Archive of SID

Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 49, No 4, Winter 2019 (97-113)
DOI: 10.22059/ijfcs.2017.230808.654302

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۷ (ص۱۱۳-۹۷)

تأثیر کشت مخلوط بر کارآیی مصرف آب، عملکرد کمی و کیفی ارزن و سویا در رژیم‌های مختلف آبیاری

گودرز احمدوند*[1] و سمیه حاجی‌نیا[2]
دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان
دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا
(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۱/۱۹ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۵)

چکیده

به منظور بررسی اثر کشت مخلوط بر عملکرد کمی و کیفی ارزن و سویا در رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. عامل اصلی، رژیم‌های آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی آب از تشت تبخیر) و عامل فرعی، الگوی کشت مخلوط جایگزینی در پنج سطح (۳۳ درصد ارزن+ ۶۷ درصد سویا (۶۷ سویا: ۳۳ ارزن)، ۵۰ درصد ارزن+ ۵۰ درصد سویا (۵۰ سویا: ۵۰ ارزن)، ۶۷ درصد ارزن+ ۳۳ درصد سویا (۳۳ سویا: ۶۷ ارزن) و تک‌کشتی سویا و ارزن) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت فسفر دانه ارزن (۰/۳۵ درصد)، در نسبت ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن و در رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کمترین میزان آن (۰/۱۲ درصد)، در کشت خالص ارزن در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، مشاهده شد. بیشترین غلظت فسفر دانه سویا (۰/۲۷ درصد)، در نسبت ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن مشاهده شد که در مقایسه با کشت خالص سویا، ۱۴/۴ درصد بیشتر بود. غلظت فسفر و روغن دانه سویا در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، در مقایسه با رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر، به ترتیب ۴۰/۷ و ۲۶/۱۴ درصد کاهش یافت. کشت مخلوطف غلظت پروتئین دانه ارزن و نیز کارآیی مصرف آب ارزن و سویا را افزایش داد. نسبت کاشت ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن در رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر، بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۱۴) را به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، الگوی کاشت، پروتئین، فسفر، نسبت برابری زمین.

Effect of intercropping on water use efficiency, yield quantity and quality of millet and soybean in different irrigation regimes

Goudarz Ahmadvand[1*] and Somayeh Hajinia [2]
Associate Professor Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Bu Ali Sina, Iran
PhD Student Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Bu Ali Sina, Iran
(Received: April 8, 2017 - Accepted: December 16, 2017)

ABSTRACT

To investigate the effects of intercropping on yield quantity and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) and millet (*Panicum miliaceum* L.) in different irrigation regimes, the experiment was carried out as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications at the Research Station of Agricultural Faculty of Bu-Ali Sina University, 2015. The main factor included three levels of irrigation regimes (irrigation after 60, 90 and 120 mm cumulative evaporation from pan class A) and five levels of replacement intercropping consisted of monoculture of soybean, monoculture of millet, 67 % soybean+ 33 % millet (67Soybean:33Millet), 50 % soybean+ 50 % millet (50Soybean:50Millet) and 33 % soybean+ 67 % millet (33Soybean:67Millet) as subplot. The results showed that the highest grain phosphorus concentration of millet (0.35%) was obtained from 50Soybean:50Millet ratio and irrigationg after 60 mm evaporation, and the lowest one (0.12%) was observed in monoculture of millet and irrigating after 120 mm evaporation. The highest grain phosphorus concentration (0.27%) of soybean was observed in 50Soybean:50Millet ratio, that was 14.4% higher than monoculture of soybean. phosphorus and oil concentrations of soybean seeds in irrigation regime of 120 mm evaporation decreased 40.7 and 26.14%, respectively, compared to 60 mm irrigation regime. Intercropping increased protein content of millet and increased water use efficiency of soybean and millet. Maximum value of LER (1.14) was achieved in 50Soybean:50Millet intercropping in when plants were irrigated after 120 mm evaporation.

Keywords: Intercropping, Irrigation, Land Equivalent Ratio, Protein, Phosphorus.

* Corresponding author E-mail: gahmadvand@basu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

تنش خشکی، یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که ۴۰ تا ۶۰ درصد زمین‌های کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Reddy *et al*., 2004). بر اساس گزارش فائو، حدود ۹۰ درصد از کشور ایران در نواحی خشک و نیمه خشک قرار دارد (FAO, 2010). کم بودن نزولات آسمانی و پراکنش زمانی و مکانی نامناسب آن، از واقعیت‌های غیر قابل اجتناب تولید محصولات زراعی ایران است. بنابراین، دست‌یابی به راهبردهایی برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر گیاهان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از راهکارهای زراعی برای افزایش بهره‌وری از آب و استفاده حداکثر از رطوبت خاک، کشت مخلوط می‌باشد (Alizadeh, 2001). کشت مخلوط، به عنوان یکی از شیوه‌های زراعی هم راستا با اهداف اکولوژیک، افزایش کارآیی مصرف منابع و پایداری عملکرد را به همراه دارد (Darbaghsahi *et al*., 2012). بعضی از محققین عقیده دارند که بوم نظام‌هایی که دارای تنوع بیشتری هستند، از منابع محیطی مانند آب، با راندمان بهتری استفاده می‌کنند (Walker & Ogindo, 2003). کارآیی مصرف آب در کشت مخلوط، ۹۹-۱۸ درصد بیشتر از کشت خالص بوده است (Morris & Garrity, 1993). در زمینه کارآیی مصرف آب در کشت مخلوط، گزارش‌های متفاوتی ارائه شده است. برای نمونه، عدم تأثیر معنی‌دار کشت مخلوط بر کارآیی مصرف آب در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) با ماشک (*Vicia sativa* L.) و یا نخود (*Cicer arietinum* L.) با گندم (*Triticum aestivum* L.)، کاهش کارآیی مصرف آب در کشت مخلوط سویچ‌گراس (*Panicum virgatum* L.) با گون (*Astragalus onobrychis*) و در مقابل افزایش کارآیی مصرف آب در کشت مخلوط بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) با ارزن‌انگشتی (*Eleusine coracanan*)، گزارش شده است (Jahansooz *et al*., 2007; Mohsenabadi *et al*., 2008; Rankulatile *et al*., 1998; Xu *et al*., 2008). همچنین در شرایط کمبود منابع آبی، تغییر الگوی کشاورزی به سمت کاشت گیاهان متحمل به خشکی می‌تواند راهکار بسیار مناسبی باشد. ژنوتیپ‌های مختلف ارزن، به دلیل کوتاه بودن فصل رشد و داشتن برخی خصوصیات ویژه، به آب کمتری نیاز دارند و می‌توانند در شرایط مساعد محیطی، نسبت به سایر غلات، محصول بیشتری تولید کنند (Kusaka *et al*., 2005). بنابراین، ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) می‌تواند گیاه مناسبی برای کاشت در مناطق کم‌آب باشد. بررسی تنش خشکی در مراحل مختلف رشد، بر عملکرد و بازده استفاده از آب پنج ژنوتیپ ارزن معمولی نشان داد که در شرایط تنش، عملکرد ژنوتیپ‌های ارزن کاهش می‌یابد اما کاهش عملکرد در شرایط اعمال تنش در مرحله ظهور خوشه، شدیدتر از اعمال تنش در مرحله رشد رویشی بود (Saghatoleslami *et al*., 2007). سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) نیز از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در جهان و ایران محسوب می‌شود و با دارا بودن ۲۵-۱۸ درصد روغن و ۵۰-۳۰ درصد پروتئین، یکی از منابع عمده تولید روغن و پروتئین گیاهی است و اهمیت ویژه‌ای در تغذیه انسان، دام و طیور دارد (Khajehpour, 2007). بنابراین، پتانسیل زیادی برای گسترش کشت این گیاه در الگوهای کشت مخلوط وجود دارد. نتایج پژوهش‌های مختلف، نشان‌دهنده کاهش رشد و عملکرد دانه سویا در اثر تنش کم‌آبی می‌باشد (Candogana *et al*., 2013; Grumberg *et al*., 2015). Yang *et al*. (2009)،کشت مخلوط گندم و ذرت (*Zea mays* L.) را روش مناسبی برای حداقل استفاده از آب و بالاترین عملکرد در شرایط تنش کم‌آبی معرفی کردند. همچنین در کشت مخلوط ارزن و لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) مشاهده شد که عملکرد گونه ارزن در کشت مخلوط، به مراتب بالاتر از کشت خالص می‌باشد (Tavassoli *et al*., 2010). آن‌ها دلیل این برتری را به کارآیی بهتر استفاده از منابع محیطی مانند جذب آب، عناصر غذایی و جذب موثرتر نور در کانوپی گیاهان تشکیل‌دهنده زراعت مخلوط نسبت داده‌اند. همچنین نتایج تحقیقات نشان داده است که عملکرد، محتوای

