Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 51, No 4, Winter 2021 (133-145)
DOI: 10.22059/ijfcs.2020.286433.654634

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹ (ص۱۴۵-۱۳۳)

اثر کودهای زیستی و آلی و نظام‌های کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی بر عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)

رضا فاطمی دوین[۱]، سید محمد باقر حسینی [۲*]، حسین مقدم[۳]، بابک متشرع زاده[٤]

۱و۲و۳- به‌ترتیب دانشجو دکتری، دانشیار و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ٤- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۱۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۱۹)

چکیده

کشت مخلوط، یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های تولید پایدار محصولات کشاورزی است. به‌منظور بررسی تأثیر کشت مخلوط و کودهای زیستی و آلی بر عملکرد ذرت و لوبیاچیتی، آزمایشی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ در مزرعه تحقیقاتی و آموزشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سیستم‌های مختلف کودی در چهار سطح شاهد (عدم کود دهی)، کود زیستی (*Azotobacter chroococcum*)، کود آلی (ورمی‌کمپوست)، کود تلفیقی (ازتوباکتر+ ورمی‌کمپوست) و کرت‌های فرعی دربرگیرنده پنج ترکیب کاشت شامل کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیاچیتی و نسبت‌های مخلوط سری جایگزینی ۵۰ در صد ذرت:۵۰ در صد لوبیاچیتی و سری‌های افزایشی ٦۰ در صد ذرت: ٦۰ در صد لوبیاچیتی و ۸۰ در صد ذرت:۸۰ در صد لوبیاچیتی بودند. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در بوته ذرت (۲٤۵/۸ گرم در بوته)، از ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست و کشت مخلوط جایگزینی ۵۰ درصد ذرت: ۵۰ درصد لوبیاچیتی و بیشترین عملکرد دانه در بوته لوبیاچیتی (۵/٤ گرم تک بوته)، از ترکیب تیماری ورمی‌کمپوست و تک‌کشتی لوبیاچیتی به‌دست آمد. درمجموع، بیشترین نسبت برابری زمین از کشت مخلوط افزایشی ٦۰ در صد ذرت: ٦۰ در صد لوبیاچیتی با دریافت ورمی کمپوست (۱/۲۲) به‌دست آمد. با توجه به هدف حذف یا کاهش قابل‌ملاحظه مصرف نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای آلی و زیستی برای ترکیب کشت مخلوط افزایشی، مناسب و قابل توجیه است.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر کروکوکوم، عملکرد، کشاورزی پایدار، نسبت برابری زمین، ورمی‌کمپوست.

Effect of organic and bio-fertilizers and additive and replacement intercropping systems on corn (*Zea maize* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yields.

Reza Fatemi devin[1], Seyed Mohamad Bagher Hosseini[1*], Hosain Moghadam[1], Babak Motashrezadeh[2]

1. Agronomy and Plant Breeding Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, 2. Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran.

(Received: August 10, 2019 - Accepted: December 10, 2019)

ABSTRACT

Intercropping is one of the most important components of sustainable agriculture. In the present study, the effects of intercropping and bio/organic fertilizers on yield of maize and pinto beans were investigated. A split plots experiment arranged in a completely randomized design was carried out with four replications. The experiment was performed in the research filed of Agricultural Faculty, University of Tehran, Iran, during 2017-2018. Four fertilizer systems, control, no fertilization, biofertilizer (*Azotobacter chroococcum*), organic fertilizer (vermicompost) and integrated fertilizer (Azotobacter + vermicompost) were the main plots and five cropping patterns, single cultivation of maize, single cultivation of pinto beans, replacement intercropping patterns of 50% mazie-50% pinto bean, and additive intercropping patterns of 60% maize-60% pinto beans and 80% maize-80% pinto beans were subplots. The results indicated that the highest grain yield of maize (245.8 g/plant) was observed in 50% mazie-50% pinto beans the replacement intercropping patterns under vermicompost fertilization and also, the highest grain yield of pinto beans (5.4 g/plant) was obtained by sole cropping of pinto beans and vermicompost application. Generally, the results demonstrated that the most land equivalent ratio (LER, 1.22) was obtained from 60% maize-60% pinto additive intercropping patterns, fertilized by vermicompost. Considering the aim of sustainable agriculture, which is elimination or reduction of chemical inputs application, it seems to be appropriate and reasonable using bio/organic fertilizers for additive/replacement intercropping patterns would be appropriate and reasonable.

Keywords: *Azotobacter crococum*, land equivalent ratio, vermicompost, yield.

