

Effects of drought stress on grain yield, photosynthetic and physiological characteristic of corn (*Zea mays* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.) in different planting patterns

S. Miri¹, Y. Alizadeh^{2*}, H. Alizadeh³, E. Amini⁴

1. MSc. Student of Agronomy, Ilam University, Department of agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

3. Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

4. Graduated with a PhD in Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Received 14 January 2023; Accepted 21 February 2023

Extended abstract

Introduction

Under water stress conditions, intercropping can be used as a strategy for maximum use of sunlight and limited water resources. Due to the difference in morphological and physiological traits, the two plants corn and mung bean may be suitable for intercropping under drought stress; Therefore, this research was conducted with the aim of investigating the effects of drought stress on the physiological traits and yield of corn and mung beans in monocultures and intercropping in order to study the possibility of reducing water consumption in this production system.

Materials and methods

An experiment was carried out as a split plot based on randomized complete block design with three replications at Ilam University during 2019-2020 growing season. The main plot were four water regimes including (40, 60, 80, and 100% of the plant's water requirement) and the subplots were include the planting pattern at four levels (additive intercropping series 100% corn + 50% mung bean, replacement intercropping series 50% corn + 50% mung bean and monocultures of mung bean and corn). The application of drought stress started after the establishment stage of the plant and continued until the harvest. At the end of the growth period, some physiological traits of both plants were measured, including photosynthetic pigments, photosynthesis rate, transpiration rate, intercellular CO₂ concentration, proline amount, leaf relative water content and grain yield. Finally, analysis of variance (ANOVA) was performed using Minitab 14 and SAS 9.1 softwares and the means compared by HSD test at 5% probability level ($p \leq 0.05$).

Results and discussion

The results showed the highest rate of photosynthesis ($25.4 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) was obtained in the treatment of 100% water requirement and the lowest rate of photosynthesis was obtained in 40% water requirement, which showed a decrease of 68.5% compared to the well-watered conditions. The rate of photosynthesis of corn in the replacement intercropping of 50% corn + 50% mung bean was 18.3%

* Corresponding author: Yaser Alizadeh; E-Mail: y.alizadeh@ilam.ac.ir



higher compared to monocultures corn. The highest rate of mung bean photosynthesis was observed in replacement intercropping under conditions of 100% water requirement and additive intercropping series under 80% water requirement, and the lowest rate of mung bean photosynthesis was observed in intercropping under conditions of 60 and 40% water requirement. Dehydration stress decreased the amount of total chlorophyll in mung beans and corn. The highest intercellular CO₂ concentration (475.5 mmol of CO₂.m⁻².s⁻¹) and the temperature of the corn leaf (36.7 °C) belonged to the 40% water requirement treatment. The rate of transpiration of corn and mung bean decreased by 55.56 and 61.43% in the condition of 40% water requirement compared to well-watered conditions. Water stress reduced the relative water content of corn and mung bean. The highest proline in corn and mung leaves (46.3 and 45.23 μmol.g⁻¹.FW⁻¹, respectively) was obtained in the treatment of 40% water requirement, which had no significant difference with 60% water requirement. Corn grain yield in the treatment of 40% water requirement showed a decrease of 52.76% compared to 100% water requirement. Monocultures (3945.8 kg.ha⁻¹) and intercropping (3875.1 kg.ha⁻¹) had the highest corn grain yield, and the lowest corn grain yield in replacement intercropping was 2700 kg ha⁻¹. At all irrigation levels, the highest grain yield of mung bean was obtained in monocultures, and the yield decreased in additive and replacement intercropping, and additive intercropping had the lowest grain yield. The values of land equality ratio of all intercropping patterns were greater than one, which indicates the advantage of corn and mung bean intercropping patterns to use land and increase yield.

Conclusion

Considering the occurrence of recent droughts in arid and semi-arid regions of the country and the need for forage in these regions, the cultivation of forage plants, especially corn, is inevitable. Therefore, one of the appropriate strategies to protection in management and water consumption is the intercropping of this plant with plants of the legume such as mung bean. Intercropping can partially moderate the effects of drought stress on plant water conditions. In general, it seems that the patterns of intercropping and substitution, due to having higher grain yield potential, is a suitable strategy for producing higher yield and stability of this plant compared to monocultural under well-watered and stress water.

Acknowledgments

This research has been carried out using the research credits of Ilam University, by which we express our thanks and appreciation to the respected Assistance of Research and Technology of Ilam University.

Keywords: Intercropping, Irrigation, Land Equality Ratio, Photosynthesis pigments, Photosynthesis rate

بررسی اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه، پارامترهای فتوسنتزی و خصوصیات فیزیولوژیک ذرت دانه‌ای (*Zea mays L.*) و ماش (*Vigna radiata L.*) در الگوهای مختلف کاشت

سمیه میری^۱، یاسر علی‌زاده^{۲*}، حمزه علی‌علیزاده^۳، اخلاص امینی^۴

۱. دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام

۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام

۳. استادیار گروه علوم مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام

۴. دانش‌آموخته مقطع دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	به‌منظور بررسی اثر الگوهای کاشت بر خصوصیات فیزیولوژیک ماش و ذرت تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام گردید. کرت‌های اصلی شامل آبیاری در چهار سطح (۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کرت‌های فرعی شامل الگوی کاشت در چهار سطح (کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد ماش، کشت مخلوط جایگزینی ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد ماش و کشت خالص ماش و ذرت) بودند. نتایج نشان داد تنش کم‌آبی (۴۰ درصد نیاز آبی) باعث کاهش کلروفیل، سرعت فتوسنتز، مقدار رطوبت نسبی و سرعت تعرق در هر دو گیاه ماش و ذرت گردید. سرعت فتوسنتز ذرت در الگوی کاشت جایگزینی در مقایسه با کشت خالص ذرت ۱۸/۳ درصد بیشتر بود. غلظت کلروفیل ذرت در الگوهای کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی به میزان ۷/۷ درصد بیشتر از کشت خالص ذرت بود. بیشترین غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه، دمای برگ و مقدار پرولین برگ ذرت و ماش در شرایط ۴۰ درصد نیاز آبی حاصل گردید. عملکرد دانه ذرت تحت شرایط ۴۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با ۱۰۰ درصد نیاز آبی به میزان ۵۲/۷۶ درصد کاهش یافت. بیشترین عملکرد دانه ذرت را به خود اختصاص داد. در سطوح مختلف آبیاری بیشترین عملکرد دانه ماش از کشت خالص به دست آمد و عملکرد ماش در کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی کاهش یافت. نسبت برابری زمین در همه الگوهای کاشت ذرت و ماش تحت شرایط آبیاری مختلف بیشتر از یک بود و نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط ذرت و ماش بر کشت خالص بود. به‌طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که کشت مخلوط ماش و ذرت رهیافت مهمی برای افزایش تولید محصول در شرایط تنش کم‌آبی است.
تاریخ دریافت:	۱۴۰۱/۱۰/۲۴
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۱/۱۲/۰۲
تاریخ انتشار:	پائیز ۱۴۰۳
پایین	۱۷(۳): ۴۵۵-۴۷۱

مقدمه

است (Reddy et al., 2004). تنش کم‌آبی هنگامی اتفاق می‌افتد که سرعت تعرق از سرعت جذب آب بیشتر باشد، در واقع، با کاهش میزان رطوبت خاک و عدم جایگزینی آن، مقدار جذب آب کمتر از هدر رفت آن است و در نتیجه در گیاه پتانسیل آب کاهش می‌یابد (Barbara et al., 2014). تنش کم‌آبی تقریباً می‌تواند هر فرایندی در گیاه از تولید انرژی

تنش‌های محیطی از مهم‌ترین عوامل کاهنده تولید محصولات زراعی در سراسر جهان هستند. در این میان تنش کم‌آبی مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش محیطی است که به گیاهان زراعی در سراسر جهان هر ساله خسارت‌های زیادی وارد می‌نماید (Baghbani-Arani et al., 2017). به‌طوری‌که تنش کم‌آبی ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی زراعی دنیا را تحت تأثیر قرار داده

