Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 52, No 3, Autumn 2021 (605-617)
DOI: 10.22059/ijhs.2020.307882.1833

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۰ (ص ۶۱۷-۶۰۵)

نشریه پژوهشی:

تأثیر مواد سوپرجاذب رطوبتی و میکوریز بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی در شرایط کم‌آبیاری

خسرو پرویزی*
دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۳)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر مواد سوپرجاذب رطوبتی و قارچ میکوریز بر کاهش مصرف آب، صفات رشد و همچنین عملکرد سیب‌زمینی آزمایشی بصورت طرح استریپ فاکتوریل به اجرا درآمد. در این تحقیق مقدار آب آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و۵۰ درصد نیاز آبی بر اساس تبخیر و تعرق) در کرت‌های افقی و فاکتور استفاده از سوپر جاذب Trawat200A با دو سطح (با مقادیر صفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) و میکوریز در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح با میکوریز گونه *Glomus etunicatum*) در کرت‌های عمودی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر میزان آبیاری و استفاده از میکوریز و سوپرجاذب در اغلب صفات رویشی و همچنین عملکرد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با اعمال کم آبیاری صفات رویشی و عملکرد کل کاهش پیدا کردند، اما این کاهش در شرایط تلقیح با میکوریز و با کاربرد پلیمر سوپر جاذب به طور معنی‌داری کمتر بود. در شرایط تنش متوسط و شدید استفاده توأم از میکوریز و سوپر جاذب عملکرد کل را در مقایسه با عدم استفاده از آن‌ها به ترتیب حدود ۹/۵ و ۱۰/۱۵ درصد افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، قارچ همزیست، کاهش مصرف آب، مواد جاذب رطوبت.

Evaluation of the effect of superabsorbent materials and mycorrhizae on growing traits and yield of potato in deficit irrigation conditions

Khosro Parvizi*
Associate of Professor, Horticulture Crops Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran
(Received: Aug. 22, 2020 - Accepted: Nov. 23, 2020)

ABSTRACT

In order to investigate the effect of superabsorbent and mycorrhizal fungi on reducing water consumption, growth traits and potato yield, an experiment with strip-factorial design was performed. In this study, the amount of irrigation water at three levels (100, 75 and 50% of water requirement based on evapotranspiration) in horizontal plots and the use of Trawat200A super absorbent with two levels (0 and 80 kg / ha) and mycorrhiza on two levels (inoculation and non-inoculation with *Glomus etunicatum*) were placed in vertical plots. The results of combined analysis of variance showed that effect of irrigation and the use of mycorrhiza and superabsorbent were significant in most vegetative traits as well as yield. Means comparison showed that vegetative traits and total yield decreased by application of low irrigation, but this decrease was significantly less in mycorrhizal inoculation conditions and with the application of superabsorbent polymer. Under moderate and severe stress conditions, the combined use of mycorrhiza and superabsorbent increased the total yield compared to non-consumption (control) by about 9.5% and 10.15%, respectively.

Keywords: Moisture absorbing material, potato, reduce water consumption, symbioic fungi.

* Corresponding author E-mail: kparvizi@yahoo.com; khosroster@gmail.com; k.parvizi@areeo.ac.ir

