

Evaluation of the effects of deficit irrigation on water use efficiency and some growth indices of potato (*Solanum tuberosum* L.), in the presence of biofertilizers

Ahmad Nemati¹, Mohammad Ali Aboutalebian^{2*}, Mehrdad Chaichi³

¹PhD student in Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran, Email:ahmadnemati10@yahoo.com

²Associate Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran, Email: aboutalebian@yahoo.com

³Assistant Professor, Department of Seed and Plant Improvement Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran, Email: mehrdadch@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2021/10/09
Revised: 2021/11/25
Accepted: 2021/12/08

Keywords:
Bio-Phosphate
Drought stress
Evaporation pan
Leaf area
Mycorrhiza fungus

ABSTRACT

Background and objectives: Potato (*Solanum tuberosum* L.), is the third most important crop in the world after rice and wheat in terms of consumption. This crop needs optimal irrigation to achieve proper growth and ultimately acceptable yield. Considering the climatic conditions of the Iran, it is necessary to study the effects of deficit irrigation on potato and to investigate the methods of increasing the drought stress resistance of this crop.

Materials and methods: In order to investigate the tuber yield, physiological indices and water use efficiency of potato in the two cropping years 2019-2020, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in the Agricultural Research and Training Center of Natural Resources of Hamadan Province. Each year, the experimental treatments included irrigation interval as the first factor at four levels (irrigation after 70, 90, 110 and 130 mm cumulative evaporation from Class A evaporation pan) and the second factor was bio-fertilizer at six levels. Bio-phosphate (B), *Glomus. mossea* (GM), *G. fasciculotum* (GF), *G. mossea*+ Bio-phosphate (BGM), *G. fasciculotum* + Bio-phosphate (BGF) and Control (C) were conducted in factorial arrangement.

Results: The results showed that increasing irrigation stress reduced tuber yield but the application of Bio-fertilizers improved the adverse effects of drought stress. The results also showed that the drought stress of 130 mm evaporation compared to the treatment of 70 mm evaporation (Control), led to a decrease in tuber yield and leaf area index, by 46.79 and 46.81%, respectively. The results related to potato yield showed that the use of three bio-fertilizers *G. mossea*, *G. fasciculotum* and Bio-phosphate had the greatest effect on tuber yield and leaf area index. The improvement tuber yield under conditions of severe drought stress by using bio-fertilizer treatments compared to the control was 38.65% for *G. mossea*, 37.41% for *G. fasciculatum*, 32.63% for bio-phosphate, 20.11% for bio-phosphate + *G. mossea* and 12.91% for bio-phosphate + *G. fasciculatum*. Based on the results the application of *Glomus fasciculatum* and *G. mossea* bio-fertilizers in the treatment of severe drought stress modified the stress effects by 36.36 and 30%, respectively, compared to the non-use of bio-fertilizer. Application of biofertilizers in all irrigation treatments moderated the adverse effect of drought stress on water use efficiency index. The use of

Glomus musea, *G. fasciculatum* and biophosphate biofertilizers led to an increase in water use efficiency index in severe drought stress treatment compared to the control treatment by 38.38, 36.6 and 30.87%, respectively.

Conclusion: Therefore, the use of mycorrhizae *G. fasciculatum* and *G. mossea* also bio-Phosphate is recommended separately for areas that suffer from drought stress during the potato growing season.

Cite this article: Nemati, A., Aboutalebian, M.A., Chaichi, M. 2022. Evaluation of the effects of deficit irrigation on water use efficiency and some growth indices of potato (*Solanum tuberosum* L.), in the presence of biofertilizers. *Crop Production Journal*, 15 (2), 75-98.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19462.2449

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



ارزیابی اثرات کم آبیاری بر کار آبی مصرف آب و برخی شاخص های رشد سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در حضور کودهای زیستی

احمد نعمتی^۱، محمدعلی ابوطالبیان^{۲*}، مهرداد چائی چی^۳

۱. دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: ahmadnemati10@yahoo.com

۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: aboutaleblian@yahoo.com

۳. استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. رایانامه: mehrdadch@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	سابقه و هدف: سیب زمینی (<i>Solanum tuberosum</i> L.)، بعد از برنج و گندم از نظر میزان مصرف، سومین محصول مهم در جهان است. این محصول برای دست یابی به رشد مناسب و در نهایت عملکرد قابل قبول به آبیاری مطلوب نیاز دارد. با توجه به شرایط اقلیمی ایران، مطالعه اثرات کم آبیاری و بررسی روش های افزایش مقاومت سبب زمینی به کم آبی ضرورت دارد، که به این منظور بررسی عملکرد، کار آبی مصرف آب و برخی شاخص های فیزیولوژیک رشد تحت تاثیر کودهای زیستی تحت شرایط کم-آبی مورد بررسی قرار گرفت.
مقاله کامل علمی - پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۴	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۷	
واژه های کلیدی:	مواد و روش ها: به منظور بررسی اثر کم آبیاری و کودهای زیستی بر عملکرد غده، شاخص های فیزیولوژیک و کار آبی مصرف آب سیب زمینی در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان اجرا شد. در هر سال تیمارهای آزمایش شامل دور آبیاری در چهار سطح (آبیاری پس از ۷۰، ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ میلی متر تبخیر جمعی از تشت تبخیر کلاس A) و کود زیستی بود که در شش سطح شامل بیوفسففات، مایکوریزا <i>Glomus mossea</i> ، مایکوریزا <i>Glomus fasciculotum</i> ، ترکیب بیوفسففات + مایکوریزا <i>G. mossea</i> ، ترکیب بیوفسففات + مایکوریزا <i>G. fasciculotum</i> و شاهد به صورت فاکتوریل اجرا شد.
بیوفسففات	
تشت تبخیر	
تنش خشکی	
سطح برگ	
قارچ مایکوریزا	
یافته ها: نتایج نشان داد که افزایش تنش خشکی سبب کاهش عملکرد گردید، ولی کاربرد کودهای زیستی منجر به بهبود اثرات سوء تنش خشکی شد. بر اساس نتایج، تنش خشکی ۱۳۰ میلی متر تبخیر نسبت به تیمار ۷۰ میلی متر تبخیر (شاهد)، منجر به کاهش صفاتی مانند عملکرد و سطح برگ شد که این کاهش به ترتیب برابر با ۶۷/۷۹ و ۶۷/۸۱ درصد بود. نتایج مربوط به عملکرد سیب زمینی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی <i>G. mossea</i> ، <i>G. fasciculotum</i> و بیوفسففات بیش ترین تاثیر را بر روی صفات عملکرد غده و شاخص سطح برگ داشت. بهبود عملکرد غده در شرایط تنش خشکی شدید برای کودهای زیستی: گلوموس موسه آ، گلوموس فاسیکولاتوم، بیوفسففات، ترکیب باکتری بیوفسففات و گلوموس موسه آ و ترکیب باکتری بیوفسففات و گلوموس فاسیکولاتوم نسبت به تیمار شاهد به ترتیب برابر با ۳۷/۶۵، ۳۷/۴۱، ۳۲/۶۳، ۲۰/۱۱ و ۱۲/۹۱ درصد بود. نتایج نشان داد که کاربرد کود زیستی گلوموس فاسیکولاتوم	

و موسه آ در تیمار تنش شدید خشکی به ترتیب منجر به تعدیل اثرات تنش به مقدار ۳۶/۳۶ و ۳۰ درصد نسبت به عدم استفاده از کود زیستی شد. کاربرد کودهای زیستی در تمام تیمارهای آبیاری، اثر سوء ناشی از تنش خشکی را در شاخص کارایی مصرف آب تعدیل نمود. استفاده از کودهای زیستی گلوموس موسه آ، فاسیکولاتوم و بیوسفات منجر به افزایش شاخص کارایی مصرف آب در تیمار تنش خشکی شدید نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۳۸/۳۸، ۳۶/۶ و ۳۰/۸۷ درصد گردید.

نتیجه گیری: استفاده از کودهای زیستی مایکوریزا گلوموس فاسیکولاتوم، گلوموس موسه آ و بیوسفات به صورت جداگانه برای مناطقی که در طول فصل کشت سیب زمینی دچار تنش خشکی می شوند توصیه می گردد.

استناد: نعمتی، ا.، ابوطالبیان، م.ع.، چائی چی، م. (۱۴۰۱). ارزیابی اثرات کم آبیاری بر کارایی مصرف آب و برخی شاخص های رشد سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در حضور کودهای زیستی. تولید گیاهان زراعی، ۱۵ (۲)، ۷۵-۹۸.

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19462.2449



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، بعد از برنج و گندم از نظر میزان مصرف، سومین محصول مهم در جهان است و تولید جهانی آن بیش از ۳۷۰ میلیون تن در سال می‌باشد (۱). میانگین تولید سیب‌زمینی در ایران ۵/۲ میلیون تن (۲) و در این بین استان همدان بیش‌ترین سهم (۲۳ درصد)، از تولید سیب‌زمینی کشور را دارا می‌باشد (۳). سیب‌زمینی با توجه به نیاز آبی بالا برای دست‌یابی به رشد مناسب و در نهایت عملکرد قابل قبول به آبیاری مطلوب نیاز دارد (۴). به علت محدود بودن منابع آبی باید روش‌هایی انتخاب شود که هم بهره‌وری مناسب از منابع آب موجود حاصل شود و هم اینکه به پایداری تولید این گیاه لطمه‌ای وارد نشود (۵). کم‌آبیاری یک روش بهینه برای حفظ آب در شرایطی است که گیاه در طول دوره رشد خود با کمبود آب مواجه می‌گردد، البته آنچه که از اجرای این روش انتظار می‌رود این است که کاهش عملکرد قابل توجهی در مقابل حفظ ذخیره آب حاصل نشود. در حقیقت، هدف از کم‌آبیاری افزایش کارایی مصرف آب از طریق کاهش مقدار یا دفعات آبیاری است، به این ترتیب گیاه در مراحل خاصی از رشد تحت تنش آبی قرار می‌گیرد (۶). یکی دیگر از روش‌هایی که می‌توان به آن اشاره نمود، افزایش مقاومت سیب‌زمینی به تنش خشکی توسط توسعه سیستم ریشه‌ای قوی در کاهش مصرف آب و جلوگیری از کاهش عملکرد است (۷). قارچ‌های میکوریزا یکی از انواع کودهای زیستی هستند که از طریق رابطه همزیستی با ریشه گیاهان موجب توسعه ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر توسط ریشه گیاهان می‌شوند؛ همچنین، از طریق افزایش جذب آب و افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده سبب بهبود رشد، نمو، افزایش بیوماس اندام هوایی، تثبیت نیتروژن و عملکرد گیاهان میزبان در

سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (۸). مشخص شده است که این رابطه همزیستی گیاهان را از تنش خشکی محافظت می‌کند (۹). اگر چه امکان به‌کارگیری قارچ‌های میکوریزا برای مقابله با تنش خشکی در بسیاری از گیاهان مورد مطالعه قرار گرفته است، ولی در مورد سیب‌زمینی اطلاعات اندکی موجود می‌باشد (۱۰). همچنین، با توجه به کاهش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر در شرایط کمبود رطوبت خاک، گزارشات متعددی از سودمندی باکتری‌های حل‌کننده فسفر در خاک (PSB^۱)، در چنین شرایطی وجود دارد (۱۱). میکروارگانیسم‌های تقویت‌کننده رشد (PGPM^۲)، در هنگام گسترش در ناحیه ریزوسفر یا درون سلول‌های گیاهی، مواد مغذی را از گیاهان دریافت می‌کند و در عوض رشد اندام هوایی و عملکرد گیاه را از طریق حل کردن مواد مغذی، تولید فیتوهورمون‌ها و القای پاسخ‌های ایمنی افزایش می‌دهد (۱۱). در بین گروه‌های مختلف PGPM، قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSB)، بیش‌تر مورد مطالعه قرار می‌گیرند. باکتری‌های حل‌کننده فسفات، میکروبی‌هایی هستند که می‌توانند فسفر را در خاک حل کرده و منجر به افزایش فسفر موجود برای گیاهان شوند (۱۱). هدف اصلی تجزیه و تحلیل شاخص‌های رشدی، توصیف پاسخ گیاه به شرایط محیطی و اثر تیمارهای استفاده شده روی گیاه است (۱۲). با توجه به موارد یاد شده در مورد نیاز آبی گیاه سیب‌زمینی، محدودیت منابع آبی در دسترس، نیاز کودی و نقش میکروارگانیسم‌ها در قابلیت افزایش جذب و انحلال عناصر غذایی، مانند فسفر و ایجاد مقاومت به تنش‌ها در گیاهان، تحقیق حاضر به منظور بررسی تاثیر کم‌آبیاری و اثر آن بر عملکرد، کارایی مصرف آب و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک سیب‌زمینی، تحت تاثیر

1. Phosphorus solubilizing bacteria
2. Plant growth promoting microorganisms

۳۴ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی آن ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۷۳۰ متر از سطح دریا می‌باشد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. نتایج آزمون خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و میزان بارندگی در فصل رشد سیب‌زمینی در جدول ۲، نشان داده شده است.

دو نوع کود زیستی بیوفسفات و مایکوریزا (موسه آ و فاسیکولاتوم)، در همدان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، در ایستگاه تحقیقاتی اکباتان واقع در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان انجام شد. عرض جغرافیایی محل اجرای تحقیق ۳۴ درجه و

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی.

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil experimental field.

سال year	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	واکنش خاک pH	کربن آلی (درصد) OC (%)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)	نیترोजن (درصد) N (%)	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	بافت خاک Soil Texture
۱۳۹۸ 2019	0.45	7.72	0.54	3.2	385	0.05	14.5	26.5	59	شنی لومی Sandy Loam
۱۳۹۹ 2020	0.77	7.6	0.5	3.4	437	0.05	10.5	36	53.5	شنی لومی Sandy Loam

جدول ۲- ویژگی‌های جوی در طول دوره رشد.

Table 2- Atmospheric characteristics during the growing season.

سال year	دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Average temperature (°C)	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	میزان بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)
۱۳۹۸ 2019	12.95	23.12	33.3	23.99
۱۳۹۹ 2020	12.7	22.7	32.7	28.8

کرت‌ها قرار گرفتند. جهت تلقیح کود مایکوریزا، ابتدا غده‌های سیب‌زمینی توسط اسپری آب مرطوب شده و پس از این مرحله مقدار مایکوریزای محاسبه شده (۱ گرم برای هر غده) بر روی غده‌ها به روش دست‌پاش، مصرف شد. از رقم مارفونا با تراکم کشت ۵۳۰۰۰ بوته در هکتار و فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر جهت کشت استفاده شد. مقدار مصرف کود فسفات بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، ۱۰۰ کیلوگرم

فاکتورهای آزمایش شامل دور آبیاری در ۴ سطح (آبیاری پس از ۷۰ (I₁)، ۹۰ (I₂)، ۱۱۰ (I₃) و ۱۳۰ (I₄)، میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A) و کود زیستی در ۶ سطح (بیوفسفات، مایکوریزا گونه *Glomus mossea fasciculotum*، ترکیب بیوفسفات + مایکوریزا *G. mossea*، ترکیب بیوفسفات + مایکوریزا *G. fasciculotum* و شاهد)، به صورت فاکتوریل در

اون با دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. مقدار آب مورد نیاز توسط کنتور حجمی محاسبه شد، لازم به توضیح است که شروع کم آبیاری بر اساس تیمارها پس از استقرار کامل بوته‌ها (در مرحله آغاز بسته شدن کانوپی، مرحله ۳۰ در تقسیم‌بندی BBCH)، صورت پذیرفت (۱۳). مقدار آب لازم در هر نوبت آبیاری با استفاده از رابطه ۱، محاسبه و تعیین شد (۱۴).

$$d = (Fc - P0) \times As \times D / 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در این رابطه d: ارتفاع آب بر حسب سانتی‌متر، Fc: درصد رطوبت وزنی خاک در مرحله ظرفیت زراعی، P0: درصد رطوبت وزنی خاک در نقطه پژمردگی دائم، As: وزن مخصوص ظاهری خاک و D: عمق توسعه ریشه (۳۰ سانتی‌متر) است که با ضرب کردن d در عدد ۱۰۰ مقدار آب بر حسب متر مکعب در هکتار محاسبه می‌شود.

برای نمونه‌برداری دو ردیف کناری و نیم متر از بالا و پایین هر کرت به عنوان حاشیه منظور و از سایر قسمت‌های هر کرت در طول فصل رشد برای نمونه‌برداری استفاده گردید؛ به این صورت که قسمتی از کرت به نمونه‌برداری تخریبی در طول فصل رشد و قسمت دیگر به اندازه‌گیری عملکرد اختصاص یافت. شش مرحله نمونه‌برداری تخریبی در فواصل زمانی دو هفته‌ای به تعداد ۵ بوته از هر کرت برای تعیین روند تغییرات برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد انجام شد. که سطح برگ و ماده خشک آن‌ها اندازه‌گیری شدند. سطح برگ توسط کاغذ شطرنجی اندازه‌گیری و ثبت شد؛ سپس اجزای بوته به مدت ۴۸ ساعت در اون الکتریکی تهویه‌دار با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نمونه‌های خشک شده توسط ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و وزن آن‌ها ثبت شد. شاخص‌های فیزیولوژیک رشد بررسی شده شامل

در هکتار توصیه شد که متناسب با تیمارهای آزمایشی از کودهای سوپر فسفات تریپل و دی‌آمونیم فسفات استفاده گردید و هنگام کاشت در زیر و کنار غده‌ها قرار گرفتند. مقدار نیتروژن توصیه شده نیز ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار بود که در دو مرحله کاشت و قبل از گل‌دهی (مرحله ۵۱) مطابق با تقسیم‌بندی BBCH (۱۳)، به صورت سرک مصرف شد. کود زیستی مایکوریزا از شرکت زیست فناوری توران به صورت ریشه‌های گیاهان مایکوریزای شده تهیه گردید. تعداد تقریبی اسپور قارچ در هر گرم خاک آماده بین ۵۰ تا ۱۵۰ اسپور بود. میزان مصرف طبق دستورالعمل حداکثر ۲۰ گرم در متر مربع خاک می‌باشد که پس از محاسبه استفاده گردید. جهت تیمار باکتری‌های حل‌کننده فسفات از کود زیستی بیوفسفات بارور ۲، تولید شرکت زیست فناور سبز استفاده شد که حاوی باکتری‌های محرک رشد و حل‌کننده فسفر خاک *Pantoea* و *Pseudomonas putida strain P13* با شمارش *agglomerans strain P5* (CFU/g) 10^7 تا 10^8 بود. جهت اعمال تیمار کودهای زیستی، طبق دستورالعمل ابتدا غده‌های سیب‌زمینی را در سایه قرار داده سپس محلول حاوی کود زیستی و آب به صورت اسپری بر روی غده‌ها پاشیده شد و پس از هوا خشک شدن در سایه، کشت شدند. مبارزه با علف‌های هرز توسط وجین دستی در چهار مرحله شامل ۵ برگی (مرحله ۱۵)، طولیل شدن ساقه (مرحله ۲۲)، آغاز پوشش‌دهی (مرحله ۳۱) و قبل از گل‌دهی (مرحله ۵۱) مطابق با تقسیم‌بندی BBCH، صورت پذیرفت (۱۳) و جهت کنترل آفات زراعی از کارت زرد در مزرعه استفاده گردید. آبیاری به صورت قطره‌ای با استفاده از نوار تیپ انجام شد. نمونه‌برداری از خاک جهت محاسبه درصد رطوبت وزنی یک روز قبل از آبیاری توسط اوگر از عمق توسعه ریشه انجام و نمونه خاک برداشت شده به مدت ۲۴ ساعت در

گیاه انجام گرفت. تجزیه‌های آماری لازم پس از کنترل نرمال بودن باقیمانده‌ها به صورت مرکب با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ و رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد. در این پژوهش، روابط کمی (رگرسیون)، با استفاده از نرم افزار SAS و گذاره Nline برای اثرات متقابل که با دور آبیاری معنی‌دار شده‌اند، تعیین و ترسیم گردیدند و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD انجام شد.