کشت مخلوط، رقابت اجزای کشت مخلوط در جهت دست یافتن به آب و اصل تولید رقابتی نقش اساسی و اهمیت زیادی دارد. به طوری که با عدم انتخاب صحیح اجزای کشت مخلوط، گونه‌ها محیط را به ندرت به سود یکدیگر تغییر می‌دهند و در نتیجه محدودیت آب در این چنین الگوهای کشت نادرستی باعث غلبه یک گیاه بر گیاه دیگر و سبب افت عملکرد و خسارت اقتصادی می‌گردد؛ در واقع هنگامی که از منابع به صورت بهتری استفاده شود در این سیستم تولید، محصول مطلوب است (Zhang and Li, 2003). در بین الگوهای مختلف چندکشتی، از جمله قدیمی‌ترین و معمول‌ترین بوم‌نظام‌های کشاورزی در نقاط مختلف جهان به خصوص در کشورهای در حال توسعه ترکیب غلات با گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن است (Amani Machiani et al., 2018). یکی از علت‌های بهبود عملکرد در چنین نظام‌هایی این است که گیاهان کشت‌شده در کشت مخلوط در یک نیچ اکولوژیک از منابع یکسانی استفاده نمی‌کنند و در نتیجه منابع قابل دسترس مانند تشعشع خورشیدی، عناصر غذایی و آب را به صورت مکمل جذب می‌نمایند (Brooker et al., 2015). علت افزایش بهره‌وری آب در کشت مخلوط به خصوص کشت بقولات با غلات چهار کربنه نسبت به تک‌کشتی را می‌توان به تبخیر کمتر رطوبت از سطح خاک نسبت داد، زیرا در این الگوهای کاشت ریشه گیاهان از رطوبت خاک مدت‌زمان بیشتری استفاده می‌نمایند. در بررسی کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و لوبیای قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) مشاهده شد که کارایی مصرف آب در کشت مخلوط لوبیای قرمز با سورگوم در مقایسه با کشت خالص لوبیا قرمز و سورگوم به ترتیب ۱۲/۲ و ۲۹/۴ درصد بیشتر بود (Khajeh Khezri et al., 2018). تانوار و همکاران (Tanwar et al., 2014) در بررسی کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)، سورگوم و لوبیا سبز در یک مطالعه سه ساله در منطقه‌ای خشک گزارش کردند هنگامی که سیستم کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)، سورگوم و لوبیا سبز به جای سیستم سنتی آیش-گندم (*Triticum aestivum* L.) به کار گرفته شود، کارایی مصرف آب و تولید افزایش یافته است. محققان در پژوهشی به ارزیابی الگوهای مختلف کشت مخلوط سویا (*Glycine max*) و ذرت (*Zea mays*) پرداختند. این پژوهشگران گزارش کردند که تعداد زیادی از شاخص‌های رشدی سویا در الگوهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی

گرفته تا رشد را تحت تأثیر قرار دهد (L Des Marais, 2017) و سبب افت عملکرد گیاهان گردد. متوسط کاهش عملکرد سالانه در جهان تحت اثر کم‌آبی حدود ۱۷ درصد است که تا بیش از ۷۰ درصد می‌تواند افزایش یابد (Akhila et al., 2008). در طی مراحل مختلف رشد وقوع تنش کم‌آبی، به درجات متفاوت عملکرد و رشد گیاه کاهش می‌یابد که شدت تنش و مرحله رشدی گیاه بر کاهش عملکرد تأثیر زیادی دارند (Cheng et al., 2017). کاهش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ و تغییر نسبت کلروفیل a به b تحت شرایط تنش کم‌آبی در مطالعات بسیاری گزارش شده است (Baiazidi Aghdam et al., 2016; Rajasekar et al., 2016). اما با این حال بعضی از مطالعات افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ را تحت تنش کم‌آبی گزارش کرده‌اند (Sheteawi and Tawfik, 2007).

مدیریت مصرف آب در چنین وضعیتی در بخش کشاورزی به عنوان پرمصرف‌ترین بخش آب شیرین در جهان، استراتژی مناسب در راستای مدیریت معضلات و مشکلات بحران آب به حساب می‌آید. از سوی دیگر نگرانی‌های مربوط به از بین رفتن و نابودی تنوع زیستی در نظام‌های کشت متداول و مرسوم و شناخت این واقعیت که کاهش تنوع زیستی کشاورزی در بلندمدت بر امنیت غذایی اثرات منفی دارد، سبب شده است در دو دهه اخیر رویکرد چند کشتی به تدریج در سیستم‌های نوین مورد توجه قرار گیرد (Khajeh Khezri, 2017). با تغییر الگوی کاشت و کاربرد چندکشتی می‌توان از شدت غیرقابل‌پیش‌بینی تنش کم‌آبی و طول دوره تنش خشکی کاست و افت عملکرد را کمتر کرد (Ansari et al., 2014). چندکشتی در معیشت مردم و تولید غذا به خصوص در کشورهای در حال توسعه نقش مهمی دارد. در این کشورها سیستم کشت مخلوط اغلب در مزارع کوچک و به صورت سنتی توسط کشاورزان مدیریت می‌شود. این سیستم به علت کارایی بیشتر نسبت به کشت خالص و کاهش خطر از بین رفتن محصول برای کشاورزان، به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد (Paudel, 2016; Stoltz and Nadeau, 2014).

تنش خشکی باعث تشدید رقابت بین‌گونه‌ای می‌شود و محدودیت رطوبت خاک می‌تواند اثرات مکملی را در کشت مخلوط افزایش دهد (Wang et al., 2015). در گیاهانی که به صورت کشت مخلوط رشد می‌کنند الگوهای جذب آب در مقایسه با تک‌کشتی متفاوت است. در ارتباط با مصرف آب در

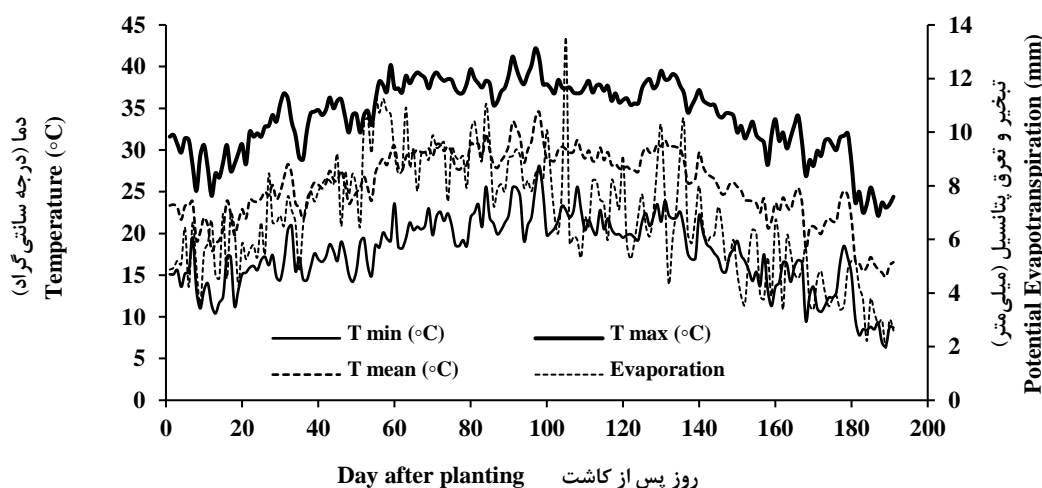
تنش کم‌آبی، سازگاری مناسب را داشته باشند؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثرات تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ذرت و ماش در کشت خالص و مخلوط انجام گرفت تا امکان کاهش مصرف آب در این سیستم تولیدی مورد مطالعه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۷۴ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. در کرت‌های اصلی، آبیاری در چهار سطح (۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و در کرت‌های فرعی، چهار الگوی کاشت شامل کشت خالص ذرت، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد ذرت و ۵۰ درصد ماش، کشت مخلوط جایگزینی ۵۰ درصد ذرت و ۵۰ درصد ماش و کشت خالص ماش قرار گرفتند. در طول فصل رشد مجموع تبخیر و تعرق پتانسیل (۱۳۰۰ میلی‌متر)، میانگین دمای حداقل و حداکثر در طول دوره رشد، به ترتیب ۱۷/۷ و ۳۴/۱ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۱).

روند کاهشی داشتند، به‌ویژه ماده خشک و عملکرد، این در حالی بود که نتایج برای ذرت کاملاً متفاوت بود، به صورتی که عملکرد و ماده خشک ذرت در کشت مخلوط به علت تراکم کمتر و در نتیجه کاهش رقابت درون‌گونه‌ای در مقایسه با تک‌کشتی این گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش داشت (Allmaras et al., 2003).

