نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 7، شماره 4، زمستان 1394، ص. 498-485

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 4, Winter 2016, p. 485-498

بررسی جنبه‌های اکولوژیکی الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی سویا (*Glycine max* L.) و ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.)

گودرز احمدوند[1*] و سمیه حاجی‌نیا[2]

تاریخ دریافت: 1393/11/04
تاریخ پذیرش: 1394/01/26

احمدوند، گ.، و حاجی‌نیا، س.، 1394. بررسی جنبه‌های اکولوژیکی الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی سویا (*Glycine max* L.) و ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، 7(4): 498-485.

چکیده

کشت مخلوط می‌تواند به عنوان یکی از راه‌های افزایش عملکرد و پایداری تولید در واحد سطح مطرح باشد. به منظور بررسی اثر کشت مخلوط جایگزینی سویا (*Glycine max* L.) و ارزن (*Panicum miliaceum* L.) بر خصوصیات زراعی، تنوع علف‌های هرز و فعالیت زیستی خاک، آزمایشی در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا در سال زراعی 1393، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل پنج الگوی کشت مخلوط جایگزینی (25 درصد ارزن + 75 درصد سویا (75S: 25M)، 50 درصد ارزن + 50 درصد سویا (50S: 50M)، 75 درصد ارزن + 25 درصد سویا (25S: 75M) و تک‌کشتی سویا و ارزن) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تک‌کشتی سویا و ارزن به ترتیب با 219/8 و 171/9 گرم بر مترمربع، حاصل شد. کشت مخلوط باعث کاهش حداکثر شاخص سطح برگ و افزایش میزان کلروفیل برگ سویا و ارزن گردید. بیشترین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته سویا و بیشترین تعداد خوشه در بوته ارزن در تیمار 50S: 50M به دست آمد. میزان تنفس خاک به طور متوسط در تیمارهای کشت مخلوط به ترتیب چهار و هشت درصد بیشتر از تک‌کشتی سویا و ارزن بود. الگوهای کاشت 50S: 50M و 25S: 75M در کاهش تراکم و تنوع علف‌های هرز موفق‌تر از تک‌کشتی سویا بودند. ارزیابی نسبت برابری زمین نشان‌دهنده برتری تمام نسبت‌های کشت مخلوط سویا و ارزن بر تک‌کشتی آن‌ها بود و تیمار 50S: 50M بیشترین نسبت برابری زمین (1/20) را به خود اختصاص داد. سویا و ارزن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، افت واقعی عملکرد نداشتند. محاسبه ضریب غالبیت نشان داد که ارزن از غالبیت بیشتری نسبت به سویا برخودار بود.

واژه‌های کلیدی: تنفس خاک، شاخص‌های تنوع، شاخص‌های رقابت، نسبت برابری زمین

مقدمه

با توجه به روند رو به رشد جمعیت و محدودیت اراضی قابل کشت در جهان و نیز کشور ما، افزایش تولید با صرف هزینه‌های زیاد در واحد سطح، امکان‌پذیر می‌باشد. علاوه بر این کاربرد بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی نظیر کودها، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها تخریب منابع آب و خاک را به همراه دارد (Poggio, 2005). از این‌رو پژوهشگران سعی دارند تا با طراحی و اجرای سامانه‌های برخوردار از پایداری و عملکرد بالا، امنیت غذایی را تأمین نمایند. نکته حائز اهمیت در نظام کشاورزی پایدار، افزایش تولید محصولات کشاورزی در زمان و مکان می‌باشد که به شکل دیگری بتوان از عوامل محیطی بهره برد (Thorsted et al., 2006).

یکی از روش‌های ایجاد پایداری و حفظ سلامت تولید در بوم-نظام‌های کشاورزی استفاده از روش‌های کشت مخلوط است. کشت مخلوط به عنوان یکی از شیوه‌های زراعی هم راستا با اهداف

1 و 2- به ترتیب دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات و دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان
(*- نویسنده مسئول: Email: gahmadvand@basu.ac.ir)

اکولوژیک (Raei et al., 2011)، افزایش کارایی مصرف منابع (Mushagalusa et al., 2008) و پایداری عملکرد (Darbaghsahi et al., 2012) را به همراه دارد. این شیوه یکی از نظام‌های کشاورزی پایدار در کشاورزی است که در بیشتر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه اجرا می‌شود (Maffei & Mucciarelli, 2003). از این-رو در بسیاری از پژوهش‌ها از آن با عنوان کاربرد عملی قوانین پایه اکولوژی مانند تنوع و رقابت یاد می‌شود (Shoeny et al., 2010). کشت مخلوط به دلیل فراهم نمودن شرایط، به منظور استفاده کارآمدتر از منابع و کاهش تداخل علف‌های‌هرز، حشرات و آفات، اغلب بازده بیشتری نسبت به تک‌کشتی اجزای خود دارد (Echarte et al., 2011). بهره‌برداری بیشتر از عوامل محیطی نیازمند تیپ ایده‌آل گیاه زراعی است، که قادر باشد در کمترین زمان تمام آشیان اکولوژیک ممکن را به طور کامل اشغال کند و از منابع و امکانات محیطی استفاده بیشتری ببرد (Banik et al., 2006).

یکی از موفق‌ترین سیستم‌های کشت مخلوط سیستمی است که در آن بقولات در مخلوط با یک گیاه غیربقولات کشت شده و در اغلب حالات سبب برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌شود، که دلیل آن توانایی تثبیت زیستی نیتروژن اتمسفری توسط بقولات است که مزیت‌های اکولوژیکی فراوانی به دنبال دارد (Javanshir et al., 2000). گزارش شده است که در الگوی کشت مخلوط، غلات به دلیل رشد سریع‌تر و عمیق‌تر و هم‌چنین نیازمندی زیادتر به نیتروژن از درجه رقابت‌کنندگی بیشتری برای نیتروژن معدنی خاک در مقایسه با بقولات برخودار می‌باشند (Lithourgidis et al., 2011).

سویا (*Glycine max* L.) از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی محسوب می‌شود و با دارا بودن 20 درصد روغن و 40 درصد پروتئین، یکی از منابع عمده تولید روغن و پروتئین گیاهی است و از نظر تولید روغن در سطح جهان، مقام اول را در بین گیاهان روغنی دارد (Shahmoradi, 2003). بنابراین پتانسیل زیادی برای گسترش کشت این گیاه در الگوی کشت مخلوط وجود دارد.