* Corresponding author E-mail: bhosseini@ut.ac.ir

مقدمه

مشکلات ناشی از کاربرد بی‌رویه مواد شیمیایی در کشاورزی و روش‌های رایج تولید مواد غذایی، اخیراً توجه بیشتری را به کشاورزی پایدار معطوف کرده است. کشاورزی پایدار، سودمندترین نحوه استفاده از انرژی خورشیدی و تبدیل آن به محصولات کشاورزی است که بدون تخریب خاک، آب و محیط‌زیست انجام می‌گیرد (Barker & Bryson., 2006; Erol *et al*., 2009). از بین راهکارهای موردنظر در کشاورزی پایدار می‌توان به سیستم‌های کشت مخلوط، تناوب زراعی و مصرف کودهای زیستی اشاره نمود (Sullivan, 2003). کشت مخلوط، یک فعالیت زراعی است که طی آن، دو یا چند گیاه زراعی به‌صورت همزمان در یک قطعه زمین زراعی کشت می‌شود (Dela-Fonte *et al*., 2014). کشت مخلوط در بسیاری از نقاط دنیا، به دلیل برخی از مزیت‌های نسبی آن مانند ثبات بیشتر عملکرد، کارایی بالاتر استفاده از زمین و نیروی کارگر (Ofori & Stern, 1987; Thobatsi, 2009)، افزایش توانایی رقابتی در کنترل علف‌های‌هرز (Hauggaard-Nielsen *et al*., 2001; Thobatsi, 2009)، بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک به دلیل افزایش تثبیت نیتروژن حاصل از همزیستی باکتری با گیاه لگوم همراه در مخلوط کشت، به‌کار می‌رود. (Hauggaard-Nielsen *et al*., 2001). هدف این سیستم کاشت، افزایش عملکرد در ابعاد زمان و مکان است و گیاهان، منابع محیطی را با بیشترین کارایی استفاده می‌کنند (Schröder & Köpke, 2012; Vrignon-Brenas *et al*, 2016). Hosseini *et al* (2003) در آزمایشی روی کشت مخلوط ارزن نوتریفید (*Pennisetum americanum* L.) و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) نشان دادند که بالاترین عملکرد این محصولات، درکشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ حاصل می‌شود. Koocheki *et al* (2008) نیز طی آزمایشی اعلام کردند که درکشت مخلوط جایگزینی ذرت با لوبیا، ذرت گیاه غالب بود و عملکرد ذرت افزایش یافت و بیشترین عملکرد ذرت در نسبت پایین کاشت مشاهده شد. با بررسی سیستم‌های مختلف کشت افزایشی و جایگزینی ذرت (*Zea mays* L.) و ماش (*Vigna radiate* L.)، نسبت برابری زمین در کلیه تیمارهای مخلوط مورد بررسی، بالاتر از یک بود (Nazari *et al*., 2013). برخی از محققان، بالاترین عملکرد ماده خشک (۳۰۵۱۰ کیلوگرم در هکتار) را از کشت مخلوط ذرت با لوبیا چشم‌بلبلی با نسبت‌های کشت ۱۰۰ درصد ذرت و ۱۰۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی گزارش کردند (Dahmardeh *et al*., 2010). در تحقیقی مشخص شد که نسبت برابری زمین در مخلوط ذرت و لوبیا، بیشتر از یک بود که این امر به بیشتر بودن شاخص سطح برگ کل در تیمارهای مخلوط نسبت به خالص نسبت داده شد که خود، افزایش جذب نور و عملکرد در این تیمارها را به همراه داشت (Rezvani, 2004). ورمی‌کمپوست، کودی آلی است که از طریق فرآوری ضایعات آلی نظیر کود دامی، به‌وسیله کرم خاکی با نام علمی *Eisenia foetida* بقایای گیاهی تولید می‌شود (Kapoor *et al*., 2015). Behbodi *et al* (2015) با بررسی اثر ورمی‌کمپوست روی خصوصیات زراعی لوبیاچیتی گزارش نمودند که ورمی‌کمپوست، باعث افزایش طول ساقه، طول نیام، تعداد دانه درنیام، وزن نیام، عملکرد دانه، شاخص برداشت و میزان پروتئین دانه شد. Valdez-perez (2011) در بررسی کشت لوبیا با ورمی کمپوست حاصل از لجن زباله تر و کود معدنی مشاهده نمودند که گیاهان کشت‌شده در ورمی کمپوست با حداقل کود معدنی، بهترین توسعه را داشتند. در تحقیقی مشخص شد که کود آلی ورمی‌کمپوست، به علت وجود مواد مغذی به‌ویژه نیتروژن، باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی ذرت و لوبیا شد (Samiran *et al*., 2010).

استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی ازجمله ریزوباکترهای محرک رشد گیاه[1]، از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، افزایش حلالیت فسفر و پتاسیم، افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی خاک، مهار

[1] Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)

عوامل بیماری‌زا و همچنین تولید هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد گیاه، عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Fatma *et al*., 2008). در آزمایشی اثر باکتری ازتوباکتر به‌عنوان باکتری محرک رشد به همراه مواد آلی، بر روی گیاه ذرت بررسی شد. نتیجه آزمایش نشان داد که تلقیح خاک با ازتوباکتر و مواد آلی، قابلیت جذب نیتروژن و فسفر را به بالاترین حد خود رساند و میزان محصول ذرت نیز به میزان قابل‌توجهی افزایش یافت (Hasanudin, 2001). در تحقیقی، اثر تلقیح ازتوباکتر به‌عنوان باکتری محرک رشد به همراه مواد آلی بر روی گیاه ذرت، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که قابلیت جذب نیتروژن و فسفر و میزان محصول ذرت، به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت (Hasanudin, 2003). Naghizadeh & Galavi (2012) با ارزیابی کشت مخلوط ذرت و خلر (*Lathyrus sativus* L.) بیان داشتند که کاربرد توأم کودهای زیستی و شیمیایی، سبب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد هر دو گونه شد.

با توجه به اهمیت اکولوژیکی، زراعی و زیست‌محیطی نظام‌های چند کشتی و کودهای زیستی و آلی و نیز لزوم ارزیابی دقیق این نظام‌ها و نهاده‌ها از حیث شاخص‌های علمی، این تحقیق با هدف ارزیابی اثر نظام‌های کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی بر محصول ذرت و لوبیاچیتی تحت تأثیر کودهای زیستی و آلی، به‌منظور دستیابی به مناسب‌ترین ترکیب کشت این دو گونه از نظر عملکرد مطلوب، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه آموزشی پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در دولت‌آباد شهر کرج، با مختصات طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شرقی و ۴۷ درجه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل نظام‌های مختلف کودی در چهار سطح شامل شاهد، کود زیستی (ازتوباکتر کروکوکوم)، کود آلی (ورمی کمپوست) و تلفیق کود زیستی+ آلی (ازتوباکتر کروکوکوم + ورمی‌کمپوست) به‌عنوان کرت اصلی و پنج ترکیب کاشت شامل کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیاچیتی و نسبت‌های مخلوط سری جایگزینی ۵۰ درصد ذرت:۵۰ درصد لوبیاچیتی و سری‌های افزایشی ۶۰ در صد ذرت: ۶۰ در صد لوبیاچیتی و ۸۰ درصد ذرت: ۸۰ درصد لوبیاچیتی به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. زمین محل اجرای آزمایش در سال زراعی قبل، آیش بود. قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک محل اجرای آزمایش و ورمی‌کمپوست استفاده شده، مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفتند که نتایج آن‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

در این آزمایش و با توجه به سطح بحرانی فسفر (۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و پتاسیم (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، مطابق با نیاز مزرعه و بر اساس آزمون خاک، کودهای شیمیایی سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌ترتیب به میزان ۴۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار و همچنین جهت تأمین نیتروژن مورد نیاز، از کود اوره به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله شش برگی ذرت استفاده شد. (Motasharezadeh & Mousavi, 2018). میزان ۳/۷۵۰ کیلوگرم ورمی کمپوست در طول یک خط پنج متری بکاررفت. برای تلقیح بذرهاهای ذرت و لوبیا با کود زیستی (ازتوباکتر کروکوکوم)، طبق توصیه بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب، پس از محاسبه میزان بذر مورد نیاز برای کاشت تیمارهایی که نیاز به تلقیح داشتند، بذرهاها داخل یک کیسه پلی‌اتیلن ریخته شدند. سپس بر روی بذرها ۳۰ میلی‌لیتر ماده چسباننده (محلول ۴۰٪ صمغ عربی به ازای هر کیلوگرم بذر) اضافه شد و برای مدت پنج دقیقه به‌خوبی تکان داده شد تا سطح تماس بذرها به شکل یکنواختی با این ماده آغشته شود. سپس به ازای هر کیلوگرم بذر، ۵۰ گرم کود زیستی حاوی باکتری تلقیح کننده بر روی بذرها ریخته شد و دوباره به مدت پنج دقیقه دیگر به‌خوبی تکان داده شد تا سطح تمام بذرها به شکل کاملاً یکنواخت با ماده تلقیح آغشته شود. در