نتایج

شاخص سطح برگ: روند تغییرات شاخص سطح برگ سیب‌زمینی تحت تیمارهای مختلف کود زیستی و آبیاری در شکل ۱ نشان داده شده است. مقدار این شاخص در مراحل اولیه رشد گیاه به دلیل کوچک بودن برگ‌ها و کامل نبودن پوشش گیاهی کم است، با افزایش سطح و تعداد برگ‌ها، شاخص سطح برگ نیز افزایش یافت و به حداکثر رسید (در بین روزهای ۸۰ تا ۹۰ روز پس از کاشت)، در این حالت تا مدتی ثابت ماند، اما با پیر شدن گیاه و ریزش برگ‌ها، کاهش یافت (شکل ۱). الگوی شاخص سطح برگ در مراحل مختلف برای همه تیمارها تقریباً یکسان بود با این تفاوت که در تیمار ترکیب کود زیستی گلوبوس فاسیکولاتوم و گلوبوس موسه‌آ همراه کود بیوفسفات، شاخص سطح برگ حداکثر کاهش یافت که با نتایج دادرسی و همکاران (۲۰۱۲)، مطابقت داشت (۱۷). پس از بررسی روند تغییرات، حداکثر مقادیر برای شاخص سطح برگ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس مربوط به حداکثر شاخص سطح برگ (جدول ۳)، نشان داد که اثر اصلی سطوح آبیاری و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار شد. مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد که کم‌ترین مقدار برای حداکثر شاخص سطح برگ (۲/۶۷)، از تنش خشکی حداکثر و بیش‌ترین مقدار آن (۵/۰۲)، از

شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد محصول (CGR) و سرعت فتوسنتز خالص (NAR)، در طول دوره رشد بودند که با استفاده از روابط رگرسیونی ۲ تا ۴، اندازه‌گیری شدند (۱۵). به دلیل اختلاف معنی‌دار واریانس دو سال آزمایش شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، تنها تجزیه و تحلیل سال دوم زراعی (۱۳۹۹)، این شاخص‌ها ارزیابی و آنالیز گردیده است.

$$\text{رابطه ۲: } LAI = \text{Exp} (a' + b' x + c' x^2)$$

$$\text{رابطه ۳: } CGR = NAR \times LAI$$

$$\text{رابطه ۴: } NAR = (b + 2 c x) \times \text{Exp} [(a - a') + (b - b')x + (c - c') x^2]$$

که در این روابط a ، b و c ضرایب معادلات رگرسیونی مربوطه و X زمان بر حسب روز پس از سبز شدن گیاه سیب‌زمینی می‌باشد. در این تحقیق مقادیر حداکثر مربوط به شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول به ترتیب از ۸۰ و ۶۵ روز پس از سبز شدن تخمین زده شد (با استفاده از روابط ۲ و ۳). همچنین، مقدار سرعت جذب خالص نیز در زمان ۶۵ روز پس از سبز شدن (زمان به حداکثر رسیدن سرعت رشد)، با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید. پس از محاسبه عملکرد غده با توجه به مقدار آب مصرفی، کارایی مصرف آب از رابطه ۵ محاسبه شد (۱۶).

$$\text{رابطه ۵: } WUE = \frac{D}{W}$$

WUE : کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم محصول بر متر مکعب آب مصرفی
 D : جرم ماده خشک غده تولید شده بر حسب کیلوگرم

W : حجم آب مصرف شده بر حسب متر مکعب
 در نهایت برای تعیین عملکرد غده، سطحی معادل ۳ متر مربع از وسط هر کرت به طور کامل برداشت شد. برداشت نهایی در زمان خشک شدن ۵۰ درصد اندام‌های هوایی، با حذف قسمت‌های هوایی

بیش تری داشتند (۲۱). دلیل این امر می‌تواند به خاطر افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی به‌ویژه فسفر برای گیاه و تولید فیتوهورمون‌ها باشد (۲۲). گزارش شده است که فعالیت مایکوریزا در ریشه گیاه میزبان، همبستگی منفی با مقدار فسفر موجود در خاک دارد (۲۳). مقدار زیاد فسفر خاک موجود در اطراف ریشه گیاه سبب حذف آریسکول‌ها، در همزیستی ریشه گیاه میزبان با قارچ مایکوریزا می‌گردد (۲۴). میزان بالای فسفر از ترشح استریگولاکتون‌ها که هورمون‌های گیاهی هستند و رشد مایکوریزا را تحریک می‌کند، جلوگیری می‌کند (۲۵) و توسعه آریسکول‌ها را نیز کاهش می‌دهد (۲۴). همچنین، استفاده از کود زیستی *G. mossea* در اکثر محیط‌های تنش خشکی بیش‌ترین مقدار شاخص سطح برگ را ایجاد کرد و منجر به تعدیل اثرات تنش خشکی شد. در آزمایشی که توسط بوزریبا (۲۰۲۱)، انجام شد، نتایج نشان داد که در سطوح تنش خشکی گیاهان مایکوریزایی نسبت به شاهد زیست توده بیش‌تری تولید کردند که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی داشت (۲۶).

تیمار شاهد (عدم اعمال تنش خشکی) به‌دست آمد. در مورد تیمار کود زیستی نیز کم‌ترین و بیش‌ترین شاخص سطح برگ حداکثر به ترتیب از تیمارهای شاهد (عدم استفاده از کود زیستی) و تیمارهای استفاده از بیوفسفات و هر یک از دو قارچ مایکوریزا حاصل شد (جدول ۴). خسروی فر و همکاران (۲۰۱۹)، گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش شاخص سطح برگ در ارقام مختلف سیب‌زمینی می‌شود (۱۸)؛ که بعلت کاهش میزان سرعت و گسترش سطح برگ‌ها به‌واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش آماس و تقسیم سلولی است (۱۹). بنابر گزارش بیگوم (۲۰۱۹)، همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا می‌تواند میزان فتوسنتز را از طریق تغییرات مورفولوژیکی از قبیل افزایش تعداد و سطح برگ و بهبود تغذیه بهبود دهد (۲۰). افزایش سطح برگ در گیاهان مایکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی را می‌توان به افزایش سطح جذب عناصر غذایی نسبت داد (۲۰). تهیرا و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که تیمار سیب‌زمینی با باکتری‌های محرک رشد نسبت به گیاهان شاهد، هم در شرایط بدون تنش خشکی و هم تحت تنش، سطح برگ

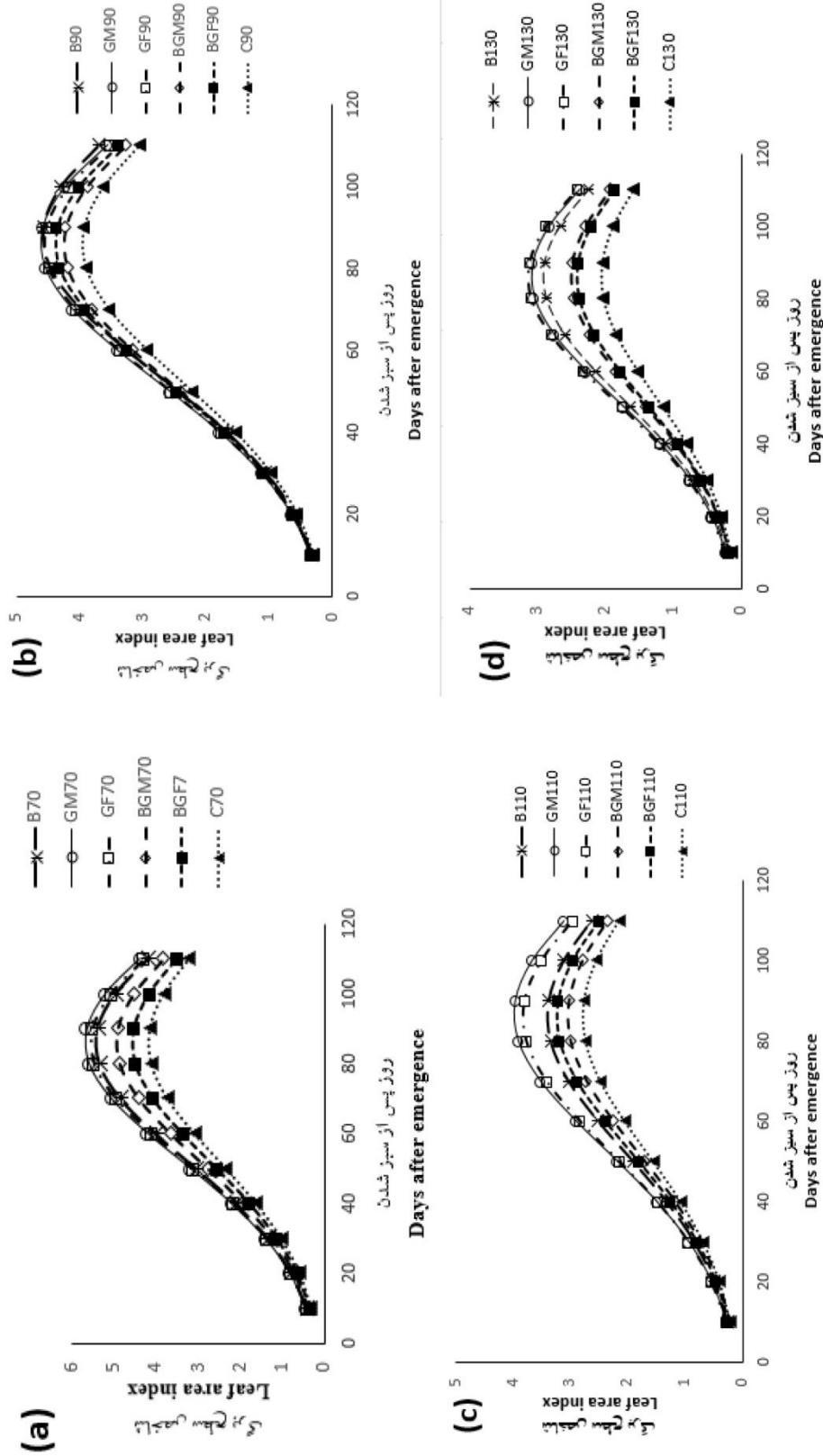
جدول ۳- تجزیه واریانس مربوط به سه شاخص مهم فیزیولوژیکی رشد تحت تاثیر عوامل مورد آزمایش (سال زراعی ۱۳۹۹).

Table 3- Analysis of variance related to three important physiological growth indices affected by the studied factors (Crop year 2020).

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول	سرعت فتوسنتز خالص
S.O.V	df	Leaf area index	Crop growth rate	Net assimilation rate
تکرار Replication	2	0.62*	24.37**	0.0096 ^{ns}
سطوح آبیاری (I) Irrigation levels (I)	3	19.65**	780.57**	0.59**
کود زیستی (B) Biofertilizer	5	2.15**	41.01**	0.014**
کود زیستی × سطوح آبیاری (I×B)	15	0.1 ^{ns}	8.96*	0.002 ^{ns}
خطا Error	46	0.14	3.96	0.003
ضریب تغییرات (درصد)		9.77	7.42	15.77
CV (%)				

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

ns, * and ** are non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively.



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ سبب‌زایی تحت تیمارهای مختلف کود زیستی و آبیاری در ۴ حالت، ۷۰ میلی‌متر تبخیر (a)، ۹۰ میلی‌متر تبخیر (b)، ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر (c) و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از نشست تبخیر (d). (شاهد)

Figure 1 - The trend of changes in potato leaf area index under different treatments of biofertilizer and irrigation in 4 cases, 70 mm evaporation (a), 90 mm evaporation (b), 110 mm evaporation (c) and 130 mm evaporation (d). (Observed)

GM: Glomus mosseae, GF: Glomus fasciculatum, B: Biophosphate bacteria, BGM: Biophosphate and Glomus fasciculatum combination, C: Control

ارزیابی اثرات کم آبیاری بر کارایی مصرف آب... / احمد نعمتی و همکاران

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح آبیاری و کاربرد کودهای زیستی بر صفات فیزیولوژیک.

Table 4- Means comparison of the main effects of irrigation levels and application of biofertilizers on physiological traits.