ارزن (*Panicum miliaceum* L.) نیز گیاهی است که به دلیل ویژگی‌های مطلوب از جمله سیستم فتوسنتزی چهارکربنه، کیفیت مطلوب علوفه به دلیل قابلیت هضم بالا، درصد پروتئین بالا (16 تا 30 درصد) و عدم برخوداری از ترکیبات سمی، تحمل کم‌آبی و رشد سریع، به عنوان گیاهی مطلوب برای تولید علوفه و دانه به خصوص در کشت مخلوط مطرح بوده است (Safari, 2007). تحقیقات نشان داده است که در بیشتر موارد کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای ضمن تولید علوفه با کیفیت، حفاظت فیزیکی بوته‌ها از خطر ورس و کنترل رشد علف‌های هرز در افزایش عملکرد دانه این گیاهان به دلیل جلوگیری از خوابیدگی مؤثر می‌باشد (Lithourgidis et al., 2011). محمد و همکاران (Mohammed et al., 2008) در ارتباط با سابقه کشت مخلوط دو گونه ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) اظهار داشتند که کشت مخلوط این دو گونه، کشت غالب در مناطق ساحلی غرب آفریقا و سودان می‌باشد. در این مناطق، ارزن به عنوان گیاه زراعی غالب در تغذیه مردم و لوبیا چشم‌بلبلی به عنوان منبع غنی از پروتئین مطرح می‌باشد. در بررسی کشت مخلوط ارزن نوتریفید (*Pennisetum glaucm* L.) با ماشک زراعی (*Vicia sativa* L.)، عملکرد مخلوط در مقایسه با کشت خالص محصولات و نسبت برابری زمین (LER)[1] بالاتر بود که این امر به دلیل بهره‌گیری ارزن از بقایای نیتروژن ماشک و کاهش رقابت بین‌گونه‌ای بوده است (Siousmehr et al., 2003).

یکی از راهکارهای بررسی بهره‌وری کشت مخلوط، استفاده از شاخص‌های سودمندی است. در این میان نسبت برابری زمین در ارزیابی مزیت سیستم کشت مخلوط به تک‌کشتی، بیشترین کاربرد را دارد و توانایی رقابت گونه‌ها در این نوع سیستم کشت اغلب با برآورد ضرایب ازدحامی، غالبیت نسبی و افت واقعی عملکرد تعیین و گونه غالب مشخص می‌گردد (Dhima et al., 2007; Banik et al., 2006).

با توجه به اهمیت کشت مخلوط در جهت تحقق اهداف کشاورزی پایدار، این پژوهش با هدف تعیین بهترین ترکیب کشت برای استفاده بهینه از منابع موجود با حداقل رقابت در کشت مخلوط، اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان در بهار سال 1393 واقع در روستای دستجرد با عرض جغرافیایی 35 درجه و یک دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 48 درجه و 31 دقیقه شرقی و ارتفاع 1690 متر از سطح دریا، اجرا گردید.

1- Land equivalent ratio

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق 30-0 سانتی‌متری خاک)

Table 1- Physical and chemical characteristics of experimental field soil (soil depth 0-30 cm)

بافت Texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	درصد کربن آلی OC (%)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام) P (ppm)	پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام) K (ppm)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)
لومی Loam	0.38	7.5	0.6	20	458	0.06

بافت خاک محل آزمایش لومی و سال قبل از اجرای آزمایش به صورت آیش بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش در جدول 1 ارائه شده است. آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل الگوی کاشت جایگزینی در پنج سطح (تک‌کشتی سویا (100S)، تک‌کشتی ارزن (100M)، کشت مخلوط جایگزینی 25 درصد سویا + 75 درصد ارزن (25S: 75M)، 50 درصد سویا + 50 درصد ارزن (50S: 50M) و 75 درصد سویا + 25 درصد ارزن (75S: 25M) بودند.

عملیات کاشت سویا (رقم M9) و ارزن معمولی به صورت همزمان در چهار خرداد ماه در کرت‌هایی شش ردیفه با طول چهار متر و فاصله بین ردیف 50 سانتی‌متر انجام شد. فاصله نهایی بوته‌ها روی خطوط کاشت در هر دو گیاه، پنج سانتی‌متر بود. کاشت بذر با تراکم بیشتر از حد مورد نظر انجام و برای دست‌یابی به تراکم مطلوب سویا و ارزن (40 بوته در مترمربع) گیاهان در مرحله 6-4 برگی تنک شدند. اولین آبیاری پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یک بار به صورت جوی و پشته‌ای (نشتی) انجام گرفت.

با توجه به تراکم بالای علف‌های‌هرز، در مراحل اولیه رشد بعد از استقرار کامل گیاه، در همه واحدهای آزمایشی علف‌های هرز با دست وجین شدند. جهت بررسی تنوع گونه‌ای علف‌های هرز در پایان فصل رشد و قبل از برداشت، در هر تیمار با کوآدرات 1×1 مترمربع اقدام به نمونه‌برداری تصادفی از علف‌های هرز شد. علف‌های هرز موجود در هر کوآدرات به تفکیک گونه شناسایی و شمارش گردیدند. برای محاسبه میزان تنوع گونه‌ای علف‌های هرز در هر تیمار از شاخص‌های اکولوژیکی (شاخص تنوع شانون- وینر) استفاده گردید (Booth et al., 2003).

معادله (1) $H' = -\sum_{i=1}^{s}[P_i \, Ln(P_i)]$, $P_i = n_i/N$

که در این معادله، N: تعداد کل افراد، n_i: تعداد افراد مربوط به گونه i و S: تعداد گونه می‌باشد.

در مرحله گل‌دهی از هر کرت پنج بوته برداشت و سطح برگ و میزان کلروفیل اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت کلروفیل کل از روش آرنون (Arnon, 1949) و استون 80 درصد استفاده شد. جذب نوری کلروفیل در طول موج‌های 645 و 663 نانومتر خوانده شد و با استفاده از فرمول مربوطه غلظت کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم برگ تازه به دست آمد.

برای تعیین عملکرد نهایی، ارزن در تاریخ 20 شهریور و سویا در نه مهر با لحاظ حاشیه، سطحی معادل دو مترمربع برداشت شد. پیش از برداشت، تعداد پنج بوته از هر گیاه و از هر واحد آزمایشی به طور تصادفی برداشت شده و صفاتی از قبیل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه در سویا و تعداد خوشه در بوته، وزن صد دانه و ارتفاع بوته، در ارزن، اندازه‌گیری و تعیین گردید.

برای تعیین میزان تنفس خاک به روش اندرسون (Anderson, 1982) قبل از برداشت، مقدار دی‌اکسیدکربن آزاد شده محاسبه و بر حسب میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در کیلوگرم خاک در روز برای هر تیمار تعیین گردید.

برای محاسبه میزان سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی و هم‌چنین بررسی اثرات رقابتی بین گیاهان سویا و ارزن در کشت مخلوط، از شاخص‌های مختلف ارزیابی کشت مخلوط و رقابت به شرح ذیل استفاده شد (Dhima et al., 2007; Banik et al., 1996).

معادله (2) $LER = \frac{Y_{sm}}{Y_{ss}} + \frac{Y_{ms}}{Y_{mm}}$

که در این معادله، Y_{sm} و Y_{ss}:به ترتیب عملکرد سویا در کشت مخلوط و خالص و Y_{ms} و Y_{mm}: به ترتیب عملکرد ارزن در کشت مخلوط و خالص می‌باشد.

معادله (3)
$$A_{soybean} = \frac{Y_{sm}}{Y_{ss} \times Z_{sm}} - \frac{Y_{ms}}{Y_{mm} \times Z_{ms}}$$
$$A_{millet} = \frac{Y_{ms}}{Y_{mm} \times Z_{ms}} - \frac{Y_{sm}}{Y_{ss} \times Z_{sm}}$$

Z_{sm}: نسبت مخلوط گیاه سویا و Z_{ms}: نسبت مخلوط گیاه ارزن است.