مقدمه

با توجه به محدودیت ریزش‌های جوی استان همدان (متوسط بارندگی سالیانه ۳۱۳ میلی متر) و نیز نامناسب بودن توزیع و پراکنش زمانی آن و از طرفی نیاز بالای آبی محصول سیب‌زمینی که جزو مهمترین محصولات زراعی استان می‌باشد، ناگزیر می‌بایستی روش‌هایی اتخاذ شود که هم بهره‌وری مطلوب از منابع آبی موجود حاصل شده و همچنین به پایداری تولید این محصول که قابلیت‌های بالایی در کشت و تولید آن در استان وجود دارد، خدشه و صدمه‌ای وارد نشود. سیب‌زمینی محصولی حساسی به تنش خشکی بویژه در مرحله غده‌زایی می‌باشد. مدیریت صحیح آبیاری در مزرعه نقش مهمی در افزایش کارایی مصرف آب داشته و همچنین با جلوگیری از کاهش عملکرد از میزان آلودگی به بیماری کاسته و کیفیت غده‌های تولیدی نیز ارتقاء می‌یابد. در این راستا استفاده از سوپرجاذب‌های رطوبتی و تلقیح با قارچ میکوریز از ابزارهای مناسب مدیریت آب می‌باشد که ضمن بهره‌وری بهینه از منابع آب و خاک، با ایجاد قدرت رشد مطلوب، قدرت رقابتی محصول را افزایش داده و می‌توانند با ایجاد رشد مطلوب‌تر و اجتناب از برخورد با تنش در مراحل بحرانی رشد، منجر به افزایش کمی و کیفی محصول بشوند سوپرجاذب‌ها از نظر ساختمانی شبکه‌ای از مواد پلیمری هیدروکربن و آبدوست می‌باشند. ضریب جذب آب در این مواد بسیار بالا بوده و بیش از ۵۰۰ برابر جرم خود آب جذب می‌کنند. تخلیه آب در این مواد تدریجی بوده و در اثر خشک شدن خاک به تدریج صورت می‌گیرد. بنابراین محیط خاک و ریشه به مدت طولانی در حد ظرفیت زراعی باقیمانده و بدون نیاز به آبیاری مجدد آب لازم را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Monning, 2005). Jahan *et al.* (2013) با بررسی اثر مواد سوپرجاذب رطوبتی در کاهش اثر تنش خشکی در ذرت با دو دور آبیاری هفت و چهارده روزه، نتیجه گرفتند که ارتفاع بوته، درصد ماده خشک و عملکرد به صورت معنی داری تحت تأثیر تیمارهای سوپرجاذب قرار گرفت و با مصرف هر دو سطح ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب صفات رشد به طریقی معنی‌دار در دور آبیاری ۱۴ روزه افزایش پیدا کرد. Mao *et al.* (2011) نتیجه گرفتند که در ذرت تعداد دانه در بوته با کاربرد حداقل مصرف سوپرجاذب تحت تأثیر واقع نشد، اما در سطوح متوسط و بالاتر مصرف سوپرجاذب، به ترتیب ۳۱ و ۴۵ درصد تعداد دانه در بوته افزایش پیدا کرد. Banedj Schafiee & Rahbar (2019) نشان دادند کاربرد پلیمر نوازورب A (تولید پژوهشگاه پلیمر ایران)، بر پدیده‌های رویشی، موفقیت و خوشه‌دهی گیاه شورزیست ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz) در سه نوع خاک سبک، متوسط و سنگین، سبب تسریع رویش بذرها در خاک‌های سبک شده و تعداد خوشه‌های ظاهر شده روی هر بوته را ۸۵/۵ درصد افزایش می‌دهد. Rashidi *et al.* (2014) به بررسی تأثیر ماده سوپرجاذب Trawat A بهمراه سطوح مختلف کود شیمیایی و آلی (کود مرغی، کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی بر عملکرد و شاخص‌های رشد سیب‌زمینی پرداختند. نتایج آزمایش مشخص کرد اثر سوپر جاذب بر تعداد ساقه در بوته و عملکرد کل معنی‌دار شد، اما بر تعداد غده در مترمربع معنی‌دار نبود. همچنین اثر متقابل کود آلی و ماده سوپرجاذب در صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته و عملکرد کل تفاوت معنی‌دار نشان داد. در پژوهشی دیگر (Bigdelinasab *et al.*, 2020) اثرات بکارگیری سوپرجاذب نانوکامپوزیت در سه سطح (صفر، ۲ و ۵ گرم در خاک گلدان) با سه سطح محلول‌پاشی اسید هیومیک (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و دو سطح از تنش خشکی (۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) در گیاه چمن و بر میزان رنگ، ارتفاع چمن، وزن تر وخشک و همچنین میزان نشت یونی و مقدار پرولین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که سوپرجاذب و اسید هیومیک قادر به افزایش وزن تر و تراکم چمن شده و میزان نشت یونی و مقدار پرولین را کاهش دادند. در مجموع سوپرجاذب و اسید هیومیک در شرایط تنش خشکی قادر به عبور گیاه چمن از اثرات سوء تنش شدند. Bagheri *et al.* (2019) به بررسی تأثیر ماده سوپرجاذب در ترکیب با تلقیح بیولوژیکی باکتری ازتوباکتر و میکوریز بر شاخص‌های رشد در عدس ایرانی پرداختند. تیمارهای