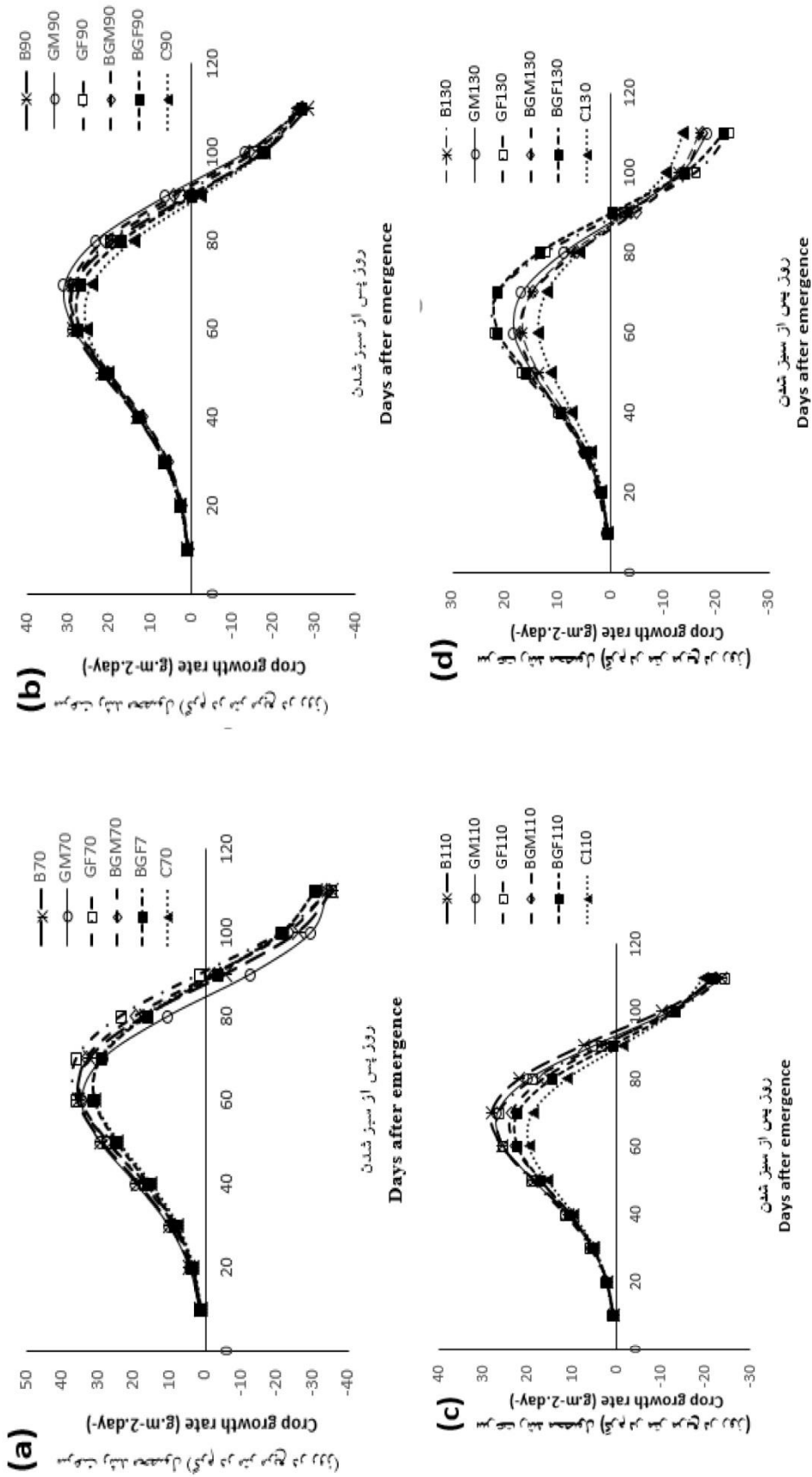
سطوح آبیاری (Irrigation levels)		
	شاخص سطح برگ حداکثر Leaf area index	سرعت فتوسنتز خالص (گرم در مترمربع در روز) Net assimilation rate (g.m ⁻² .day ⁻¹)
۷۰ میلی متر تبخیر (70 mm evaporation)	5.02 ^a	0.59 ^a
۹۰ میلی متر تبخیر (90 mm evaporation)	4.36 ^b	0.45 ^b
۱۱۰ میلی متر تبخیر (110 mm evaporation)	3.35 ^c	0.26 ^c
۱۳۰ میلی متر تبخیر (130 mm evaporation)	2.67 ^d	0.20 ^d
کود زیستی		
بیوفسفات (Bio-phosphate)	4.05 ^a	0.38 ^{ab}
<i>G. mossea</i>	4.32 ^a	0.37 ^{abc}
<i>G. fasciculotum</i>	4.23 ^a	0.35 ^{bc}
<i>G. mossea</i> + Biofertilizer	3.66 ^b	0.41 ^{ab}
<i>G. fasciculotum</i> + Biofertilizer	3.62 ^b	0.42 ^a
شاهد (Control)	3.22 ^c	0.33 ^c

میانگین‌های که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means that are at least one letter in common do not differ statistically significantly.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، نشان داد که سطوح مختلف آبیاری و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سطوح آبیاری × کود زیستی در سطح پنج درصد بر این شاخص معنی‌دار شدند. با توجه به معنی‌داری اثرات متقابل بین دور آبیاری و کاربرد کود زیستی بر سرعت رشد محصول (شکل ۳)، روند تغییرات بر این صفت نشان داد که در صورت کاربرد قارچ گلوموس موسه‌آ، بیشترین سرعت رشد محصول در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر با میانگین ۳۹ گرم در متر مربع در روز به دست آمد که بیش‌تر از تمامی تیمارهای کود زیستی در این سطح آبیاری بود. با اعمال تنش خشکی و افزایش فواصل آبیاری روند تغییرات در تیمارهای کود زیستی برای سرعت رشد محصول تغییر کرد، به طوری که تیمار شاهد کم‌ترین میزان را دارا بود و در ادامه در تیمار آبیاری ۱۱۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر، کاربرد قارچ گلوموس فاسیکولاتوم اثر سوء ناشی از تنش خشکی را تعدیل و روند بهتری نسبت به سایر تیمارهای کود زیستی نشان داد.

سرعت رشد محصول: سرعت رشد محصول مهم‌ترین شاخص تجزیه و تحلیل رشد در جوامع گیاهی است که نمایان‌گر میزان تجمع ماده خشک در واحد سطح زمین در یک واحد زمان مشخص می‌باشد. روند تغییرات شاخص رشد محصول در شکل (۲) بیان‌گر مقادیر لحظه‌ای در طول دوره رشد در ۴ سطح تنش خشکی (۷۰، ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) در قالب هر نمودار و تغییرات سرعت رشد محصول تیمارهای کود زیستی (مایکوریزا و بیوفسفات به صورت منفرد و ترکیبی در کنار تیمار شاهد)، در هر یک از سطوح آبیاری را نشان می‌دهد، به طوری که در تمامی تیمارها ابتدا مقادیر سرعت رشد محصول کم بوده و با گسترش سطح برگ، افزایش خطی در روند سرعت رشد محصول مشاهده می‌شود. پس از گذر از پیک حداکثری در زمان ۸۰ روز پس از کاشت و شروع غده‌دهی در گیاه که ماده خشک به سمت غده‌ها انتقال می‌یابد، سرعت رشد محصول نیز کاهش یافته و در مراحل انتهایی رشد به دلیل پیری برگ‌ها مقادیر منفی حاصل شد (شکل ۲).

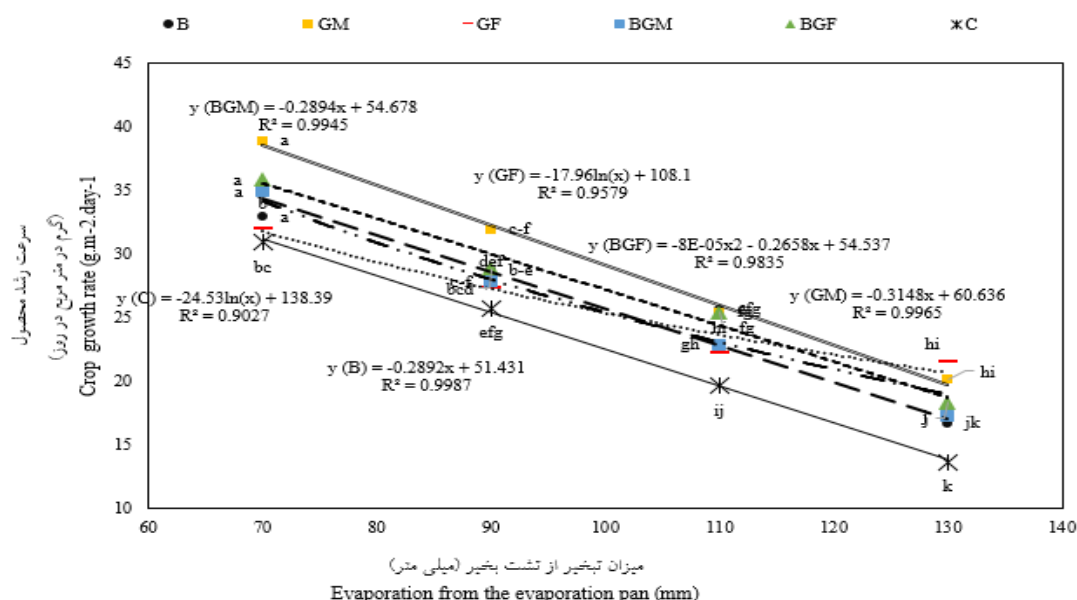


شکل ۲ - روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تیمارهای مختلف کود زیستی و آبیاری در ۴ حالت، ۷۰ میلی متر تیخیر (a)، ۹۰ میلی متر تیخیر (b)، ۱۱۰ میلی متر تیخیر (c) و ۱۳۰ میلی متر تیخیر از تشت تیخیر (d). گلوئوس موسسا، GF: گلوئوس فاسیکولاتوم، B:باکتری بیوسفات، BGM: ترکیب بیوسفات و گلوئوس موسسا، BGF: ترکیب بیوسفات و گلوئوس فاسیکولاتوم، C: شاهد).

Figure 2 - The trend of crop growth rate changes under different treatments of biofertilizer and irrigation in 4 cases, 70 mm evaporation (a), 90 mm evaporation (b), 110 mm evaporation (c) and 130 mm Evaporation from the evaporation pan. GM: *Glomus mossea*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: Biophosphate bacteria, BGM: Biophosphate and *Glomus mossea*, BGF: Biophosphate and *Glomus fasciculatum* combination, C: Control.