پایان، بذرهای آغشته به مایه تلقیح، روی ورقه آلومینیومی تمیز و در زیر سایه پهن گردی تا بذرها خشک شوند سپس به‌سرعت اقدام به کشت ذرت شد (Somasegaran & Hoben, 1994).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش.

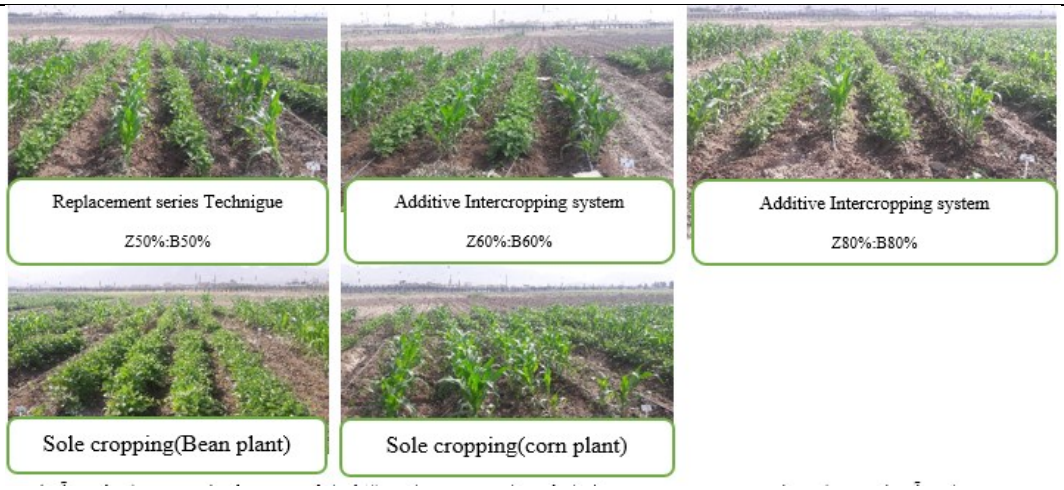
Table 1. Physiochemical properties of experiment field soil.

Soil depth (cm)	Texture class	PH	K mg kg^{-1}	P mg kg^{-1}	N %	O.C %	EC ds.m^{-1}
0-30	Loam Clay	8.4	140	8.41	0.08	0.64	1.93
30-60	Loam Clay	8.4	148	9.37	0.08	0.64	2.49

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست مورداستفاده.

Table 2. Chemical properties of vermicompost..

PH	Inorganic cerbon %	Organic carbon %	EC ds.m^{-1}	Mg %	Ca %	Na %	K %	P %	N %
7.8	34	16.8	1.85	2.8	3.6	0.12	0.39	0.01	1.39



شکل ۱- تصاویر تیمارهای آزمایشی در مزرعه

Figure 1.Picture of the experimental treatments.

در این آزمایش، ذرت رقم KSC704 به‌عنوان گیاه اصلی و لوبیاچیتی رقم صدری به‌عنوان گیاه همراه در نظر گرفته شدند. طول هر واحد آزمایشی، پنج متر و عرض آن ۴/۵ متر بود. جهت ارزیابی سیستم‌های کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، از شاخص نسبت برابری زمین[1] (LER) و معادلات ۱ تا ۳ استفاده شد (Dahmardeh & Keshtehgar, 2014).

معادله ۱ LER (T) =LER (a) + LER (b)

معادله ۲ LER (a) = Yab/Yaa

معادله ۳ LER (b) =Yba/Ybb

که در این معادلات، LER(T): نسبت برابری کل زمین، LER(a): نسبت برابری زمین گونه A، LER(b): نسبت برابری زمین گونه B، Yab: عملکرد گونه A درکشت مخلوط، Yaa: عملکرد گونه A درکشت خالص، Yba: عملکرد گونه B درکشت مخلوط و Ybb: عملکرد گونه B درکشت خالص می‌باشد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS(9.1) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شد. همچنین جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه تک بوته ذرت (گرم در بوته)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای

[1] Land Equivalent Ratio

نوع کود و کشت مخلوط، تأثیر معنی‌داری بر روی عملکرد دانه تک بوته ذرت در سطح احتمال یک درصد داشتند. همچنین اثر ترکیب تیماری نوع کود و تیمار کشت مخلوط بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر نوع کود و کشت مخلوط بر عملکرد تک بوته ذرت رقم KSC704.

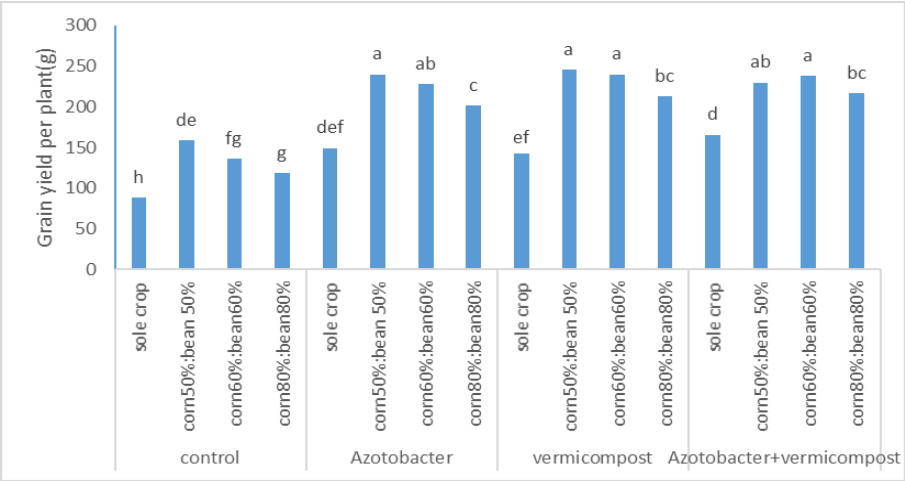
Table 3. Variance analysis of the effects of fertilizer type and intercropping on maize var. KSC704 grain yield per plant.