کشت مخلوط ماش (*Vigna radiata*) و ذرت از سیستم‌های کشت مخلوط بقولات-غلات است. ذرت از نظر تولید در جهان بعد از گندم و برنج (*Oryza sativa*)، سومین محصول غله‌ای به حساب می‌آید و با توجه به نقش اصلی که در تغذیه انسان و دام و ماده خام صنعتی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه دارد از جایگاه ارزشمندی در عرصه تولید جهانی برخوردار است (Andjelkovic et al., 2012)، بنابراین افزایش تولید و عملکرد آن همواره مورد توجه محققان بوده است. ماش نیز به علت دارا بودن توانایی تثبیت زیستی نیتروژن نقش اساسی در بهبود حاصلخیزی خاک دارد و دانه‌ی آن نیز منبع مهم تأمین‌کننده پروتئین گیاهی برای انسان است (Fathi, 2010). تحت شرایط تنش کم‌آبی، کشت مخلوط می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی در راستای حداکثر استفاده از نور خورشید و منابع محدود آب استفاده شود. به علت تفاوت در خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو گیاه ذرت و ماش، به نظر می‌رسد برای کشت مخلوط تحت



شکل ۱. دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای متوسط و میزان تبخیر در طول دوره رشد ذرت و ماش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱
 Fig. 1. Minimum temperature, maximum temperature, mean temperature and evaporation rate during the growth period of corn and mung bean in the crop year 2019-2020

مزرعه آزمون خاک از مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری خاک انجام شد (جدول ۱) آماده‌سازی زمین شامل شخم پاییزه و

برای کشت ذرت از رقم سینگل‌کراس کنسور و برای کاشت ماش از رقم پرتو استفاده گردید. قبل از آماده‌سازی

شخم مجدد در بهار با گاوآهن قلمی و عملیات تکمیلی تهیه زمین به‌وسیله دیسک انجام شد. کاشت بذور در تاریخ ۳۰ اردیبهشت‌ماه در کرت‌های به ابعاد $2/5 \times 3$ مترمربع به‌صورت ردیفی انجام گرفت.

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

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

نیترژن	پتاسیم	فسفر	ماده آلی	اسیدیته	هدایت الکتریکی	بافت خاک
Total N	K	P	OM	pH	EC	Soil Texture
%	ppm	ppm	%		dS.m ⁻¹	
0.125	370.3	8.5	1.2	7.06	0.15	لومی رسی Clay-Loam

روزنه و دمای برگ از دستگاه فتوسنتز متر مدل GFS3000 ساخت کشور آلمان استفاده شد. میزان محتوای نسبی آب برگ با استفاده از روش سانچز (Sanchez, 1998) و میزان پرولین برگ به روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) در آغاز گلدهی اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه دو گیاه، در مرحله رسیدگی از هر واحد آزمایشی بوته‌های ۱ مترمربع برداشت‌شده و عملکرد دانه تعیین شد. به‌منظور محاسبه نسبت برابری جزئی ماش (LERm)، ذرت (LERc) و کل (LERt) از رابطه ۲ استفاده گردید (Mead and Willy, 1980).

$$LERt = LERc + LERm \quad [2]$$

$$LERc \text{ and } LERm = \frac{\text{yield of intercropping of crop}}{\text{yield of monocropping of crop}} \quad [3]$$

تجزیه داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Minitab 14 و SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات آبیاری بر کارتنوئیدها و سرعت فتوسنتز ذرت و ماش معنی‌دار بود. الگوی کاشت تأثیر معنی‌داری بر سرعت فتوسنتز ذرت و ماش داشت. همچنین اثرات متقابل تیمارها (آبیاری و الگوی کاشت) بر مقدار کلروفیل کل، کارتنوئیدها و سرعت فتوسنتزی برگ ماش در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اثرات آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژی ماش و ذرت مانند غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه، سرعت تعرق و دمای برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. همچنین اثرات متقابل تیمارها (آبیاری و الگوی کاشت) بر غلظت دی‌اکسید کربن زیرروزنه و دمای برگ ماش در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

فاصله ردیف‌ها در کشت خالص ذرت، کشت خالص ماش و کشت مخلوط جایگزینی ۵۰ سانتی‌متر و در کشت مخلوط افزایشی ۲۵ سانتی‌متر بود و فاصله روی ردیف، بین بوته‌های ذرت ۲۰ سانتی‌متر و برای ماش در کشت خالص و کشت مخلوط جایگزینی ۱۰ سانتی‌متر و در کشت مخلوط افزایشی ۲۰ سانتی‌متر بود. به‌منظور اعمال صحیح و یکنواخت آبیاری واحدهای آزمایشی، آبیاری مزرعه با استفاده از نوار تیپ انجام شد و میزان آب مصرفی توسط کنتور اندازه‌گیری شد. تا زمان استقرار کامل گیاهان، همه کرت‌ها به میزان یکسان آبیاری شدند و پس از آن اعمال سطوح مختلف آبیاری آغاز شد. در هر مرحله از آبیاری به‌منظور تعیین میزان آب مصرفی، پیش از آبیاری از عمق ۳۰ سانتی‌متر نسبت به نمونه‌گیری مرکب از خاک اقدام شد. سپس نمونه‌های خاک در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و حجم آب آبیاری برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی هر یک از تیمارها از رابطه (۱) محاسبه شد (Benami and Ofen, 1984). برای سایر سطوح حجم آب آبیاری از حاصل ضرب ضریب تنش آبی در رابطه (۱) محاسبه شد.

$$V = \frac{(\theta_{FC} - \theta_w) \times \rho_b \times D_r \times A}{E_i} \quad [1]$$

در این رابطه V: حجم آب ورودی برحسب مترمکعب، FC: درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه، θ_w : درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری، Pb: وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، Dr: عمق توسعه ریشه برحسب متر، A: مساحت آبیاری شده برحسب مترمربع و E_i : راندمان آبیاری (درصد) هستند.

برای اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ ذرت و ماش در مرحله گلدهی از روش آرنون (Arnon, 1975) با استفاده از استون ۸۰ درصد انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، غلظت دی‌اکسید کربن زیر

جدول ۲. تجزیه واریانس اثرات آبیاری و الگوی کاشت بر سرعت فتوسنتز و مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ ذرت و ماش

Table 2. Variance analysis (mean squares) of the effects of irrigation and planting pattern on the rate of photosynthesis and the content of photosynthetic pigments in corn and mung bean

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	ذرت Corn			ماش Mung bean		
			کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئیدها Carotenoids	سرعت فتوسنتز Pn	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئیدها Carotenoids	سرعت فتوسنتز Pn
Block	بلوک	2	0.0004 ^{ns}	0.0022 ^{ns}	2.19 ^{ns}	0.3065 ^{ns}	0.0130 ^{ns}	0.138 ^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	3	0.7213 ^{**}	0.0112 ^{**}	669.07 ^{**}	0.9807 ^{ns}	0.0084 [*]	121.89 ^{**}
Error (a)	خطای a	6	0.0084	0.0019	3.71	0.1323	0.0047	1.394
Planting pattern (P)	الگوی کاشت	2	0.0737 [*]	0.0034 ^{ns}	27.44 ^{**}	0.1827 ^{ns}	0.0033 ^{ns}	1.548 [*]
I × P	آبیاری × الگوی کاشت	6	0.0090 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	4.07 ^{ns}	0.1670 [*]	0.0139 [*]	3.135 ^{**}
Error (b)	خطای b	16	0.0179	0.0010	2.04	0.0860	0.0039	0.287
CV (%)	ضریب تغییرات	-	9.96	16.58	8.43	25.20	27.51	6.11

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

* and **: Significant at the 5 and 1 % level, respectively; ns: non-significant

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات آبیاری و الگوی کاشت بر صفات فیزیولوژیکی ذرت و ماش

Table 3. Variance analysis (mean squares) of the effects of irrigation and planting pattern on the physiological traits in corn and mung bean

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	ذرت Corn			ماش Mung bean		
			غلظت دی‌اکسید کربن زیرروزنه Ci	سرعت تعرق T	دمای برگ Leaf temperature	غلظت دی‌اکسید کربن زیرروزنه Ci	سرعت تعرق T	دمای برگ Leaf temperature
Block	بلوک	2	9873.3 ^{**}	0.012 ^{ns}	12.45 ^{**}	4003.9 ^{**}	3.369 ^{**}	4.288 [*]
Irrigation (I)	آبیاری	3	28740.5 ^{**}	14.14 ^{**}	36.003 ^{**}	28415.2 ^{**}	24.31 ^{**}	45.63 ^{**}
Error (a)	خطای a	6	1795	0.044	4.076	410.3	0.7816	3.796
Planting pattern (P)	الگوی کاشت	2	407.8 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.6923 ^{ns}	129.4 ^{ns}	0.0465 ^{ns}	0.0607 ^{ns}
I × P	آبیاری × الگوی کاشت	6	58.7 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.6219 ^{ns}	266.1 [*]	0.0454 ^{ns}	0.443 [*]
Error (b)	خطای b	16	362.3	0.06	0.5667	132.2	0.1580	0.8438
CV (%)	ضریب تغییرات	-	4.70	9.18	2.18	2.66	9.70	2.67

