی از قدیمی‌ترین و معمول‌ترین انواع زراعت مخلوط است که در بسیاری از نقاط جهان گسترش یافته است (Sanjay & Sujit, 2014). بهره‌گیری از مخلوط گیاهان برای بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و تأمین سلامتی گیاه، از مهم‌ترین شیوه‌های علمی برای کمک به پایداری تعادل سیستم زنده خاک و جلوگیری از خطر تراکم آلاینده‌های شیمیایی در محیط زیست محسوب می‌شود (Koochecki *et al*., 2013).

دانه سویا (*Glycine max* L.) با داشتن ۱۶ تا ۲۴ درصد روغن، گوارش پذیری بالای روغن، مرغوبیت کنجاله و ۲۵ تا ۴۵ درصد پروتئین می‌تواند منبع غذایی ارزشمندی برای انسان و دام باشد (Aliyari *et al*., 2000). بقولاتی مانند انواع لوبیا در شرایط کمبود نیتروژن، نقش مهمی در تثبیت نیتروژن و افزایش مقدار آن در خاک دارند و به همین علت، لوبیا در برخی کشورها به عنوان تقویت کننده خاک کشت می‌شود (Christiane & Graham, 2002). نیشکر *Saccharum officinarum* L.، گیاهی غول پیکر و قوی‌ترین گیاه زراعی در تبدیل انرژی خورشیدی به ماده خشک گیاهی می‌باشد (Khajehpour, 2005).

در پژوهشی اعلام شد عملکرد نیشکر در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی، ۱۷/۲ درصد بیش‌تر از کشت خالص نیشکر شد. همچنین تعداد و طول ساقه‌های قابل آسیاب در نیشکر درکشت مخلوط با لوبیا سبز در مقایسه با کشت خالص نیشکر، افزایش داشت (Shilpa *et al*., 2017). عملکرد نیشکر از ۱۱۱/۸ تن در هکتار در کشت خالص نیشکر به ۱۳۰/۵ تن در هکتار در کشت مخلوط با نخود (*Cicer arietinum* L.)، افزایش یافت (Rasool *et al*., 2011). لوبیا چشم بلبلی و سویا از گیاهان تثبیت کننده نیتروژن می‌باشند و در شرایط مناسب می‌توانند ۱۴۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن را از طریق هم‌زیستی با باکتری رایزوبیوم تثبیت کنند (Cassman *et al*., 1999). در خاک‌های فاقد رایزوبیوم، تلقیح بذر با باکتری تثبیت کننده نیتروژن، اثرات مثبتی بر عملکرد خواهد داشت (Asadi Rahmani & Saleh-rastin, 2000). رایزوبیوم‌ها به‌صورت طبیعی در خاک‌ها وجود دارند، ولی غالباً از نظر تعداد و یا مؤثر بودن برای برقراری یک هم‌زیستی موفقیت آمیز کافی نیستند و بنابراین لازم است به هنگام کشت بقولات، جمعیت کافی از رایزوبیوم‌های هم‌زیست به بذور آن‌ها تلقیح شود (Ayanaba & Bromfield, 2003). در تحقیقی بر روی لوبیا گزارش شد که تلقیح لوبیا با رایزوبیوم سویه ۷۵-L سبب افزایش ۲۶ و ۴۰ درصدی عملکرد لوبیا، به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش شد (Khalaj *et al*., 2013). در پژوهشی بر روی سویا گزارش شد که تلقیح سویا با رایزوبیوم، سبب افزایش ۸/۶ درصدی عملکرد سویا می‌شود (Shrivastava *et al*., 2009). نتایج پژوهشی در مورد کشت مخلوط نیشکر با سیب زمینی شیرین، سورگوم و چغندرقند با نسبت‌ها و فاصله ردیف‌های کشت متفاوت نشان داد که بیش ترین میزان نسبت برابری زمین (LER) ۱/۴۷ بود که در مخلوط نیشکر- سیب زمینی شیرین به نسبت ۱:۲ با فاصله خطوط کشت ۱۵۰ سانتی‌متری برای نیشکر حاصل شد (Shilpa *et al*., 2018). هنگامی که نسبت برابری زمین بیش‌تر از یک باشد، نشان دهنده روابط متقابل مثبت بین اعضای گیاهی مخلوط نسبت به خالص و بیان کننده برتری کشت مخلوط نسبت به خالص می‌باشد (Mazaheri & Peyghambari, 2002).

اندام‌های قارچ میکوریزا آرباسکولار، به عنوان مخزن دریافت کربوهیدرات‌های فتوسنتزی گیاه عمل می‌کنند و سبب تحریک بیشتر فعالیت فتوسنتزی می‌شوند که این خود به دلیل افزایش تولید هورمون جیبرلین در گیاه میزبان است (Demir, 2004). در تحقیقی گزارش

شد که تلقیح نیشکر با میکوریزا، باعث افزایش ۴۶ درصدی عملکرد ساقه در نیشکر شد (Ambrosano *et al*., 2010). باکتری‌های رایزوبیوم به دلیل قدرت بالای خود در برقراری هم‌زیستی با گیاهان خانواده بقولات و ایجاد سامانه‌های توانمند در تثبیت نیتروژن مولکولی، قادر به تامین بخش قابل توجهی از نیتروژن مولکولی اکوسیستم‌های زراعی در سطح جهانی می‌باشند (Antoun & Kloepper, 2004). هدف این پژوهش، ارزیابی تأثیر قارچ میکوریزا و باکتری رایزوبیوم بر ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیکی نیشکر، لوبیا چشم بلبلی و سویا در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص این گیاهان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در دو محل شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا (محل اول) و شرکت امام خمینی (محل دوم)، با فاصله ۸۰ کیلومتر از یکدیگر در استان خوزستان، در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۴ تیمار و چهار تکرار به اجرا در آمد.شرکت دهخدا با ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا ، در طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و شرکت امام خمینی با ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا، در طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی قرار داشت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و اطلاعات آب و هوایی هر دو محل اجرای طرح، به‌ترتیب در جدول ۱ و جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر).

Table 1. Physiochemical properties of experimental soil (soil depth: 0 - 30 cm).

	Soil texture	EC ($ds.m^{-1}$)	pH	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Total Nitrogen (%)
First location (Dehkhoda) (before planting)	Silty clay	3.02	7.9	12.89	258	0.07
Second location (Emam khomeyni) (before planting)	Clay loam	4.28	8.8	11.5	240	0.05
First location (Dehkhoda) (after legume harvest)	Silty clay	2.58	7.96	13.31	252	0.16
Second location (Emam khomeyni) (after legume harvest)	Clay loam	3.7	8.9	11.86	236	0.12