معادله (4)

$$AYL_{soybean}=\left(\left(\frac{Y_{sm}}{Z_{sm}}\right)/\left(\frac{Y_{ss}}{Z_{ss}}\right)\right)-1$$

$$AYL_{millet}=\left(\left(\frac{Y_{ms}}{Z_{ms}}\right)/\left(\frac{Y_{mm}}{Z_{mm}}\right)\right)-1,$$

$$AYL=AYL_{soybean}+AYL_{millet}$$

تجزیه آماری داده‌های آزمایش با نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر الگوهای کشت مخلوط جایگزینی بر حداکثر شاخص سطح برگ در سطح یک درصد و بر میزان کلروفیل برگ در سطح پنج درصد در سویا و ارزن معنی‌دار گردید (جدول 2). کشت مخلوط جایگزینی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته سویا داشت ($p\leq 0/05$)، اما اثر آن بر ارتفاع بوته ارزن معنی‌دار نبود (جدول 2).

در طی مراحل رشد، حداکثر شاخص سطح برگ سویا و ارزن به ترتیب 70 و80 روز پس از سبز شدن مشاهده شد. بیشترین شاخص سطح برگ سویا (7/21) در تک‌کشتی سویا به دست آمد و با افزایش سهم ارزن در کشت مخلوط، میزان شاخص سطح برگ سویا کاهش یافت. بنابراین در الگوهای کشت مخلوط، نسبت 75S: 25M که در آن سویا بیشترین تراکم را دارد بالاترین شاخص سطح برگ را در کشت مخلوط دارا بود، به طوری‌که با تیمار کشت خالص سویا اختلافی نداشت (جدول 3).

جدول 2- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر حداکثر شاخص سطح برگ، کلروفیل کل برگ، ارتفاع بوته سویا و ارزن

Table 2- Analysis of variance (mean squares) for leaf area index max (LAI_{max}), total leaf chlorophyll and plant height in different replacement intercropping patterns of soybean and millet

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سویا Soybean			ارزن معمولی Millet		
		حداکثر شاخص سطح برگ LAI_{max}	کلروفیل کل Total chlorophyll	ارتفاع بوته Plant height	حداکثر شاخص سطح برگ LAI_{max}	کلروفیل کل Total chlorophyll	ارتفاع بوته Plant height
تکرار Replication	2	0.5950^{ns}	0.00059^{ns}	2.255^{ns}	0.0137^{ns}	0.00628^{ns}	1.353^{ns}
کشت مخلوط Intercropping	3	17.724^{**}	0.0015^{*}	32.738^{*}	5.322^{**}	0.0420^{*}	0.142^{ns}
خطا Error	6	1.4577	0.00042	3.916	0.3701	0.00673	1.6382
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		24.43	3.39	2.87	21.86	9.14	1.853

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

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

بیشترین شاخص سطح برگ ارزن (4/20) نیز در کشت خالص حاصل شد که البته با توجه به تراکم بالاتر ارزن در این تیمار منطقی به نظر می‌رسد و کمترین شاخص سطح برگ ارزن در تیماری به دست آمد که ارزن در آن کمترین تراکم را داشت (جدول 3).

نتایج آزمایشی که بر روی ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) انجام شد، نشان داد که شاخص سطح برگ دو گیاه در کشت خالص بالاتر از کشت مخلوط بود (Rezvan Beydokhti, 2005). همچنین شیوارائوم و شیواشانکار (Shivaraum & Shivashankar, 1994) در

پژوهش خود روی کشت مخلوط آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و سویا گزارش کردند هر دو گیاه در کشت خالص، سطح برگ بیشتری نسبت به کشت مخلوط دارا بودند. آن‌ها همچنین عنوان کردند هر چه تراکم در کشت مخلوط افزایش یافت از میزان شاخص سطح برگ کاسته شد.

در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط سویا و ارزن، میزان کلروفیل هر دو گیاه به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول 3). مقدار کلروفیل برگ در مرحله گل‌دهی در کشت مخلوط جایگزینی سویا و ارزن به طور میانگین 8/77 و 24/15 درصد نسبت به تک‌کشتی سویا و ارزن افزایش نشان داد (جدول 3).

احتمالاً دلیل افزایش میزان کلروفیل در کشت مخلوط، افزایش سایه‌اندازی بوته‌ها روی یکدیگر می‌باشد. به عبارت دیگر، گیاه زراعی در شرایط سایه‌اندازی برای به دام انداختن هر چه بیشتر نور برای تولید فتوآسمیلات میزان کلروفیل برگ خود را افزایش می‌دهد. این نتایج با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Lin et al., 2007). نامبردگان اظهار داشتند که در کشت‌های مخلوط در برگیرنده بقولات و غلات، به دلیل تثبیت نیتروژن توسط بقولات و افزایش کلروفیل برگ، کارایی مصرف نور افزایش می‌یابد. قوش و همکاران (Ghosh et al., 2006) در کشت مخلوط سویا و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) گزارش کردند که میزان کلروفیل سورگوم در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص همواره بالاتر بوده است، آنان علت این امر را به سایه‌اندازی این دو گیاه روی همدیگر و نیتروژن تثبیت شده توسط سویا نسبت دادند. از این‌رو، به نظر می‌رسد که در پژوهش حاضر نیز به موازات افزایش سایه‌اندازی در کانوپی مخلوط و احتمالاً تثبیت نیتروژن توسط سویا و از طرفی دیگر به دلیل استفاده بهینه و بالاتر ارزن از نیتروژن موجود در خاک، میزان کلروفیل برگ افزایش یافته است.

بیشترین ارتفاع بوته سویا در نسبت‌های 50S: 50M و 25S: 75M حاصل شد که به ترتیب 12/34 و 6/48 درصد ارتفاع بوته را نسبت به تک‌کشتی سویا افزایش دادند (جدول 3).

ارتفاع ارزن واکنش معنی‌داری به کشت مخلوط نشان نداد (جدول 3). باریبوتسا و همکاران (Baributsa et al., 2008) گزارش کردند که با افزایش تراکم در کشت مخلوط درهم ذرت و شبدر (*Trifolium resupinatum* L.) عملکرد هر دو گیاه افزایش یافت ولی ارتفاع ذرت در تراکم‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نشان نداد. به نظر می‌رسد که عدم تأثیر معنی‌دار کشت مخلوط بر ارتفاع ارزن، پتانسیل بالای این گیاه برای سازگاری با تغییر تراکم بوده است.

تداخل حضور ارزن در میان ردیف‌های سویا، افزایش ارتفاع سویا را به دنبال داشت. همچنین اسلامی‌خلیلی و همکاران (Eslami Khalili et al., 2011) حداکثر ارتفاع بوته باقلا (*Vicia faba* L.) در مخلوط با جو (*Hordeum vulgare* L.) را در تیمارهای 25 و 75 درصد باقلا گزارش نمودند.