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

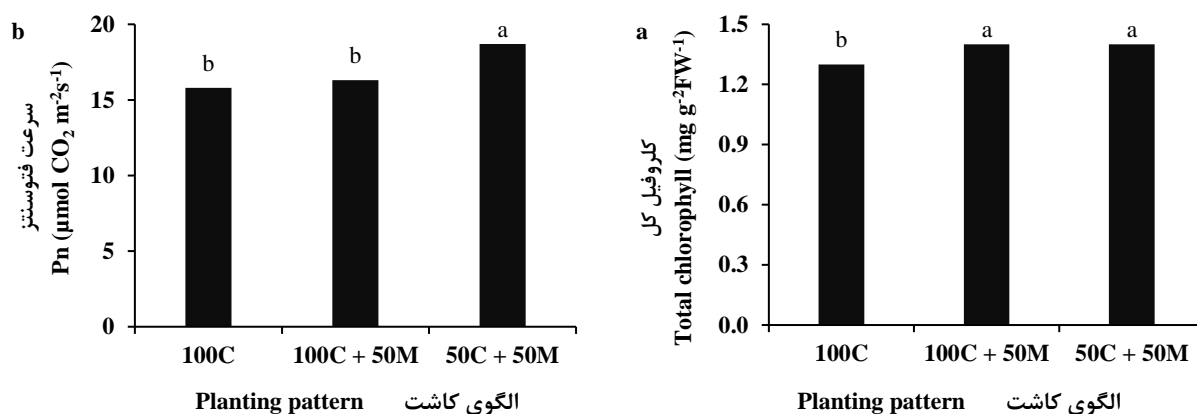
* and **: Significant at the 5 and 1 % level, respectively; ns: non-significant

درصد ذرت +۵۰ درصد ماش مشاهده شد که در مقایسه با کشت خالص ذرت ۱۸/۳ درصد بیشتر بود (شکل ۲b). اثر آبیاری، الگوی کاشت و اثر متقابل آبیاری و الگوی کاشت روی سرعت فتوسنتز ماش در سطح یک درصد معنی‌دار بود. ماش در کشت مخلوط جایگزینی و کشت خالص در

بررسی الگوهای کاشت مشخص نمود که غلظت کلروفیل کل ذرت در الگوهای کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی به میزان ۷/۷ درصد بیشتر از کشت خالص ذرت بود (شکل ۲a). بیشترین سرعت فتوسنتز ذرت (۱۸/۷ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) در الگوی کاشت جایگزینی ۵۰

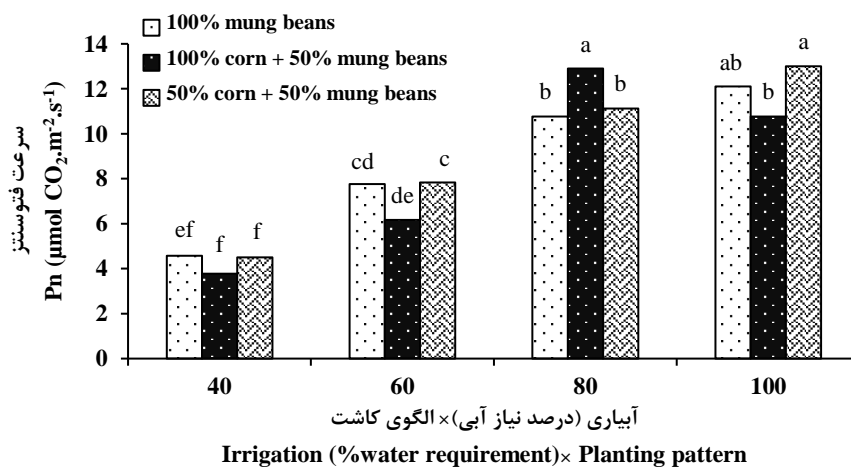
بودند. روند تغییرات سرعت فتوسنتز الگوهای کاشت در شرایط ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی یکسان بود و کمترین سرعت فتوسنتز در این سطوح آبی در کشت مخلوط افزایشی به دست آمد (شکل ۳).

شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کشت مخلوط افزایشی در ۸۰ درصد نیاز آبی بیشترین سرعت فتوسنتز (۱۲/۹ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) را نشان داد و این تیمارها از نظر سرعت فتوسنتز ماش فاقد اختلاف معنی‌دار



شکل ۲. (a) و (b) سرعت فتوسنتز و (a) و (b) در بین الگوهای مختلف کاشت (C، ذرت و M، ماش)

Fig. 2. Total chlorophyll concentration (a) and photosynthetic rate (b) of corn in different planting patterns (C=Corn and M=Mungbean)



شکل ۳. تأثیر آبیاری بر سرعت فتوسنتز ماش در بین الگوهای مختلف کاشت

Fig. 3. Effect of irrigation on mung bean photosynthesis rate in different planting patterns

تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختصاص یافت که با تنش ملایم اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۴). با اعمال تنش کم‌آبی سرعت فتوسنتز ذرت کاهش یافت. بیشترین سرعت فتوسنتز (۲۵/۴ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین سرعت فتوسنتز در ۴۰ درصد نیاز آبی حاصل گردید که نسبت به شرایط بهینه ۶۸/۵

تنش کم‌آبی باعث کاهش مقدار کلروفیل کل ماش و ذرت گردید. تنش کم‌آبی ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی مقدار کلروفیل کل برگ ذرت را به میزان ۲۵/۰ و ۳۷/۵۷ درصد در مقایسه با ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش داد (جدول ۴). تنش کم‌آبی سبب افزایش غلظت کاروتنوئیدهای برگ ذرت شد و کمترین غلظت کاروتنوئیدها (۰/۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به

یک سطح آماری قرار داشت (جدول ۴). بیشترین (۳۶/۷) درجه سانتی‌گراد) و کمترین (۳۲/۱) درجه سانتی‌گراد) دمای برگ ذرت به ترتیب در تیمارهای ۴۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ۴).

درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). در بین سطوح مختلف آبیاری بیشترین غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه ذرت (۴۷۵/۵) میلی‌مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) متعلق به تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و کمترین مقدار مربوط به ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود که با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی در

جدول ۴. تأثیر آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژی برگ ذرت

Table 4. The effect of irrigation on physiological traits of corn leaves

آبیاری	کلروفیل کل	کارتنوئیدها	سرعت فتوسنتز	غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه	دمای برگ
Irrigation	Total chlorophyll I	Carotenoids	Pn	Ci	Leaf temperature
% water requirement	-----mg.g ⁻¹ .FW ⁻¹ -----		μmol CO ₂ .m ⁻² .s ⁻¹	mmol.m ⁻² .s ⁻¹	°C
40	1.0 ^c	0.27 ^{ab}	8.0 ^d	475.5 ^a	36.7 ^a
60	1.2 ^b	0.31 ^a	11.2 ^c	423.6 ^b	35.2 ^b
80	1.5 ^a	0.21 ^{bc}	23.1 ^b	373.3 ^c	33.8 ^c
100	1.6 ^a	0.15 ^c	25.4 ^a	347.9 ^c	32.1 ^d

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

Means with common letters in each column not significant differences based on HSD test at the 5 percent probability level

الگوی کاشت مخلوط افزایشی در شرایط ۴۰ درصد نیاز آبی بود که اختلاف آن با الگوی کاشت خالص و مخلوط جایگزینی در این سطح آبی معنی‌دار نبود و کمترین میزان این صفت در الگوهای کشت خالص و مخلوط ماش در تیمارهای ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد (جدول ۵).

تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل کل گردید. طی تنش کم‌آبی به علت کاهش تولید انرژی در سلول و کاهش تنفس، سنتز کلروفیل کاهش می‌یابد و این امر همراه با تخریب رنگیزه‌ها (ناشی از تنش اکسیداتیو ایجادشده) باعث می‌گردد میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی به میزان بیشتری کاهش یابند (Lawlor and Cornic, 2012).