www.SID.ir

Archive of SID

پروتئین خام و کل ماده خشک قابل هضم در کشت مخلوط بقولات با غلات، بیشتر از کشت خالص آن‌ها می‌باشد (Lithourgidis *et al*., 2011). به طور کلی، استفاده از بقولات در کشت مخلوط با غلات، باعث افزایش عملکرد محصولات، به‌خصوص در شرایط خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Ghosh *et al*., 2009). الگوی کشت مخلوط بقولات و غلات، از الگوهای معمول کشت در مناطق نیمه‌خشک که با محدودیت منابع مواجه‌اند، می‌باشد (Tsubo *et al*., 2005). از این‌رو، بهره‌گیری از گیاهان خانواده بقولات در چندکشتی، به واسطه این توانایی‌ها، به عنوان یکی از راهکارهای دسترسی به کشاورزی پایدار، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به اهمیت گیاه سویا و ارزن و همچنین وجود عوامل محدود کننده رشد مانند تنش کم‌آبی که باعث کاهش کمیت این گیاهان می‌شود، توجه به راهکارهای مدیریتی مناسب به منظور کاهش اثرات سوء تنش و همچنین دست‌یابی به حداکثر عملکرد و کیفیت در این گیاهان، امری ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، هدف از این پژوهش، ارزیابی کارآیی مصرف آب، نسبت برابری زمین، مقدار پروتئین دانه، غلظت فسفر و نیتروژن و عملکرد دانه ارزن و سویا در کشت مخلوط، تحت شرایط عدم تنش و تنش کم‌آبی بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، واقع در روستای دستجرد، با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا، از اول خرداد تا اواسط مهر ماه سال ۱۳۹۴ اجرا گردید. بر اساس اقلیم نمای دومارتن، منطقه از نظر اقلیمی جزء مناطق نیمه‌خشک و سرد، با میانگین بارندگی سالیانهٔ ۳۳۰ میلی‌لیتر است (Zare-Abyaneh *et al*., 2010). بافت خاک محل آزمایش، لومی بود و سال قبل از اجرای آزمایش، به صورت آیش بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک)

Table 1- Physiochemical characteristics of experimental field soil (soil depth 0-30 cm)

Soil Texture	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	OC (%)	P (ppm)	K (ppm)	Total N (%)
(Loam)	0.2	8.0	0.7	11.0	326.0	0.1

آزمایش به صورت کرت‌های خردشده و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی آب از تشت تبخیر کلاس A و الگوی کاشت جایگزینی در پنج سطح تک‌کشتی سویا (۱۰۰ سویا: ۰ ارزن)، تک‌کشتی ارزن (۰ سویا: ۱۰۰ ارزن)، کشت مخلوط جایگزینی ۳۳ درصد سویا+ ۶۷ درصد ارزن (۳۳ سویا: ۶۷ ارزن)، ۵۰ درصد سویا+ ۵۰ درصد ارزن (۵۰ سویا: ۵۰ ارزن) و ۶۷ درصد سویا+ ۳۳ درصد ارزن (۶۷ سویا: ۳۳ ارزن)، در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

عملیات کاشت سویا و ارزن معمولی به صورت همزمان در اول خرداد ماه، در کرت‌هایی شش ردیفه با طول چهار متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر انجام شد. فاصله نهایی بوته‌ها روی خطوط کاشت در هر دو گیاه، پنج سانتی‌متر بود. الگوهای مختلف کشت مخلوط به روش جایگزینی انجام شد و نسبت‌های کاشت با تغییر تعداد ردیف‌های کشت، تنظیم شد. در نسبت کاشت ۳۳ سویا: ۶۷ ارزن، چهار ردیف ارزن و دو ردیف سویا و در نسبت ۶۷ سویا: ۳۳ ارزن، دو ردیف ارزن و چهار ردیف سویا منظور شد و نسبت کاشت ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن، شامل کشت یک در میان ارزن با سویا بود. در تک‌کشتی سویا و ارزن، شش ردیف، به کشت خالص هر کدام از آن‌ها اختصاص یافت. بذر مورد استفاده ارزن، توده محلی (ارزن معمولی) بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان تهیه شد و بذر سویا (رقم M9)، از مرکز تحقیقات دانه‌های روغنی الشتر (لرستان) گرفته

www.SID.ir

Archive of SID

شد. رقم سویا، جزء ارقام رشد نامحدود، از گروه رسیدگی سه، با دوره رشدی ۱۲۰ روز و مقاوم به ورس بود. کاشت بذر با تراکم دو برابر انجام شد و برای دست‌یابی به تراکم مطلوب سویا و ارزن (۴۰ بوته در مترمربع)، گیاهان در مرحله چهار تا شش برگی تنک شدند. آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای و با لوله‌های پلی‌اتیلنی انجام گرفت.

اولین آبیاری، بلافاصله پس از کاشت بذرها انجام شد. گیاهان تا مرحله سه برگی سویا، به طور منظم و یکنواخت آبیاری شدند. بعد از این مرحله، اعمال تیمارهای آبیاری، بر اساس تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A صورت گرفت. میزان تبخیر با نصب تشت تبخیر کلاس A در مزرعه، به طور روزانه اندازه‌گیری شد و آبیاری هر تیمار، پس از رسیدن میزان تبخیر تجمعی به مقدار مورد نظر انجام شد. نیاز آبی هر گیاه، با تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مونتیث و ضرایب گیاهی در منطقه مورد آزمایش، از معادله‌های یک و دو تعیین شد (Allen *et al*., 1998; Farnia *et al*., 2006). برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع، از داده‌های تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و ضرایب تشت استفاده شد (Allen *et al*., 1998).

معادله (۱) $ET_0=K_p\times E_{pan}$

در این معادله: E_{pan}، K_p و ET_0، به ترتیب تبخیر از تشت، ضریب تشت و تبخیر و تعرق مرجع است. در این تحقیق، ضریب تشت محاسبه شده از روش پیشنهاد شده در نشریه فائو ۵۶، با توجه به موقعیت و محل استقرار آن، به طور میانگین ۰/۶۵ منظور شد (Allen *et al*., 1998).

معادله (۲) $ET_{crop}=K_c\times ET_0$

در این معادله: ET_{crop}، تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) و K_c، ضریب گیاهی (بدون واحد) است (Allen *et al*., 1998). برای تعیین ضرایب گیاهی ارزن و سویا در مراحل مختلف نمو، از شیوه‌نامه فائو استفاده شد (Allen *et al*., 1998). با توجه به این‌که در هر سطح از تیمارهای آبیاری، همه کرت‌های فرعی، شامل کشت خالص و مخلوط دو گیاه، به صورت یکنواخت آبیاری شدند، برای محاسبه مقدار آب مصرفی در این آزمایش، میانگین متوسط ضرایب گیاهی ارزن و سویا (۱/۰۵) که به ترتیب توسط Alizadeh & Kamali (2007)، معادل یک و ۱/۱ در نظر گرفته شده است، منظور شد. حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری، با در نظر گرفتن بارندگی موثر، مساحت هر کرت، راندمان آبیاری (۸۰ درصد) و ۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی در منطقه توسعه ریشه، برآورد شد (Doorenbos & Kassam, 1979). میزان آب مصرفی در طول دوره رشد، در جدول ۲ آمده است. مقدار آب مصرفی در هر بار آبیاری، با استفاده از کنتور، اندازه‌گیری و کنترل شد.

جدول ۲- مقدار آب مصرف شده (کیلوگرم بر مترمکعب) در طول دوره رشد ارزن و سویا

Table 2- The amount of consumed water (kg m^{-3}) in the millet and soybean growing periods.

Irrigation (mm evaporation from pan class A)	Millet	Soybean
60	6358	7106
90	4864	5440
120	3847	4284

ارزن در تاریخ ۱۵ شهریور و سویا در ۱۰ مهر، با در نظر گرفتن حاشیه، از سطحی معادل دو مترمربع برداشت شدند و عملکرد دانه آن‌ها تعیین شد. میزان نیتروژن دانه با روش هضم، تقطیر و تیتراسیون، با استفاده از دستگاه کجلدال (Waling *et al*., 1989) و میزان فسفر دانه با روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات- وانادات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Keeney *et al*., 1982). درصد پروتئین دانه در هر دو گیاه، با استفاده از معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه شد. درصد روغن دانه سویا، با استفاده از روش سوکسله تعیین شد (Horwitz *et al*., 1970).

www.SID.ir

Archive of SID

معادله (۳) ۵/۸۳ × نیتروژن دانه (درصد)= پروتئین دانه ارزن (درصد)

معادله (۴) ۵/۷۱ × نیتروژن دانه (درصد)= پروتئین دانه سویا (درصد)

کارآیی مصرف آب، با محاسبه میزان آب مصرف شده گیاه در طی فصل رشد و تعیین عملکرد دانه مربوط به هر گیاه، اندازه‌گیری شد. برای تعیین کارآیی مصرف آب از معادله ۵ استفاده شد. کارآیی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد.