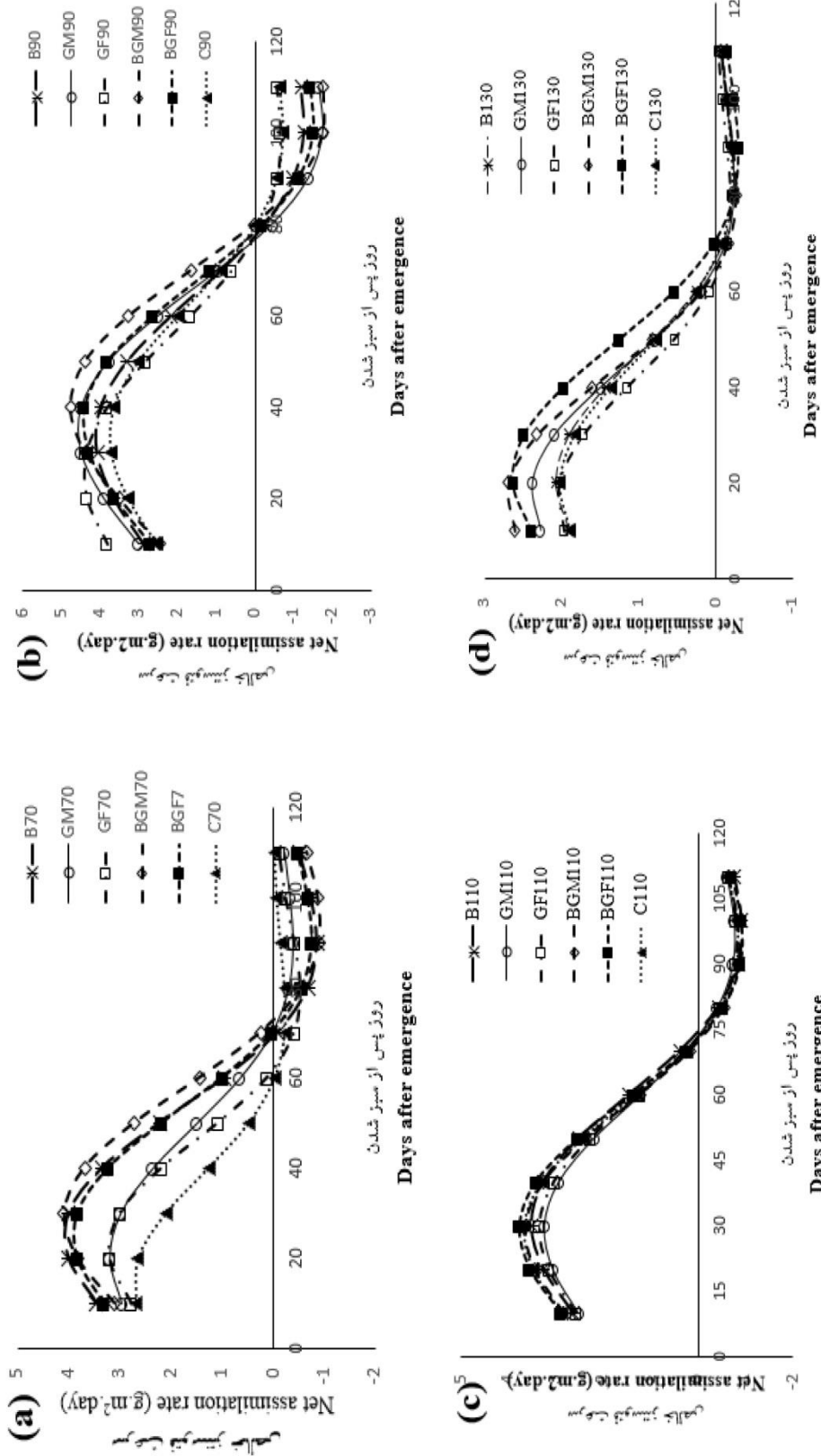
زیستی با بهبود فرآیند فتوسنتز در شرایط تنش های غیر زنده، می تواند منجر به افزایش سرعت رشد، رشد رویشی و حفظ عملکرد گردد (۳۰). همچنین، نتایج این آزمایش نشان داد که در تیمار شاهد با افزایش شدت تنش خشکی، سرعت رشد محصول به صورت خطی کاهش یافت که با نتایج تھیرا و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت داشت (۲۱). وقوع تنش خشکی منجر به بسته شدن روزنه ها، آسیب غشایی، کاهش فتوسنتز و رشد رویشی می گردد (۲۱). نتایج آزمایشی نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی از میزان سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ کاسته شد (۳۱). با افزایش شدت تنش خشکی، میزان فعالیت قارچ مایکوریزا کاهش پیدا می کند (۳۲). مایکوریزا موجب افزایش جذب آب و رشد در گیاه میزبان می شود، اما گونه های مختلف توانایی متفاوتی در این زمینه دارند (۲۷). نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد کود فسفر در شرایط وجود تنش خشکی و شاهد موجب توسعه ریشه و افزایش رشد رویشی و عملکرد گیاه پنبه شد (۱۹).

کمترین سرعت رشد محصول نیز با میانگین ۱۴ گرم در متر مربع در روز مربوط به تیمار عدم کاربرد کود زیستی و در سطح آبیاری ۱۳۰ میلی متر تبخیر بود که بیانگر کاهش خطی در اثر تنش خشکی است. این در حالی بود که در اثر کاربرد کود زیستی گلوموس فاسیکولاتوم و بیوفسففات این کاهش به صورت خطی نبوده و مقادیر کاهش تعدیل شد (شکل ۳)، که با نتایج کامپوس و همکاران (۲۰۱۸)، مطابقت داشت (۲۷). مایکوریزا موجب افزایش جذب آب و رشد در گیاه میزبان می شود، اما گونه های مختلف توانایی متفاوتی در این زمینه دارند (۲۸). به عنوان مثال، تلقیح گندم زمستانی توسط گلوموس فاسیکولاتوم تحمل به خشکی را نسبت به گلوموس موسه آ بیش تر افزایش داد (۲۹). نتایج نشان می دهد که در تمام سطوح آبیاری و تیمارهای کود زیستی، استفاده از کودهای زیستی نسبت به عدم استفاده، سرعت رشد محصول بیش تری را داشتند که با نتایج بوزریبا و همکاران (۲۰۲۱)، مطابقت دارد (۲۶). بنابر گزارش محمود و همکاران (۲۰۱۶)، استفاده از کودهای



شکل ۳- مقایسه میانگین مربوط به اثرات متقابل مصرف کود زیستی × سطوح آبیاری بر سرعت رشد محصول (GM: *Glomus mossea*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: *Biophosphate bacteria*, BGM: *Biophosphate and Glomus mossea*, BGF: *Biophosphate and Glomus fasciculatum* combination, C: *Control*). شاهد). (شاهد).

Figure 3- Comparison of the average of the interactions of biofertilizer application in irrigation levels on crop growth rate (GM: *Glomus mossea*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: *Biophosphate bacteria*, BGM: *Biophosphate and Glomus mossea*, BGF: *Biophosphate and Glomus fasciculatum* combination, C: *Control*).



شکل ۴- روند تغییرات سرعت فتوسنتز خالص تحت تیمارهای مختلف کود زیستی و آبیاری در ۴ حالت، ۷۰ میلی‌متر تبخیر (a)، ۹۰ میلی‌متر تبخیر (b)، ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر (c) و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر (d) (GM: گلوئوس موسه‌آ، GF: باکتری بیوسفات، BGM: ترکیب بیوسفات و گلوئوس موسه‌آ، BGF: ترکیب بیوسفات و گلوئوس فاسفیکولاتوم، C: شاهد).
 Figure 4- Process of changes in net photosynthesis rate under different treatments of biofertilizer and irrigation in 4 modes: 70 mm evaporation (a), 90 mm evaporation (b), 110 mm evaporation (c) and 130 mm Evaporation from the evaporation pan (d) (GM: *Glomus mosseae*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: Biophosphate bacteria, BGM: Biophosphate and *Glomus mosseae*, BGF: Biophosphate and *Glomus fasciculatum* combination, C: Control).

این شاخص‌ها در تیمار کودهای زیستی نسبت به شاهد شد.

عملکرد غده: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس مربوط به عملکرد غده نشان داد که اثر تیمارهای مربوط به اثرات اصلی آبیاری و کود زیستی و اثر متقابل سطوح آبیاری و کاربرد کود زیستی در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۵). در بین این تیمارها بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد به ترتیب عبارت بودند از (۴۰۹۷۶ و ۲۱۸۰۳، کیلوگرم در هکتار)، که به ترتیب مربوط به تیمارهای عدم اعمال تنش خشکی و تنش شدید خشکی است که با نتایج تهیه‌ر و همکاران (۲۰۲۰)، مطابقت داشت (۲۱). وقوع تنش خشکی باعث کاهش فتوسنتز و توسعه رشد رویشی گیاه می‌گردد (۱۵) و از علائم این کاهش‌ها می‌توان به کاهش عملکرد اشاره نمود (۳۶). با توجه به معنی‌داری اثرات متقابل بین سطوح آبیاری و کاربرد کود زیستی بر عملکرد غده، روند تغییرات بر این صفت نشان داد که در صورت کاربرد قارچ گلوموس فاسیکولاتوم بیش‌ترین عملکرد غده در شرایط آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر با میانگین ۶۷۸ گرم در مترمربع به‌دست آمد، ولی با اعمال تنش خشکی و افزایش فواصل آبیاری روند تغییرات در تیمارهای کود زیستی برای عملکرد غده تغییر کرده به طوری که تیمار شاهد کم‌ترین میزان را دارا بود و در ادامه روند تغییرات نشان داد که شیب کاهشی عملکرد غده در مواجهه با افزایش تنش خشکی در تیمار گلوموس فاسیکولاتوم نسبت به گلوموس موسه‌آ بیش‌تر است. هر چند که در نهایت در تیمار آبیاری ۱۱۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کاربرد قارچ گلوموس فاسیکولاتوم و موسه‌آ عملکرد مشابهی در تعدیل اثرات تنش خشکی داشتند. نتایج تحقیقی نشان داد که گونه‌های مختلف میکوریزا تاثیر

سرعت فتوسنتز خالص: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، نشان داد که سطوح مختلف آبیاری و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر سرعت فتوسنتز خالص معنی‌دار شدند. روند تغییرات سرعت فتوسنتز خالص در (شکل ۴)، نشان داد که برای همه محیط‌های تحت تنش خشکی از اوایل تا اواسط دوره رشد این روند با شیب ملایم به حداکثر مقدار خود رسید، ولی پس از افزایش رشد رویشی، سایه‌اندازی برگ‌های بالای کانوپی باعث قرار گرفتن برگ‌های پایینی در سایه شد و تحت این شرایط سرعت جذب خالص کاهش یافت که با نتایج والتینوز و تولینور (۲۰۰۴)، مطابقت داشت (۳۳). در انتهای فصل رشد (۱۲۰-۱۰۰ روز پس از کاشت)، زردی و ریزش برگ‌ها، کاهش سطح برگ و افزایش سایه‌اندازی موجب کاهش سرعت فتوسنتز خالص شد که با نتایج دادرسی و همکاران (۲۰۱۲)، مطابقت داشت (۱۷). به‌طور کلی، در این آزمایش کاربرد کودهای زیستی به علت افزایش جذب آب و مواد مغذی (۳۴)، موجب بهبود این روند شد که با نتایج بیگوم و همکاران (۲۰۱۹)، تطابق داشت (۲۰). در محیط‌های ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، کود زیستی بیوسفات + گلوموس موسه‌آ و گلوموس فاسیکولاتوم بیش‌ترین تاثیر را بر روی سرعت فتوسنتز خالص در کل دوره داشت. گزارش گردید که تنش خشکی باعث کاهش مقدار سرعت فتوسنتز خالص بر روی ارقام مختلف سیب‌زمینی می‌شود (۱۸). در آزمایشی که روی ذرت انجام شد گزارش گردید که تولید انواع هورمون‌های محرک رشد گیاه نظیر اکسین، اسید جیبرلیک و اسید ایزوجیبرلیک توسط باکتری موجود در کود بیولوژیک مسئول افزایش قابل ملاحظه رشد و نمو است (۳۵). در این پژوهش نیز کاربرد باکتری از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد، شاخص‌های رشدی گیاه سیب‌زمینی را تحت تاثیر قرار داده که باعث افزایش