کاهش مقدار کلروفیل در اثر تنش کم‌آبی در گیاه ماش نیز گزارش شده که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Naresh et al., 2013). اولین پاسخ‌های گیاه به تنش کم‌آبی بسته شدن روزنه‌ها است که از راه کاهش هدر رفتن رطوبت گیاه می‌تواند در تحمل به تنش کم‌آبی مؤثر باشد؛ اما بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش کم‌آبی باعث افزایش دمای برگ و کاهش فتوسنتز می‌گردد (Kaur et al., 2012). جایا و همکاران (Jaya et al., 2008) گزارش کردند که به علت سایه‌اندازی ذرت دمای تاج‌پوشش کشت مخلوط کاهش یافت. در سیستم‌های چندکشتی به علت تأثیر مثبت گونه‌های گیاهی در افزایش پوشش زمین، حفظ بیشتر آب موجود در خاک، کاهش تبخیر از سطح خاک، افزایش کارایی

بیشترین غلظت کلروفیل کل ماش تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی ماش مشاهده شد که با ۸۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌دار نداشت و تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی بین الگوهای مختلف کشت مخلوط ماش از نظر غلظت کلروفیل تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. کشت خالص ماش و الگوی کشت افزایشی تحت شرایط ۴۰ درصد نیاز آبی کمترین مقدار کلروفیل ماش را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). روند تغییرات غلظت کارتنوئیدها در ماش با کلروفیل متفاوت بود به نحوی که کمترین غلظت کارتنوئیدها (۰/۱۵) میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به الگوی کاشت مخلوط جایگزینی در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختصاص یافت که با الگوهای کشت خالص و مخلوط در شرایط ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی فاقد اختلاف معنی‌دار بود و اعمال تنش کم‌آبی باعث افزایش مقدار کارتنوئیدهای ماش گردید (جدول ۵). بررسی اثر متقابل آبیاری و الگوی کاشت روی دمای ماش نشان داد که بیشترین دمای برگ به الگوهای کاشت خالص و مخلوط در تیمارهای ۴۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی اختصاص یافت و این تیمارها از نظر آماري فاقد اختلاف معنی‌دار بودند و کمترین دمای برگ در الگوهای کاشت خالص و مخلوط در تیمارهای ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ۵). بررسی اثر متقابل آبیاری و الگوی کاشت در گیاه ماش مشخص نمود که بیشترین غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه ماش (۵۱۳/۹۳) میلی‌مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) مربوط به

الکترون فتوسنتزی، فتوفسفوریلاسیون و میزان متابولیت‌ها است (Seraa et al., 2013) که بر سرعت و میزان فتوسنتز مؤثر هستند. تحت شرایط تنش کم‌آبی، بر اثر بسته شدن نسبی روزنه‌ها و یا کاهش درجه گشودگی جذب و تثبیت دی‌اکسیدکربن آن‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین غلظت دی-اکسیدکربن زیر روزنه افزایش می‌یابد.

مصرف آب و افزایش رطوبت نسبی تاج‌پوشش، دمای تاج‌پوشش در مقایسه با کشت خالص کمتر است. تحت تنش کم‌آبی عوامل محدودکننده روزنه‌ای از طریق بسته شدن روزنه‌ها، مقدار دی‌اکسید کربن درون برگ و انتقال آن به کلروپلاست را کاهش می‌دهند و از این راه فتوسنتز را محدود می‌کنند. عوامل محدودکننده غیرروزنه‌ای شامل مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان و فعالیت آنزیم روبیسکو، انتقال

جدول ۵. تأثیر آبیاری بر مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و فیزیولوژی ماش در الگوهای مختلف کشت مخلوط با ذرت

Table 5. The effect of irrigation on the amount of photosynthetic pigments and physiology in mung bean leaves in different patterns of intercropping with corn

آبیاری Irrigation	الگوی کشت Planting pattern	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئیدها Carotenoids	دمای برگ Leaf temperature	غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه Ci
% water requirement		-----mg.g ⁻¹ .FW ⁻¹ -----		°C	mmol.m ⁻² .s ⁻¹
40	۱۰۰٪ ماش 100% mung beans	0.95 ^c	0.25 ^{ab}	36.53 ^a	495.7 ^{ab}
	۱۰۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش 100% corn + 50% mung beans	0.81 ^c	0.3 ^a	37.15 ^a	513.9 ^a
	۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش 50% corn + 50% mung beans	1.04 ^{bc}	0.25 ^{ab}	37.12 ^a	486.1 ^{abc}
60	۱۰۰٪ ماش 100% mung beans	1.07 ^{bc}	0.28 ^a	35.1 ^{ab}	452.2 ^c
	۱۰۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش 100% corn + 50% mung beans	0.92 ^c	0.34 ^a	35.77 ^{ab}	456.9 ^c
	۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش 50% corn + 50% mung beans	1.12 ^{bc}	0.26 ^{ab}	35.37 ^{ab}	467.3 ^{bc}
80	۱۰۰٪ ماش 100% mung beans	1.41 ^{ab}	0.21 ^{bc}	33.43 ^{bc}	397.9 ^d
	۱۰۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش 100% corn + 50% mung beans	1.39 ^{ab}	0.2 ^{bc}	33.47 ^{bc}	390.6 ^d
	۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش 50% corn + 50% mung beans	1.44 ^{ab}	0.2 ^{bc}	32.99 ^{bc}	395.7 ^d
100	۱۰۰٪ ماش 100% mung beans	1.62 ^a	0.16 ^c	32.17 ^c	378.3 ^d
	۱۰۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش 100% corn + 50% mung beans	1.57 ^a	0.16 ^c	31.40 ^c	383.5 ^d
	۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش 50% corn + 50% mung beans	1.58 ^a	0.15 ^c	31.95 ^c	371.7 ^d

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

Means with common letters in each column not significant differences based on HSD test at the 5 percent probability level.

به شرایط نرمال آبیاری ۵۵/۵۶ درصد کاهش نشان داد (جدول ۷). روند تغییرات سرعت تعرق ماش مشابه ذرت بود به طوری که بیشترین سرعت تعرق (۵/۷۳ میلی‌مول H₂O بر مترمربع در ثانیه) در ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین سرعت تعرق (۲/۲۱ میلی‌مول H₂O بر مترمربع در ثانیه) در ۴۰ تیمار درصد نیاز آبی حاصل گردید. با تغییر آبیاری از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۴۰ درصد نیاز آبی، سرعت تعرق ۶۱/۴۳

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، سرعت تعرق ذرت و ماش تحت تأثیر معنی‌دار آبیاری قرار گرفت (جدول ۶). بیشترین سرعت تعرق ذرت به میزان ۳/۹۶ میلی‌مول H₂O بر مترمربع در ثانیه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار سرعت تعرق شد و کمترین سرعت تعرق (۱/۷۶ میلی‌مول H₂O بر مترمربع در ثانیه) در شرایط ۴۰ درصد نیاز آبی به دست آمد که نسبت

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها تأثیر آبیاری و الگوی کاشت روی رطوبت نسبی برگ ذرت و ماش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین رطوبت نسبی برگ ذرت (۸۲/۹ درصد) در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد که با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی فاقد اختلاف معنی‌دار بود. کمترین رطوبت نسبی برگ ذرت به میزان ۷۱/۸ درصد تحت شرایط ۴۰ درصد نیاز آبی حاصل گردید (جدول ۷).

درصد کاهش یافت (جدول ۷). کاهش سرعت تعرق می‌تواند به‌عنوان راهکاری جهت حفظ رطوبت برگ و جلوگیری از هدر رفتن آن باشد (Kimbal et al., 2002) که احتمالاً به علت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای است (Bastam et al., 2013) که علاوه بر تولید اسید آبسزیک در ریشه و ارسال آن به برگ‌ها، در اثر کاهش پتانسیل آماسی در برگ نیز به وجود می‌آید و به احتمال زیاد از طریق اسید آبسزیک تولیدشده در خود برگ‌ها عمل می‌کند (Yamori et al., 2013).

جدول ۶. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات آبیاری و الگوی کاشت بر مقدار رطوبت نسبی برگ، مقدار پرولین و عملکرد دانه ذرت و ماش

Table 6. Variance analysis (mean squares) of the effects of irrigation and planting pattern on Leaf relative water content, proline content and grain yield in corn and mung bean

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی	ذرت Corn			ماش Mung bean		
			رطوبت نسبی برگ RWC	پرولین Proline	عملکرد دانه Grain yield	رطوبت نسبی برگ RWC	پرولین Proline	عملکرد دانه Grain yield
Block	بلوک	2	31.88 ^{ns}	14.65 ^{ns}	659968 ^{ns}	21.42 ^{ns}	7.30 ^{ns}	969 ^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	3	364.18 ^{**}	479.27 ^{**}	9609068 ^{**}	86.72 [*]	344.26 ^{**}	1246713 ^{**}
Error (a)	خطای a	6	31.23	14.35	250531	59.33	31.28	12266
Planting pattern (P)	الگوی کاشت	2	129.55 ^{**}	4.56 ^{ns}	5875422 ^{**}	70.04 [*]	31.90 ^{ns}	1295009 ^{**}
I × P	آبیاری × الگوی کاشت	6	1.72 ^{ns}	16.19 ^{ns}	128267 ^{ns}	42.30 ^{ns}	12.32 ^{ns}	55891 ^{**}
Error (b)	خطای b	16	16.46	28.29	182560	24.69	16.48	4790
CV (%)	ضریب تغییرات	-	5.13	13.58	12.18	5.80	10.78	7.61