معادله (۵) کارآیی مصرف آب = عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) / آب مصرف شده (مترمکعب در هکتار)

برای محاسبه میزان سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی، از شاخص نسبت برابری زمین (LER) استفاده شد (Dhima *et al*., 2007).

معادله (۶) $$LER=\frac{Y_{sm}}{Y_{ss}}+\frac{Y_{ms}}{Y_{mm}}$$

در این معادله: LER، نسبت برابری زمین؛ 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. تجزیه آماری داده‌های آزمایش با نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت فسفر و نیتروژن دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تأثیر رژیم‌های آبیاری بر غلظت فسفر و نیتروژن دانه ارزن و سویا بود. تأثیر الگوهای کشت مخلوط جایگزینی بر غلظت فسفر دانه سویا و ارزن و غلظت نیتروژن دانه ارزن، در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین، اثرات متقابل تیمارها بر غلظت فسفر دانه ارزن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری و کشت مخلوط بر غلظت عناصر غذایی در دانه سویا و ارزن

Table 3- Variance analysis of the effect of irrigation regimes and intercropping on nutrient elements concentration of soybean and millet

Source of variation	df	Mean squares			
		P concentration		N concentration	
		Millet	Soybean	Millet	Soybean
Replication	2	0.00019^{ns}	0.00130^{ns}	0.0149^{ns}	1.11^{ns}
Irrigation regimes	2	0.03229**	0.04877**	0.3332**	2.38*
Error a	4	0.00007	0.00083	0.0130	0.27
Intercropping	4	0.00622**	0.00169**	0.0601**	0.05^{ns}
Irrigation regimes× Intercropping	8	0.00036**	0.00004^{ns}	0.0001^{ns}	0.03^{ns}
Error b	24	0.00006	0.00028	0.0065	0.12
CV (%)	-	11.13	6.72	5.95	12.14

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

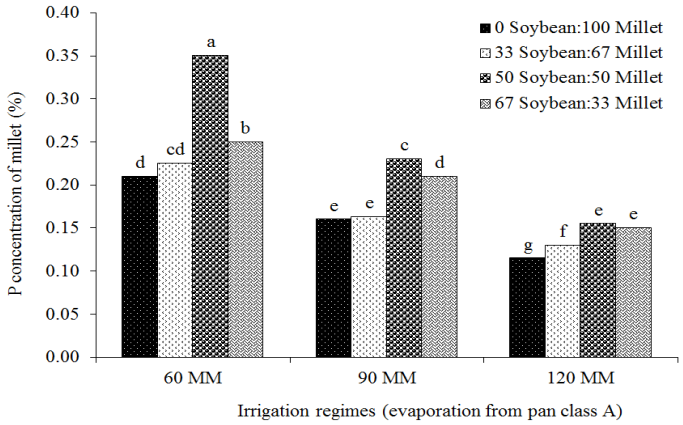
*, and **: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively; ns: non-significant

بیشترین غلظت فسفر دانه ارزن (۰/۳۵ درصد)، در نسبت ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن و در رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر به دست آمد و کمترین میزان آن (۰/۱۲ درصد)، در تک‌کشتی ارزن و در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، مشاهده شد. میزان کاهش غلظت فسفر در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر در مقایسه با رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر، ۶۷/۱۴ درصد بود (شکل ۱). با تغییر رژیم آبیاری از ۶۰ به ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر، غلظت فسفر دانه سویا کاهش یافت، به طوری که بیشترین غلظت فسفر دانه سویا (۰/۳۱ درصد)، در رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. میزان کاهش غلظت فسفر دانه سویا در رژیم‌های ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، در مقایسه با تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر، به ترتیب ۱۹/۹ و ۴۰/۷ درصد بود (جدول ۴). بیشترین غلظت فسفر دانه سویا (۰/۲۷ درصد) در نسبت ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن مشاهده

www.SID.ir

Archive of SID

شد که در مقایسه با کشت خالص سویا، ۱۴/۴ درصد بیشتر بود (جدول ۴).در الگوهای مختلف کشت مخلوط، بیشترین غلظت نیتروژن دانه ارزن (۱/۴۲ و ۱/۴۱ درصد)، به ترتیب در نسبت‌های ۶۷ سویا: ۳۳ ارزن و ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن به‌دست آمد. میزان افزایش غلظت نیتروژن دانه ارزن در نسبت‌های ۶۷ سویا: ۳۳ ارزن و ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن، در مقایسه با کشت خالص ارزن، به‌ترتیب معادل ۱۴/۳ و ۱۳/۴درصد بود(جدول ۴).



شکل ۱- اثر کشت مخلوط بر غلظت فسفر دانه ارزن در رژیم‌های مختلف آبیاری

Figure 1. Effects of intercropping on grain phosphorus concentration of millet in different irrigation regimes ($LSD_{0.05}$: 0.0133)

با تغییر رژیم آبیاری از ۶۰ به ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر، غلظت نیتروژن دانه ارزن و سویا افزایش یافت. بیشترین غلظت نیتروژن دانه ارزن و سویا (به ترتیب ۱/۵۳ و ۳/۲۱ درصد)، در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد (جدول ۴). افزایش نیتروژن دانه ارزن و سویا در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، نسبت به رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر، به ترتیب ۲۱/۲ و ۲۷/۲ درصد بود (جدول ۴). در شرایط تنش کم‌آبی، کاهش سرعت انتشار فسفر از خاک به سطح ریشه، نسبت به سایر عناصر غذایی بیشتر است، زیرا یون فسفات به ذرات رس چسبیده است و کمتر در دسترس ریشه گیاه قرار می‌گیرد (Marshner, 1995).

جدول۴- اثرات رژیم‌های آبیاری و کشت مخلوط بر غلظت نیتروژن و فسفردر دانه سویا و ارزن

Table 4- Effects of irrigation regimes and intercropping on soybean and millet grain nitrogen and phosphorus concentrations of

Treatments	Millet	Soybean	
Irrigation regimes*	N concentration (%)	P concentration (%)	N concentration (%)
60	1.206^{b}	0.312^{a}	2.333^{b}
90	1.303^{b}	0.250^{b}	2.925^{a}
120	1.530^{a}	0.185^{c}	3.206^{a}
LSD (0.05)	0.129	0.033	0.585
Intercropping			
100 Soybean: 0 Millet	-	0.233^{c}	2.71^{a}
67 Soybean:33 Millet	1.419^{a}	0.247^{bc}	2.85^{a}
50 Soybean:50 Millet	1.407^{ab}	0.266^{a}	2.88^{a}
33 Soybean:67 Millet	1.338^{b}	0.250^{b}	2.83^{a}
0 Soybean:100 Millet	1.241^{c}	-	-
LSD (0.05)	0.079	0.016	0.339

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Least Significant Difference (LSD) test (P<0.05).

*MM evaporation from pan class A

بررسی‌ها در مورد سویا تحت تنش کم‌آبی نشان داده است که توانایی جذب فسفر توسط ریشه‌های این