Source of variance	d.f	MS Grain yield per plant(g)
Replication	3	520.196^{ns}
Fertilizer type (A)	3	28206.197**
Error a	9	138.581
Intercropping system (B)	3	21706.921**
A×B	9	451.607*
Error b	36	159.953
C.V (%)		6.72

ns ، * و **: به‌ترتیب نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

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

با مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود و کشت مخلوط مشخص شد که تیمارهای ورمی‌کمپوست و مخلوط جایگزینی ۵۰ درصد ذرت: ۵۰ درصد لوبیا، ورمی کمپوست در مخلوط افزایشی ۶۰ درصد ذرت: ۶۰ درصد لوبیاچیتی و تلقیح ازتوباکتر + ورمی‌کمپوست و مخلوط افزایشی ۶۰ درصد ذرت: ۶۰ درصد لوبیاچیتی، دارای بیشترین عملکرد بودند و به لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۲). به نظر می‌رسد که کاربرد ورمی‌کمپوست، احتمالاً به دلیل فراهم کردن شرایط مناسب رشد و افزایش ماده آلی خاک، منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب و تهویه بهتر هوای اطراف ریشه شده است. همچنین شکل قابل‌جذب عناصر غذایی موجود در آن، امکان جذب بیشتر و آسان‌تر این مواد را برای گیاه فراهم می‌کند که این امر، خود منجر به بهبود رشد و افزایش عملکرد می شود. با کاهش تراکم ذرت‌های کشت‌شده و جایگزینی لوبیا که موجب کاهش رقابت درون‌گونه‌ای شد، عملکرد تک بوته در ذرت در مجاورت لوبیا افزایش یافت و تک بوته ذرت توانست از منابع بیشتری بهره برد و اندام‌های زایشی خود را به نسبت بیشتری افزایش دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در تیمار کشت مخلوط ذرت: لوبیاچیتی، امکان استفاده از فضاهای پایین و بالای کانوپی وجود دارد، ضمن این‌که به دلیل فاصله بیشتر دو بوته مجاور، امکان بهره‌مندی نسبی هر گیاه از منابع آب و مواد غذایی بیشتر می شود. در تحقیقی که به‌منظور کشت مخلوط جایگزینی ذرت و لوبیا انجام شد، در نسبت پایین کاشت دو گیاه یعنی نسبت ۱:۱ آن‌ها، حداکثر بهره‌برداری از نیتروژن تثبیت‌شده به عمل آمد و رقابت برای نور نیز کاهش یافت و در اثر این عوامل، بیشترین عملکرد ذرت حاصل شد (Koocheki *et al*., 2008). بر اساس نتایج آزمایش انجام‌شده درکشت مخلوط ذرت: کاساوا (*Manihot esculenta crantz*)، بالاترین عملکرد ذرت از تیمار تلفیقی کودهای ارگانیک و شیمیایی حاصل شد (Ayoola & Makinde, 2011). Naghizadeh & Galavi (2012) با ارزیابی کشت مخلوط ذرت: خلر (*Lathyrus sativa* L.) بیان داشتند که کاربرد همزمان کودهای زیستی و شیمیایی، سبب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد هر دو گونه شد. Dabbagh Mohammadi-Nassab *et al* (2015) با بررسی سودمندی کشت مخلوط ذرت و لوبیا به همراه کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی، به این نتیجه رسیدند که استفاده از کود زیستی به‌جای کود شیمیایی، سبب افزایش مجموع عملکرد نسبی و نسبت برابری زمین می‌شود. این نتیجه بیانگر افزایش کارایی کشت مخلوط ذرت: لوبیا در صورت استفاده از کودهای زیستی است.



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود و کشت مخلوط بر عملکرد دانه تک بوته ذرت. وجود حداقل یک حرف مشترک، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار است.

Figure 2. Interaction effects of fertilizer type and intercropping on maze grain yield per plant. Means followed by the same letters are not significantly different at $p<0.05$, based on (LSD).

عملکرد دانه ذرت (تن در هکتار)

نتایج تجزیه واریانس آماری نشان داد که اثرات ساده نوع کود، کشت مخلوط و برهمکنش نوع کود و کشت مخلوط برای صفت عملکرد دانه در هکتار در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثرات نوع کود و کشت مخلوط بر عملکرد دانه ذرت رقم KSC704

Table 4. Variance analysis of the effects of fertilizer type and intercropping on grain yield of maize var. KSC704.

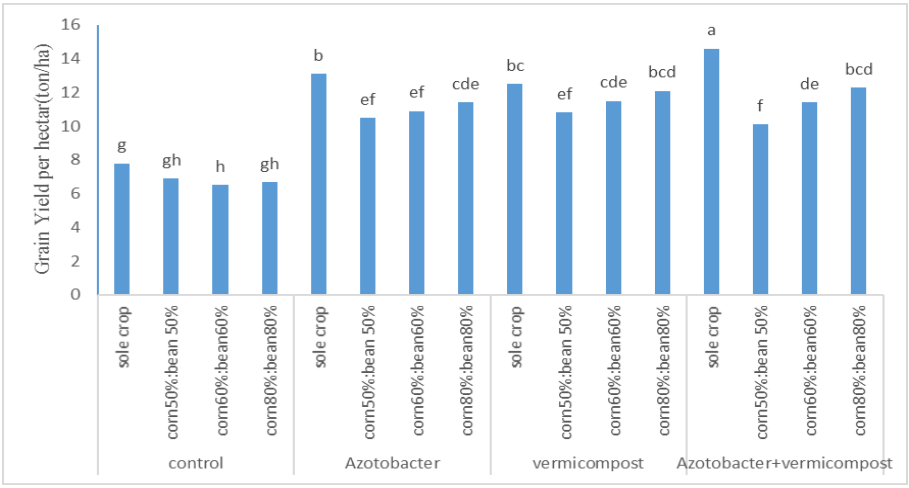
Source of variance	d.f	MS
		Grain yield per plant ($ton.ha^{-1}$)
Replication	3	1.744ns
(A) Fertilizer type	3	92.198**
Error a	9	0.428
(B) Intercropping system	3	17.244**
A×B	9	1.895**
Error b	36	0.598
(%) C.V		7.29