تیمارها عبارت بودند از: کشت خالص نیشکر، خالص سویا، خالص لوبیا چشم بلبلی، کشت خالص سویا + تلقیح با باکتری رایزوبیوم، کشت خالص لوبیا چشم بلبلی+ تلقیح با رایزوبیوم، کشت خالص نیشکر+ تلقیح با قارچ میکوریزا، کشت مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی، کشت مخلوط نیشکر و سویا، کشت مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی+ تلقیح با رایزوبیوم، کشت مخلوط نیشکر و سویا + تلقیح با رایزوبیوم، کشت مخلوط نیشکر+ تلقیح با میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی، کشت مخلوط نیشکر+ تلقیح با میکوریزا و سویا، کشت مخلوط نیشکر+ تلقیح با میکوریزا و سویا + تلقیح با رایزوبیوم و کشت مخلوط نیشکر + تلقیح با میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی+ تلقیح با رایزوبیوم. هر کرت آزمایشی با عرض ۷/۳۲ متر، از چهار ردیف به‌طول هشت متر تشکیل شد. فاصله بین ردیف‌های کشت نیشکر، ۱۸۳ سانتی‌متر بود (زندوکیلی و همکاران، ۱۳۹۴) و بقولات (لوبیا چشم بلبلی اکوتیپ محلی اهواز و سویا رقم کتول) در بین خطوط کشت نیشکر (رقم CP69-1062) به‌صورت افزایشی ۱۰۰ درصد نیشکر + ۱۰۰ درصد لوبیا چشم بلبلی و ۱۰۰ درصد نیشکر + ۱۰۰ درصد سویا، یعنی هر جزء با تراکم مطلوب، هم در کشت مخلوط و هم کشت خالص (۲۰ بوته در متر مربع لوبیا چشم بلبلی و ۶۰ بوته در متر مربع سویا و سه قلمه ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متری نیشکر در متر مربع) روی خط داغاب پشته‌ها (روی دو لبه‌ی پشته) در نیمه نخست مرداد ۱۳۹۵ به‌صورت دستی کشت شدند. برداشت لوبیا چشم بلبلی در سه مرحله (۲۰ آبان‌ماه، پنج و ۱۵ آذرماه ۱۳۹۵)، برداشت سویا در یک مرحله در ۱۵ آذرماه ۱۳۹۵و برداشت نیشکر در ۱۵ آذرماه ۱۳۹۶ انجام شد. باکتری‌های *رایزوبیوم لگومینوزاروم* (لوبیا چشم بلبلی)

و *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* (سویا) از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج و قارچ میکوریزا گلوموس موسه (برای نیشکر) از شرکت زیست فناور پیشتاز واریان تهیه شدند. برای تلقیح بذرهای بقولات، هشت گرم مایه تلقیح (مایع در هر کرت) که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود، استفاده شدد. همچنین از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها به نسبت ۱۰ درصد وزنی استفاده شد و در تیمارهای تلقیح قلمه‌های نیشکر با قارچ میکوریزا، ۱۵ گرم مایه تلقیح قارچ (به‌صورت جامد به ازای هر قلمه) در زمان کشت، در کف جوی زیر قلمه‌های نیشکر (هر قلمه سه گره یا جوانه دارد) قرار داده شد که این مایه حاوی خاک، هاگ، ریشه آلوده گیاه شبدر و ریسه قارچ بود (Asadi Rahmani, 2010). پس از آماده کردن بستر کشت نیشکر به صورت جوی و پشته و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پایه سوپر فسفات تریپل به‌صورت نواری (پنج سانتی‌متر زیر و کنار قلمه) در کف جوی‌ها پاشیده شد. عملیات کود دهی نیتروژن به صورت سرک به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره (۴۶ درصد) انجام شد. در سرک اول، ۳۰ کیلوگرم در هکتار یک ماه پس از کشت سه جزء مخلوط (به عنوان آغازگر برای بقولات)، سرک دوم، ۴۰ کیلوگرم در هکتار، سرک سوم ۱۰۵ کیلوگرم و سرک چهارم ۷۵ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. فاصله زمانی بین سرک دوم تا چهارم، از ۱۵ فروردین (شروع دوره رشد مجدد نیشکر پس از سرما) و یک ماه در میان بود. آبیاری در این تحقیق همانند روش مرسوم شرکت، به‌صورت فارویی انجام شد که برای نیشکر، ۲۰ مرحله آبیاری و برای بقولات، نه مرحله آبیاری انجام شد که این نه مرحله آبیاری، برای سه جزء کشت مخلوط مشترک بود.

جدول ۲- ویژگی‌های آب و هوایی مناطق مورد آزمایش در طول اجرای پژوهش.

Table 2. Climatic properties of the experimental areas during the research.

Location	Average air temperature) C°(																
	Jul 16	Aug 16	Sep16	Oct 16	Nov16	Dec16	Jan16	Feb16	Mar17	Apr17	May17	Jun17	Jul17	Aug 17	Sep17	Oct 17	Dec17
Dehkhoda	37.2	34.5	27.8	23.0	13.9	13.7	12.5	17.7	23.8	31.3	34.8	37.4	38.0	35.3	28.8	23.1	14.7
Emam	38.6	36.2	29.1	23.6	14.9	14.9	13.2	18.3	24.4	32.5	36.8	39.6	39.7	36.6	30.3	24.3	15.9
	Total rainfall) mm(																
	Jul 16	Aug 16	Sep16	Oct 16	Nov16	Dec16	Jan16	Feb16	Mar17	Apr17	May17	Jun17	Jul17	Aug 17	Sep17	Oct 17	Dec17
Dehkhoda	0	0	0	0	21.3	35.4	6.0	24.0	24.5	1.8	0	0	0	0	0	0	19
Emam	0	0	0	0	17.3	16.5	5.2	12.9	15.6	0.8	0	0	0	0	0	0.1	18.7
	Average relative humidity) %(																
	Jul16	Aug16	Sep16	Oct 16	Nov16	Dec16	Jan16	Feb16	Mar17	Apr17	May17	Jun17	Jul17	Aug 17	Sep17	Oct 17	Dec17
Dehkhoda	41.1	42.6	45.1	48.78	56.7	68.6	58.7	53.2	50.5	36.3	28	36.8	41.8	46.8	37.2	53.6	63.9
Emam	30	27	29	44	49	60	54	47	43	30	25.5	33	41	44	35	49	57

استخراج شده از اداره کل هواشناسی استان خوزستان

Extracted from the Meteorological Organization of Khuzestan Province

در نیمه دوم اردیبهشت ۱۳۹۶ و برای اطمینان از هم زیست شدن میکوریزا با ریشه نیشکر، رنگ آمیزی ریشه‌های نیشکر به روش استاندارد Phillips & Hayman (1970) انجام شد و با روش Garcia *et al*. (2012) درصد کلونیزاسیون تعیین شد. به‌منظور اطمینان از هم‌زیست شدن رایزوبیوم با لوبیا

چشم بلبلی و سویا و تعیین اثر تیمارها بر میزان گره زایی و وزن خشک گره‌ها، در هر کرت که عملیات تلقیح انجام شده بود، چهار گلدان که هر یک حاوی ۰/۲۵ متر مکعب خاک از همان کرت آزمایشی و دو بوته گیاه از بقولات (لوبیا چشم بلبلی و یا سویا) بود، در همان کرت قرار داده شد. در مرحله رسیدگی، بوته‌های گلدان به همراه ریشه به‌صورت کامل جدا شدند و پس از شستشوی ریشه‌ها، تعداد و وزن خشک گره‌ها پس از قرار دادن در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت تعیین شد.

عملکرد نهایی و اجزای عملکرد

برای محاسبه عملکرد نیشکر، زمانی‌که درصد خلوص شربت[1] در تیمار شاهد به بالای ۸۹ درصد رسید (از اول آذرماه اندازه‌گیری درصد خلوص انجام می‌شود)، از دو ردیف میانی هر کرت و با در نظر گرفتن دو متر حاشیه از بالا و دو متر از پایین کرت، نیشکر در سطح چهار متر مربع به‌صورت دستی کف بر شد و پس از حذف برگ‌ها و سرنی، ساقه خالی وزن شد و عملکرد نهایی در هکتار محاسبه شد. در مورد لوبیا چشم بلبلی و سویا نیز پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، از دو ردیف میانی و پس از در نظر گرفتن حاشیه‌های هر کرت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در سطح دو متر مربع تعیین شد. برای تعیین اجزای عملکرد لوبیا چشم بلبلی و سویا، ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی در زمان برداشت انتخاب شدند و میانگین تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف و در نهایت وزن هزار دانه محاسبه شد.