ردفیارن و همکاران (Redfearn et al., 1999) بیان داشتند افزایش ارتفاع بوته سویا در کشت مخلوط با سورگوم به دلیل سایه‌اندازی توسط گیاه بلندتر و در اثر افزایش طول میان‌گره‌ها است. بنابراین با جایگزین شدن ارزن، به دلیل رقابت برای کسب نور و منابع محیطی، ارتفاع سویا افزایش یافت. به بیان دیگر به نظر می‌رسد که بوته‌های ارزن به دلیل سایه‌اندازی روی سویا، باعث کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور شده و در نتیجه این امر ارتفاع بوته سویا افزایش یافته است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر الگوهای کشت جایگزینی بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته سویا در سطح پنج درصد و بر وزن صد دانه سویا در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول 4). اثر کشت مخلوط بر تعداد خوشه در بوته ارزن نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر وزن صد دانه ارزن نداشت (جدول 4).

در الگوهای مختلف کشت مخلوط سویا بیشترین تعداد غلاف در بوته در نسبت‌های 50S: 50M و 25S: 75M (به ترتیب 38/25 و 37/30 غلاف در بوته) به دست آمد (جدول 5). میزان افزایش تعداد غلاف در بوته سویا در نسبت‌های 50S: 50M و 25S: 75M در مقایسه با تیمار کشت خالص به ترتیب معادل 9/80 و 7/19 درصد بود (جدول 5).

جدول 3- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر حداکثر شاخص سطح برگ، کلروفیل برگ، ارتفاع بوته سویا و ارزن

Table 3- The effect of different replacement intercropping patterns on leaf area index max (LAI_{max}), total chlorophyll and plant height of soybean and millet

نسبت‌های کاشت Planting ratios	سویا Soybean			ارزن معمولی Millet		
	حداکثر شاخص سطح برگ LAI_{max}	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن خشک) Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	حداکثر شاخص سطح برگ LAI_{max}	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن خشک) Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)
100S: 0M	7.21^{a*}	0.57^{b}	64.8^{c}			
0S: 100M				4.20^{a}	0.759^{b}	69.3^{a}
75S: 25M	6.57^{a}	0.61^{a}	$68.3b^{c}$	1.07^{c}	0.996^{a}	68.9^{a}
50S: 50M	4.07^{b}	0.62^{a}	72.8^{a}	2.52^{b}	0.995^{a}	69.0^{a}
25S: 75M	1.92^{b}	0.63^{a}	69.0^{ab}	3.33^{ab}	0.836^{ab}	68.9^{a}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncan' s multiple range test ($p \leq 0.05$).

جدول 4- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر اجزای عملکرد دانه سویا و ارزن

Table 4- Analysis of variance (mean squares) of the effect of different replacement intercropping patterns of soybean and millet on yield components

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سویا Soybean			ارزن معمولی Millet	
		تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن صد دانه 100- Seed weight	تعداد خوشه در بوته Number of panicles per plant	وزن صد دانه 100- Seed weight
تکرار Replication	2	2.696^{ns}	384.7^{*}	0.01333^{ns}	0.1514^{ns}	0.00043^{ns}
کشت مخلوط Intercropping	3	6.1339^{*}	313.5^{*}	0.9355^{**}	0.7278^{*}	0.000031^{ns}
خطا Error	6	0.6782	37.15	0.0588	0.08476	0.000265
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		2.24	5.89	1.80	4.16	2.51

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

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

تعداد غلاف در بوته مهمترین و تأثیرگذارترین جزء عملکرد در سویا می‌باشد. افزایش تعداد غلاف در بوته سویا در کشت مخلوط می‌تواند به دلیل کاهش رقابت درون‌گونه‌ای باشد. کاهش تعداد غلاف در تک‌کشتی سویا می‌تواند به علت افزایش سایه‌اندازی بوته‌ها روی یکدیگر و کاهش نفوذ نور باشد. در این زمینه مظاهری و همکاران (Mazaheri et al., 2002) گزارش کردند که با افزایش تراکم، تعداد غلاف در بوته سویا به علت رقابت درون‌گونه‌ای به شدت کاهش یافته است. بنابراین به نظر می‌رسد که نسبت کاشت 50S: 50M با ایجاد ساختار کانوپی موجی و وجود فضای مناسب در الگوهای مختلف کشت مخلوط، سبب استفاده بهینه از عوامل محیطی و در نتیجه افزایش تعداد غلاف در بوته شده است. که با نتایج سایر محققان مطابقت داشت (Egli & Bruening, 2005).

تعداد دانه در بوته سویا در همه الگوهای کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص بود (جدول 5). میزان افزایش تعداد دانه در بوته سویا در نسبت‌های 50S: 50M، 25S: 75M و 75S: 25M در مقایسه با تیمار کشت خالص، به ترتیب معادل 27/55، 15/07 و 13/65 درصد

بود (جدول 5).

نسبت 50M: 50S هم از نظر تعداد غلاف در بوته و هم از نظر تعداد دانه در بوته از سایر تیمارهای کشت مخلوط بالاتر بود. از این نظر قابل توجیه است که کشت ردیفی یک در میان به خاطر عدم حضور گیاهان هم نوع در ردیف‌های مجاور، کمترین رقابت درون‌گونه‌ای را ایجاد می‌کند. دلیل اصلی تعداد دانه بالاتر در بوته، تعداد غلاف بالاتر است. در این زمینه جهانی و همکاران (Jahani et al., 2008) افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف عدس (*Lens culinaris* Medikus.) و مخلوط زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) را نسبت به تک‌کشتی آن گزارش نمودند. در این مطالعه رقابت درون‌گونه‌ای در کشت خالص بر روی تعداد دانه در غلاف اثر گذاشته و با افزایش رقابت درون‌گونه‌ای از تعداد دانه در واحد سطح کاسته شد. تعداد غلاف در بوته سویا در کشت مخلوط سویا و نعناع (*Mentha piperita* L.) بالاتر از کشت خالص سویا بود و عامل اصلی تعداد دانه بالاتر در بوته تعداد غلاف بالاتر گزارش گردید (Maffei & Mucciarelli, 2003).

وزن صد دانه در تیمار تک‌کشتی بیشتر از کشت مخلوط سویا بود. الگوهای کشت مخلوط جایگزینی در مقایسه با کشت خالص به ترتیب 6/34، 9/15 و 6/34 درصد، وزن صد دانه سویا را کاهش دادند (جدول 5).

با افزایش تعداد دانه در بوته از وزن صد دانه کاسته شد. به دلیل کمتر بودن تعداد دانه در غلاف در کشت خالص، مواد فتوسنتزی بیشتری در اختیار دانه‌ها قرار گرفته و باعث بیشتر شدن وزن آن‌ها می‌شود. وزن دانه‌ها تابع توانایی گیاه در تأمین مواد پرورده برای مخزن‌ها و همچنین شرایط محیطی از قبیل رطوبت و عناصر غذایی در هنگام پر شدن دانه‌ها می‌باشد. لذا هر چه تعداد مخازن کمتر باشد سهم هر مخزن از مواد پرورده موجود افزایش می‌یابد و در نتیجه دانه‌ها درشت‌تر و وزن آن‌ها افزایش می‌یابد (Baqual et al., 2006).

تعداد خوشه در بوته ارزن در کشت مخلوط بیش از تعداد آن در تک‌کشتی بود. میزان افزایش تعداد خوشه در بوته ارزن در تیمارهای 50S: 50M و 25S: 75M و 75S: 25Mدر مقایسه با تیمار کشت خالص به ترتیب معادل 14/28، 11/11 و 18/86 درصد بود (جدول 5).