(۴۰). در آزمایش خسروی فر و همکاران (۲۰۱۹)، نتایج نشان داد که تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش عملکرد سیب زمینی در مقایسه با عدم تلقیح شد و کاهش مقاومت روزه‌ای را ایجاد کرد (۱۸). بوزربا و همکاران (۲۰۲۱)، گزارش کردند که تلقیح با قارچ گلوموس فاسیکولاتوم باعث افزایش عملکرد ذرت می‌گردد (۲۶). گزارش شده است که گیاهان سیب زمینی، گوجه فرنگی، بامیه و اسفناج آفریقایی که با آزوسپریلیوم، سودوموناس، فلاوباکتریوم، آرتروباکتر و باسیلوس تحت تیمار قرار گرفتند، مقاومت بیش تری در برابر محیط‌های خشک از خود نشان داده‌اند که در نهایت منجر به تعدیل اثرات تنش و بهبود عملکرد شده است (۴۱، ۲۱). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی سال بر صفت عملکرد غده (جدول ۶)، نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سال اول کاشت و سال دوم وجود دارد و مقدار عملکرد غده در سال دوم نسبت به سال اول افزایش نشان داده است. در سال دوم به علت کم تر بودن میانگین دما و افزایش رطوبت نسبی، میزان تنفس شبانه سیب زمینی کم تر بوده که منجر به بهبود انتقال مواد به غده‌ها، افزایش پتانسیل ذخیره سازی و افزایش عملکرد می‌گردد (۴۲).

متفاوتی بر عملکرد غده و پاسخ گیاه سیب زمینی به شرایط محیطی دارند (۳۷)، که با نتایج این آزمایش همخوانی داشت. همچنین، در تیمار ترکیب قارچ‌های مایکوریزا با کود زیستی بیوفسفات نتایج نشان داد که این تیمار اثر کم تری در حفظ عملکرد غده تحت شرایط تنش خشکی نسبت به کاربرد قارچ مایکوریزا به تنهایی داشت. این می‌تواند به علت اثرات منفی افزایش سفر قابل دسترس ریشه بر فعالیت مایکوریزا باشد (۲۴). در این میان کم ترین عملکرد غده نیز با میانگین ۱۸۲۷ گرم در مترمربع مربوط به تیمار عدم کاربرد کود زیستی و در سطح آبیاری ۱۳۰ میلی‌متر تیخیر بود که بیان‌گر کاهش خطی در اثر تنش خشکی است، در حالی که در اثر کاربرد کودهای زیستی این کاهش به صورت خطی نبوده و مقادیر کاهش تعدیل شده بود (شکل ۵). در آزمایش جاروسلاوپیچ و همکاران (۲۰۲۰)، مشخص شد که کمبود آب به طور قابل توجهی عملکرد غده سیب زمینی را کاهش می‌دهد (۳۸). نتایج آزمایشی نشان داد که سیب زمینی کشت شده در معرض کمبود آب در کوتاه مدت نیز منجر به کاهش تولید غده می‌شود (۳۹). کمبود آب، کم تر از حداقل معین می‌تواند عملکرد غده سیب زمینی را به عنوان محصول اقتصادی کاهش و کیفیت غده را تحت تأثیر قرار دهد

جدول ۵- تجزیه واریانس مربوط به صفات عملکرد غده و کارایی مصرف آب.

Table 5- Analysis of variance for tuber yield and water use efficiency (WUE).

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد غده	کارایی مصرف آب
S.O.V	df	Tuber yield	WUE
سال (Year)	1	1663171.33**	0.27 ^{ns}
تکرار × سال (Repeat × Y)	4	73612.75	0.4
سطوح آبیاری (Irrigation levels)	3	22792923.84**	13.13**
سال × دور آبیاری (Y × I)	3	20838.98 ^{ns}	3.2**
کود زیستی (Bio-fertilizer)	5	2036302.08**	12.53**
سال × کود زیستی (Y × B)	5	2912.10 ^{ns}	1.04*
سطوح آبیاری × کود زیستی (I × B)	15	356208.65**	2.33**
سال × سطوح آبیاری × کود زیستی (Y × I × B)	15	2406.00 ^{ns}	0.37 ^{ns}
خطا (Error)	92	92888.58	0.34
ضریب تغییرات (درصد)	-	9.18	8.55
CV (%)			

ns, * and ** are non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively.

ارزیابی اثرات کم آبیاری بر کارایی مصرف آب... / احمد نعمتی و همکاران

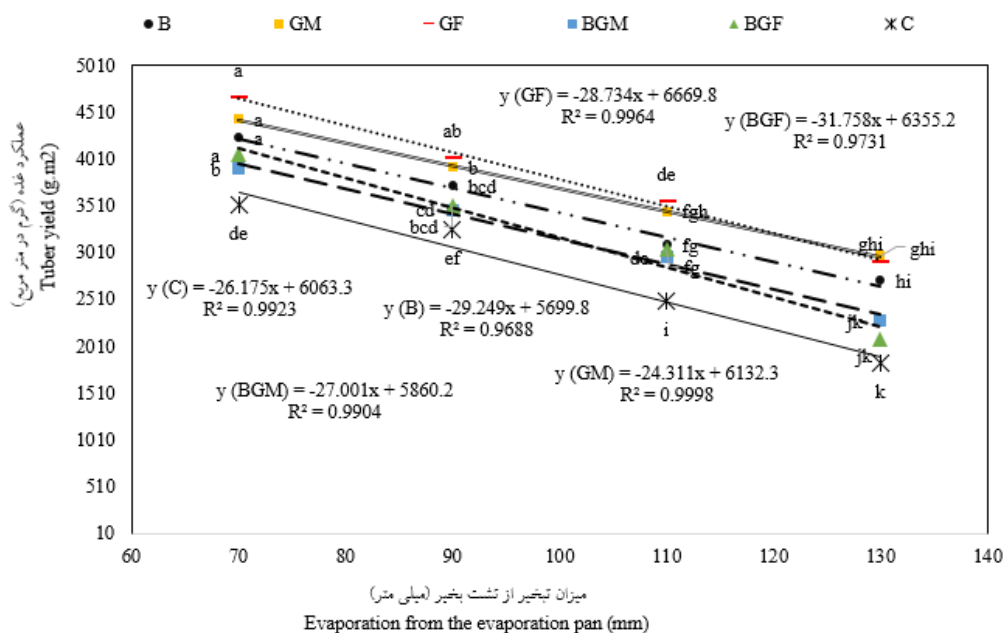
جدول ۶- نتایج مقایسات میانگین اثر اصلی سال، بر صفت عملکرد غده.

Table 6- Results of comparisons of the average of the main effect of the year on tuber yield.

تیمارها (Treatments)	عملکرد غده (گرم در مترمربع) Tuber yield (g.m ⁻²)
سال اول (first year)	3210.51 b
سال دوم (second year)	3425.45 a

میانگین‌های که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means that are at least one letter in common do not differ statistically significantly.



شکل ۵- مقایسه میانگین مربوط به اثرات متقابل مصرف کود زیستی × سطوح آبیاری بر عملکرد غده سیب‌زمینی (GM: *Glomus mosseae*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: *Biophosphate bacteria*, BGM: *Biophosphate and Glomus mosseae*, BGF: *Biophosphate and Glomus fasciculatum* combination, C: شاهد).

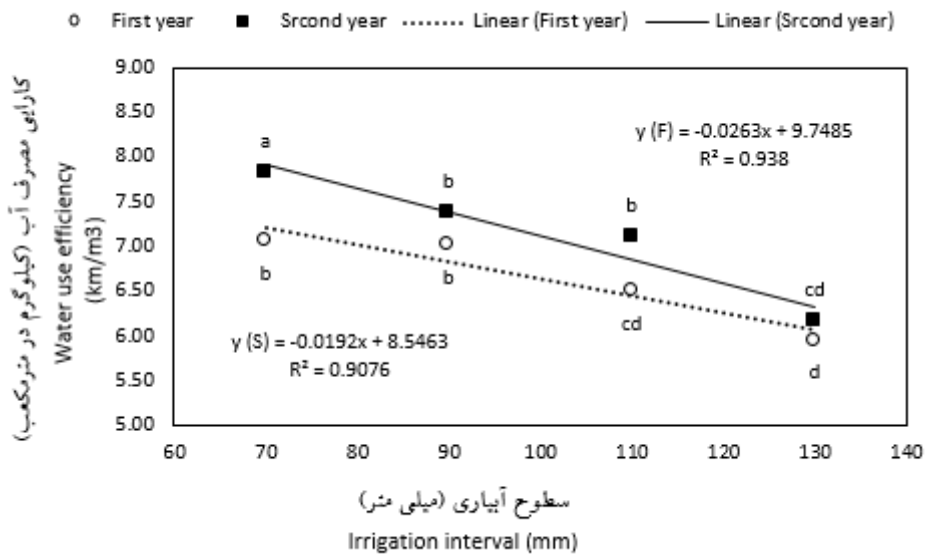
Figure 5 - Comparison of the mean of interaction effects of biofertilizer application in irrigation levels on potato tuber yield (GM: *Glomus mosseae*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: *Biophosphate bacteria*, BGM: *Biophosphate and Glomus mosseae*, BGF: *Biophosphate and Glomus fasciculatum* combination, C: Control).

۷/۸۳ کیلوگرم در مترمکعب از سطح آبیاری ۷۰ میلی‌متر به دست آمد. با کاهش آب مصرفی کارایی مصرف آب نیز با شیب تندتری روند کاهشی به خود گرفت و در سال اول در سطح آبیاری ۷۰ میلی‌متر بیش‌ترین کارایی مصرف آب با میانگین ۷/۰۶ کیلوگرم در متر مکعب به دست آمد و کم‌ترین میزان نیز با میانگین ۵/۹۵ کیلوگرم در متر مکعب از سطح آبیاری ۱۳۰ میلی‌متر به دست آمد (شکل ۶). علت بالاتر بودن کارایی مصرف آب در سال دوم پژوهش، بیش‌تر بودن عملکرد غده در این سال می‌باشد (۴۳).