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

* and **: Significant at the 5 and 1% level, respectively; ^{ns}: non-significant

جدول ۷. تأثیر آبیاری بر سرعت تعرق، پرولین و مقدار رطوبت نسبی برگ ذرت و ماش

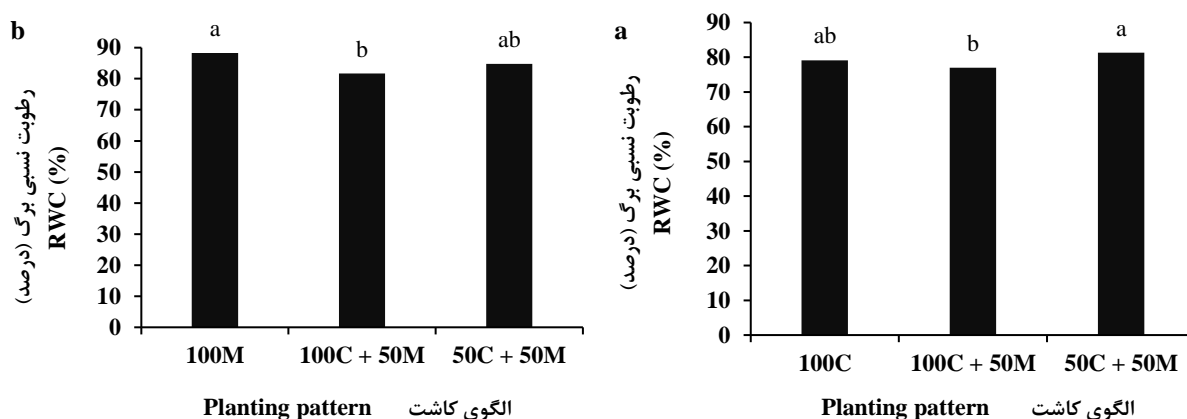
Table 7. The effect of irrigation on the rate of transpiration, proline and relative humidity of maize and mung leaves

آبیاری (درصد نیاز آبی) Irrigation (% water requirement)	سرعت تعرق Transpiration mmol H ₂ O.m ⁻² .s ⁻¹		پرولین Proline μmol.g ⁻¹ .FW ⁻¹		مقدار رطوبت نسبی برگ RWC %	
	ذرت	ماش	ذرت	ماش	ذرت	ماش
	Corn	Mung bean	Corn	Mung bean	Corn	Mung bean
40	1.76 ^d	2.21 ^d	46.3 ^a	45.23 ^a	71.8 ^c	72.59 ^b
60	2.09 ^c	3.26 ^c	44.5 ^a	39.84 ^{ab}	76.4 ^b	76.01 ^b
80	3.51 ^b	5.19 ^b	31.6 ^b	34.37 ^{bc}	80.5 ^a	84.68 ^a
100	3.96 ^a	5.73 ^a	34.3 ^b	31.19 ^c	82.9 ^a	86.96 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند. Means with common letters in each column not significant differences based on HSD test at the 5 percent probability level

رطوبت نسبی برگ بود (شکل ۴a). بیشترین رطوبت نسبی برگ ماش در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد که با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی در یک سطح آمار قرار داشت. با تغییر سطح آبیاری از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۴۰ درصد نیاز آبی، رطوبت نسبی برگ ماش ۱۶/۵۲ درصد کاهش یافت. بررسی رطوبت نسبی برگ ماش در الگوهای کاشت نشان داد که بیشترین رطوبت نسبی برگ ماش (۸۸/۲۸ درصد) در کشت خالص به دست آمد که با کشت مخلوط جایگزینی در یک سطح آماری قرار داشت (شکل ۴b).

به‌طور کلی نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش و کاهش رطوبت خاک، برگ‌های گیاه رطوبت بیشتری را از دست می‌دهند و در نهایت میزان رطوبت نسبی برگ در شرایط تنش کاهش می‌یابد. کاهش مقدار این صفت یکی از مهم‌ترین تغییرات تنش خشکی است (Wang and Bughrara, 2007). کاهش رطوبت نسبی برگ باعث آسیب به غشای سلولی و در نهایت افزایش نشت الکترولیتی از غشای سلول می‌گردد (Fu et al., 2004). بررسی الگوهای کاشت نشان داد که ذرت در کشت مخلوط جایگزینی و کشت خالص دارای بیشترین میزان



شکل ۴. مقدار رطوبت نسبی برگ ذرت (a) و ماش (b) در بین الگوهای کاشت (C، ذرت و M، ماش)

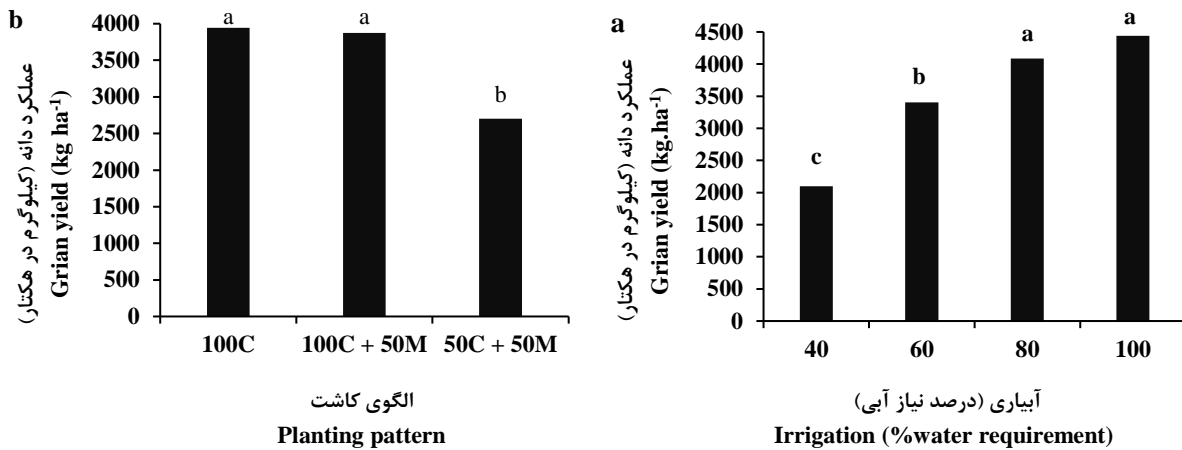
Fig. 4. The relative water content of corn (a) and mung bean (b) in planting patterns (C=Corn and M=Mungbean)

عمل کرده و تحمل گیاه را در تنش‌ها افزایش می‌دهد (Lehmann et al, 2010).

با توجه به نتایج جدول ۶ اثر آبیاری و الگوی کشت بر عملکرد دانه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و عملکرد دانه ماش تحت تأثیر آبیاری، الگوی کشت و اثر متقابل آبیاری و الگوی کاشت قرار گرفت. بیشترین عملکرد دانه ذرت در سطوح آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد و کمترین عملکرد دانه (۲۰۹۷/۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی بود که در مقایسه با ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۵۲/۷۶ درصد کاهش نشان داد (شکل ۴a). کشت خالص ذرت (۳۹۴۵/۸ کیلوگرم در هکتار) و کشت مخلوط افزایشی (۳۸۷۵/۱ کیلوگرم در هکتار) دارای بیشترین عملکرد دانه ذرت بودند و کمترین عملکرد دانه ذرت در کشت مخلوط جایگزینی به میزان ۲۷۰۰ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید (شکل ۴b).

تأثیر آبیاری بر میزان پرولین ذرت و ماش در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین پرولین برگ ذرت و ماش (به ترتیب ۴۶/۳ و ۴۵/۲۳ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی حاصل گردید که فاقد اختلاف معنی‌دار با ۶۰ درصد نیاز آبی بود (جدول ۷).