به نظر می‌رسد تراکم‌های پایین ارزن در کشت مخلوط فضایی بیشتری را در اختیار گیاه برای گسترش تعداد پنجه قرار داده است. کاهش رقابت درون‌گونه‌ای، توزیع مناسب‌تر نفوذ نور و استفاده بیشتر از نیتروژن به ویژه در نسبت‌های 75S: 25Mو 50S: 50M وضعیت مناسبی برای تعداد خوشه در بوته ارزن فراهم کرده است.

وزن صد دانه ارزن تحت تأثیر الگوی کشت مخلوط با سویا قرار نگرفت (جدول 5).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر الگوهای کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد بیولوژیک و دانه سویا و ارزن ($p\leq0/01$) معنی‌دار بود، اما شاخص برداشت در هر دو گیاه تحت تأثیر الگوی کشت مخلوط قرار نگرفت (جدول 6).

جدول 5- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر اجزای عملکرد دانه سویا و ارزن

Table 5- The effect of different replacement intercropping patterns on yield components of soybean and millet

نسبت‌های کاشت Planting ratios	سویا Soybean			ارزن معمولی Millet	
	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	وزن صد دانه (گرم) 100- Seed weight (g)	تعداد خوشه در بوته Number of panicles per plant	وزن صد دانه (گرم) 100- Seed weight (g)
100S: 0M	34.8[c*]	90.55[b]	14.2[a]		
0S: 100M				6.31[b]	0.652[a]
75S: 25M	36.3[bc]	104.2[a]	13.3[b]	7.5[a]	0.64[a]
50S: 50M	38.2[a]	115.5[a]	12.9[b]	7.2[a]	0.64[a]
25S: 75M	37.3[ab]	102.9[a]	13.3[b]	7.0[a]	0.64[a]

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncan' s multiple range test ($p\leq0.05$).

جدول 6- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت سویا و ارزن

Table 6- Analysis of variance (mean squares) for biological yield, grain yield, harvest index (HI) in different replacement intercropping patterns of soybean and millet

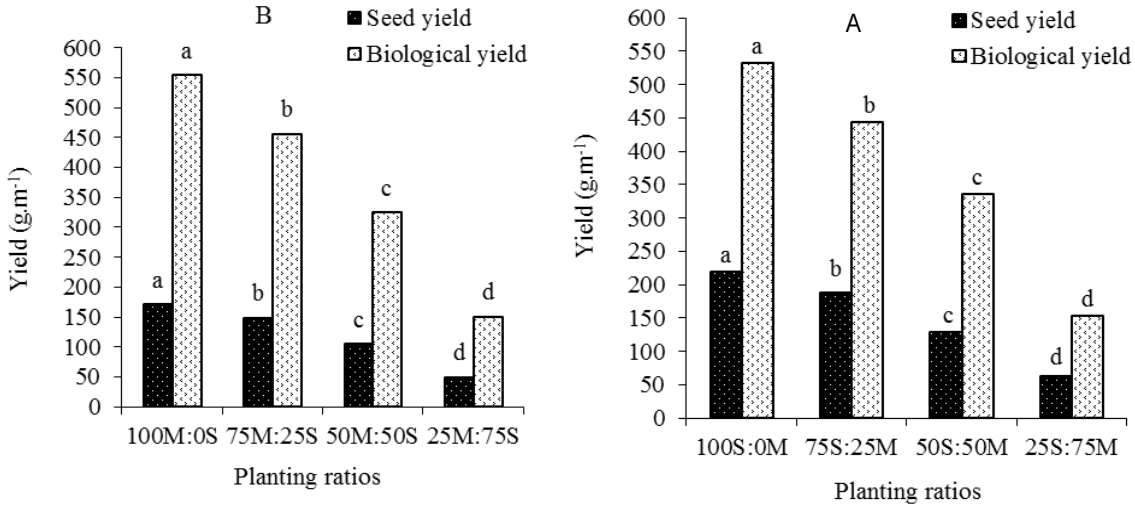
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سویا Soybean			ارزن معمولی Millet		
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت HI	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت HI
تکرار Replication	2	1442.5^{ns}	107.57^{ns}	24.89^{*}	277.66^{ns}	9.313^{ns}	1.957^{ns}
کشت مخلوط Intercropping	3	80384^{*}	14203^{**}	8.134^{ns}	91165.72^{**}	8679.61^{**}	2.066^{ns}
خطا Error	6	452.94	63.83	4.51	575.21	6.828	1.874
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.81	5.33	5.19	6.44	2.191	4.23

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

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

در بین الگوهای کشت مخلوط، بیشترین عملکرد بیولوژیک در کشت خالص سویا و ارزن به ترتیب با 532 و 554 گرم ماده خشک در مترمربع، به دست آمد. بیشترین عملکرد دانه نیز در کشت خالص سویا و ارزن به ترتیب با 219 و 172 گرم دانه در مترمربع، مشاهده شد (شکل 1).

افزایش نسبت هر یک از دو گیاه ارزن و سویا در سطوح مختلف کشت مخلوط افزایش عملکرد آن را به دنبال داشت. توسلی و همکاران (Tavassoli et al., 2010) نیز در مطالعه ارزن و لوبیا قرمز، مشاهده کردند که عملکرد دانه ارزن و لوبیا در کشت خالص بیشتر از کشت‌های مخلوط بود. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2010) در کشت مخلوط ارزن دانه‌ای با لوبیا چشم‌بلبلی، بالا بودن عملکرد دانه ارزن دانه‌ای در کشت خالص را بیشتر از مخلوط گزارش کرده‌اند.



شکل 1- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه سویا (A) و ارزن (B)

Fig. 1- The effect of different replacement intercropping patterns of soybean and millet on the biological and seed yield of soybean (A) and millet (B)

جدول 7- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تراکم بوته، شاخص تنوع شانون علف‌های هرز و تنفس خاک در کشت مخلوط جایگزینی سویا و ارزن

Table 7- Analysis of variance (mean squares) of weed density, Shannon- Weiner index and soil respiration at replacement intercropping of soybean and millet

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تراکم بوته علف‌های هرز Weed density	شاخص شانون- وینر Shannon-Weiner index	تنفس خاک Soil respiration
تکرار Replication	2	3.2000^{ns}	0.00456^{ns}	1.246*
کشت مخلوط Intercropping	4	120.567**	0.5914**	6.906**
خطا Error	8	3.1166	0.0498	0.1504
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		11.46	21.21	1.73

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

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

اثر الگوهای مختلف کشت جایگزینی بر تراکم بوته، شاخص تنوع شانون- وینر علف‌های هرز و تنفس خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول 7).

تک‌کشتی سویا با 34 بوته در مترمربع، بیشترین تراکم بوته علف‌های هرز را در واحد سطح به خود اختصاص داد و با افزایش نسبت ارزن در کشت مخلوط از میزان تراکم علف‌های هرز کاسته شد (جدول 8). میزان کاهش تراکم کل بوته علف‌های هرز در الگوی 50S: 50M و 75S: 25M در مقایسه با تک‌کشتی سویا به ترتیب معادل 43/25 و 34/62 درصد بود. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2010) در کشت مخلوط ارزن دانه‌ای با لوبیا چشم‌بلبلی نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند.