ns، * و **: به‌ترتیب نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

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

مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود و کشت مخلوط نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه ذرت در هکتار با میانگین ۱۴/۶ تن در هکتار، به تیمار کاربرد تلفیقی ازتو باکتر+ ورمی‌کمپوست در سیستم تک‌کشتی و کمترین مقدار آن با میانگین ۶/۵ تن در هکتار، به تیمار شاهد درکشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد ذرت: ۶۰ درصد لوبیاچیتی تعلق داشت. بالا بودن عملکرد دانه در تک‌کشتی نسبت به کشت مخلوط، می‌تواند به دلیل بالا بودن تعداد بوته در واحد سطح باشد. همچنین از آن‌جا که ازتوباکتر یک باکتری شیمیوارگانوتروف است و برای رشد و تکثیر خود به مواد قندی، الکل‌ها و نمک اسیدهای آلی نیاز دارد، احتمالاً استفاده از ورمی‌کمپوست بر روی فعالیت ازتوباکتر اثر گذاشته است و همچنین با افزایش سهل‌الوصول شدن عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و احتمالاً گوگرد موجود در ورمی‌کمپوست برای گیاه و برقراری تعادل این کود آلی با فاز فیزیکی و شیمیایی خاک، عملکرد دانه را نیز بهبود بخشیده است. با توجه این‌که تراکم ذرت درکشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد، کاهش چشمگیری داشته است؛ بنابراین کمترین

عملکرد را به خود اختصاص داد است. نتیجه آزمایشی نشـــان داد که تلقیح خاک با ازتوباکتر و مواد آلی، قابلیت جذب نیتروژن و فســـفر را به بالاترین حد خود رســـانده اســـت و میزان محصـــول ذرت نیز به میزان قـــابـــل‌تـــوجـــهـــی افـــزایـــش یـــافـــت (Hasanudin, 2001; Hasanudin, 2003).



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود و کشت مخلوط بر عملکرد دانه ذرت. وجود حداقل یک حرف مشترک، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار است.

Figure 3. Interaction effects of fertilizer type and intercropping on grain yield of maize. Means followed by the same letters are not significantly different at p<0.05, based on (LSD).

عملکرد دانه تک بوته لوبیا (گرم در بوته)

اثرات ساده نوع کود، کشت مخلوط و برهمکنش نوع کود و کشت مخلوط بر صفت عملکرد دانه در تک بوته لوبیاچیتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثرات کودهای آلی - زیستی و کشت مخلوط بر روی عملکرد بوته لوبیاچیتی.

Table 5. Variance analysis of the effect of fertilizer type and intercropping on grain yield of bean per plant.

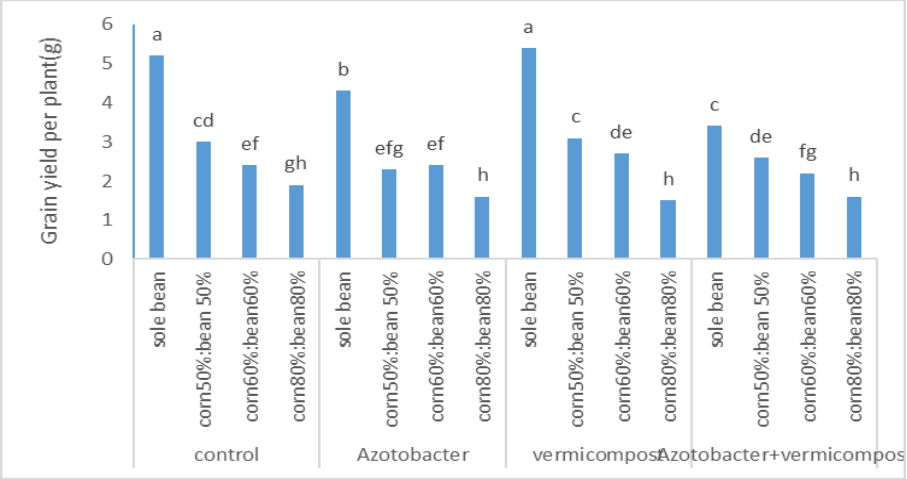
Source of variance	d.f	MS Grain yield per plant (g)
Replication	3	0.102^{ns}
Fertilizer type (A)	3	2.078**
Error a	9	0.177
Intercropping system (B)	3	24.698**
A×B	9	0.801**
Error b	36	0.089
C.V (%)		10.34

ns، * و **: به‌ترتیب نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

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

مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود و کشت مخلوط نشـــان داد که حداکثر عملکرد تک بوته لوبیا در تیمار کشـــت خالص لوبیا با مصـــرف کود ورمی‌کمپوســـت مشاهده شد که این تیمار، اختلاف معنی‌داری با تیمار کشت خالص لوبیا با مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره (شـاهد) نداشـت (شـکل ۴). با توجه به این‌که کانوپی ذرت، دارای حجم و ارتفاع بیشـــتری در مقایســـه با کانوپی لوبیا اســـت، بنابراین ذرت، رقیب قوی‌تری در جذب نور و سـایر منابع برای لوبیا محسـوب می‌شـود. چنین به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد لوبیا درکشت خالص نسـبت به تیمارهای کشـت مخلوط می‌تواند به دلیل عدم رقابت برون گونه‌ای لوبیا درکشـت خالص بر

سر جذب نور باشد که این امر باعث افزایش جذب نور به‌وسیله کانوپی لوبیا و درنتیجه بهبود فتوسنتز شد و درنهایت افزایش عملکرد اقتصادی لوبیا را به دنبال داشت. Francis (2003) نیز در مطالعه‌ای با بررسی اثر کشت مخلوط ذرت و لوبیا بر عملکرد بیان داشت که به دلیل افزایش رقابت ذرت (گیاه غالب) با لوبیا (گیاه مغلوب) بر سر جذب نور، عملکرد لوبیا به میزان زیادی کاهش یافت. در این آزمایش نیز با افزایش تدریجی تراکم لوبیا، عملکرد آن نیز به همان ترتیب کاهش یافت که علت این امر، از یک‌طرف وجود رقابت بین‌گونه‌ای ذرت با لوبیا بر سر جذب نور بودو از طرف دیگر، با افزایش تراکم، رقابت درون‌گونه‌ای بوته‌های لوبیا افزایش یافت و باعث کاهش جذب منابع و درنهایت کاهش رشد و عملکرد لوبیا شد. Pirzad *et al* (2002) نیز با بررسی اثر رقابت درکشت مخلوط سویا و ذرت با استفاده از روش عملکرد بیان داشتند که عملکرد سویا، به‌شدت تحت تأثیر تراکم ذرت قرار می‌گیرد، ولی از آن‌جاکه رقابت درون‌گونه‌ای سویا بسیار کمتر از رقابت بین‌گونه‌ای ذرت و سویا می‌باشد، افزایش تراکم سویا بر عملکرد آن بی‌تأثیر است.