کارایی مصرف آب: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس مربوط به کارایی مصرف آب (جدول ۵)، نشان داد که اثرات اصلی سطوح آبیاری و کود زیستی و اثرات متقابل دو گانه سال × سطوح آبیاری، سال × کود زیستی و سطوح آبیاری × کود زیستی در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار شدند. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال × سطوح آبیاری (شکل ۶)، نشان داد که با کاهش میزان مصرف آب در هر دو سال، کارایی مصرف آب نیز کاهش یافته به طوری که در سال دوم بالاترین کارایی مصرف آب با میانگین

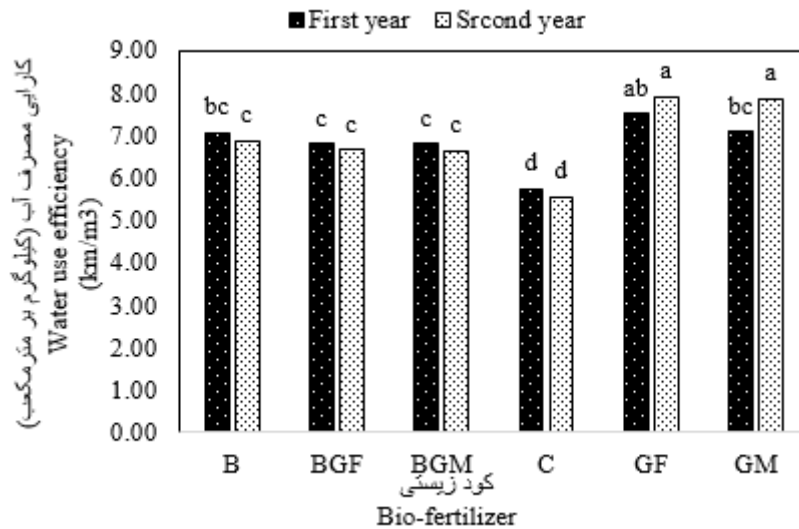
آب می‌شود (۴۴)، که با نتایج ژائو و همکاران (۲۰۱۵)، مبنی بر افزایش کارایی مصرف آب و جذب عناصر غذایی توسط ریشه‌ها و بهبود رشد به علت کاربرد کودهای زیستی در گیاه ذرت مطابقت دارد (۱۰). در گزارشی توسط ایرنا و مائوریکال (۲۰۱۸)، بیان شده است که تیمارهای تنش خشکی کارایی مصرف آب را افزایش داده است، که دلیل آن را افزایش بهره‌وری گیاه از رطوبت در دسترس بیان کرده‌اند (۴۵). بر اساس تحقیقات، در تنش خشکی متوسط، روزنه‌ها به صورت جزئی بسته شده و در نتیجه گیاه تعرق را بیش‌تر از فتوسنتز کاهش داده و کارایی مصرف آب افزایش پیدا می‌کند (۴۶). در پژوهش حاضر نیز استفاده از بیوفسفات و تا حدودی در مایکوریزا فاسیکولاتوم مشاهده گردید که کارایی مصرف آب گیاه تا تنش متوسط (آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر)، افزایش یافته است (شکل ۸). موضوع مهم دیگر آن است که ترکیب دو کود زیستی مایکوریزا و بیوفسفات در مقایسه با کاربرد جداگانه آن‌ها به خصوص در ترکیب بیوفسفات با مایکوریزا موسه‌آ، سودمندی کم‌تری به لحاظ کارایی مصرف آب نشان داد (شکل ۸) این امر ممکن است به دلیل کاهش گستردگی مایکوریزا (به دلیل افزایش فسفر محلول خاک) و یا رقابتی باشد که بین این دو نوع میکروارگانیسم برای جذب ترکیبات فتوسنتزی رخ می‌دهد (۲۵). در تنش شدید خشکی به علت کاهش فتوسنتز و بسته شدن کامل روزنه‌ها کارایی مصرف آب، کاهش یافته است (شکل ۸)، که با نتایج مشیلو و همکاران (۲۰۱۷)، مطابقت دارد (۴۷).

در خصوص اثر متقابل کود زیستی \times سال مشاهده می‌شود که در صورت استفاده از هر دو گونه مایکوریزا موسه‌آ و فاسیکولاتوم، کارایی مصرف آب گیاه بیش‌ترین مقدار بود، هر چند که در کارایی مصرف آب با کاربرد گونه فاسیکولاتوم تفاوت معنی‌داری بین دو سال آزمایش مشاهده نشد (شکل ۷) که شاید بتوان نتیجه گرفت پایداری مایکوریزا فاسیکولاتوم در شرایط جوی مختلف بیش‌تر بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای کارایی مصرف آب به‌ترتیب با میانگین $7/9$ کیلوگرم در متر مکعب از تیمار کاربرد گلوموس فاسیکولاتوم و $5/6$ کیلوگرم در متر مکعب از تیمار شاهد در سال دوم حاصل شد (شکل ۷). روند تغییرات بر صفت کارایی مصرف آب نشان داد که در صورت کاربرد قارچ گلوموس موسه‌آ بیش‌ترین کارایی مصرف آب در شرایط آبیاری پس از 110 میلی‌متر با میانگین $8/04$ کیلوگرم در متر مکعب به‌دست آمد (شکل ۸). در تیمار شاهد (عدم کاربرد کود زیستی)، کم‌ترین میزان کارایی مصرف آب در تمام سطوح آبیاری مشاهده شد، ضمن این که سرعت کاهش کارایی مصرف آب نیز در آن بیش‌تر از سایر تیمارهای کود زیستی بود (شکل ۸). کاربرد هر دو قارچ مایکوریزا به‌ویژه قارچ گلوموس موسه‌آ، اثر سوء ناشی از تنش خشکی را تعدیل نمود و روند تقریباً ثابتی نسبت به سایر تیمارهای کود زیستی نشان داد (شکل ۸). کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش توانایی ریشه‌ها در جذب رطوبت خاک شده و علاوه بر نیمه‌باز بودن روزنه‌ها در شرایط کمبود رطوبت تولید ماده خشک ادامه می‌یابد که نهایتاً منجر به افزایش کارایی مصرف



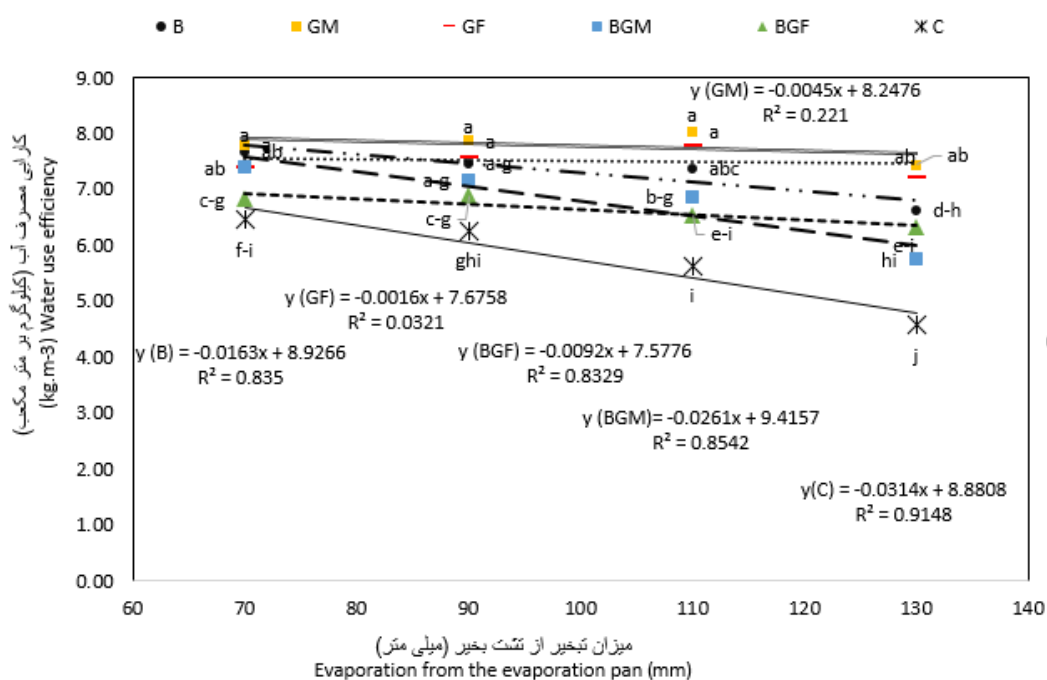
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × سطوح آبیاری بر کارایی مصرف آب (GM: *Glomus mossea*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: باکتری بیوفسفات، BGM: ترکیب بیوفسفات و *Glomus mossea*، BGF: ترکیب بیوفسفات و *Glomus fasciculatum*، C: شاهد).

Figure 6 - Comparison of the average interaction of year × irrigation levels on water use efficiency (GM: *Glomus mossea*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: Biophosphate bacteria, BGM: Biophosphate and *Glomus mossea*, BGF: Biophosphate and *Glomus fasciculatum* combination, C: Control).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل کود زیستی × سال بر کارایی مصرف آب سبب زمینی (GM: *Glomus mossea*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: باکتری بیوفسفات، BGM: ترکیب بیوفسفات و *Glomus mossea*، BGF: ترکیب بیوفسفات و *Glomus fasciculatum*، C: شاهد).

Figure 4 - Comparison of the average interaction of bio-fertilizer per year on potato water use efficiency (GM: *Glomus mossea*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: Biophosphate bacteria, BGM: Biophosphate and *Glomus mossea*, BGF: Biophosphate and *Glomus fasciculatum* combination, C: Control).



شکل ۸- مقایسه میانگین مربوط به اثرات متقابل مصرف کود زیستی × تنش خشکی بر صفت کارایی مصرف آب (GM: *Glomus mossea*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: باسیکولانوم، ترکیب بیوفسفات و گلوموس فاسیکولانوم، C: شاهد).