با افزایش نسبت ارزن در کشت مخلوط، شاخص تنوع علف‌های هرز به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین مقدار شاخص تنوع شانون- وینر در تک‌کشتی سویا و 75S: 25M به ترتیب به میزان 1/70 و 1/59 به دست آمد. میزان کاهش تنوع شانون- وینر در تیمارهای 50S: 50M و 25S: 75M نسبت به تک‌کشتی سویا به طور متوسط معادل 42/05 درصد بود (جدول 8).

به نظر می‌رسد که کشت گیاهان علوفه‌ای در کشت مخلوط نتیجه مطلوبی در کنترل علف‌های هرز خواهد داشت. پس می‌توان نتیجه گرفت در صورت انتخاب صحیح اجزای مخلوط و تراکم مناسب برای هر یک از آن‌ها، می‌توان از این شیوه برای مدیریت علف‌های هرز با تکیه بر اصول کشاورزی پایدار بهره برد.

بیشترین مقدار تنفس خاک در الگوهای مختلف کشت مخلوط حاصل شد. میزان افزایش تنفس خاک در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی سویا و ارزن به ترتیب 4/59 و 8/14 درصد بودند (جدول 8). آزاد شدن دی‌اکسیدکربن شاخصی از تجزیه مواد آلی و یا فعالیت موجودات خاکزی در یک اکوسیستم می‌باشد (Garcia Orenes et al., 2007). کشت مخلوط باعث افزایش معدنی شدن و همین‌طور جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک شده و همزمان بهبود تهویه خاک و در نتیجه افزایش انتشار گاز دی‌اکسید را به دنبال داشته است. شاید یکی از دلایل افزایش تنفس خاک در کشت مخلوط، تنوع بیشتر گیاهان وتجمع مواد آلی و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک باشد.

نسبت برابری زمین به عنوان یک شاخص مهم جهت ارزیابی کارایی کشت مخلوط مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج این آزمایش نشان داد که در تمام نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی ارزن و سویا مقدار این شاخص بیشتر از یک بود که این امر نشان‌دهنده سودمندی اجرای این الگوی کشت مخلوط در افزایش بهره‌وری از منابع می‌باشد (جدول 9). نتایج نشان داد که تیمار 50S: 50M بالاترین نسبت برابری زمین (1/20) را به خود اختصاص داد که معادل 20 درصد افزایش سودمندی زراعی نسبت به کشت خالص دو گونه بود. علی‌زاده و همکاران (Alizadeh et al., 2010) در کشت مخلوط ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و لوبیا نشان دادند که تقریبا تمامی تیمارهای کشت مخلوط بر کشت خالص آن‌ها برتری دارد، به طوری که بالاترین نسبت برابری زمین را برابر 1/22 گزارش کردند، که 22 درصد افزایش سودمندی نسبت به تک‌کشتی دو گونه داشت.

جدول 8- مقایسه میانگین تراکم بوته، شاخص تنوع شانون- وینر علف‌های هرز و تنفس خاک در کشت مخلوط جایگزینی سویا و ارزن معمولی
Table 8- Mean comparison of weed density, Shannon-Weiner index and soil respiration at replacement intercropping patterns of soybean and millet.

نسبت‌های کاشت Planting ratios	تراکم بوته علف‌های هرز (بوته در مترمربع) Plant density (plant.m^{-2})	شاخص شانون- وینر Shannon-Weiner index	تنفس خاک (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در کیلوگرم خاک در روز) Soil respiration ($mg_{CO2}.kg^{-1}$ soil.day^{-1})
100S: 0M	34.66[a*]	1.70[a]	51.77[b]
75S: 25M	31.33[ab]	1.59[a]	54.49[a]
50S: 50M	19.67[c]	0.99[c]	53.83[a]
25S: 75M	22.66[c]	0.98[c]	53.90[a]
0S: 100M	28.00[bc]	1.29[b]	50.00[c]

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means followed by the same letters in each column are not significantly different, according to Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

محاسبه افت واقعی عملکرد در مورد گونه‌های سویا و ارزن نشان داد که هیچ یک از ترکیب‌های کشت مخلوط مورد بررسی افت عملکرد نداشتند. در این پژوهش افزایش 39 درصدی عملکرد ارزن و سویا در تیمار 50S: 50M نسبت به کشت خالص آن بیان‌گر سودمندی الگوی کشت مذکور در استفاده بهینه از منابع موجود با حداقل رقابت بین گونه‌ای و درون‌گونه‌ای است (جدول 9). برآورد شاخص افت واقعی عملکرد علاوه بر بررسی رقابت بین‌گونه‌ای، با در نظر گرفتن عملکرد هر گیاه، وضع هر یک از اجزای مخلوط را با جزئیات دقیق‌تری بیان می‌کند. این شاخص با علامت مثبت بیانگر سودمندی مخلوط به تک‌کشتی بر پایه عملکرد هر گیاه است (Yilmaz et al., 2008). در همین راستا ژو و همکاران (Xu et al., 2008) در بررسی چندساله کشت مخلوط نوعی ارزن علوفه‌ای و اسپرس، اظهار داشتند که طی چهار سال متوالی کشت، هیچ یک از دو گونه در مخلوط افت عملکرد نشان ندادند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کشت مخلوط در همه نسبت‌های مخلوط دارای اصل تولید حمایتی است، به عبارت دیگر مساعدت (هم‌افزایی) در کلیه تیمارها وجود داشت.

نتایج بررسی داده‌های آزمایشی بر اساس شاخص غالبیت نشان داد که در تمام الگوهای کشت مخلوط گیاه ارزن نسبت به گیاه سویا دارای غالبیت بالاتری بود و قدرت رقابتی بیشتری داشت. نتایج مشابهی در خصوص برتری غلات (ذرت و سورگوم) و ارزن مرواریدی به لحاظ شاخص درجه تهاجمی در کشت مخلوط غلات و بادام‌زمینی گزارش شده است (Ghosh, 2004).

جدول 9- نسبت برابری زمین، ضریب غالبیت و افت واقعی عملکرد در الگوهای مختلف کشت جایگزینی مخلوط سویا و ارزن
Table 9- The land equivalent ratio (LER), aggressivity (A) and actual yield loss (AYL) in different replacement intercropping patterns of soybean and millet

نسبت‌های کاشت Planting ratios	نسبت برابری زمین Land equivalent ratio (LER)	ضریب غالبیت Aggressivity		افت واقعی عملکرد Actual yield loss		
		$A_{Soybean}$	A_{Millet}	$AYL_{Soybean}$	AYL_{Millet}	AYL_{Total}
25S: 75M	1.159	-0.026	0.026	0.137	0.163	0.300
75S: 25M	1.200	-0.055	0.055	0.172	0.227	0.399
50S: 50M	1.143	-0.004	0.004	0.156	0.160	0.316

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که در الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی ارزن و سویا مقدار نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود که این امر نشان‌دهنده سودمندی اجرای این الگوی کشت مخلوط در افزایش بهره‌وری از منابع می‌باشد. با برآورد شاخص‌های رقابتی در کشت مخلوط مشخص گردید، که ارزن و سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، افت واقعی عملکرد نداشتند. بررسی شاخص غالبیت نشان داد که در همه الگوهای کشت مخلوط، ارزن گیاه غالب بود، که این نتیجه بیانگر توانایی رقابتی بیشتر ارزن نسبت به بقولات و در نتیجه جذب بیشتر منابع محیطی توسط آن

می‌باشد. همچنین، با افزایش تنوع گونه‌های زراعی و افزایش رقابت بین گونه‌های زراعی و علف‌های‌هرز، تخصیص منابع و توزیع آن‌ها بین گونه‌های زراعی با کارایی بیشتری صورت گرفته، لذا از تنوع و تراکم علف‌های هرز کاسته شد. بنابراین، استفاده از کشت 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 در راستای کشاورزی پایدار شود.