نسبت برابری زمین[2] (LER)

نسبت برابری زمین با استفاده از معادله شماره ۱ محاسبه شد (Mazaheri, 1998) .

معادله ۱ $LER = (Y_{ab} / Y_{aa}) + (Y_{ba} / Y_{bb})$

که در آن، Y_{ab} = عملکرد گونه a در کشت مخلوط با گونه b، Y_{aa} = عملکرد گونه a در کشت خالص، Y_{ba} = عملکرد گونه b در کشت مخلوط با گونه a و Y_{bb} = عملکرد گونه b در حالت کشت خالص است.

شاخص برداشت[3]

برای محاسبه شاخص برداشت نیشکر از معادله شماره ۲ (Raman *et al*., 2013) و برای محاسبه شاخص برداشت بقولات از معادله شماره ۳ (Gardner *et al*., 1999) استفاده شد.

معادله ۲

شاخص برداشت نیشکر = ۱۰۰× (کل عملکرد بیولوژیکی/وزن نی قابل آسیاب)

معادله ۳

شاخص برداشت لگوم (درصد) = ۱۰۰ × (عملکرد بیولوژیک / عملکرد اقتصادی)

قبل از تجزیه مرکب، یکنواختی واریانس‌ـ بـ روس آزمون بارتلت انجام گرفت. برای آنالیز صفاتی که تنها در نیشکر اندازه‌گیری شدند، تیمارهای خالص لوبیا چشم بلبلی و خالص سویا لحاظ نشدند. و در واقع تعداد ۱۰ تیمار مورد آنالیز قرار گرفتند (با درجه آزادی نه). در مورد صفات مربوط به بقولات، فقط تیمارهای مختص به لوبیا چشم بلبلی و سویا (شش تیمار با درجه آزادی پنج) جداگانه آنالیز شدند. تجزیه واریانس و مقایسات میانگین با استفاده از نرم افزار M-STAT-C انجام شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

عملکرد نیشکر، لوبیا چشم بلبلی و سویا

تیمارها و محل‌های مختلف تأثیر معنی‌داری روی عملکرد اقتصادی نیشکر و لوبیا چشم بلبلی در سطح احتمال یک درصد داشتند، درحالی‌که عملکرد سویا تحت تأثیر تیمارها و محل‌های مختلف قرار نگرفت (جدول ۳). نتایج این مطالعه نشان دهنده آن است که قارچ مایکوریزا به‌خوبی با ریشه نیشکر و باکتری *رایزوبیوم لگومینوزاروم* به‌خوبی با ریشه لوبیا چشم بلبلی هم‌زیست شدند. این موضوع در مطالعه‌های دیگر نیز گزارش شده است (Christiane & Graham, 2002; Kelly *et al*., 2005; Togay *et al*., 2008; Bhat *et al*., 2010; Qiang-Sheng *et al*., 2010; Barros *et al*.,

[1] . Purity
[2]. Land equivalent ratio
[3]. Harvest index

2016). طبق چندین مرحله مشاهده و بررسی ریشه سویا در این پژوهش، در هیچ‌کدام از محل‌های اجرای پژوهش، روابط هم‌زیستی بین باکتری *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* و سویا وجود نداشت که این موضوع همسو با یافته Ghodrati (2011) در شمال استان خوزستان مبنی بر عدم هم‌زیستی باکتری با ریشه سویا می‌باشد، درصورتی‌که این یافته با مطالعه‌های دیگران (Shrivastava *et al*., 2009; Seyedi & Sharifi, 2014) مطابقت ندارد. همچنین در مطالعه‌ای دیگر در شمال خوزستان گزارش شد که رایزوبیوم با سویا به‌خوبی هم‌زیست می‌شود (Shokohfar *et al*., 2008). با توجه به بالا بودن دما و شوری خاک در جنوب خوزستان، این تفاوت می‌تواند به دلیل اختلاف در ویژگی‌های خاک و یا اقلیم جنوب خوزستان (منطقه مورد مطالعه) با مناطق دیگر باشد. بر اساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان اظهار داشت که باکتری *رایزوبیوم لگومینوزاروم* (برای لوبیا چشم بلبلی) بر خلاف باکتری *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* (برای سویا) با شرایط اهواز سازگاری دارد. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که بیش ترین عملکرد لوبیا چشم بلبلی (۲/۷ تن در هکتار) در تیمارهای تلقیح شده با رایزوبیوم و کم‌ترین عملکرد (۱/۷ تن در هکتار) در تیمار کشت خالص لوبیا چشم بلبلی بود. فارغ از تیمارهای تلقیح یا عدم تلقیح با باکتری، تیمارهای کشت مخلوط (حتی در تیمار عدم تلقیح با باکتری)، علاوه بر این‌که تأثیر منفی بر عملکرد لوبیا چشم بلبلی نداشتند، باعث افزایش عملکرد لوبیا چشم بلبلی نسبت به کشت خالص نیز شدند که این موضوع را می‌توان به قیم بودن نیشکر برای لوبیا چشم بلبلی در برابر دما و بادهای گرم در منطقه مرتبط دانست. این نتیجه همسو با نتایج آزمایش کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی و ذرت می‌باشد (Dahmardeh *et al*., 2010). باکتری‌های رایزوبیوم از طریق سنتز فیتوهورمون‌ها، باعث توسعه سامانه جذب ایندولی توسط سامانه ریشه‌ای گیاه و به‌دنبال آن افزایش جذب عناصر غذایی توسط لوبیا چشم بلبلی می‌شوند و باعث افزایش رشد و نمو بقولات می‌شوند (Antoun & Kloepper, 2004). در مورد عملکرد نیشکر نیز جدول ۵ نشان می‌دهد که بیش ترین عملکرد نیشکر (۱۱۱/۶ تن در هکتار) در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) با لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با *رایزوبیوم لگومینوزاروم* و کم‌ترین عملکرد نیشکر در تیمار کشت خالص نیشکر (۱۰۳/۳ تن در هکتار) به‌دست آمد. این موضوع از تأثیر مثبت هم‌افزایی حضور همزمان میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی در تیمار مربوطه حکایت می‌کند. عملکرد در کشت خالص نیشکر تلقیح شده با قارچ و کشت مخلوط نیشکر با لوبیا بدون تلقیح، تفاوت زیادی با هم نداشتند. به‌نظر می‌رسد که وجود میکوریزا در محیط ریشه نیشکر، تأثیر مثبتی بر رشد نیشکر داشته است و منجر به افزایش عملکرد نیشکر شده است. در پژوهشی که Kelly *et al*. (2005) روی تأثیر قارچ میکوریزا و فسفر بر نیشکر داشتند، تأثیر مثبت میکوریزا را روی عملکرد نیشکر گزارش کردند. تأثیر مثبت میکوریزا روی عملکرد نیشکر می‌تواند به تولید و ترشح ترکیبات تحریک کننده رشد گیاه و یا برخی هورمون‌های تنظیم کننده رشد از جمله سیتوکینین مربوط باشد که توسط قارچ میکوریزا در خاک تولید می‌شود (Mishra, 2010). همچنین با گسترش کلونیزاسیون قارچ و رشد ریسه‌های آن، جذب عناصر و انتقال آن‌ها از خاک به سمت ریشه‌های میزبان (نیشکر) افزایش می‌یابد. در این صورت می توان انتظار افزایش عملکرد در گیاه میزبان را نیز داشت (Hause *et al*., 2007).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت بقولات، نیشکر و گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی و نسبت برابری زمین (LER)، تحت تأثیر محل‌ها و تیمارهای گوناگون.