Figure 8 - Comparison of the mean of the interaction effects of biofertilizer application Drought stress on water use efficiency (GM: *Glomus mossea*, GF: *Glomus fasciculatum*, B: Biophosphate bacteria, BGM: Biophosphate and *Glomus mossea*, BGF: Biophosphate and *Glomus fasciculatum* combination, C: Control)

صفات در شرایط تنش خشکی شد. کاربردهای کودهای زیستی چه در شرایط تنش خشکی و چه در شرایط در دسترس بودن منابع آبی مناسب باعث افزایش شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، عملکرد غده و کارایی مصرف آب شد. در این پژوهش کارایی دو گونه قارچ میکوریزا بهتر از بیوفسفات بود. بر اساس یافته‌های این پژوهش، ترکیب میکوریزا با بیوفسفات نسبت به کاربرد جداگانه آن‌ها به‌ویژه در شرایط کم‌آبی به دلیل اثرات آنتاگونیستی بر هم توصیه نمی‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این بررسی، مولفه‌های کارایی مصرف آب، عملکرد غده، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و سرعت فتوسنتز خالص تحت تاثیر سطوح آبیاری و کاربرد کود زیستی قرار گرفتند. به طوری که با افزایش دور آبیاری (کاهش تعداد آبیاری) مقدار عملکرد غده، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول، به صورت خطی کاهش یافت. مصرف کودهای زیستی *G. mossea*، *G. fasciculatum* و بیوفسفات باعث بهبود این

منابع

1. FAO. 2019. World crop production statistics. Available online: <http://faostat.fao.org/> (accessed on 26 May 2020).
2. Anonymus. 2018. FAO. FAOSTAT data base for agriculture. Available online at, <http://faostat3.fao.org/> faostat gateway/go/to/download/Q/QC/E.
3. Agricultural Statistics. 2020. Ministry of Jihad Agriculture, Information and Communication Technology Center. (In Persian)

4. Rasti Sani, M., Ganjeali, A. and Lahouti, M. 2018. Morphological and physiological responses of two common bean cultivars to drought stress. *Plant Proc. Func.* 6: 22. 37-45.
5. Zhang, F., Zou, Y.N. and Wu, S. 2018. Quantitative estimation of water uptake by mycorrhizal extraradical hyphae in citrus under drought stress. *Sci. Hortic.* 229: 132-136.
6. Han, H., Ren, Y., Gao, Z. and Li, Q. 2017. Response of winter wheat grain yield and water use efficiency to deficit irrigation in the North China Plain. *Emir. J. Food Agric.* 29: 12. 971-977.
7. Silva, E.F., Jadoski, S. and Martinkoski, L. 2019. Water depletion depth for irrigation of potato cultivar Agata. *Eng Agri-Jaboticabal.* 39: 4. 433-443.
8. Abdel Fattah, G., Shakry, W., Shokr, M. and Ahmed, M. 2016. Application of mycorrhizal technology for improving yield production of common bean plants. *Int J. Appl. Sci. Biotechnol.* 4: 2. 191-197.
9. Asrar, A. and Elhindi, K.M. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Saud J. Biol. Sci.* 18: 1. 93-98.
10. Zhao, R., Guo, W., Bi, N., Guo, J., Wang, L., Zhao, J. and Zhang, J. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize (*Zea mays* L.) grown in two types of coal mine spoils under drought stress. *Appl. Soil Ecol.* 88: 41-49.
11. Dibenedetto, N.A., Corbo, M.R., Campaniello, D., Cataldi, M.P., Bevilacqua, A., Sinigaglia, M. and Flagella, Z. 2017. The role of plant growth promoting bacteria in improving nitrogen use efficiency for sustainable crop production: a focus on wheat. *AIMS Microbiol.* 3: 3. 413-434.
12. Koocheki, A. and Sarmadnia, G.H. 1999. *Physiology of crop plants.* Mashhad Univ. Jihad Publications. 400 p. (In Persian)
13. Olivia, C.K., Luuk Christiaan, M.D., Michiel, E.V. and Paul, C.S. 2020. Augmented descriptions of growth and development stages of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown from different types of planting material. *Ann. Appl. Biol.* 178: 3. 549-566.
14. Alizade, A. 2001. *Plant, water and soil relationship.* Razavi Qods Astan Press. 616 p. (In Persian)
15. Karimi, M.M. and Siddique, H.M. 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. *Aust. J. Agric. Res.* 42: 1. 13-20.
16. Ehdai, B. 1995. Variation in water use efficiency and its components in wheat: Pot and field experiment. *Crop Sci.* 35: 6. 1617- 1626.
17. Dadrasi, V., Aboutalebian, M.A., Ahmadvand, G., Mousavi, S.S. and Seyedi, M. 2012. Effect of on-farm seed priming and irrigation interval the on growth indices of two corn cultivars (*Zea mays* L.). *J. Agric. Knowl.* 3:7: 67-88. (In Persian)
18. Khosravifar, S., Farhad, F., Nasser, A., Mehrdad, Y. and Farrokh, R. 2019. Effects of different irrigation regimes and two arbuscular mycorrhizal fungi on some physiological characteristics and yield of potato under field conditions. *J. Plant Nutr.* 43: 13. 2067-2079.
19. Mai, W., Xue, X., Feng, G. and Tian, C. 2018. Simultaneously maximizing root mycorrhizal growth and phosphorus uptake by cotton plants by optimizing water and phosphorus management. *Plant Biol.* 18: 334.
20. Begum, N., Qin, C., Ahanger, M., Raza, S., Khan, M., Ashraf, M., Ahmed, N. and Zang, L. 2019. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Front. Plant Sci.* 10: 1068.
21. Tahira, B., Shafaqat, A., Mahmoud, F. and Naima, H.N. 2020. Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. *Sci. Rep.* 10: 1. 16-25.
22. Vacheron, J. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Front. Plant Sci.* 4: 356. 1-19.
23. Balzergue, C., Puech-Pagès, V., Bécard, G. and Rochange, S. 2011. The

- regulation of arbuscular mycorrhizal symbiosis by phosphate in pea involves early and systemic signaling events. *J. Exp. Bot.* 62: 3. 1049-1060.
24. Smith, S., and Read, E.D. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*, (Ed3), Academic Press, New York. London, Burlington, San Diego. 815 p.
25. Balzergue, C., Chabauud, M., Barker, D., Bécard, G. and Rochange, S. 2013. High phosphate reduces host ability to develop arbuscular mycorrhizal symbiosis without affecting root calcium spiking responses to the fungus. *Front. Plant Sci.* 4: 426. 1-15.
26. Bouzeriba, T., Alsunuse, B., Mehjin, A., Al-Ani, M., Mikaeel, Y., Ahmed, A. and Peter, D. 2021. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and phosphorus uptake of maize (*Zea mays* L.) at different levels of soil phosphorus and soil moisture. *J. Dryland Agric.* 7: 3. 22-33.
27. Campos, P., Borie, F., Cornejo, P., López-Ráez, J., López-García, A. and Seguel, A. 2018. Phosphorus acquisition efficiency related to root traits: is mycorrhizal symbiosis a key factor to wheat and barley cropping. *Front. Plant Sci.* 9: 752.
28. Cavallazzi, J., Filho, O., Stürmer, S., Rygiewicz, P. and Mendonça, M. 2007. Screening and selecting arbuscular mycorrhizal fungi for inoculating micropropagated apple rootstocks in acid soils. *J. Plant Biotechnol.* 90: 117-129.
29. Allen, M. and Boosalis, M. 1982. Effects of two species of mycorrhizal fungi on drought tolerance of winter wheat. *New Phytol.* 93: 67-76.
30. Mahmud, A.A., Rahman, M.M., Bazzaz, M.M., Banu, M.A., Mamun, M.A. and Rahaman, E. 2016. Growth biomass distribution and yield of potato under water stress and non-stress conditions. *Bangladesh Hortic.* 2: 2. 81-93.
31. Nemati, A., Rafiei Al-Hosseini, M. and Danesh Shahraki, A. 2016. The effect of manure and bacterial inoculation on physiological parameters, yield and yield components of chickpea under drought stress. *Environ. Stress Crop Sci.* 9: 4. 351-339. (In Persian)
32. Wang, H., Li, X. and Tan, J. 2020. Interannual variations of evapotranspiration and water use efficiency over an oasis cropland in arid regions of north-western China. *Water.* 12: 5.12-39.
33. Valentinuz, O. and Tollenar, M. 2004. Vertical profile of leaf area and leaf senescence during the grain-filling period in maize. *Crop Sci.* 44: 3. 827- 834.
34. Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardashti, M.R., Jalilian, J. and Eini, O. 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on seed and protein yield under water-deficit stress in mung bean. *Agron. J.* 105: 1. 79-84.
35. Chatterjee, S. 2002. Cultivation of medicinal and aromatic plants in India: A commercial approach. proceedings of an international conference on MAP. *Acta Hort.* 576: 28. 191-202.
36. Bagheri, H., Gharineh, M., Bakhshandeh, A., Taei, J., Mehnatkesh, A. and Andarzian, B. 2016. Effects of water deficit and different nitrogen fertilizer levels on yield, yield components and water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Env. Stress Crop Sci.* 9: 1. 1-14. (In Persian)
37. Bayrami, S., Mirshekari, B. and Farahvash, F. 2012. Response of potato (*Solanum tuberosum*) to seed inoculation with mycorrhiza strains in different phosphorus fertilization. *J. Food Agric. Environ.* 10: 3. 726-728.
38. Jarosław, P., Dominika, B.M. and Waldemar, M. 2020. Relations between photosynthetic parameters and drought-induced tuber yield decrease in katahdin-derived potato cultivars. *Potato Res.* 63. 436-477.
39. Obidiegwu, J.E., Bryan, G.J., Jones, H.G. and Prashar, A. 2015. Coping with drought stress and adaptive response in potato and perspective for improvement. *Front. Plant Sci.* 6. 542.
40. Gultekin, R. and Ertek, A. 2018. Effects of deficit irrigation on the potato tuber development and quality. *Int. J. Agric. Environ. Food Sci.* 2: 3. 93-98.
41. Ekin, Z., Faruk, O., Erman, M. and Erdal, O. 2009. The effect of *Bacillus* sp. OSU-142 inoculation at various levels of

- nitrogen fertilization on growth, tuber distribution and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). Afr. J. Biotechnol. 8: 18. 4418-4424.
42. Kim, Y.U. and Lee, B.W. 2019. Differential mechanisms of potato yield loss induced by high day and night temperatures during tuber initiation and bulking: Photosynthesis and tuber growth. Front. Plant Sci. 10: 300. 1-9.
43. Zhao, W., Liu, L., Shen, Q., Yang, J., Han, X., Tian, F. and Wu, J. 2020. Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. Water. 12: 8. 21-27.
44. Abdel Raouf, R., El-Habbasha, S., Hozayn, M. and Hoballah, E. 2013. Water stress mitigation on growth, yield and quality traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) using biofertilizer inoculation. J. Appl. Sci. Res. 9: 3. 2135-2145.
45. Ierna, A. and Mauromicale, G. 2018. Potato growth, yield and water productivity response to different irrigation and fertilization regimes. Agric. Water Manag. 201: 8. 21-26.
46. Liu, E., Mei, K., Yan, X.R., Gong, C.R. and Zhang, D.Z. 2016. Effects of water stress on photosynthetic characteristics, dry matter translocation and WUE in two winter wheat genotypes. Agric. Water Manag. 167: 75-85.
47. Mashilo, J., Odindo, A.O., Shimelis, H.A., Musenge, P. and Magwaza, L.S. 2017. Drought tolerance of selected bottle gourd (*Lagenaria siceraria* Standl) landraces assessed by leaf gas exchange and photosynthetic efficiency. Plant Physiol. Biochem. 120: 75-87.