با افزایش تنش مقدار پرولین افزایش می‌یابد که با این کار گیاه می‌تواند تنش را تحمل کند که مطابق با نتایج صیامی و همکاران (Siyami et al., 2018) و تاپا و همکاران (Thapa et al., 2011) است. تغییر میزان پرولین یکی از فرآیندهای مربوط به تحمل کم‌آبی در گیاهان گزارش شده است که در شرایط تنش کم‌آبی و بعضی از تنش‌های غیرزیستی مانند شوری اتفاق می‌افتد. در شرایط تنش کم‌آبی، پرولین در حفظ پتانسیل اسمزی، حذف رادیکال‌های آزاد، حفاظت ماکرومولکول‌ها از دنا توره شدن و تنظیم PH سلولی نقش دارد و به‌عنوان منبع نیتروژن و کربن تحت تنش شدید

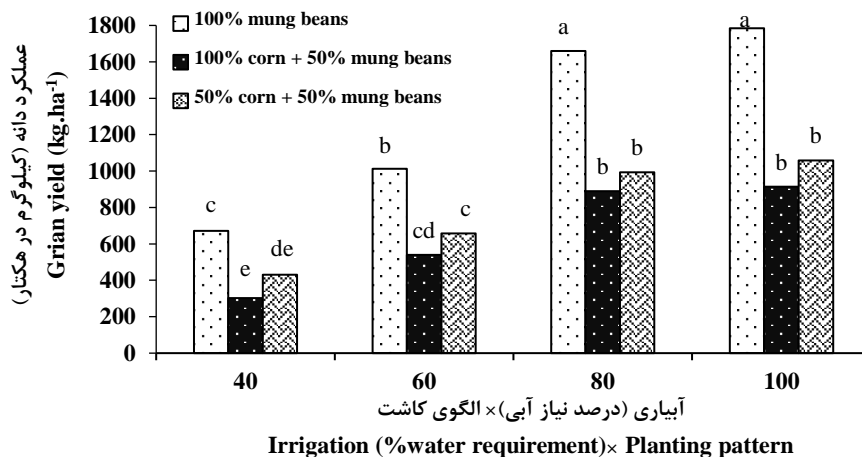


شکل ۵. تأثیر آبیاری (a) و الگوی کاشت (b) بر عملکرد دانه ذرت (C، ذرت و M، ماش)

Fig. 5. Effect of irrigation (a) and planting pattern (b) on corn grain yield (C= Corn and M= Mungbean)

عملکرد دانه ماش در الگوهای کشت مخلوط در مقایسه با کاشت خالص را می‌توان به کم بودن تعداد بوته در واحد سطح در این الگوهای کاشت نسبت داد. در واقع در کشت مخلوط، تعداد بوته‌های ماش در واحد سطح نصف تعداد بوته‌ها در کشت خالص بود که به تولید کمتر انجامید (شکل ۶).

بررسی اثر متقابل آبیاری و الگوی کاشت بر عملکرد دانه ماش مشخص نمود که در همه سطوح آبیاری بیشترین عملکرد دانه ماش در کشت خالص به دست آمد و عملکرد در کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی کاهش یافت و کشت مخلوط افزایشی دارای کمترین عملکرد دانه بود. کمتر بودن



شکل ۶. تأثیر آبیاری بر عملکرد دانه ماش در بین الگوهای مختلف کاشت

Fig. 6. Effect of irrigation on mung bean grain yield in different planting patterns

آزمایش نشان داد که در الگوهای کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی ذرت و ماش در همه سطوح آبیاری، مقدار این شاخص بیشتر از یک بود که این امر نشان‌دهنده سودمندی اجرای الگوهای کشت مخلوط در افزایش بهره‌وری از منابع است (جدول ۸). بیشترین مقدار نسبت برابری زمین به میزان ۱/۵۶ و ۱/۵۲ به ترتیب در کشت مخلوط افزایشی در ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد که معادل ۵۶ و ۵۲ درصد

محققین کاهش ۴۸ درصدی عملکرد دانه ذرت را در شرایط تنش خشکی گزارش نمودند (Ziyomo and Bernardo, 2013). اثر کاهش تنش خشکی بر عملکرد گیاه می‌تواند به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، کاهش ورود دی‌اکسید کربن به داخل برگ، کاهش محتوی نسبی آب برگ و کاهش فتوسنتز باشد (Najafinejad et al., 2019).

جهت بررسی کارایی کشت مخلوط نسبت برابری زمین به‌عنوان یک معیار مهم مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج این

مختلف و استفاده مکملی از منابع، بهره‌برداری بهتر از نور و یا افق‌های مختلف خاک می‌تواند دلیل نسبت برابری زمین بیشتر از یک باشد. افزایش نسبت برابری زمین در کشت مخلوط جو و نخود (Chapagain and Riseman, 2014)، ارزن دمروباهی و ماش (Khatamipour et al., 2014) و کشت مخلوط ذرت و سیب‌زمینی (Hamdani and Suradinata, 2015) نیز گزارش شده است.

افزایش سودمندی زراعی نسبت به کشت خالص دو گونه بود (جدول ۸).

تفاوت در ریشه‌دهی و ساختار کانوپی ذرت با ماش 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 بیشتر باشد که نشان می‌دهد در کشت مخلوط، ذرت و ماش مکمل هم بوده‌اند. اختلافات مورفولوژیکی غلات و بقولات و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های

جدول ۸. نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ذرت و ماش تحت شرایط مختلف آبیاری

Table 8. Ratio of land equality in intercropping of corn and mung bean under different irrigation conditions

آبیاری Irrigation (% water requirement)	طرح کاشت Planting pattern	الگوی کشت	نسبت برابری جزئی		نسبت برابری زمین کل LER total
			نسبت برابری جزئی ذرت LER corn	ماش LER mung bean	
40	100% corn + 50% mung beans	۱۰۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش	0.81	0.45	1.26
	50% corn + 50% mung beans	۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش	0.56	0.64	1.2
60	100% corn + 50% mung beans	۱۰۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش	0.99	0.5	1.49
	50% corn + 50% mung beans	۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش	0.67	0.64	1.31
80	100% corn + 50% mung beans	۱۰۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش	1.04	0.52	1.56
	50% corn + 50% mung beans	۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش	0.75	0.6	1.35
100	100% corn + 50% mung beans	۱۰۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش	1.01	0.51	1.52
	50% corn + 50% mung beans	۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ ماش	0.7	0.59	1.29

از یک بود که بیانگر مزیت الگوهای کشت مخلوط ذرت و ماش برای استفاده از زمین و افزایش عملکرد است. با توجه به وقوع خشک‌سالی‌های اخیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور و نیاز به علوفه در این مناطق، کشت گیاهان علوفه‌ای به خصوص ذرت اجتناب‌ناپذیر است. لذا یکی از استراتژی‌های مناسب صرفه‌جویی در مدیریت و میزان مصرف آب کشت مخلوط این گیاه با گیاهان خانواده بقولات مانند ماش است. کشت مخلوط می‌تواند تا حدودی اثرات تنش خشکی بر الگوهای کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی به دلیل داشتن پتانسیل عملکرد دانه بالاتر استراتژی مناسبی برای تولید عملکرد و ثبات بالاتر این گیاه نسبت به کشت خالص تحت شرایط آبیاری مطلوب و محدودیت‌های رطوبتی است.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل کل، سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، رطوبت نسبی برگ و عملکرد دانه ذرت و ماش کاهش یافت ولی محتوای کارتنوئیدها، غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه، دمای برگ و پرولین افزایش نشان داد. الگوهای کشت مخلوط باعث افزایش کلروفیل کل و سرعت فتوسنتز ذرت گردید. رطوبت نسبی برگ ذرت در شرایط کشت مخلوط افزایشی کاهش و در الگوی کشت مخلوط جایگزینی افزایش یافت و الگوهای کشت مخلوط باعث کاهش رطوبت نسبی برگ ماش شدند. از نظر عملکرد دانه ذرت و ماش، اختلاف معنی‌داری بین ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی وجود نداشت؛ بنابراین جهت کاهش مصرف آب، آبیاری بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبی توصیه می‌شود. مقادیر نسبت برابری زمین همه الگوهای کشت مخلوط بیشتر

سپاسگزاری

ارشد آگروتکنولوژی که مقاله حاضر حاصل آن است، قدردانی می‌شود.