www.SID.ir

Archive of SID

گیاه، ضعیف است؛ دلیل این موضوع، کاهش قابلیت تحرک فسفر در خاک‌هایی با محتوای پایین آب است چرا که محتوای آب خاک، بر واکنش‌های جزیی و فعالیت‌های زیستی آن تأثیرگذار است (Marshner, 1995; Zhao *et al*., 2015). بیشترین غلظت فسفر دانه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط به دست آمدکه می‌تواند به علت اختلافات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی بین دو گیاه ارزن و سویا باشد. وقتی دو گیاه با اختلافات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی متفاوت (از جمله خصوصیات ریشه)، به صورت مخلوط با یکدیگر کشت می‌شوند، قادرند از عوامل محیطی (آب، مواد غذایی و نور)، استفاده بهینه نمایند و به همین دلیل، میزان تولید نسبت به کشت خالص افزایش می‌یابد. جذب بیشتر عناصر غذایی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، در نتیجه تحقیقی دیگر نیز گزارش شده است (Zheng *et al*., 2012). در کشت مخلوط، ترشحات ریشه دو گیاه، با هم مخلوط می‌شود و فراهمی عناصر در ریزوسفر، افزایش می‌یابد. بنابراین، جذب فسفر به وسیله ریشه گیاه و غلظت آن در دانه، افزایش می‌یابد. Inal *et al*. (2007)، دلیل افزایش غلظت فسفر در اندام‌های هوایی ذرت و جو را کاهش اسیدیته ریزوسفر گیاه و افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز در خاک و ریشه این دو گیاه، در کشت مخلوط بیان نمودند. Betencour *et al*. (2012)نتیجه گرفتند که اثر متقابل ریشه‌های دو گیاه گندم و نخود در کشت مخلوط، نقش مهمی در افزایش جذب فسفر دارد. آنان افزایش جذب فسفر به‌وسیله گندم در کشت مخلوط آن با نخود را به افزایش فراهمی فسفر به‌وسیله ریشه‌های نخود نسبت دادند که ممکن است به‌وسیله ریشه گندم جذب شود. در کشت مخلوط باقلا (*Vicia faba* L.) و ذرت، باقلا از طریق تثبیت نیتروژن می‌تواند H^+ به محیط تراوش کند. اسیدی‌شدن ریزوسفر، حل‌پذیری فسفر را در خاک‌هایی با اسیدیته بالا، افزایش می‌دهد و در نتیجه، جذب فسفر به‌وسیله ذرت افزایش می‌یابد (Li *et al*., 2005). غلظت نیتروژن دانه ارزن، با تغییر الگوی کشت از تک‌کشتی ارزن به کشت مخلوط آن با سویا، افزایش یافت. بالاتر بودن جذب نیتروژن در کشت مخلوط را می‌توان چنین توجیه کرد که ارزن، از نیتروژن معدنی خاک استفاده می‌کند و سویا، بیشتر نیتروژن خود را از طریق زیستی به‌دست آورده است و بنابراین، در مجموع مقدار مصرف این عنصر افزایش یافته است. بقولات می‌توانند نیتروژن را به طور زیستی تثبیت کنند و نیتروژن کمتری از خاک برداشت کنند و در نتیجه، نیتروژن بیشتری برای گیاهان زراعی همراه خود، فراهم آورند. نتایج گزارش شده توسط بسیاری از محققان نیز حاکی از بهبود کارآیی جذب نیتروژن در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است (Corre-Hellou *et al*., 2009; Szumigalski & Van Acker, 2006). Zhang and Li (2003) نتیجه گرفتند که اثر متقابل ریشه‌های دو ذرت و لوبیا در کشت مخلوط، نقش مهمی در افزایش جذب نیتروژن دارد. این محققین، افزایش جذب نیتروژن به‌وسیله ذرت را به انتقال نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله لوبیا به ذرت، نسبت دادند. مطالعات نشان داده است که غلظت نیتروژن و فسفر دانه ارزن‌مرواریدی در کشت مخلوط با بقولات، افزایش یافت (Sharma & Gupta, 2002). افزایش غلظت نیتروژن دانه بر اثر اعمال تنش کم‌آبی، می‌تواند به دلیل انتقال سریع‌تر ترکیبات نیتروژنی به دانه یا کاهش انباشت نشاسته در دانه، به دلیل محدودیت رطوبت در اواخر دوره پر شدن دانه باشد. افزایش غلظت نیتروژن با تنش، مسئله‌ای است که محققان به آن اشاره کرده‌اند (Haberle *et al*., 2008). به نظر می‌رسد که افزایش غلظت نیتروژن دانه ارزن و سویا در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، به دلیل کاهش عملکرد است. در واقع، رقیق‌کردن غلظت نیتروژن در گیاه را با افزایش عملکرد بیان می‌کند. همچنین، در تحقیقی دیگر، افزایش انتقال مجدد، دلیل افزایش غلظت نیتروژن در دانه تحت تنش کم‌آبی گزارش شده است (Haberle *et al*., 2008).

غلظت پروتئین و روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رژیم‌های آبیاری، تأثیر معنی‌داری بر مقدار پروتئین دانه ارزن و سویا و

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار روغن دانه سویا داشت. اثرات الگوی کاشت بر مقدار پروتئین دانه ارزن در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری و کشت مخلوط بر مقدار پروتئین و روغن دانه سویا و ارزن

Table 5- Variance analysis of the effect of irrigation regimes and intercropping on protein and oil content of soybean and millet

Source of variation	df	Mean squares		
		Protein content		Oil content of soybean
		Millet	Soybean	
Replication	2	0.50^{ns}	36.07^{ns}	63.52^{ns}
Irrigation regimes	2	11.32^{**}	77.77^{*}	343.86^{*}
Error a	4	0.44^{ns}	8.70	22.03
Intercropping	4	2.04^{**}	1.61^{ns}	2.92^{ns}
Intercropping× Irrigation regimes	8	0.03^{ns}	1.07^{ns}	0.14^{ns}
Error b	24	0.22	3.83	16.01
CV (%)	-	5.95	12.14	11.55

* 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 غلظت پروتئین دانه ارزن (به ترتیب ۸/۲۱ و ۸/۲۸ درصد)، در نسبت‌های ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن و ۶۷ سویا: ۳۳ ارزن، به‌دست آمد (جدول ۶). میزان افزایش غلظت پروتئین دانه ارزن در نسبت‌های ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن و ۶۷ سویا: ۳۳ ارزن در مقایسه با کشت خالص ارزن، به ترتیب معادل ۱۳/۴ و ۱۴/۴درصد بود (جدول ۶). با اعمال تنش کم‌آبی، غلظت پروتئین دانه ارزن و سویا افزایش یافت. میزان افزایش غلظت پروتئین دانه ارزن و سویا در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، در مقایسه با رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر، به ترتیب معادل ۲۷/۴ و ۳۷/۴ درصد بود (جدول ۶). رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر، غلظت روغن دانه سویا را به میزان ۲۶/۱۴ درصد کاهش داد (جدول ۶). میان مقدار روغن دانه سویا با غلظت پروتئین دانه، همبستگی منفی و معنی‌داری ($P \leq 0.01$) مشاهده شد، به طوری که با افزایش غلظت روغن دانه، مقدار پروتئین دانه کاهش یافت (شکل ۲).

جدول۶- اثرات رژیم‌های آبیاری و کشت مخلوط بر مقدار پروتئین و روغن دانه سویا و ارزن

Table 6- Effects of irrigation regimes and intercropping on protein and oil content of soybean and millet

Treatments	Millet	Soybean	
Irrigation regimes *	Protein content (%)	Protein content (%)	Oil content (%)
60	7.035^{b}	13.323^{b}	40.417^{a}
90	7.598^{b}	16.707^{a}	33.662^{b}
120	8.963^{a}	18.309^{a}	29.850^{b}
LSD (0.05)	0.754	3.343	5.321
Intercropping			
100 Soybean: 0 Millet	-	15.50^{a}	34.000^{a}
67 Soybean:33 Millet	8.276^{a}	16.29^{a}	34.311^{a}
50 Soybean:50 Millet	8.207^{ab}	16.47^{a}	35.133^{a}
33 Soybean:67 Millet	7.803^{b}	16.17^{a}	35.100^{a}
0 Soybean:100 Millet	7.239^{c}	-	-
LSD (0.05)	0.464	1.938	3.963

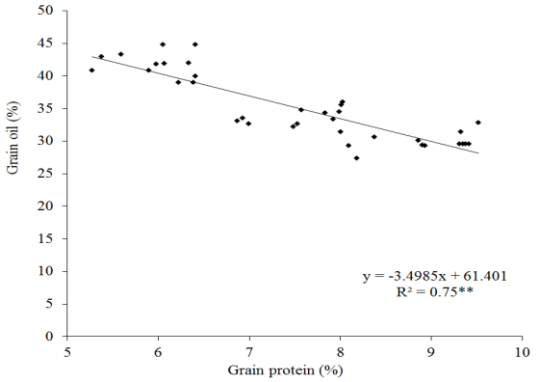
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Least Significant Difference (LSD) test ($P<0.05$).