آزمایشی شامل کاربرد مجزای ماده سوپرجاذب و ترکیب دوگانه و سه گانه آن‌ها در ۶ سطح با باکتری ازتوباکتر و قارچ میکوریز بود. نتایج آزمایش نشان داد کاربرد ترکیب ماده سوپرجاذب با باکتری ازتوباکتر بیشترین تأثیر بر شاخص‌های رشد داشت. همچنین تفاوت معنی‌داری در کاربرد ماده سوپرجاذب و نیز تمامی تیمارهای تلقیح بیولوژیکی با شاهد آزمایش در شاخص های رشد ایجاد شد. همچنین قارچ‌های میکوریز بوسیله افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، افزایش نسبت تعرق، کاهش مقاومت روزنه‌ای بوسیله تغییر در تعادل هورمون های گیاه، روابط آبی گیاه را افزایش می‌دهند (Amerian & Stewart, 2001; Souri & Hatamian, 2019). کاهش اثرات تنش خشکی توسط مایه‌زنی گیاهان زراعی با قارچ میکوریز آربوسکولار در گیاهانی مانند پیاز، ذرت و گندم توسط برخی از محققان گزارش شده است (Subramanian *et al*., 2008; Bolandnazar *et al*., 2009; Alkaraki *et al*., 2004; Auge, 2001). Boomsma & Vyn (2008) گزارش کردند کاربرد قارچ میکوریز آربوسکولار با استفاده از تغییر روابط آب گیاه و کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی و همچنین افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی در شرایط حاصلخیزی پایین خاک می‌تواند باعث افزایش عملکرد در ذرت گردد. همچنین در مطالعات دیگر اثرات قابل توجه میکوریز در تحمل به خشکی به نقش آن در افزایش جذب فسفر، تحریک سنتز سیتوکینین و افزایش راندمان فتوسنتز نسبت داده شده است (Goicoechea *et al*., 1997; Busse & Ellis, 1984). Gaurav *et al*. (2010) به ارزیابی صفات رشدی، عملکرد و کیفیت غده‌های تولیدی در ۳۴ رقم سیب‌زمینی تحت شرایط تنش با استفاده از سیستم آبیاری سورس لاین (Line source) و در تلقیح با میکوریز پرداختند. نتایج نشان داد در رقم‌های مختلف در شرایط تنش و در تلقیح با قارچ میکوریز سطح برگ در مقایسه با شاهد (تنش و عدم تلقیح) تفاوت معنی‌دار نشان داد. متوسط افزایش سطح برگ در رقم‌های مختلف در شرایط تنش و تلقیح با میکوریز نسبت به شاهد از ۲۰ تا ۳۶/۶ درصد متغیر بود.

Duffy *et al*. (1999) با بررسی تأثیر گونه *G. mosseae* از قارچ آربوسکولار مایکوریز بر گیاهچه‌های سیب‌زمینی در شرایط گلخانه نتیجه گرفتند گیاهچه های مایه زنی شده با دو جدایه تجاری قارچ نسبت به تیمارهای شاهد تفاوت معنی‌داری در تعداد گره، ارتفاع گیاه و وزن تر ریشه و ساقه و نیز وزن خشک نشان دادند. در آزمایش دیگری اثرات تلقیح غده‌های سیب‌زمینی با دو گونه قارچ میکوریز *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* به صورت جداگانه و در مخلوط با هم و با چهار سطح تنش خشکی (حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه) در خاک لوم شنی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که تأثیر تنش خشکی و تلقیح با میکوریز بر عملکرد و اجزای آن و نیز میزان عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و غده سیب‌زمینی معنی‌دار شد. تنش خشکی عملکرد و اجزای آن و همچنین غلظت عناصر غذایی در برگ و غده را کاهش داد. اما در مقابل هر دو گونه قارچ میکوریز موجب افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی شده و قادر به کاهش اثرات سوء ناشی از تنش خشکی شدند (Abedi *et al*., 2018).