منابع

1- Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Yield, yield components and potential weed control of intercropping bean with sweet basil. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 541-553. (In Persian with English Summary)
2- Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In Page, A.L., and Miller, R.H. (Eds.). Methods of Soil Analysis Part II. chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy. Madison p. 831-871.
3- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxide in *Beta vulgaris*. Journal of Plant Physiology 24: 1-15.
4- Banik, P. 1996. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum*) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series system. Journal of Agronomy and Crops Science 176: 289-294.
5- Banik, P., Mydia, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping system in an additive series experiment: advantage and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-333.
6- Baqual, M.F., and Das, P.K. 2006. Influence of biofertilizers on macronutrient uptake by the mulberry plant and its impact on silkworm bioassay. Caspian Journal of Environmental Sciences 4: 98-102.
7- Baributsa, D.N., Foster, E.F., Thelen, K., Kravchenko, D.R., and Ngouajio, M. 2008. Corn and cover crop response to corn density in an interseeding system. Agronomy Journal 100: 981-987.
8- Booth, B.D., Murphy, S.D., and Swanton, C.J. 2003. Weed ecology in natural and agricultural systems CABI Publishing 303 pp.
9- Darbaghshahi, M.N., Banitaba, A., and Bahari, B. 2012. Evaluating the possibility of saffron and chamomile mixed culture. African Journal of Agricultural Research 7(20): 3060-3065.
10- Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., and Dordas, C.A. 2007. Competition indices of vetch and cereal intercrops in two ratio. Field Crops Research 100: 249-256.
11- Echarte, L., Della Maggiora, A., Cerrudo, D., Gonzalez, V.H., Abbate, P., Cerrudo, A., Sadras, V.O., and Calvino, P. 2011. Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean. Field Crops Research 121: 423-429.
12- Egli, D.B., and Bruening, W.P. 2005. Shade and temporal distribution of pod production and set in soybean. Crop Science 45: 1764-1769.
13- Eslami Khalili, F., Pirdashti, H., and Motaghian, A. 2011. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) yield in different density and mixture intercropping via competition indices. Journal of Agroecology 3(1): 94-105. (In Persian with English Summary)
14- Garcia Orenes, F., Roldan, A., guerrero, C., Mataix Solera, J., Navarro Pedreno, J., Gomez, I., and Mataix Beneyto, J. 2007. Effect of irrigation on the survival of total coliforms in three semiarid soils after amendment with sewage sludge. Waste Management 27(12): 1815-1819.
15- Ghanbari, A., Nasirpour, M., and Tavassoli, A. 2010. Evaluation of ecophysiological characteristics of intercropping of millet (*Panicum miliaceum* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.). Journal of Agroecology 4: 556-564. (In Persian with English Summary)
16- Ghosh, P.K. 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. Field Crops Research 88: 227-237.
17- Ghosh, P.K., Manna, M., Bandyopadhyay, K., Ajay, A., Tripathi, A., Wanjari, R.H., Hati, K.M., Misra, A.K., Acharya, C.L., and Subba Rao, A. 2006. Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. Agronomy Journal 98: 1097-1108.
18- Hosseini, S.M.B., Mazaheri, D., Jahansouz, M.R., and Yazdi Samadi, B. 2003. The effects of nitrogen levels on yield and yield components of forage millet (*Pennisetum americanum*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) in

intercropping system. Pajouhesh and Sazandegi 59: 60-67. (In Persian with English Summary)
19- Jahani, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2008. Comparison of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and lentil (*Lens culinaris* M.). Iranian Journal of Field Crops Research 6(1): 67-78. (In Persian with English Summary)
20- Javanshir, A., Dabbagh, A., and Hamidi, A. 2000. The ecology of intercropping. Jihad Daneshgahi of Mashhad Press. (In Persian)
21- Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., and Damalas, C.A. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. European Journal of Agronomy 34: 287-294.
22- Lin, C.W., Chen, Y.C., Huang, J., and Tu, T. 2007. Temporal variation of plant height, plant cover and leaf area index in intercropped area of Sichuan,China. Chinese Journal of Ecology 26: 989- 994.
23- Maffei, M., and Mucciarelli, A. 2003. Essential oil yield in peppermint/soybean strip intercropping. Field Crops Research 84: 229-240.
24- Mazaheri, D., Pasarive, S., and Peyghambari, A. 2002. Study and investigation growth analysis in monoculture and multicultural of soybean cultures. Journal of Pajouhesh and Sazandegi 54: 37-54. (In Persian with English Summary)
25- Mohammed, I.B., Olufajo, O., Singh, B., Miko, S., and Mohammed, S.G. 2008. Growth and development of components of millet/cowpea intercrop in northern Nigeria. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science 3: 7-13.
26- Mushagalusa, G.N., Ledent, J.F., and Draye, X. 2008. Shoot and root competition in potato/maize intercropping: effects on growth and yield. Environmental and Experimental Botany 64: 180-188.
27- Poggio, S.L. 2005. Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. Agriculture Ecosystems and Environment 109: 48-58.
28- Raei, Y., Bolandnazar, S.A., and Dameghsi, N. 2011. Evaluation of common bean and potato densities effects on potato tuber yield in mono-cropping and intercropping systems. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 21(2): 131-142. (In Persian with English Summary)
29- Redfearn, D.D., Dwayne, R.B., and Devine, T.E. 1999. Sorghum intercropping effects on yield, morphology, and quality of forage soybean. Crop Science 39: 1380-1384.
30- Rezvan Beydokhti, S. 2005. Comparison of different intercropping arrangement of corn and bean. MSc thesis, College of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
31- Safari, F. 2007. Effect of planting date and plant density on yield of millet MSc dissertation, Faculty of Agriculture, University of Gorgan, Iran. (In Persian with English Summary)
32- Shahmoradi, S. 2003. Effects of drought stress on the quantity and quality of soybean cultivars and advanced lines. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
33- Shaygan, M., Mazaheri, D., Rahimian Mashhadi, H., and Peyghambari, S.A. 2008. Effect of planting date and intercropping maize and foxtail millet on their grain yield and weeds control. Iranian Journal of Crop Sciences 10: 31-46. (In Persian with English Summary)
34- Sirousmehr, A., Javanshir, A., Rahimzadeh Khoye, F., and Moghaddam, M. 2003. Pearl millet and common vetch intercropping. Journal of Biaban 2: 250-263. (In Persian with English Summery)
35- Shivaraum, H.S., and Shivashankar, K. 1994. A new approach of canopy architecture in assessing complimentarily of intercrops. Indian Journal of Agronomy 39: 179-187.
36- Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ahmadi, M.M., and Heydari, M. 2010. The effect of fertilizer and manure on forage and grain yield of and bean in intercropping. Iranian Journal of Agronomy Research 8(2): 96-114. (In Persian with English Summery)
37- Thorsted, M.D., Olesen, J.E., and Weiner, J. 2006. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/clover intercropping. Field Crops Research 95: 280-290.
38- Xu, B., Shan, L., Zhang, S., Deng, X., and Li, F. 2008. Evaluation of switch grass and sainfoin intercropping under 2:1 row-replacement in semiarid region, northwest China. African Journal of Biotechnology 7(22): 4056-4067.
39- Yilmaz, S., Atak, M., and Erayman, M. 2008. Identification of advantages of maize-legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the East Mediterranean region. Turkish Journal of Agricultural and Forestry 32: 111-119.