*: MM evaporation from pan class A

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- رابطه رگرسیونی بین میزان پروتئین با مقدار روغن در دانه سویا
Figure 2- Regression relationship of grain protein with oil content of soybean

افزایش میزان پروتئین دانه در شرایط تنش کم‌آبی، به طور عمده، مربوط به کاهش نسبت نشاسته به پروتئین در دانه می‌باشد و ارتباطی با افزایش مطلق در میزان پروتئین ندارد (McDonald, 1992). بنابراین می‌توان گفت که در شرایط تنش کم‌آبی، به واسطه کاهش فتوسنتز خالص و به تبع آن، تکمیل نشدن وزن بالقوه دانه که عمدتاً این کاهش ناشی از کم شدن نشاسته در اواخر دوره پر شدن دانه می‌باشد، نسبت پروتئین به نشاسته در دانه، افزایش می‌یابد. از آن‌جا که غلظت پروتئین با میزان نیتروژن گیاه ارتباط مستقیم دارد، بنابراین جذب نیتروژن در کشت مخلوط می‌تواند موجب افزایش غلظت پروتئین ارزن در کشت مخلوط شود. Shaker-Koohi *et al*. (2014)، در کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و ماش (*Vigna radiata* (L.) R.Wilczek) دریافتند که میزان پروتئین دانه در هر دو گونه در کشت مخلوط، نسبت به کشت خالص افزایش یافت. کشت مخلوط ذرت و آفتابگردان (*Helianthus annus*)، تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن دانه آفتابگردان نداشت (Hashemi DezfulI *et al*., 2000). Sinaki *et al*. (2007) نیز گزارش دادند که تنش کم‌آبی، باعث کاهش میزان روغن دانه در کلزا (*Brassica napus* L.) می‌شود. در این رابطه می‌توان اظهار داشت که در شرایط تنش کم‌آبی، از آن‌جایی که طول دوره پر شدن دانه کاهش می‌یابد، به دلیل کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه‌ها، درصد روغن دانه نیز کاهش خواهد یافت. اصولاً تنش کم‌آبی، تعادل بین روغن و حتی هیدارت‌های کربن را تغییر می‌دهد. افزایش درصد پروتئین، معمولاً با کاهش درصد روغن همراه است و این دو صفت با یکدیگر رابطه معکوس دارند. در این آزمایش نیز افزایش درصد پروتئین دانه، با کاهش درصد روغن همراه بود. احتمالاً تنش کم‌آبی در سویا، با کاهش ظرفیت دانه در جذب اسیمیلات‌ها و تبدیل آن‌ها به روغن، باعث تأثیر منفی بر درصد روغن دانه شده است.

کارآیی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات رژیم‌های آبیاری و الگوی کاشت بر کارآیی مصرف آب و عملکرد دانه سویا و ارزن معنی‌دار شد. اثرات متقابل تیمارها بر عملکرد دانه ارزن و سویا نیز معنی‌دار بود (جدول ۷).

بیشترین کارآیی مصرف آب ارزن (۰/۳۴ و ۰/۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب)، در رژیم‌های آبیاری ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر به‌دست آمد (جدول ۸). بیشترین و کمترین کارآیی مصرف آب ارزن (به ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب)، به ترتیب در نسبت کاشت ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن و کشت خالص ارزن مشاهده شد (جدول ۸). رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر، کارآیی مصرف آب سویا را به میزان ۱۶/۰۹ درصد کاهش داد (جدول ۸). در بین الگوهای کاشت ۶۷ سویا: ۳۳ ارزن و ۵۰ سویا: ۵۰

www.SID.ir

Archive of SID

ارزن، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و این دو الگو، بیشترین کارآیی مصرف آب سویا را به خود اختصاص دادند. کمترین کارآیی مصرف آب، در کشت خالص سویا به‌دست آمد (جدول۸).

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری و کشت مخلوط بر کارآیی مصرف آب و عملکرد دانه سویا و ارزن
Table 7- Variance analysis of the effect of irrigation regimes and intercropping on soybean and millet water use efficiency and grain yield

Source of variation	df	Mean squares			
		Water use efficiency		Grain yield	
		Millet	Soybean	Millet	Soybean
Replication	2	0.00025^{ns}	0.00236*	671^{ns}	27282*
Irrigation regimes	2	0.00988**	0.00971**	1112682**	1764504**
Error a	4	0.00043	0.00022	2190	3532
Intercropping	4	0.00675**	0.00067*	1175493**	2121158**
Intercropping× Irrigation regimes	8	0.00005^{ns}	0.00016^{ns}	35737**	88394**
Error b	24	0.00029	0.00016	1829	1788
CV (%)	-	12.38	13.95	4.38	3.76

* 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

جدول۸- اثرات رژیم‌های آبیاری و کشت مخلوط بر کارآیی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) سویا و ارزن
Table 8- Effects of irrigation regimes and intercropping on soybean and millet water use efficiency (kg.m^{-3})

Irrigation regimes *	Millet	Soybean
60	0.330^{a}	0.348^{a}
90	0.336^{a}	0.310^{b}
120	0.283^{b}	0.292^{c}
LSD (0.05)	0.024	0.017
Intercropping		
100 Soybean: 0 Millet	-	0.306^{b}
67 Soybean:33 Millet	0.337^{a}	0.317^{ab}
50 Soybean:50 Millet	0.340^{a}	0.327^{a}
33 Soybean:67 Millet	0.304^{b}	0.316^{ab}
0 Soybean:100 Millet	0.283^{c}	-
LSD (0.05)	0.017	0.012

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.
Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Least Significant Difference (LSD) test (P<0.05).
*: MM evaporation from pan class A

مقایسه میانگین سطوح مختلف رژیم‌های آبیاری نشان داد که تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر، سبب افزایش معنی‌دار راندمان مصرف آب، در تولید ماده خشک ارزن شد. در این آزمایش، تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر، با تولید ۰/۳۴ کیلوگرم دانه به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، بیشترین و تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر با تولید ۰/۲۸ کیلوگرم دانه به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، کمترین راندمان مصرف آب را به خود اختصاص دادند. این نتیجه بیانگر آن است که اگرچه تنش کم‌آبی در خاک ممکن است از طریق انسداد روزنه‌ها، راندمان مصرف آب را افزایش دهد، اما باید توجه داشت که تنش بیش از حد، می‌تواند از طریق کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک، تأثیر معکوس بر راندمان مصرف آب داشته باشد. Sasani *et al.* (2004)در بررسی اثرات کم‌آبیاری بر راندمان مصرف آب ارزن علوفه‌ای به این نتیجه رسیدندکه با اعمال تنش کم‌آبی، کارآیی مصرف آب، افزایش یافت . با توجه به این امر نیز می‌توان نتیجه گرفت که ارزن برای کاشت در شرایط کم‌آبی مناسب‌تر است.

در کشت مخلوط جو و ماشک، عدم تأثیر کشت مخلوط بر کارآیی مصرف آب گزارش شده است (Mohsenabadi *et al.*, 2008) ولی در کشت مخلوط بادام‌زمینی با ارزن‌انگشتی، کارآیی مصرف آب افزایش

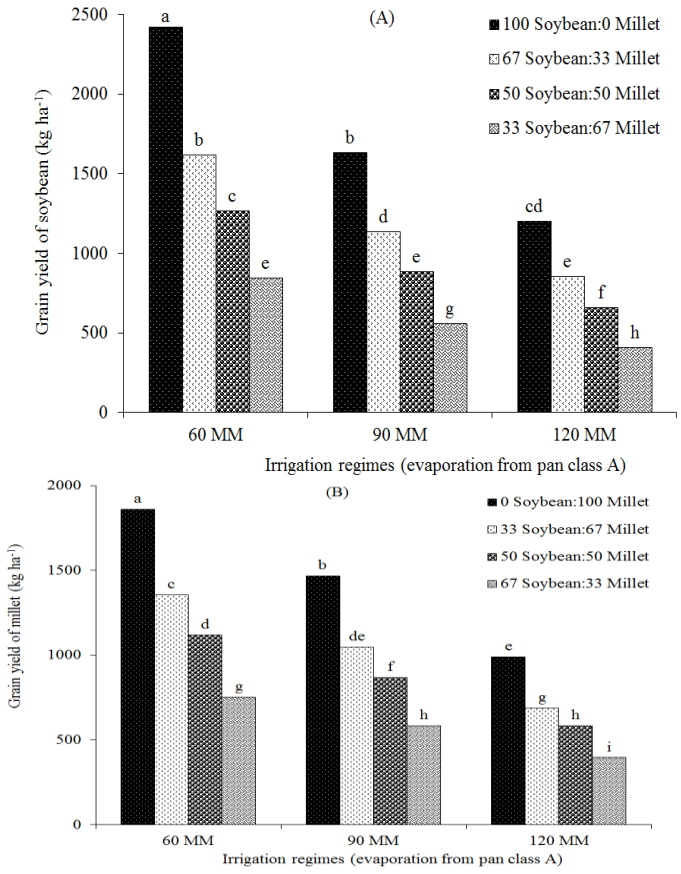
www.SID.ir

Archive of SID

یافت (Rankulatile *et al.*, 1998). به طور کلی، افزایش کارآیی مصرف آب در کشت مخلوط، به کاهش تبخیر از سطح خاک، به خاطر وجود پوشش بیشتر روی زمین نسبت به کشت خالص، نسبت داده شده است. بعضی از محققین عقیده دارند که بوم نظام‌هایی که دارای تنوع بیشتری هستند، از منابع محیطی مانند آب، با راندمان بهتری استفاده می‌کنند (Walker & Ogindo, 2003). در آزمایشی که روی کشت مخلوط ذرت و لپه‌هندی (*Cajanus cajan*) انجام شد، مشاهده شد که ریشه‌های عمیق لپه‌هندی، آب را از اعماق خاک بالا آورد و در اختیار ذرت قرار داد (Sekiya & Yano, 2004). یافته‌های Gao *et al.* (2009)نیز موید افزایش کارآیی مصرف آب، در کشت مخلوط نواری گندم زمستانه و ذرت می‌باشد. بنابراین، با کاربرد یک گیاه چهار کربنه علوفه‌ای با یک گیاه سه کربنه‌ای که دارای سیستم ریشه‌ای متفاوت هستند، از آب موجود بهتر استفاده می‌شود و عملکرد بیولوژیک بیشتری در ازای آب مصرفی تولید می‌گردد.