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود و کشت مخلوط بر عملکرد دانه تک بوته لوبیاچیتی. وجود حداقل یک حرف مشترک، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار است.

Figure 4. Interaction effects of fertilizer type and intercropping on grain yield of bean per plant. Means followed by the same letters are not significantly different at $p<0.05$, based on (LSD).

عملکرد دانه لوبیا (تن در هکتار)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده نوع کود، کشت مخلوط و اثرات متقابل نوع کود و کشت مخلوط بر صفت عملکرد دانه لوبیاچیتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود و کشت مخلوط نشان داد که تک‌کشتی لوبیا به همراه ورمی‌کمپوست و شاهد، بیشترین عملکرد در هکتار را به خود اختصاص دادند (شکل ۵). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان چنین اظهار داشت که از دلایل اصلی کاهش عملکرد دانه لوبیاچیتی در هکتار درکشت مخلوط نسبت به خالص، وجود رقابت بین‌گونه‌ای و مغلوبیت لوبیا در برابر ذرت و همچنین کاهش تعداد بوته در هکتار در مخلوط به نسبت تک‌کشتی می‌باشد. Morales *et al* (2009) نیز با کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا اعلام کردند که بالاترین عملکرد دانه لوبیاچیتی درکشت خالص لوبیا مشاهده شد.

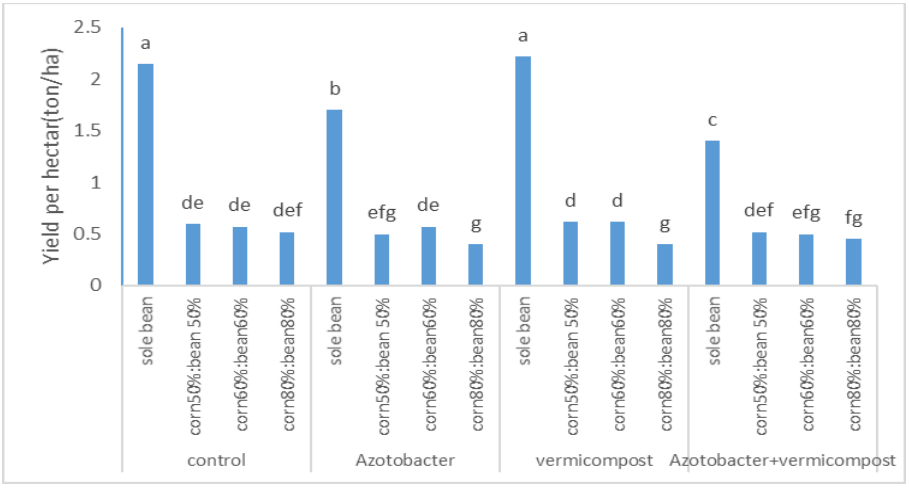
جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس آماری اثرات نوع کود و کشت مخلوط بر روی صفت عملکرد دانه لوبیاچیتی در هکتار.

Table 6. Variance analysis of the effects of fertilizer type and intercropping on grain yield of bean per hectare.

Source of variance	d.f	MS Grain yield per plant(ton.ha^{-1})
Replication	3	0.003^{ns}
Fertilizer type (A)	3	0.249**
Error a	9	0.013
Intercropping system (B)	3	7.276**
A×B	9	0.132**
Error b	36	0.005
C.V (%)		8.31

ns، * و **: به‌ترتیب نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

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



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود و کشت مخلوط بر عملکرد دانه لوبیاچیتی. وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار است.

Figure 5-Interaction effects of fertilizer type and intercropping on grain yield of bean per hectare. Means followed by the same letters are not significantly different at p<0.05, based on (LSD).

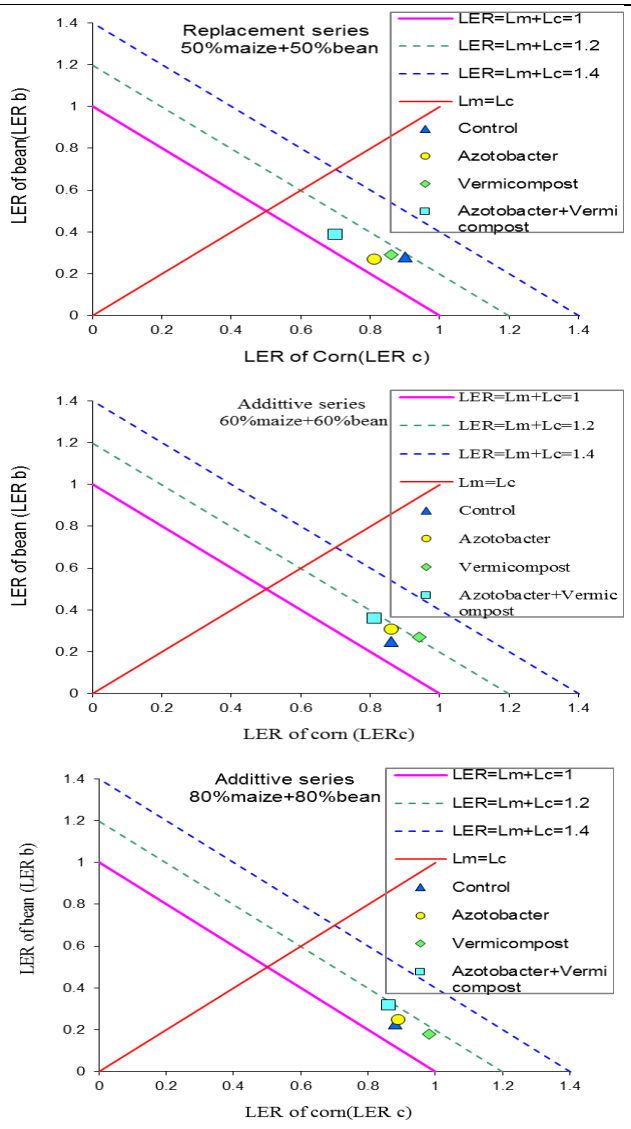
نسبت برابری زمین (LER)