Table 3. Combined variance analysis of the effects of locations and different treatments onyield, yield components and harvest index of legumes, sugarcane and nitrogen stabilization nodes in bean root sand LER.

		Mean Squares (MS)															
Sources of variations	DF	Cowpea seed yield	Soybean seed yield	Number of pods in cowpea	Number of pods in soybean	Weight of 1000-grain of cowpea	Weight of 1000-grain of soybean	Length of pod of cowpea	Length of pod of soybean	Number of seeds per cowpea pod	Number of seeds per soybean pod	Number of nodules in cowpea root	Dry weight of nodules in cowpea root	Harvest index of cowpea	Harvest index of soybean	Yield of sugarcane	Harvest index of sugarcane
Location	1	1.729**	0.011^{ns}	2914.08*	1.021^{ns}	50.021**	892.69**	9.90**	0.083^{ns}	19.13^{ns}	0.001^{ns}	643338.52**	18.007**	36.42^{ns}	8.628**	2233.441**	317.127*
Replication (Location)	6	0.09	0.002	308.361	45.965	140.299	25.688	0.134	1.748	4.275	0.043	11610.16	0.246	11.204	0.002	5.454	10.158
Treatment	5	2.114**	0.008^{ns}	3174.05**	7.371*	851.388**	25.57^{ns}	9.34**	0.171*	3.885^{ns}	0.02^{ns}	1726992.188**	21.4**	0.579^{ns}	0.006^{ns}	83.881**	40.484**
Treatment × Location	5	0.014^{ns}	0.001^{ns}	50.583^{ns}	4.071^{ns}	42.821^{ns}	1.238^{ns}	0.187^{ns}	0.159^{ns}	5.521^{ns}	0.019^{ns}	50508.121**	0.533*	4.34**	0.001^{ns}	2.643**	2.069**
Error	30	0.012	0.004	57.728	2.865	40.982	16.038	0.336	0.072	3.873	0.026	2077.343	0.162	0.9	0.004	0.374	0.442
CV (%)	-	10.96	9.65	5.38	4.89	3.84	2.53	5.09	5.11	11.77	6.21	5.24	3.77	9.47	7.33	14.57	10.73

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

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

نتایج یک مطالعه دو ساله در مورد کشت مخلوط گندم، نخود، لوبیا و سیب زمینی با نیشکر در پاکستان نشان داد که عملکرد نیشکر در سامانه کشت مخلوط، بیش‌تر از تک کشتی بود و در هر دو سال مطالعه، سود خالص در سامانه مخلوط بیش‌تر از سامانه تک کشتی نیشکر شده بود (Abdul *et al*., 2014). افزایش عملکرد نیشکر در تیمارهای کشت مخلوط با لوبیا، به‌دلیل تثبیت زیستی نیتروژن در خاک توسط لوبیا چشم بلبلی و در اختیار قرار گرفتن نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه نیشکر می‌باشد. این موضوع در جدول ۱ نیز قابل مشاهد است. با توجه به جدول ۶، عملکرد نیشکر و لوبیا چشم بلبلی در محل اول، بهتر از محل دوم بود که این موضوع با توجه به جدول ۱، به ویژگی‌های بهتر خاک در محل اول مربوط می‌شود. برهم‌کنش محل در تیمار در سطح یک درصد، تأثیر معنی‌داری روی عملکرد نیشکر داشت. در جدول ۷ مشاهده می‌شود که بالاترین عملکرد نیشکر در تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با *رایزوبیوم لگومینوزاروم* در محل اول و کم‌ترین میزان عملکرد نیشکر در کشت خالص نیشکر در محل دوم به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کشت مخلوط نیشکر و سویا (تلقیح و بدون تلقیح با رایزوبیوم) در همان محل دوم نداشت.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد بقولات، تحت تأثیر تیمارهای گوناگون.

Table 4. Mean comparison of legumes yield and yield components affected by different treatments.

Treatment	seed yield of cowpea (t/ha)	Number of pods in cowpea (per m^2)	Length of pod of cowpea (cm)	Weight of 1000- grain of cowpea (g)	Treatment	Number of pod in soybean	Length of pod of soybean (cm)
Pure Cowpea	1.739^{c*}	586.4^{c}	17.54^{b}	218.4^{b}	Pure soybean	57.25^{c}	5.1^{b}
Pure cowpea + *Rhizobium*	2.713^{a}	627.1^{a}	19.56^{a}	232.4^{a}	pure soybean + *Rhizobium*	57.21^{c}	5.17^{b}
Intercropping sugarcane with cowpea	1.761^{bc}	575.8^{d}	17.88^{b}	212.6^{b}	Intercropping sugarcane and soybean	58.5^{abc}	5.26^{ab}
Intercropping sugarcane with cowpea + *Rhizobium*	2.716^{a}	604.6^{b}	19.7^{a}	235.6^{a}	Intercropping sugarcane and soybean + *Rhizobium*	59.13^{ab}	5.27^{ab}
Intercropping sugarcane+ Mycorrhizal with cowpea	1.847^{b}	576.9^{d}	17.89^{b}	217.4^{b}	Intercropping sugarcane+ Mycorrhizal and soybean	59.63^{a}	5.31^{ab}
Intercropping sugarcane+ Mycorrhizal with cowpea + *Rhizobium*	2.727^{a}	604.5^{b}	19.89^{a}	235.5^{a}	Intercropping sugarcane+ Mycorrhizal and soybean+ *Rhizobium*	59.13^{ab}	5.52^{a}

* : میانگین‌هایی که در هر ستون در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری ندارند (دانکن ۵%).

*: Means with the same letters in same column are not significantly different (Duncan 5%).

وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا

تیمارهای گوناگون، تأثیر معنی‌داری روی وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۳)، درحالی‌که این تیمارها، تفاوت معنی‌داری در وزن هزار دانه سویا ایجاد نکردند. این موضوع نشان دهنده همزیست نشدن باکتری رایزوبیوم با سویا می‌باشد این نتیجه همسو با نتیجه ارائه شده توسط Ghodrati (2011) و برخلاف نتایج مطالعات دیگر محققین (Seyedi & Sharifi, 2014: Shrivastava *et al.*, 2009) می‌باشد. شاید دلیل عدم همزیستی رایزوبیوم با سویا در مطالعه حاضر، دمای بالا و کمبود شدید سویه بومی *برادی رایزوبیوم ژاپونیکوم* در خاک مناطق مورد مطالعه در اهواز باشد. محل‌های گوناگون، تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد روی وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا داشتند. باکتری‌های رایزوبیومی، افزون بر نقش بسیار با اهمیت خود در موازنه نیتروژن بیوسفر می‌توانند با استفاده از ساز و کارهای دیگر، باعث افزایش اجزای عملکرد و عملکرد نهایی گیاهان شوند که از جمله آن می‌توان به توانایی تبدیل فسفات معدنی به آلی، ساخت سیدروفور و کاهش ساخت اتیلن در گیاه اشاره کرد (Ramezanian, 2008). بیش ترین وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی، به تیمارهای تلقیح با باکتری و کم‌ترین مقدار آن به تیمار بدون تلقیح تعلق داشت (جدول ۴). در بین تیمارهای تلقیح شده با باکتری نیز وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای کشت مخلوط با نیشکر، بیش‌تر از تیمار

کشت خالص لوبیا چشم بلبلی بود. این موضوع را می‌توان به نقش مثبت گیاه نیشکر در کاهش تنش‌های محیطی برای لوبیا چشم بلبلی نسبت داد. نتایج مطالعه‌ای نشان می‌دهد که تنش‌های خاکی و یا محیطی، موجب کاهش اجزای عملکرد (وزن هزار دانه) در بقولات می‌شوند (Gamini *et al*., 2009). وزن هزار دانه لوبیا چشم بلبلی و سویا در محل اول بهتر از محل دوم بود (جدول ۵)؛ این موضوع ممکن است مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بهتر خاک در محل اول نسبت به محل دوم باشد (جدول ۱).