بدین‌وسیله از معاونت آموزش و تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهش دانشگاه ایلام در جهت پیشبرد پایان‌نامه کارشناسی

منابع

- Akhila, S.N., Abraham, T.K., Jaya, D.S., 2008. Studies on the changes in lipid peroxidation and antioxidants in drought stress induced cowpea (*Vigna unguiculata* L.) varieties. *Journal of Environmental Biology*. 29, 689-691.
- Allmaras, R. R., Fritz, V. A., Pflieger, F. L., Copeland, S. M., 2003. Impaired internal drainage and *Aphanomyces euteiches* root rot of pea caused by soil compaction in a fine-textured soil *Soil Tillage Research*. 70, 42-52. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00117-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00117-4)
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., Maggi, F., 2018. Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production*. 171, 529-537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.062>
- Andjelkovic, V., Ignjatovic-Micic, D., Mladenovic, S., Vancetovic, J., 2012. Implementation of maize gentic resources in drought tolerance and grain quality improvement at maize research institute. Zemun Polje. Thiyrd International Scientific Smposium. Agrosym Jahorina 2012.
- Ansari, M.A., Rana, K.S., Ansari, M.H., Baishya, L.K., Babu, S., Das, A., Hari, O.M., 2014. Effect of transpiration suppressants and nutrients under rainfed conditions: An integral view on crop productivity and biological indices in millet/pulses intercropping system. *African Journal of Agricultural*. 9, 334- 344. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.6958>
- Arnon, I., 1975. Physiological principles of dryland crop production. *Physiological Aspects of Dryland Farming*. US Gupta, ed. Oxfrd press. P. 3-14.
- Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi-Akbar-Boojar, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., 2017. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops and Products*. 109, 346-357. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.049>
- Baiazidi Aghdam, M.T., Mohammadi, H., Ghorbanpour, M., 2016. Effects of nanoparticulate anatase titanium dioxide on physiological and biochemical performance of *Linum usitatissimum* (Linaceae) under well-watered and drought stress conditions. *Brazilian Journal of Botany*. 39, 139-146. <https://doi.org/10.1007/s40415-015-0227-x>
- Barbara, E.K., Nora, L.E., Edith, S., 2014. Compartment specific response of antioxidants to drought stress in Arabidopsis. *Plant Science*. 227, 133-144. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.08.002>
- Bastam, N., Baninasab, B., Ghobadi, C., 2013. Interactive effects of ascorbic acid and salinity stress on the growth and photosynthetic capacity of pistachio seedlings. *Horticultural Science and Biotechnology*. 88, 610-616. <https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11513014>
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-208. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Benami, A., Ofen, A., 1984. *Irrigation Engineering- Sprinkler, Trickle and Surface Irrigation: Principles, Design and Agricultural Practices*. Irrigation Engineering Scientific Publications. 257p.
- Brooker, R.W., Bennett, A.E., Cong, W., Daniell, T.J., George, T.S., Hallett, D.D., Hawes, C., Lanneta, P.P.M., Jones, H.G., Karley, A.J., Li, L., McKenzie, B.M., Pakeman, R.J., Paterson, E., Schob, C., Shen, J., Squire, G., Watson, C.A., Zhang, C., Zhang, F., Zhang, J., White, P.J. 2015. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*. 206, 107-117. <https://doi.org/10.1111/nph.13132>
- Chapagain, T., Riseman, A., 2014. Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field*

- Crops Research. 166, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.014>
- Cheng, L.I., Sun, B.C., Tang, H.J., Wang, T.Y., Yu, L.I., Zhang, D.F., Xie, X.Q., Shi, Y.S., Song, Y.C., Yang, X.H., Li, J.S., 2017. Simple nonlinear model for the relationship between maize yield and cumulative water amount. *Journal of Integrative Agriculture*. 30, 858-669. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61493-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61493-4)
- Fathi, Gh., 2010. Effects of plant density on yield and yield components of mungbean in Khoozestan growing conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 41, 19-27. [In Persian with English summary].
- Fu, J., Fry, J., Huang, B., 2004. Minimum water requirements of four turfgrasses in the transition zone. *Horticultural Science*. 39, 1740-1744. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.7.1740>
- Hamdani, J.S., Suradinata, Y.R., 2015. Effects of row intercropping system of corn and potato and row spacing of corn on the growth and yields of Atlantic potato cultivar planted in medium altitude. *Asian Journal of Agricultural Research*. 9, 104-112. <https://doi.org/10.3923/ajar.2015.104.112>
- Jaya, K.D., Bell, V.J., Sale, P.W., 2008. Modification of within-canopy microclimate in maize for intercropping in the lowland tropics. Available at: <https://www.regional.org.au>
- Kaur, G., Singh, H.P., Batish, D.R., Kohli, R.K., 2012. Growth, photosynthetic activity and oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum*) after exposure of lead to soil. *Journal of Environmental Biology*. 33, 265-269.
- Khajeh Khezri, A., 2017. Study the effects of different levels of drought stress on yield and some yield components in intercropping of Sorghum and Red Bean. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. [In Persian].
- Khajeh Khezri, A., Rezaei Estakhroeh, A., & Golestani Kermani, S., 2018. Evaluating the effects of alternative and regulated deficit irrigation on yield and some components in intercropping (*Sorghum Red bean*). *Irrigation Sciences and Engineering*, 41, 77-92. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22055/jise.2018.13614>
- Khatamipour, M., Asgharipour, M.R., Sirousmehr, A., 2014. Intercropping benefits of foxtail millet with mung bean as influenced by application of different manure levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 24, 75-86. [In Persian with English Summary].
- Kimbal, B.A., Kobayashi, K., Bindi, M., 2002. Responses of agricultural crops to free air CO₂ enrichment. *Advances in Agronomy*. 77, 293-368. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77017-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77017-X)
- L Des Marais, D., 2017. Drought Stress: Into the fourth dimension. Massachusetts Institute of Technology, United States.
- Lawlor, D.W., Cornic, G., 2012. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plants, Cell and Environment*. 25, 275-294.
- Lehmann, S., Funck, D., Szabados, L., Rentsch, D., 2010. Proline metabolism and transport in plant development. *Amino Acids*. 39, 949-962.
- Mead, R., Willey, R. W. 1980. The Concept of a 'Land Equivalent Ratio' and Advantages in Yields from Intercropping. *Experimental Agriculture*. 16, 217-229.
- Najafinejad, H., Ravari, S.Z., Javaheri, M.A., 2019. Changes in forage yield and some agronomic and physiological characteristics of fodder, millet, sorghum and forage maize are affected by drought. *Journal of Crop Ecophysiology*. 4, 535-554. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.30495/jcep.2020.671172>
- Naresh, R.K., Purushottam, S.P., Dwivedi, A., Kumar, V., 2013. Effects of water stress on physiological processes and yield attributes of different mungbean varieties. *African Journal of Biochemistry Research*. 7, 55-62. <https://doi.org/10.5897/AJBR13.0677>
- Paudel, M.N., 2016. Multiple cropping for raising productivity and farm income if small farmers. *Journal of Nepal Agricultural Research Council*. 37-45.
- Rajasekar, M., Rabert, G.A., Manivannan, R., 2016. The effect of triazole induced photosynthetic pigments and biochemical constituents of *Zea mays* L. (Maize) under drought stress. *Applied Nanoscience*. 6, 727-735. <https://doi.org/10.1007/s13204-015-0482-y>
- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013>
- Sanchez, S.R., 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*. 59, 225-235. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00125-7)
- Seraa, I., Strever, A., Myburgh, P.A., Deloire, A., 2013. The interaction between rootstocks and cultivars (*Vitis vinifera* L.) to enhance drought tolerance in grapevine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 20, 1-14. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12054>
- Sheteawi, S.A., Tawfik, K.M., 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mung bean (*Vigna radiate*) growth and yield. *Journal of Applied Sciences Research*. 3, 251-262.
- Siyami, R., Mirshekari, B., Farahvash, F., Rashidi, V., Tarinejad, A., 2018. The effect of physical seed priming and water deficit stress on enzyme activity and seed yield of corn. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 11, 127-136. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.372.1072>
- Stoltz, E., Nadeau, E., 2014. Effects of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N in organically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research*. 169, 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.004>
- Tanwar, S.P.S., Rao, S.S., Regar, P.L., Datt, Sh., Kumar, P., Jodha, B.S., Santra, P., Kumar, R., Ram, R., 2014. Improving water and Land use efficiency of fallow- wheat system in shallow lithic calciorthid soils of arid region: Introduction of bed planting and rainy season sorghum legume intercropping. *Soil & Tillage Research*. 138, 44-55. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.12.005>
- Thapa, G., Dey, M., Sahoo, L., Panda, S.K., 2011. An insight into the drought stress induced alterations in plants. *Biologia Plantarum*. 55, 603-613. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0158-8>
- Wang, J.P., Bughrara S.S., 2007. Monitoring of gene expression profiles and identification of candidate genes involved in drought responses in *Festuca mairei*. *Molecular Genetics and Genomics*. 277, 571-587. <https://doi.org/10.1007/s00438-007-0208-2>
- Wang, Z., Zhao, X., Wu, P., Chen, X., 2015. Effects of water limitation on yield advantage and water use in wheat (*Triticum aestivum* L.)/maize (*Zea mays* L.) strip intercropping. *European Journal of Agronomy*. 71, 149-159. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.007>
- Yamori, M., Hikosaka, K., Way, D.A., 2013. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research*. 13, 74-76. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9874-6>
- Zhang, F., Li, L., 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil*. 248, 305-312. <https://doi.org/10.1023/A:1022352229863>
- Ziyomo, C., Bernardo, R., 2013. Drought tolerance in maize: Indirect selection through secondary traits versus genome-wide selection. *Crop Science*. 53, 1269-1275. <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.11.0651>