بر اساس جدول ۷، LER ذرت در تمامی تیمارها نسبت به لوبیاچیتی بالاتر بود که نشان دهنده اثر مثبت کشت مخلوط با لوبیا بر ذرت است. بالاترین LER جزئی ذرت (۰/۹۸) و لوبیاچیتی (۰/۳۹)، به‌ترتیب از کشت مخلوط افزایشی ۸۰ درصد ذرت: ۸۰ درصد لوبیاچیتی و کشت مخلوط جایگزینی ۵۰ درصد ذرت:۵۰ درصد لوبیاچیتی به‌دست آمد (جدول ۷). LER جزئی در ذرت در تمامی تیمارها بالاتر از لوبیاچیتی بود که نشان دهنده غالبیت ذرت بوده و اثر مثبت کشت مخلوط با لوبیاچیتی بر آن است. نسبت برابری زمین کل در تمامی تیمارهای مخلوط بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی در این الگوهای کشت می‌باشد. کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد ذرت:۶۰ درصد لوبیاچیتی، بالاترین نسبت برابری زمین کل را در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط به خود اختصاص داد، اما با حرکت به سمت کشت مخلوط جایگزینی ۵۰ در صد ذرت:۵۰ درصد لوبیاچیتیف میزان LER کاهش یافت (جدول ۳). احتمالاً علت کاهش LER، عدم تراکم بهینه می‌باشد، زیرا رقابت برون گونه‌ای نسبت به درون‌گونه‌ای باعث این وضعیت شده است. کشت مخلوط زمانی سودمند است که عملکرد دانه مخلوط، بیشتر از حداکثر محصول تک‌کشتی باشد. اضافه عملکرد به‌دست‌آمده را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه و اختلاف مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین آن‌ها و کمتر بودن علف‌های‌هرز در سیستم کشت مخلوط نسبت داد (Hemayati, 2012).

جدول ۷- نسبت برابری زمین جزئی و نسبت برابری زمین کل برای عملکرد دانه ذرت و لوبیاچیتی.

Table 7. Partial Land equivalent ratio and total land equivalent ratio (LER) for corn and bean yield at intercropping treatment.

Tratmant	50% maize:50% pinto bean				60% maize:60% pinto bean				80% maize:80% pinto bean			
	control	*Azotobacter chroococcum*	Vermicompost	*Azotobacter chroococcum* +Vermicompost	control	*Azotobacter chroococcum*	Vermicompost	*Azotobacter chroococcum* +Vermicompost	control	*Azotobacter chroococcum*	Vermicompost	*Azotobacter chroococcum* +Vermicompost
Partial Land Equivalent Ratio of corn	0.90	0.81	0.86	0.70	0.86	0.86	0.94	0.81	0.88	0.89	0.98	0.86
Partial Land Equivalent Ratio of bean	0.28	0.27	0.29	0.39	0.25	0.31	0.27	0.36	0.23	0.25	0.18	0.32
Total LER	1.18	1.07	1.15	1.09	1.11	1.17	1.22	1.17	1.12	1.14	1.16	1.18



شکل ۶- ترسیم نسبت برابری زمین ذرت و لوبیا.

Figure 6. Land equivalent ratio of Corn and bean.

در تحقیقی مشخص شد که شاید بتوان LER بیشتر از یک را به تثبیت و جذب نیتروژن درکشت مخلوط نسبت داد (Ghanbari-Bonijar & Lee. 2003). وقتی دو گونه در مجاورت هم رشد می‌کنند، هر دو برای جذب عناصر غذایی در رقابت خواهند بود. اگر یکی از گونه‌ها دارای توانایی تثبیت نیتروژن باشد، در این صورت فشار رقابتی کاهش می‌یابد، زیرا گونه لگوم در جذب نیتروژن موجود در خاک با گونه مجاور رقابت کمتری خواهد داشت (Vandermeer,1989). Shayagan *et al* (2008) درکشت مخلوط ذرت با لوبیا، Koocheki *et al* (2010) درکشت مخلوط نواری ذرت و لوبیا، Rezvani Moghaddam & Moradi (2012) و Li *et al.* (2012) درکشت مخلوط ذرت و نخودفرنگی نیز مقدار LER را بالاتر از یک گزارش کرده‌اند.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج آزمایش حاضر نشان داد که عملکرد ذرت، تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط و نوع کود قرار گرفت، به‌طوری‌که در سیستم کشت مخلوط جایگزینی ۵۰ درصد ذرت:۵۰ درصد لوبیا، به دلیل افزایش اثرات تسهیل و تکمیل‌کنندگی دو گونه، عملکرد افزایش پیدا کرد. در تیمارهای کشت مخلوط، ذرت گیاه غالب بود و از کشت مخلوط با لوبیاچیتی اثر مثبت پذیرفت. به‌احتمال‌زیاد، حضور لوبیاچیتی در کنار ذرت، از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، سبب افزایش تولید دانه شد. در تحقیق حاضر، کاربرد تغذیه تلفیقی ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر نیز توانست عملکرد دانه در بوته و عملکرد دانه در هکتار را بهبود ببخشد؛ بنابراین چنین به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای آلی و زیستی درکشت مخلوط، یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب با حداقل مصرف نهاده‌های خارجی است که در بلندمدت می‌تواند منجر به کاهش نیاز سیستم‌های زراعی به نهاده‌های شیمیایی شود.