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد و شاخص برداشت نیشکر و تعداد و وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی چشم بلبلی تحت تأثیر تیمارهای گوناگون.

Table 5. Mean comparison of yield and harvest index of sugarcane and number and dry weight of nodules in the bean roots affected by different treatments.

Treatment	Yield of sugarcane (t/ha)	Harvest index of sugarcane (%)	Treatment	Number of nodules in cowpea root (per m^2)	Dry weight of nodules in cowpea root (g/m^2)
Pure sugarcane	103.3[d*]	88.60[c]	Pure cowpea	423.4[c]	6.9[c]
Pure sugarcane + Mycorrhizal	109.23[bc]	88.99[bc]	Pure cowpea + *Rhizobium*	1288.0[ab]	9.78[b]
Intercropping sugarcane with cowpea	107.6[c]	89.91[b]	Intercropping sugarcane with cowpea	458.9[c]	6.96[c]
Intercropping sugarcane with soybean	104.3[d]	88.76[c]	Intercropping sugarcane with cowpea + *Rhizobium*	1268.0[b]	9.76[b]
Intercropping sugarcane with bean+ *Rhizobium*	107.5[c]	90.33[b]	Intercropping sugarcane+ Mycorrhizal with cowpea	457.4[c]	7.05[c]
Intercropping sugarcane with soybean + *Rhizobium*	104.37[d]	88.88[c]	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with cowpea + *Rhizobium*	1326.0[a]	10.26[a]
Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with cowpea	111.0[a]	93.75[a]	……..	……..	……..
Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with soybean	109.39[b]	90.4[b]	……..	……..	……..
Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with soybean+ *Rhizobium*	109.57[b]	90.53[b]	……..	……..	……..
Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with cowpea + *Rhizobium*	111.6[a]	93.8[a]	……..	……..	……..

* : میانگین‌هایی که در هر ستون در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری ندارند (دانکن ۵٪).

*: Means with the same letters in same column are not significantly different (Duncan 5%).

طول و تعداد غلاف در بوته‌های لوبیا چشم بلبلی و سویا

اثر تیمارهای گوناگون روی طول و تعداد غلاف لوبیا چشم بلبلی در سطح احتمال یک درصد و روی طول و تعداد غلاف سویا در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار بود. محل‌های گوناگون روی طول غلاف لوبیا چشم بلبلی در سطح احتمال یک درصد و روی تعداد غلاف در بوته لوبیا چشم بلبلی در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری داشتند، درحالی‌که روی طول و تعداد غلاف سویا اثر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد طول و تعداد غلاف در بوته سویا در تیمارهای تلقیح و عدم تلقیح با باکتری یکسان بود و تفاوت بین آن‌ها به تیمار کشت مخلوط و کشت خالص مربوط می‌شد (جدول ۴). احتمالاً وجود نیشکر در تیمارهای کشت مخلوط، شرایط محیطی را برای سویا قدری بهتر کرده است و از طریق کاهش تنش‌های احتمالی محیط، باعث بهبود صفات گفته شده شده است. بیش ترین تعداد و طول غلاف لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای تلقیح شده با باکتری و کم‌ترین آن‌ها در تیمارهای عدم تلقیح به‌دست آمد (جدول ۴) که این موضوع تأکیدی بر هم‌زیست شدن رایزوبیوم با ریشه لوبیا چشم بلبلی می‌باشد. نتایج این مطالعه همسو با یافته‌های دیگر پژوهشگران (Bhat *et al*., 2010; Dahmardeh *et al*., 2010) می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که باکتری مزوریزوبیوم، باعث

افزایش ساخت فیتوهورمون‌ها به ویژه اکسین در پیرامون ریشه می‌شوند که این هورمون در توسعه سامانه ریشه و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه میزبان مؤثر است (Paul, 2007). بهتر بودن شرایط محل اول نسبت به محل دوم، سبب بهبود صفات شد (جدول‌های ۱ و ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین عملکرد و برخی اجزای عملکرد نیشکر، سویا و لوبیا چشم بلبلی و گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی تحت تأثیر محل‌های گوناگون.

Table 6. Mean comparison of yield and yield components of sugarcane, soybean and cowpea, and nodules number in cowpea root affected by different locations.

Characteristics	First location	Second location
Yield of sugarcane (t/ha)	113.14[a]	92.51[b]
Seed yield of cowpea (t/ha)	2.44[a]	2.00[b]
Harvest index of sugarcane (%)	92.51[a]	88.52[b]
Harvest index of soybean (%)	49.6[a]	48.7[b]
Weight of 1000- grain of cowpea (g)	226.53[a]	223.22[b]
Number of pod in cowpea (per m^2)	603.66[a]	588.08[b]
Length of pod of cowpea (cm)	19.21[a]	18.1[b]
Weight of 1000 grain of soybean (g)	162.83[a]	154.2[b]
Number of nodules in the cowpea root (per m^2)	985.95[a]	754.41[b]
Dry weight of nodules in the cowpea root (g/m^2)	9.1[a]	7.84[b]

تعداد و وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی

تأثیر محل‌ها و تیمارهای گوناگون از نظر تعداد و وزن خشک گره‌های ریشه لوبیا چشم بلبلی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بهترین مقادیر این صفات در تیمارهای تلقیح با باکتری رایزوبیوم که دارای بیش ترین تعداد گره (۱۳۲۶ عدد در متر مربع) و بیش ترین وزن خشک گره (۱۰/۲۶ گرم در متر مربع) بودند، در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با رایزوبیوم) به‌دست آمد (جدول ۵). نتایج مطالعه کنونی همسو با یافته‌های پژوهشگران دیگر می‌باشد. مایه کوبی بذرهای لوبیا چشم بلبلی با باکتری رایزوبیوم، بیش ترین تعداد و وزن گره ریشه را به دنبال داشت (Franzini *et al*., 2009). در آزمایشی دیگر، باکتری‌ها از طریق تولید اکسین و سیتوکنین، باعث افزایش و رشد گره ریشه در لوبیا چشم بلبلی شدند (Sturz & Christie, 2006). در پژوهشی گزارش شده است که مایه زنی نخود با رایزوبیوم، در تشکیل گره بر روی ریشه گیاه مؤثر می‌باشد (Alimadadi *et al*., 2011). برهم‌کنش محل در تیمار، تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی تعداد گره‌ها در ریشه و روی وزن خشک گره‌های ریشه لوبیا چشم بلبلی در سطح احتمال پنج درصد داشت. بیش ترین وزن خشک و تعداد گره‌ها در ریشه لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای تلقیح شده با باکتری *رایزوبیوم لگومینوزاروم* و محل اول و کم‌ترین مقدار این صفت‌ها در تیمارهای عدم تلقیح با باکتری و در محل دوم به‌دست آمد (جدول ۷).