عملکرد دانه

رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر، عملکرد دانه ارزن و سویا را در کشت خالص، به ترتیب ۴۶/۸ و ۵۰/۵ درصد کاهش داد (شکل ۳ الف و ب). بیشترین عملکرد دانه در کشت خالص سویا و ارزن، به ترتیب با ۲۴۲۴ و ۱۸۶۱ کیلوگرم در هکتار و در رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد (شکل ۳ الف و ب). علت افزایش عملکرد دانه ارزن و سویا در تک‌کشتی نسبت به کشت مخلوط، بالا بودن تراکم آن‌ها در تک‌کشتی است.



شکل ۳- اثر کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد دانه سویا (A) و ارزن (B) در رژیم‌های مختلف آبیاری

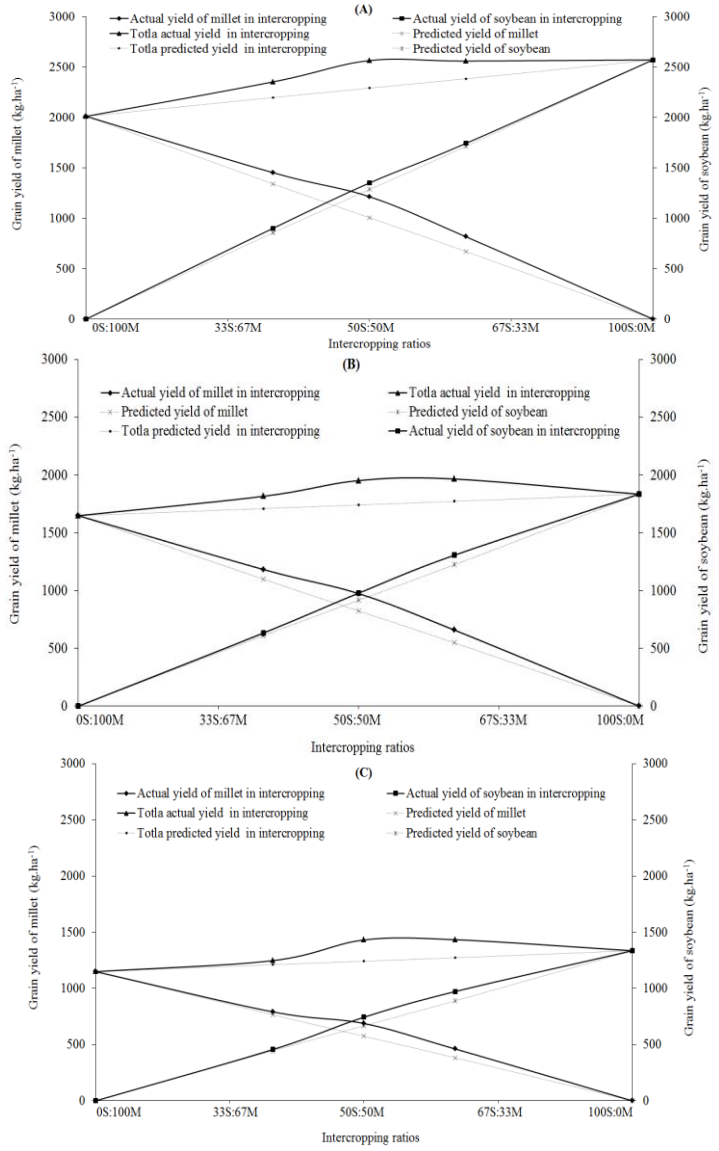
Figure 8- Effect of replacement intercropping on grain yield of soybean ($LSD_{0.05}$: 72.54; A) and millet ($LSD_{0.05}$:73.36; B) in different irrigation regimes

بر اساس نتایج به‌دست آمده، در رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر، عملکرد دانه واقعی ارزن در

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، بیشتر از عملکرد مورد انتظار آن بود. بیشترین عملکرد دانه واقعی ارزن، در نسبت‌های ۶۷ سویا: ۳۳ ارزن و ۵۰ سویا:۵۰ ارزن به‌دست آمد که ۲۱/۸ و ۲۰/۶ درصد بیشتر از عملکرد مورد انتظار بود. بیشترین عملکرد دانه واقعی سویا، در نسبت ۵۰ سویا:۵۰ ارزن مشاهده شد که ۵/۱ درصد بیشتر از عملکرد مورد انتظار بود (شکل ۴ الف). در رژیم آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر، بیشترین عملکرد دانه واقعی ارزن در نسبت (۵۰ سویا: ۵۰ ارزن) و (۶۷ سویا: ۳۳ ارزن به‌دست آمد که به ترتیب، ۱۸/۱ و ۲۰/۲ درصد بیشتر از عملکرد دانه مورد انتظار بود. بیشترین عملکرد دانه واقعی سویا در نسبت (۵۰ سویا: ۵۰ ارزن به‌دست آمد که ۶/۷ درصد بیشتر از عملکرد دانه مورد انتظار بود (شکل ۴ ب). در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، عملکرد دانه ارزن در نسبت‌های (۶۷ سویا: ۳۳ ارزن) و (۵۰ سویا:۵۰ ارزن، نسبت به عملکرد مورد انتظار، به ترتیب ۲۰/۴ و ۱۹/۷ درصد افزایش نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که در الگوی کاشت (۵۰ سویا:۵۰ ارزن، عملکرد دانه سویا، ۱۱/۴ درصد افزایش یافت (شکل ۴ ج).



شکل ۴- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد دانه سویا و ارزن در رژیم‌های آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر (الف)، ۹۰ میلی‌متر تبخیر (ب) و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر (ج)

Figure 4- Effect of different replacement intercropping patterns on soybean and millet grain yield in irrigation regimes of 60 mm evaporation (A), 90 mm evaporation (B) and 120 mm evaporation (C)