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 4, Winter 2016, p. 485-498

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 7، شماره 4، زمستان 1394، ص. 498-485

Ecological aspects of replacement intercropping patterns of soybean (*Glycine max* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.)

G. Ahmadvand[1*] and S. Hajinia[2]
Submitted: 24-01-2015
Accepted: 15-04-2015

Ahmadvand, G., and Hajinia, S. 2016. Ecological aspects study of replacement intercropping patterns of Soybean (*Glycine max* L.) and Millet (*Panicum miliaceum* L.). Journal of Agroecology 7(4): 485-498.

Introduction

Intercropping is a multiple cropping practices involve growing two or more crops together. The most common goal of intercropping is to produce a greater yield on a given piece of land by making use of resources that would otherwise not be utilized by a single crop. Intercropping is one of the ways that causes more stability and increases protection and security in ecological farming systems. Intercropping is an agronomic practice that lubricity movement towards ecological agronomic system, increases the efficiency of resources (Mushagalusa et al., 2008) and yield stability. Intercropping is a sustainable practice used in many developed and developing countries and an essential element of agricultural sustainability. Many intercropping systems have proved to be better than sole crops in terms of yield because intercropping makes better use of agricultural resources and reduces interference of weeds. Muhammad et al. (2008) reported that intercropping of millet (*Pennisetum glaucum*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) is the most predominant cropping system in the Sudan and Sahelian zones of West Africa. Millet is the staple diet while cowpea serves as a source of vegetable protein. Considering the importance of intercropping towards sustainable agriculture this study aimed to determine the best combination of soybean and millet in mixed cropping to optimal use of available resources with minimum crops competing with each other.

Materials and methods

In order to study the effects of soybean (*Glycine max* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.) replacement intercropping on agronomic traits and weed species diversity, an experiment was conducted at the Research Station of Agricultural Faculty, of Bu-Ali Sina University, in 2014. The experiment was carried out as a randomized complete block design with three replications. The replacement intercropping series consisted of monoculture of soybean, monoculture of millet, 75% soybean+ 25% millet, 50% soybean+ 50% millet and 25% soybean+ 75% millet.

Weed diversity was calculated using Shannon- Weiner diversity index (Equation 1).

$$\text{Equation (1)} \quad H= -\sum_{i=1}^{S}[P_i \, Ln(P_i)], \qquad P_i= n_i/N$$

Where N is the number of individuals, n_i is the number of individuals related species i and S is number of species.

Biological and grain yield were determined at the end of growing season. Before harvesting, plant height, LAI max, total chlorophyll, number of pods per plants, number of soybean seeds per plant, number of millet panicles per plant and 100 seed weights were measured in 5 randomly selected plants. Analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test (DMRT) were performed.

Land Equivalent Ratio (LER), Aggressiveness and Actual Yield Loss (AYL) were calculated as follows (Dhima et al., 2007).

$$\text{Equation (2)} \quad LER= \frac{Y_{sm}}{Y_{ss}} + \frac{Y_{ms}}{Y_{mm}}$$

$$\text{Equation (3)} \quad A_{soybean}= \frac{Y_{sm}}{Y_{ss} \times Z_{sm}} - \frac{Y_{ms}}{Y_{mm} \times Z_{ms}} \qquad A_{millet} = \frac{Y_{ms}}{Y_{mm} \times Z_{ms}} - \frac{Y_{sm}}{Y_{ss} \times Z_{sm}}$$

1 and 2- Associate Professor, Department of Agronomy Agronomy and Department of Agronomy and PhD Student in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Buali sina, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: gahmadvand@basu.ac.ir)

Equation (4) $AYL_{soybean}=\left(\frac{\frac{Y_{sm}}{Z_{sm}}}{\frac{Y_{ss}}{Z_{ss}}}\right)-1$ $AYL_{millet}=\left(\frac{\frac{Y_{ms}}{Z_{ms}}}{\frac{Y_{mm}}{Z_{mm}}}\right)-1$

$AYL= AYL_{soybean}+ AYL_{millet}$

Where Y_{sm} and Y_{ss} are the grain yields of intercropped and sole soybean, and Y_{ms} and Y_{mm} are the grain yields of intercropped and sole millet, respectively. Z_{sm} and Z_{ms} are the mixing ratio of soybean and millet, respectively.

Results and discussion

The results showed that the highest seed yield of 219.8 and 171.9 $g.m^{-2}$ belonged to monoculture of soybean and monoculture of millet, respectively. Intercropping reduced maximum leaf area index of soybean and millet but leaf chlorophyll content of soybean and millet were increased. The highest number of pods per plant, number of seeds per plant of soybean and panicle number per plant of millet were obtained in 50S:50M ratio. Mean soil respiration rate in intercropping treatments was 4% and 8 % higher than that of monoculture of soybean and millet, respectively. Tavassoli et al. (2010) in a millet and common bean intercropping system, showed that grain yields of intercropped millet and common bean were significantly higher than those of millet and common bean in the corresponding sole cropping.

Intercropping patterns of 50S:50M and 25S:75M were successful in reducing weed plant density and diversity in comparison with soybean sole cropping.

For all intercropping treatments, land equivalent ratio (LER) was more than one. Maximum value of LER (2.20) was achieved in 50S:50M intercropping. Soybean and millet intercropping at different levels of replacement did not have actual yield loss. Calculating the aggressiveness showed that millet was more dominate than soybean. The maximum relative crowding coefficient of soybean was observed in 75S:25M, however that of millet was obtained in 25S:75M and 50S:50M intercropping indicating that millet is more competitor than soybean.

Conclusion

Land utilization indices such as land equivalent ratio, relative crowding coefficient and aggressiveness indicated that intercropping of soybean and millet in comparison to sole cropping, increased economic usage of land in different mixed proportions. According to above mentioned indices the best proportion of soybean and millet intercropping was 50:50. Aggressiveness index of components showed that millet was more dominant than soybean.

Keywords: Competition index, Diversity index, Land equivalent ratio

References

Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., and Dordas, C.A. 2007. Competition indices of vetch and cereal intercrops in two ratio. Field Crops Research 100: 249-256.

Mohammed, I.B., Olufajo, O., Singh, B., Miko, S., and Mohammed, S.G. 2008. Growth and development of components of millet/cowpea intercrop in northern Nigeria. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science 3: 7-13.

Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ahmadi, M.M., and Heydari, M. 2010. The effect of fertilizer and manure on forage and grain yield of and bean in intercropping. Iranian Journal of Agronomy Research 8(2): 96-114. (In Persian with English Summery)