شاخص برداشت نیشکر، لوبیا چشم بلبلی و سویا

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که محل‌ها و تیمارهای گوناگون و برهم‌کنش آن‌ها، تأثیر معنی‌داری روی شاخص برداشت نیشکر در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۳). بیش ترین شاخص برداشت نیشکر (۹۳/۸۱ درصد) در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح با قارچ) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح با باکتری) و کم‌ترین مقدار آن (۸۸/۶۰ درصد) در کشت خالص نیشکر بدون تلقیح به‌دست آمد (جدول ۵). نتایج پژوهش حاضر نیز تأثیر مثبت هم افزایی حضور همزمان میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی روی افزایش شاخص برداشت نیشکر را تأیید می‌کند. قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا، نقش مهمی در بهبود تغذیه و رشد گیاهان دارند، به‌طوری‌که قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا با داشتن شبکه ریسه‌ای گسترده و افزایش سطح، سرعت جذب و نیز سنتز آنزیم فسفاتاز، کارایی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر، ازت، پتاسیم، روی، مس، گوگرد، کلسیم و آهن افزایش می‌دهند و

موجب بهبود رشد و عملکرد آن‌ها می‌شوند. همچنین مایکوریزا باعث بهبود جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، مس و روی در خاک های فقیر می‌شود (Brito *et al.*, 2008). با در نظر گرفتن معادله ۲ و نقش مثبت قارچ مایکوریزا در افزایش عملکرد نی، درمی‌یابیم که افزایش عملکرد اقتصادی نیشکر، تحت تأثیر قارچ و نیز تأثیر باکتری تثبیت کننده نیتروژن (در فراهم کردن نیتروژن بیش‌تر در محیط ریشه)، بیش‌تر از افزایش عملکرد بیولوژیک آن بود. تیمارهای گوناگون، روی شاخص برداشت لوبیا چشم بلبلی و سویا تأثیر معنی‌داری نداشتند و محل‌های گوناگون نیز فقط روی شاخص برداشت سویا در سطح یک درصد مؤثر بودند و روی شاخص برداشت لوبیا چشم بلبلی تأثیر معنی‌دار نداشتند (جدول ۳). این موضوع احتمالاً به این دلیل است که تیمارهای گوناگون روی عملکرد بیولوژیک بقولات تأثیر معنی‌داری نداشتند. با توجه به جدول ۶، بیش ترین شاخص برداشت نیشکر و سویا در محل اول به‌دست آمد، زیرا که بیش ترین عملکرد اقتصادی نیز به دلیل ویژگی‌های بهتر خاک (جدول ۱)، در این محل حاصل شد. برهم کنش محل در تیمار در سطح احتمال یک درصد، تأثیر معنی‌داری روی شاخص برداشت نیشکر و لوبیا چشم بلبلی داشت. بیش ترین درصد شاخص برداشت، به تیمار کشت نیشکر تلقیح شده با قارچ و لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با باکتری در محل اول و کم‌ترین درصد شاخص برداشت در محل دوم و در کشت خالص به‌دست آمد (جدول ۷).

نسبت برابری زمین (LER)

تأثیر تیمارهای گوناگون از نظر نسبت برابری زمین در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در زراعت مخلوط، اگر نسبت برابری زمین بیش‌تر از یک باشد، یا به عبارتی اگر LER =1+x باشد، به این مفهوم است که مقدار X (در واحد سطح)، زمین اضافه در تک کشتی مورد نیاز است تا بتوان همان مقدار محصولی که در واحد سطح از کشت مخلوط به‌دست آمده است را برداشت کرد. به‌طور مثال، نسبت برابری ۲/۰۶۸ در تیمار مخلوط نیشکر و لوبیا چشم بلبلی نشان دهنده این است که برای تولید مقدار محصول نیشکر و لوبیا چشم بلبلی در این تیمار مخلوط در یک هکتار، نیاز به ۲/۰۶۸ هکتار زمین در حالت کشت خالص این دو گیاه می‌باشد که بیانگر کاهش زمین مورد نیاز از ۲/۰۶۸ هکتار در سیستم تک کشتی این دو محصول به یک هکتار در کشت مخلوط آن‌ها می‌باشد و نشان‌دهنده افزایش راندمان بهره‌وری از زمین و بقیه نهاده‌های کشاورزی در کشت مخلوط نیشکر با لوبیا چشم بلبلی و نیشکر با سویا است. نتایج مطالعه‌ای دو ساله در مورد کشت مخلوط گندم، نخود، سویا و سیب زمینی (*Solanum tuberosum L.*) با نیشکر در پاکستان نشان داد که در هر دو سال مطالعه، نسبت برابری زمین در سامانه مخلوط، بالاتر از سامانه تک کشتی نیشکر بود (Abdul *et al*., 2014). در این مطالعه، نسبت برابری زمین در تمام تیمارهای مخلوط، بیش‌تر از یک بود (جدول ۸). دلیل آن می‌تواند وجود تفاوت‌های مرفولوژیک دو گونه و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های گوناگون و بهره‌برداری بهینه از منابع باشد. نقش تفاوت‌های مرفولوژیک در دستیابی به LER بالاتر، توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است. به‌عنوان مثال، نتایج یک پژوهش دو ساله در مصر که در مورد کشت مخلوط نیشکر با سویا با نسبت‌های ۱۰۰ درصد نیشکر به‌همراه ۳۰ و ۴۰ درصد سویا انجام شد نشان داد که بیش ترین میزان LER (۱/۵۶) در مخلوط ۱۰۰ درصد نیشکر به‌همراه ۴۰ درصد سویا در کشت یک ردیفه به‌دست آمد (Morsy *et al*., 2017). در تحقیق دیگری نیز گزارش شد که نسبت برابری زمین در کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی چشم بلبلی- آفتابگردان، ۱/۱۵ بود که نشان دهنده سودمندی ۱۵ درصدی این نسبت در مقایسه با کشت خالص بود (Gholipour & Sharifi, 2018). در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد که با کشت مخلوط آفتابگردان و سویا، مقدار LER به ۱/۳۷ رسید (Saudy & Elmetwally, 2009). مقدار LER به‌دست آمده در مطالعه حاضر در مقایسه با بسیاری از پژوهش‌های دیگر، بیشتر نیز می‌باشد که این موضوع، حاکی از مثبت بودن کشت مخلوط نیشکر با بقولات است.

جدول ۷- مقایسه میانگین عملکرد و شاخص برداشت نیشکر، شاخص برداشت لوبیا چشم بلبلی و تعداد و وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه لوبیا چشم بلبلی، تحت تاثیر برهمکنش تیمارها و محل‌های گوناگون.

Table 7. Mean comparison of yield and harvest index of sugarcane, harvest index of cowpea and number and dry weight of nodules in the bean roots affected by interaction of treatments and locations.