REFERENCES

1. Ayoola, O. & Makinde, T. E. A. (2011). Cassava/maize intercrop performance and soil nutrient changes with fertilizers. *Journal of Agricultural Science,* 3, 136-140.
2. Barker, A. V. & Bryson, G. M. (2006). Comparisons of compost with low or high nutrient status for growth of plants in containers. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 37, 1303-1319.
3. Behbodi, F., AllahDadi, E. & Mohamadi Goltape, E. (2015). Effect of produced vermicompost from cow manure impregnated to copper oxide (CuO) and Zinc oxide (ZnO) nanoparticles on some properties of wax bean crop (*Vigna unguiculata* L). *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 104, 126-134. (In Persian).
4. Dabbagh Mohammadi-Nassab, A., Amini, R. & Tamari, E. (2015). Evaluation of maize and three cultivars of common bean intercropping with application of biofertilizers and chemical fertilizers. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, 25, 99-113. (In Persian).
5. Dahmardeh, M., & Keshtehgar, A. (2014). Evaluating yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in intercropping with peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agroecology,* 6(2), 311-323. (In Persian).
6. Dela-Foente, E. B., Suarez, S. A., Lenadis, A. E. & Poggio, S. L. (2014). Intercropping sunflower and soybean in intensive farming systems: Evaluating yield advantage and effect on weed and insect assemblages. Njas-Wagen. *Journal of Life Science*, Vol 70,71, 47-62.
7. Erol, A., Kaplan, M. & Kizilsimsek, M. (2009). Oats (*Avena sativa* L) common vetch (*Vicia sativa* L) mixtures grown on a low-input basis for a sustainable agriculture. *Tropical Grassland*, 43, 191-196.
8. Fatma, A. G., Lobna, A. M. & Osman, N. M. (2008). Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*). *Plant Bioresource Technology,* 93, 145–153.
9. Ghanbari-Bonjar, A. & Lee, H. C. (2003). Intercropped wheat (*Triticum aestivum* L.) and bean (*Vicia faba* L.) as whole-crop forage: Effect of harvest time on forage yield and quality. *Grass and Forage Science,* 58, 28–36.

10. Hasanuddin, H. (2001). The increasing of soil nutrient and yield of corn through *Azotobacter* spp. Inoculation and organic matter on ultisol. *Plant and Soil,* 209, 2-53261.
11. Hasanudin, H. (2003). Increasing of the nutrient and uptake availability of N and P and through corn yield of inoculation of *Mycorrhiza* and *Azotobacter* on ultisol organic matter. *Journal of Agriculture Sciences of Indonesia,* 5(1), 83 – 89.
12. Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P. & Jensen, E. S. 2001. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea–barley intercropping. *Field Crops Research,* 70,101–109.
13. Hemayati, S., Siadat, A. & Sadeghzade, F. (2002). Evaluation of intercropping of two corn hybrids in different densities, *Iranian. Journal of Agricultural Science,* 25, 73-87. (In Persian).
14. Hosseini, S., D. Mazaheri, and M. Jahan Soz. 2003. Effect of planting arrange on pearl millet and cowpea forage yield in intercropping. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 20: 117- 123.
15. Kapoor, J., Sharma, S. & Rana, N. K. (2015). Vermicomposting for organic waste management. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6 (12), 7956-7960.
16. Koocheki, A. R., Lale ghani, B. & Najib Nia, S. (2008). Evaluation of intercropping beans and corn production. *Journal of Agricultural Research*, 7, 605- 614.
17. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Feizi, H., Amirmoradi, S. & Mondani, F. 2010. Effect of strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and land equivalent ratio in weedy and weed free conditions. *Agroecology,* 2, 225-235. (In Persian).
18. Morales, R. E. J., Escalante, E. J. A., Sosa, C. L. & Volke, H. V. H. (2009). Biomass, yield and land equivalent ratio of *Helianthus annus* L in sole crop and intercropped with *Phaseolus vulgaris* L. in high valleys of Mexico. *Tropical and Subtropical Agro Ecosystems,* 10, 431 – 439.
19. Motasharezadeh, B. & Mousavi, M. (2018).*Optimized plant nutrition managment and 100 tips for foliar nutrition.Academic.* Jihad Publications. 277Pp.
20. Naghizadeh, M., Ramroodi, M., Galavi, M., Siahsar, B., Heydari, M. & Maghsoodi, A. (2012). The effects of various phosphorus fertilizers on yield and yield components of maize and grass pea intercropping. *Iranian Journal of Field Crop Sciences,* 2, 203-215. (In Persian).
21. Nazari, S., Zand, E., Asadi, S. & Golzardi, F. (2013). Effect of additive and replacement intercropping series of corn (*Zea mays* L.) and mungbean (*Vigna radiate* L.) on yield, yield components and weed biomass. *Weed Research Journal,* 4(2), 97-109. (In Persian).
22. Ofori, F. & Stern, W. R. (19870. Cereal-legume intercropping system. *Advances in Agronomy*, 41, 41-90.
23. Pirzad, E., Javanshir, E., Allari, H.Moghadam, M. & Shakebah, M. (2002). Competition in sole and intercropping crops of corn (*Zea mays* L.) and soyben (*Glycine max* L.) by reverse yield method. *Agriculture Sciences and Natural Resources*, 100-85.
24. Rezvani Moghaddam, P. & Moradi, R. (2012). Assessment of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil of cumin and fenugreek. *Iranian Journal of Field Crop Sciences,* 2, 217-230. (In Persian).
25. Samiran, R., Kusum, A., Biman, K. D. & Ayanadar, A. (2010). Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. *Applied Soil Ecology*, 45, 78-84.
26. Schröder, D. & Köpke, U. (2012). Faba bean (*Vicia faba* L.) intercropped with oil crops: A strategy to enhance rooting density and to optimize nitrogen use and grain production? *Field Crop Research*, 135, 74–81.
27. Shaygan, M., Mazaheri, D., Rahimian Mashhadi, H. & Peyghambari, S. A. (2008). Effect of planting date and intercropping maize (*Zea mays* L.) and foxtail millet (*Setaria italica* L.) on their grain yield and weeds control. *Iranian Journal of Crop Sciences,* 10, 31-46. (In Persian).
28. Somasegaran, P. & Hoben, H. J. (1994). Handbook for rhizobia: methods in legume-rhizobium technology. New York. *Springer-Verlag*, USA.
29. Sullivan, P. (2003). Applying the principle of sustainable farming. ATTRA National Sustainable Agriculture Information Service. Tehran Jehad Daneshgahi Press.45 Pp.

30. Thobatsi, T. (2009). Growth and yield responses of maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L) in an intercropping system. MSc Thesis, University of Pretoria. 149 pp.
31. Valdez-Perez, M. A., Fernandez-Luqueno, F., Hernandez, F., Flores Cotera, L. B. & dendooven, L. (2011). Cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in limed or unlimed wastewater sluge, vermicompost or inorganic amended soil. *Scientia Horticulturae*, 128, 380-387.
32. Vandermeer, J. H. (1989). *The Ecology of intercropping,* Cambridge University Press, 297 pp.
33. Vrignon-Brenas, S., Celette, F., Piquet-Pissaloux, A., Jeuffroy, M. H. & Davi, C. (2016). Early assessment of ecological services provided by forage legumes in relay intercropping. *European Journal of Agronomy*, 75, 89-98.