www.SID.ir

Archive of SID

با اعمال تنش کم‌آبی، عملکرد دانه ارزن و سویا کاهش یافت. کاهش عملکرد دانه سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی، توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Daneshian *et al*., 2011; Grumberg *et al*., 2015). دلیل اصلی کاهش عملکرد دانه، کاهش سرعت فتوسنتز و پیر شدن سریع برگ‌ها، کاهش قدرت منبع و کاهش قدرت مخزن، عنوان شده است. Daneshian *et al*. (2011) اظهار نمودند که اعمال تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی، باعث کاهش ۸۰ درصدی عملکرد دانه در سویا شد. Yadav & Bhatnagar (2001)، با بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد ۳۰ رقم ارزن، بیان داشتند که متوسط عملکرد دانه ارزن، ۷۲ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت. افزایش تولید کشت مخلوط ارزن و سویا در مقایسه با تک‌کشتی آن‌ها را می‌توان به کاهش رقابت درون‌گونه‌ای و تفاوت در ساختار ریشه این گیاهان، در استفاده مطلوب از شرایط محیطی نسبت داد. کشت ارزن با ریشه‌های سطحی و افشان در مجاورت گیاهانی که دارای ریشه‌های عمیق می‌باشند، باعث می‌شود که ریشه این گیاهان، در طبقات مختلف خاک پراکنده شوند و در مجموع، آب و مواد غذایی بیشتری از یک حجم معینی از خاک جذب شود. بنابراین، چنین می‌توان استنباط کرد که کشت مخلوط ارزن و سویا، از طریق تعادل و هماهنگی بین رطوبت و بهبود تغذیه گیاه به‌وسیله نیتروژن تثبیت‌شده توسط سویا، باعث افزایش عملکرد، در مقایسه با کشت خالص شده است. در مطالعات بسیاری، برتری کشت مخلوط بر تک‌کشتی نشان داده شده است (Daneshniaa *et al*., 2016; Lithourgidis *et al*., 2011). به نظر می‌رسد که در کشت مخلوط، به دلیل سیستم ریشه‌ای متفاوت ارزن و سویا، این دو گیاه از عناصر غذایی موجود در اعماق مختلف خاک، بهتر استفاده کردند و عملکرد نسبی بهتری را نسبت به کشت خالص نشان دادند. Lithourgidis *et al*.(2011)، با مقایسه تک‌کشتی و کشت مخلوط نخود فرنگی با گندم و چاودار (*Secale cereal* L.) به مدت دو سال، گزارش دادند که کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی، در تمامی تیمارها، دارای عملکرد بالاتری در بهره‌برداری از منابع محیطی موجودبوده است و بیشترین عملکرد در کشت مخلوط ۸۰ درصد نخود فرنگی و ۲۰ درصد گندم حاصل شده است. Maffei & Mucciarelli (2003) بیان داشتند که رشد و عملکرد نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تأثیر کشت مخلوط با سویا، به طور معنی‌داری افزایش یافت. این محققان نیز دلیل این امر را به فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت زیستی آن توسط سویا نسبت دادند. در ارزیابی کشت مخلوط از نظر اثرات متقابل روی عملکرد دو گیاه، می‌توان نتیجه گرفت که تحت شرایط کشت مخلوط، ارزن، اثرات مثبتی از سویا پذیرفته است چرا که افزایش عملکرد آن، بیش از عملکرد مورد انتظار بوده است اما عملکرد سویا، تقریباً روند مشابهی با عملکرد مورد انتظار داشت. به این معنی که اثرات مثبت کمتری از کشت مخلوط با ارزن پذیرفته است. دلیل این امر را می‌توان به غالبیت ارزن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و استفاده بهتر آن از شرایط محیطی نسبت داد. با توجه به اینکه عملکرد واقعی ارزن و سویا در کشت مخلوط، بیشتر از میزان مورد انتظار بوده است، بر اساس طبقه‌بندی تأثیر رقابت در زراعت مخلوط، می‌توان اظهار داشت که تأثیر رقابت دو گیاه در کشت مخلوط، از نوع مکملی مثبت (سودبری دو جانبه) بوده است.

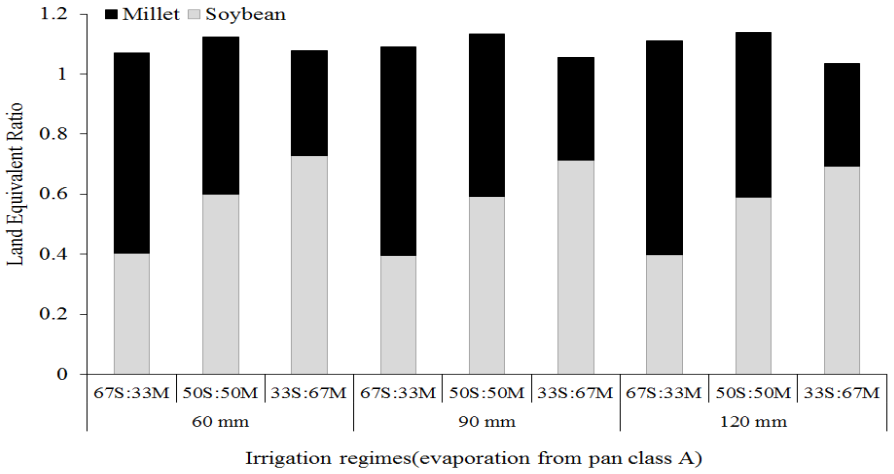
نسبت برابری زمین

نتایج نشان داد که در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی ارزن و سویا در همه رژیم‌های آبیاری، نسبت برابری زمین، بیشتر از یک بود که این امر، نشان‌دهنده سودمندی اجرای این الگوهای کشت مخلوط در افزایش بهره‌وری از منابع می‌باشد. بیشترین مقدار نسبت برابری زمین، ۱/۱۴ بود که در نسبت کاشت ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن و در رژیم آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. این به این معنی است که کشت خالص هر گیاه، نیاز به ۱۴ درصد زمین بیشتری نسبت به کشت مخلوط دارد تا عملکرد برابر آن را تولید کند و این مطالعه بیانگر کارآیی بیشتر استفاده از زمین در سیستم کشت مخلوط ارزن و سویا، تحت

www.SID.ir

Archive of SID

شرایط تنش کم‌آبی است. در رژیم آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر نیز بیشترین نسبت برابری زمین، ۱/۱۲ بود که در ترکیب ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن به‌دست آمد که معادل ۱۲ درصد افزایش سودمندی زراعی نسبت به کشت خالص دو گونه بود (شکل ۵). محققین دیگر نیز افزایش نسبت برابری زمین را در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص گزارش کرده‌اند (Koocheki *et al*., 2016; Tavassoli *et al*., 2010). تفاوت در ریشه‌دهی و ساختار کانوپی ارزن با سویا و در نتیجه ایجاد لایه‌های مختلف و استفاده بهتر از منابع از جمله نور و مواد غذایی در عمق‌های مختلف خاک، می‌تواند دلیل نسبت برابری زمین بزرگ‌تر باشد که نشان می‌دهد، در کشت مخلوط، ارزن و سویا مکمل هم بوده‌اند. اختلافات مورفولوژیکی غلات و بقولات و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های مختلف و استفاده مکملی از منابع، بهره‌برداری بهتر از آب و یا استفاده از آب در افق‌های مختلف خاک می‌تواند دلیل نسبت برابری زمین بزرگتر از یک، تحت شرایط تنش کم‌آبی باشد.



شکل ۵- نسبت برابری زمین در کشت مخلوط جایگزینی سویا و ارزن در رژیم‌های مختلف آبیاری

Figure 5- Land equivalent ratio in replacement intercropping of soybean and millet in different irrigation regimes

نتیجه‌گیری کلی

تنش کم‌آبی، غلظت فسفر دانه و عملکرد دانه ارزن و سویا کاهش داد. الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی، منجر به بهبود غلظت فسفر، نیتروژن و پروتئین دانه در ارزن شد که این موضوع، نشان دهنده تأثیر مثبت سویا بر ارزن می‌باشد. غلظت فسفر دانه سویا در کشت مخلوط با ارزن، به طورمعنی‌داری بیشتر از کشت خالص بود در حالی که غلظت نیتروژن دانه و مقدار روغن و پروتئین دانه سویا در کشت مخلوط با ارزن، تفاوت معنی‌داری با کشت خالص نداشت. ارزیابی نسبت برابری زمین نشان داد که نسبت این معیار در تمام الگوهای کشت مخلوط، بیشتر از یک بود و بیشترین آن در کشت مخلوط ۵۰ سویا: ۵۰ ارزن مشاهده شد. تفاوت ریشه‌دهی در ارزن و سویا و استفاده بهتر از آب در عمق‌های مختلف خاک، می‌تواند دلیل بالا بودن نسبت برابری زمین، تحت شرایط تنش کم‌آبی باشد که نشان می‌دهد، در کشت مخلوط، ارزن و سویا مکمل هم بوده‌اند.

REFERENCES

1. Alizadeh, A. (2001). Drought and necessity of increase in water productivity. *Quarterly Science Extension of Aridity and Agricultural Drought*, 2, 3-8.
2. Alizadeh, A. & Kamali, G. A. (2007). *Water Needs of Plants in Iran*. Imam Reza Publications, Mashhad, Iran. (In Farsi)