Locations	Treatments	Yield of sugarcane (t/ha)	Harvest index of sugarcane	Locations	Treatments	Harvest index of cowpea (%)	Number of nodules in cowpea root (ner m^2)	Dry weight of nodules in cowpea
First	Pure sugarcane	104.5 d*	89.14 e	First	Pure cowpea	41.22 d	471.5 b	6.2 b
First	Pure sugarcane + Mycorrhizal	109.88 b	94.58 ab	First	Pure cowpea + *Rhizobium*	44.81 a	1507.5 a	11.51 a
First	Intercropping sugarcane with cowpea	108.7 c	91.61 c	First	Intercropping sugarcane with cowpea	44.18 b	469.3 b	6.11 b
First	Intercropping sugarcane with soybean	106.1 cd	88.90 e	First	Intercropping sugarcane with cowpea + *Rhizobium*	44.72 a	1483.5 a	11.23 a
First	Intercropping sugarcane with cowpea + *Rhizobium*	108.91 c	91.25 c	First	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with cowpea	44.35 ab	458.5 b	6.31 b
First	Intercropping sugarcane with soybean + *Rhizobium*	106.52 cd	88.86 e	First	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with cowpea + *Rhizobium*	44.79 a	1500.0 a	11.31 a
First	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with cowpea	111.1 a	95.01 a	.....	.....	.....	.....	.....
First	Intercropping sugarcane+ Mycorrhizal with soybean	110.1 b	93.68 b	.....	.....	.....	.....	.....
First	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with soybean+ *Rhizobium*	110.33 b	94.10 b	.....	.....	.....	.....	.....
First	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with cowpea + *Rhizobium*	112.8 a	95.09 a	.....	.....	.....	.....	.....
Second	Pure sugarcane	102.10 e	86.28 f	Second	Pure cowpea	41.17 d	377.3 c	5.2 c
Second	Pure sugarcane + Mycorrhizal	108.57 c	92.10 bc	Second	Pure cowpea + *Rhizobium*	44.69 a	1483.0 a	10.0 b
Second	Intercropping sugarcane with cowpea	106.51 cd	90.92 d	Second	Intercropping sugarcane with cowpea	43.58 c	373.5 c	5.11 c
Second	Intercropping sugarcane with soybean	102.5 e	86.38 f	Second	Intercropping sugarcane with bean+ *Rhizobium*	44.67 a	1481.5 a	9.85 b
Second	Intercropping sugarcane with cowpea + *Rhizobium*	106.10 cd	90.98 d	Second	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with cowpea	43.48 c	375.0 c	4.89 c
Second	Intercropping sugarcane with soybean + *Rhizobium*	102.22 e	86.45 f	Second	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with cowpea + *Rhizobium*	44.7 a	1492.5 a	9.71 b
Second	Intercropping sugarcane+ Mycorrhizal with cowpea	109.9 b	93.25 b	.....	.....	.....	.....	.....
Second	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with soybean	108.69 c	92.5 bc	.....	.....	.....	.....	.....
Second	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with soybean+ *Rhizobium*	108.81 c	92.61 bc	.....	.....	.....	.....	.....
Second	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with cowpea + *Rhizobium*	110.4 b	94.81 a	.....	.....	.....	.....	.....

* : میانگین‌هایی که در هر ستون در یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری ندارند (دانکن ۵٪).

*: Means with the same letters in same column are not significantly different (Duncan 5%).

جدول ۸- نسبت برابری زمین در تیمارهای مختلف.

Table 8. LER in different treatments.

Treatment	Yield of sugarcane (t/ha)	seed yield of cowpea (t/ha)	LER	Treatment	Yield of sugarcane (t/ha)	seed yield of soybean (t/ha)	LER
Pure sugarcane	102.8	.....	.....	Pure sugarcane	102.8	.....	.....
Pure cowpea	.....	1.739	.....	Pure soybean	.....	0.96	.....
Pure cowpea + *Rhizobium*	.....	2.713	.....	pure soybean + *Rhizobium*	.....	1.02	.....
Pure sugarcane+ Mycorrhizal	108.8	.....	.....	Pure sugarcane + Mycorrhizal	108.8	.....	.....
Intercropping sugarcane with cowpea	108.3	1.761	2.068	Intercropping sugarcane with soybean	103.8	0.95	1.991
Intercropping sugarcane with cowpea + *Rhizobium*	109.2	2.716	2.056	Intercropping sugarcane with soybean + *Rhizobium*	104.1	0.97	1.949
Intercropping sugarcane+ Mycorrhizal with cowpea	110.7	1.847	2.066	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with soybean	109.0	0.99	2.019
Intercropping sugarcane+ Mycorrhizal with cowpea + *Rhizobium*	112.8	2.727	2.037	Intercropping sugarcane + Mycorrhizal with soybean + *Rhizobium*	109.1	0.93	1.903

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر و در تمام تیمارهای کشت مخلوط و در دو محل، مقدار LER که یکی از مهم‌ترین فاکتورهای ارزیابی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است، ، بیش‌تر از یک شد که این موضوع، نشان دهنده مفید بودن کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. بیش ترین عملکرد، شاخص برداشت نیشکر و LER در تیمار کشت مخلوط نیشکر تلقیح شده با قارچ میکوریزا + لوبیا چشم بلبلی تلقیح شده با باکتری رایزوبیوم به‌دست آمد که می‌تواند نشان دهنده هم‌زیستی خوب ریشه نیشکر با میکوریزا و ریشه لوبیا چشم بلبلی با رایزوبیوم باشد. بیش ترین عملکرد لوبیا چشم بلبلی در تیمارهای تلقیح شده با باکتری حاصل شد که این موضوع نشان دهنده هم‌زیستی خوب رایزوبیوم لگومینوزاروم با ریشه لوبیا چشم بلبلی است. باکتری رایزوبیوم از طریق هم‌زیست شدن با ریشه لوبیا چشم بلبلی، باعث افزایش تثبیت زیستی نیتروژن و طولانی شدن دوره رشد و در نتیجه افزایش صفات مرتبط با عملکرد در لوبیا چشم بلبلی شد. در کل، بهترین نتایج در خصوص صفات مورد ارزیابی، در تیمار کشت مخلوط نیشکر (تلقیح شده با میکوریزا) و لوبیا چشم بلبلی (تلقیح شده با رایزوبیوم) به‌دست آمد. این موضوع حاکی از هم‌زیستی قارچ میکوریزا با ریشه نیشکر و باکتری رایزوبیوم با ریشه لوبیا چشم بلبلی است. بنابراین می‌توان گفت که اثرات مثبت هم‌افزایی حضور هم‌زمان قارچ میکوریزا و لوبیا چشم بلبلی، باعث بهبود صفت‌های ارزیابی شده در این پژوهش شد. در نتیجه بهره‌گیری از قارچ میکوریزا و باکتری رایزوبیوم و استفاده از مخلوط گیاهان برای بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، از مهم‌ترین شیوه‌های علمی برای کمک به پایداری تعادل سیستم زنده خاک و جلوگیری از خطر تراکم آلاینده‌های شیمیایی در محیط زیست محسوب می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا انجام شد که بدینوسیله از این حوزه تشکر می‌شود.

REFERENCES

1. Abdul, R., Qamar, R. & Qamar, J. (2014). Economic assessment of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) through intercropping. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 3, 24-28.

2. Alimadadi, A., Jahansouz, M. R., Besharaty, H. & Tavakkol-Afshari, R. (2011). Evaluating the effects of biofertilizers and seed priming on chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed quality. *Journal of Soil Research*, 24, 156-167. (In Persian).
3. Aliyari, H., Shekari, F. & Shekari, F. (2000). *Oily seeds "Agronomy and physiology"*. Publications of Abdi Tabriz. Tabriz, Iran. 182 pp. (In Persian).
4. Ambrosano, E. J., Azcon, R., Cantarella, H., Ambrosano, G. M. B., Schammass, E. A., Muraoka, T., Trivelin, P. C., Rossi, F., Guirado, N. & Teramoto, J. R. S. (2010). Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. *Science Agriculture*, (*Piracicaba, Brazil*), 67 (6), 692-701.
5. Antoun, H. & Kloepper, J. W. (2004). *Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)*. Academic Press, London, 1477 pp.
6. Asadi Rahmani, H. & Saleh-Rastin, N. (2000). Prediction the necessity of Soybean inoculation based on the numbers of *Bradyrhizobium japonicum* and evaluation of N-availability indices. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences (Special Issue, soil Biology)*. 12(7), 21-32. (In Persian).
7. Asadi Rahmani, H. (2010). Guidelines for the use of biological practices. Ministry of Agricultural Jihad, Agricultural Research and Education Organization. *Registration number* 1736, 1-12.
8. Ayanaba, A. & Bromfield, E. S. P. (2003). The efficacy of soybean inoculation on acid soil in tropical Africa. *Plant and Soil*, 54, 95–106.
9. Barros, R. L. N., De Olivera, L. B., De Magalhaes, W. B. & Pimentel, C. (2016). Growth and yield of common bean affected by seed inoculatin whit rhizobium and nitrogen fertilization. *Experimental Agriculture*, 15, 1-15.
10. Bhat, M. I., Rashid, A., Faisul-ur-Rasool, S. S., Mahdi, S. A. & Raies, A. (2010). Effect of rhizobium and vesicular arbuscular mycorrhizae fungi on green gram (*Vigna radiata Wilczek* L.) under temperate conditions. *Research Journal of Agriculture Science*, 1 (2), 113-118.
11. Brito, I., Michael, J., Goss, M. & Carvalho, D. E. (2008). *Agronomic Management of Indigenous Mycorrhizas*. Universidade de Evora, ICAM, Apartado. 94, 547-554.
12. Cassman, K. G., Whitney, A. S. & Fox, R. L. (1999). Phosphorus requirements of soybean and cowpea as affected by mode of N nutrition. *Agronomy Journal*, 73 (1), 17-22.
13. Christiane, I. & Graham, P. H. (2002). Variation in di-nitrogen fixation among Andean bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes grown at low and high levels of phosphorus supply. *Field Crops Research*, 73, 133-143.
14. Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syahsar, B. A. & Ramrodi, M. (2010). The role of intercropping maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on yield and soil chemical properties. *Journal Agriculture Research*, 5 (8), 631-639.
15. Demir, S. (2004). Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameter of pepper. *Journal of Biology*, 28, 85-90.
16. Franzini, I., Rosario Azco, N., Fernanda Latanze, M. & Ricardo, A. (2009). Interactions between glomus species and rhizobium strains affectthe nutritional physiologyofdrought-stressedlegumehosts vinicius. *Journal Plant Physiology*, 167,614-620.
17. Gamini, S., Van Holm, L. H. J. & Ekanayake, E. M. H. (2009). Agronomic benefits of rhizobial inoculant use over nitrogen fertilizer application in tropical soybean. *Field Crops Research*, 68, 199-203.
18. Gardner, F. P., Pearce, R. B. & Mitchell, R. (1999). *Physiology of Crop Plant*. Translated by, Koocheki, A. & Sarmadnia, G. Jahad-e-Daneshgahi Press of Mashhad University Publications. Mashhad, Iran. 400 pp. (In Persian).
19. Garcia, L., Mendoza, R. & Pomar, M. C. (2012). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and dark septateendophtes under contrasting grazing modes in the Magellanic steppe of Tierra Del Fugeo. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 155, 1-8.
20. Ghodrati, G. R. (2011). Evaluation of yield and qualitative and quantitative characteristics of new soybean lines in north region of Khozestan. *Crop Physiology Journal*, 3 (11), 103-117. (In Persian).
21. Gholipour, M. & Sharifi, P. (2018). Yield and productivity indices of common bean and sunflower intercropping in different planting ratios. *Journal of Plant Ecophysiology*, 10(33), 127-137.
22. Hause, B., Mrosk, C., Isayenkov, S. & Strack, D. (2007). Jasmonates in arbuscularmycorrhizal interactions. *Journal of Phytochemistry*, 68, 101–110.
23. Kelly, R. M., Edwards, D. G., Thompson, J. P. & Magarey, R. C. (2005). Growth responses of sugarcane to mycorrhiza spore density and phosphores rate. *Australian Journal of Agriculthral Research*, 56, 1405-1413.

24. Khajehpour, M. R. (2005). *Industrial Plants*. Jahad-e-Daneshgahi Press of Isfahan University of Technology Publications. Isfahan, Iran. 580 pp. (In Persian).
25. Khalaj, M. A., Moshiri, F. & Asadi Rahmani, H. (2013). Evaluation of the N_2-fixing ability of *Rhizobia* strains in common bean cultivated region of Qazvin. *Journal of Water and Soil*, 27 (1), 54-60. (In Persian).
26. Koochecki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S. & Azimi, R. (2013). The effect of irrigation intervals and intecropped marjoram (*Origanum vulgare*) with saffron (*Crocus sativus*) on possible cooling effect of corms for climate change adaptation. *Journal of Iran Field Crops Research*, 11(3), 390-400. (In Persian).
27. Mazaheri, D. & Peyghambari, A. (2002). Study of analyzes in single-farm cultivation and intercropping soybean cultivars. *Journal of Pajouhesh & Sazandegi*, 54, 37-54. (In Persian).
28. Morsy, A. S. M., Elwan, A. M. & Eissa, N. M. A. (2017). Studies on intercropping soybean with sugar cane under different nitrogen levels. *Egyptian Journal of Agronomy*. 39 (2), 221-237.
29. Mishra, R. H. (2010). *Soil Microbiology*. Cbs Publishers & Distributors. 187 pp.
30. Phillips, J. M. & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158-161.
31. Paul, E. (2006). *Soil Microbiology*, *Ecology and Biochemistry*. Academic Press, 552 pp.
32. Qiang-Sheng, W., Ying-Ning, Z. & Xin-Hua, H. (2010). Contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to growth, photosynthesis, root morphology and ionic balance of citrus seedlings under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32, 297–304.
33. Rasool, A. M., Farooq, A., Zubair, M., Jamil, M., Ahmad, S. & Afghan, S. (2011). Prospects of intercropping rabi crops in autumn planted sugarcane. *Pakistan Sugar Journal*, 26 (2), 2-5.
34. Raman, K., Duttamajumder, S. K., Srivastava, B. L., Madhok, H. L. & Ram, K. (2013). Harvest index and the components of biological yield in sugarcane. *Indian Journal Genet*, 73(4), 386-391.
35. Ramezanian, A. (2008). Introduction of Rhizobia as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). In: Proceedings of *First National Conference* on Pulses, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, 407-408.
36. Sanjay, B. P. & Sujit, S. P. (2014). Measurement of sugarcane leaf chlorophyll. *International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management*, 3 (2), 97-102.
37. Saudy, H. S. & Elmetwally, I. M. (2009). Weed management under different patterns of sunflower–soybean intercropping. *Journal of Central European Agriculture*, 10, 41-52 .
38. Seyedi, M. N. & Sed Sharifi, R. (2014). Effect of seed insemination with rhizobium and nitrogen fertilizer utilization on Soybean yield and characteristics in Ardabil conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(4), 618-628. (In Persian).
39. Shokohfar, A. R., Shoholi, R. & Ghodrati, G. R. (2008). Evaluation of soybean to quantity and different species of *Bradyrhizobium japonicum* in north region of Khozestan. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 4(2), 81- 92. (In Persian).
40. Shrivastava, U. K., Rajput, R. L. & Dwivedi, M. L. (2009). Response of soybean-mustard cropping system to sulfur and bio-fertilizers on farmer's field. *Legume Research*, 23, 277-278.
41. Shilpa, V. C., Chandranath, H. T. & Khandagave, R. B. (2018). Economics and intercropping indices of sugarcane based intercropping system in plant cane. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(8), 101-108.
42. Shilpa, V. C., Deepa, G. S. & Chandranath, H. T. (2017). Intercropping in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *International Journal of Pure and Applied Bioscience*. 5(2), 319-323.
43. Sturz, A.V. & Christie, B. R. (2006). Beneficial microbial alleloplathies in the root zone: The management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil and Tillage Research*, 72, 107-123.
44. Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K. M. & Turan, M. (2008). Effect of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus application on yield, yield components and nutrient uptake in chick pea (*Cicer aretinum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 7 (6), 776-782.