www.SID.ir

Archive of SID

3. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome, 300*(9), D05109.
4. Betencourt, B., Duputel, M., Colomb, B., Desclaux, D. & Hinsinger, P. (2012). Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 46, 181-190.
5. Candogana, B. N., Sincikb, M., Buyukcangaza, H., Demirtasa, C., Goksoyb, A. T. & Yazgan, S. (2013). Field, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in sub-humid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 118, 113-121.
6. Corre-Hellou, G., Faure, M., Launay, M., Brisson, N. & Crozat, Y. (2009). Adaptation of the STICS intercrop model to simulate crop growth and N accumulation in pea-barley intercrops. *Field Crops Research*, 113, 72-81.
7. Dhima, K. V., Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B. & Dordas, C. A. (2007). Competition indices of vetch and cereal intercrops in two ratios. *Field Crops Research*, 100, 249-256.
8. Daneshian, J., Jonoubi, P. & Barari Tari, D. (2011). Investigation of water deficit stress on agronomical traits of soybean cultivars in temperate climate. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 75, 778-785.
9. Daneshniaa, F., Amini, A. & Chaichi, M. R. (2016). Berseem clover quality and basil essential oil yield in intercropping system under limited Irrigation treatments with surfactant. *Agricultural Water Management*, 164, 331-339.
10. Darbaghshahi, M. N., Banitaba, A. & Bahari, B. (2012). Evaluating the possibility of saffron and chamomile mixed culture. *African Journal of Agricultural Research*, 7(20), 3060-3065.
11. Doorenbos, J., & Kassam, A. (1979). Yield response to water. *Irrigation and drainage paper, 33*, 257.
12. Food and Agriculture Organization. (2010). *Biodiversity: Agricultural Biodiversity in FAO*. Retrieved 2010, from http://www.fao.org/biodiversity.
13. Farnia, A., Noormohammadai, G., Naderi, A., Darvish, F. & Majidi-Hervan, I. (2006). Effect of drought stress and strains of Bradyrhizobium japonicum on grain yield and associated characteristics in soybean in Borujerd. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 8(3), 201-214.
14. Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., Liu, H. & Liu, Z. (2009). Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. *Field Crops Research*, 111, 65-73.
15. Ghosh, P. K., Tripathi, A. K., Bandyopadhyay, K. K. & Manna, M. C. (2009). Assessment of nutrient competition and nutrient requirement in soybean/sorghum intercropping system. *European Journal of Agronomy*, 31, 43-50.
16. Grumberg, G. B. C., Urcelay, C., Shroeder, M. A., Vargas-Gil, S. & Luna, C. M. (2015). The role of inoculum identity in drought stress mitigation by arbuscular mycorrhizal fungi in soybean. *Biology and Fertility of Soils*, 51, 1-10.
17. Haberle, J., Svoboda, P. & Raimanova, I. (2008). The effect of post-anthesis water supply on grain nitrogen concentration and grain nitrogen yield of winter wheat. *Plant Soil and Environment*, 54, 304-312.
18. Hashemi Dezfuli, A., Abdali, A. & Siadat, S. A. (2000). Study of corn-sunflower intercropping ratios in different dates of planting affecting on quantitative and qualitative forage kernel yields in Ahvaz region. *Iranian Journal of Crop Science*, 2(2), 1-18. (In Farsi)
19. Horwitz, W., Chichilo, P., & Reynolds, H. (1970). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.*
20. Inal, A., Gunes, A., Zhang, F. & Cakmak, I. (2007). Peanut maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. *Plant Physiology Biochemistry*, 20, 1-7.
21. Jahansooz, M. R., Yunusa, I. A. M., Coventry, D. R., Palmer, A. R. & Eamus, D. (2007). Radiation- and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. *European Journal of Agronomy*, 26, 275-282.
22. Keeney, D., Nelson, D., & Page, A. (1982). Nitrogen-inorganic forms. In: A. L. Page., R. H. Miller. & D. R. Keeney (Eds), *Methods of soil analysis. Part. 2. Chemical and microbiological properties.* (pp. 643-693) American *Society of Agronomy*.
23. Khajehpour, M. (2007). *Principle of Agronomy*. Industrial University of Esfahan Publication. (In Farsi)
24. Koocheki, A., Seyyedi, S. M. & Gharaei, S. (2016). Evaluation of the effects of saffron–cumin intercropping on growth, quality and land equivalent ratio under semi-arid conditions. *Scientia Horticulturae*, 201, 190-198.

www.SID.ir

Archive of SID

25. Kusaka, M., Lalusin, A. G. & Fujimura, T. (2005). The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke) cultivars with different root structures and osmoregulation under drought stress. *Plant Science*, 168, 1-14.
26. Li, W., Li, L., Sun, J., Guo, T., Zhang, F., Bao, X., Peng, A. & Tang, C. (2005). Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an Orthic Anthrosol in Northwest China. *Agricultural Ecosystem and Environment*, 105, 483-491.
27. Lithourgidis, A. S., Vlachostergios, D. N., Dordas, C. A. & Damalas, C. A. (2011). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34, 287-294.
28. Maffei, M. & Mucciarelli, A. (2003). Essential oil yield in peppermint/soybean strip intercropping. *Field Crops Research*, 84, 229-240.
29. Marshner, H. (1995). *Mineral Nutrient of Higher Plants*. Academic Press, London.
30. McDonald, G. K. (1992). Effects of nitrogen fertilizer on the growth, grain yield and grain protein concentration of wheat. Australian Journal *of* Agricultural Research, 43, 946-967.
31. Mohsenabadi, G. H. R., Jahansooz, M. R., Chaichi, M. R., Rahimian Mashhadi, H., Liaghati A. M. & Savaghebi. G. R. (2008). Evaluation of barley-vetch intercrop at different nitrogen rates. *Journal of Agriculture Science Technology*, 10, 23-31.
32. Morris, R. A. & Garrity, D. P. (1993). Resource capture and utilization in intercropping: non-nitrogen nutrients. *Field Crops Research*, 34, 303-317.
33. Rankulatile, H., Homma, K., Horie, T., Kurusa T. & Inamura, T. (1998). Land equivalent ratio of groundnut-finger millet intercrops as affected by plant combination ratio, and nitrogen and water availability. *Plant Production Science*, 1(1), 39-46.
34. Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. & Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal Plant Physiology*, 161, 1189-1202.
35. Saghatoleslami, M., Haravan, M., Nourmohmadi, G. & Darvish, F. (2007). Effect of drought stress in growth different stages on yield and water use efficiency of five millet genotypes in South Khorasan. *Science and Technology of griculture and Natural Resources*, 11, 215-225.
36. Sasani, S., Jahansooz, M. & Ahmadi, A. (2004). The effects of deficit irrigation on water-use efficiency, yield, and quality of forage pearl millet. *Agronomy and Plant Breeding. University of Tehran*, 150.
37. Sekiya, N. & Yano, K. (2004). Do pigeonpea and sesbania supply ground water to intercropped maize through hydraulic lift? Hydrogen stable isotope investigation of xylem waters. *Field Crop Research*, 86, 167-173.
38. Shaker-Koohi, S., Nasrollahzadeh, S., & Raei, Y. (2014). Evaluation of chlorophyll value, protein content and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) mungbean (*Vigna radiate* L.) intercropping. *International Journal of Biosciences, 4*(8), 136-143.
39. Sharma, O. P. & Gupta, A. K. (2002). Nitrogen-phosphorus nutrition of pearl millet as influenced by intercrop legumes and fertilizer levels. Journal *of* Plant Nutrition, 25, 833-842.
40. Sinaki, J., MajidiHeravan, M., Shirani Rad, A. H., Noor Mohammadi, G. & Zarei, H. (2007). The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal *of Agricultural and* Environmental *Sciences*, 2, 417-422.
41. Szumigalski, A. R. & Van Acker, R. C. (2006). Nitrogen yield and land use efficiency in annual sole crops and intercrops. *Agronomy Journal*, 98, 1030-1040.
42. Tavassoli, A. Ghanbari, A., Ahmadi, M. M. & 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 Farsi)
43. Tsubo, M., Walker, S. & Ogindo, H. O. (2005). A simulation model of cereal legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. *Field Crops Research*, 93, 10-22.
44. Waling, I., Vark, W. V., Houba, V. J. G. & Vanderlee, J. J. (1989). *Soil and Plant Analysis, A Series of Syllabi. Plant Analysis Procedures*. Wageningen Agriculture University, the Netherland.
45. Walker, S. & Ogindo, H. O. (2003). The water budget of rainfed maize and bean intercrop. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 919-926.
46. Xu, B., Shan, L., Zhang, S., Deng, X. & 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, 4056-4067.
47. Yadav, O. P. & Bhatnagar, S. K. (2001). Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non-stress conditions. *Field Crops Research*, 70, 201-208.

www.SID.ir

Archive of SID

48. Yang, G., Aiwang, D., Jingsheng, S., Fusheng, L., Zugui, L., Hao, L. & Zhandong, L. (2009). Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. *Field Crops Research*, 111(2), 65-73.
49. Zare-Abyaneh, H., Gasemi, A., Marofi, S. & Bayat-Varkeshi, M. (2010). Determination of water requirement, single and dual crop coefficients of garlic in cold semi-arid climate. *Water and Soil Science*, 20, 111-122.
50. Zhang, F. and Li, L. (2003). Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient use efficiency. *Plant and Soil*, 248, 305-312.
51. Zhang, Y., Chen, F., Li, L., Chen, Y., Liu, B. R., Zhou, Y. L., Yuan, L. X., Zhang, F. S. & Mi, G. H. (2012). The role of maize root size in phosphorus uptake and productivity of maize/faba bean and maize/wheat intercropping systems. *Research Paoer*, 55, 993-1001.
52. Zheng, H. F., Chen, L. D., Yu, X. Y., Zhao, X. F. Ma, Y. & Ren, Z. B. (2015). Phosphorus control as an effective strategy to adapt soybean to drought at the reproductive stage: evidence from field experiments across northeast China. *Soil Use and Management*, 31, 19-28.

www.SID.ir