نتایج تحقیقات مختلف در رابطه با اثر اندومیکوریز بر عملکرد و راندمان تولید محصول در سیب‌زمینی بسته به نوع رقم و ایزوله انتخابی از قارچ متفاوت بوده است. Graham (1996) دریافت که تلقیح سیب‌زمینی با سویه قارچ *Glomus fasciculatum* عملکرد را افزایش داد، در حالی‌که گونه *G. mosseae* قادر به افزایش معنی‌داری در عملکرد نبود. Parvizi *et al*. (2017) با بررسی اثر دو گونه قارچ میکوریز، *G. mosseae* و *G. etunicatum* در تلقیح گیاهچه‌های سیب‌زمینی با دو رقم سانته و آگریا در محیط کشت بافت و شرایط گلخانه نتیجه گرفتند که از بین دو گونه مورد مطالعه، گونه *G. etunicatum* قابلیت بیشتری در کلونیزه شدن و ایجاد رابطه همزیستی با گیاهچه‌های سیب‌زمینی داشت و درتیمارهای تلقیح شده با این گونه نسبت به گونه *G. mosseae* تولید ریزغده به صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش بصورت طرح نواری خرد شده به مدت دو سال در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان به اجرا در درآمد. در این تحقیق مقدار آب آبیاری در سه سطح (۱۰۰ ، ۷۵ و ۵۰ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A) در کرت‌های اصلی قرار گرفته و کرتهای فرعی شامل؛ الف) سوپر جاذب Trawat 200 A به نسبت ۸۰ کیلوگرم در هکتار، ب) تلقیح با میکوریز گونه *Glomus etunicatum* ، ج) مصرف توأم سوپرجاذب و میکوریز د) عدم مصرف سوپرجاذب و قارچ میکوریز (شاهد) بود. تعداد سطوح فاکتور در داخل هر پلات اصلی ۴ و تعداد کل کرت‌ها در هر بلوک آزمایشی ۱۲ عدد بود. لذا طرح با ۳۶ پلات آزمایشی انجام شد. هر کدام از کرت‌ها به طول ۱۰ متر و عرض ۴/۵۰ متر بودند. در هر پلات آزمایش ۶ خط کاشت وجود داشت و نوار آبیاری در وسط هر دو خط کاشت غده‌ها به صورت پشته تلفیقی (۱۵۰×۵۰ سانتی متر) با تراکم کاشت ۵۶۰۰۰ غده در هکتار انجام گرفت. رقم مورد نظر جهت کشت رقم تجاری مرسوم در منطقه (آگریا) بود. ماده سوپرجاذب رطوبتی در هنگام کاشت غده‌ها در مجاور غده و در شیارهای کشت توزیع شد. در تیمارهای تلقیح با میکوریز از زادمایه مورد نظر با جمعیت فعال قارچ به تعداد ۱۲۰ عدد در هر گرم و به صورت بذرمال در هنگام کاشت غده‌ها با آن‌ها آغشته شد. لازم به ذکر اینکه در این تحقیق هیچ نوع ضد عفونی شیمیائی در هنگام کاشت غده‌های بذری مورد استفاده قرار نگرفت.

قبل از کاشت نمونه خاک از محل آزمایش تهیه و در هوا خشک شده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله فسفر قابل جذب به‌روش *Olsen et al.* (1954) و اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی، بافت به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، پتاسیم قابل جذب با عصاره‌گیری با استات‌آمونیوم یک نرمال (Nelson & Sommers, 1982) و واکنش و هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل‌اشباع تعیین شد (جدول۱). از صفات مرحله داشت شامل زمان کسب ۵۰ درصد جوانه زنی، تاریخ سبز کرد کامل و تاریخ پوشش کامل (با همپوشانی گیاهان بین ردیف‌های کاشت)، میزان کلروفیل، طول ساقه، طول میانگره، تعداد گره، تعداد و طول استولون، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و ساقه، زمان رسیدگی و نیز درصد کلونیزاسیون ریشه اندازه‌گیری به‌عمل آمد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک ساقه و ریشه در زمان رسیدن به پوشش کامل بوته در روی ردیف (حدوداً ۴۰ روز پس از کشت) به‌صورت تصادفی و با رعایت حاشیه ۱ ردیف از هر کرت و ۱ متر از ابتدا و انتهای هر کرت به صورت تصادفی دو بوته انتخاب و به طور کامل برداشت شدند.

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل، در هنگام اندازه‌گیری سطح برگ ۰/۵ گرم برگ تازه (برگ‌های کاملا توسعه یافته) انتخاب شده و کاملا در یک آون چینی با پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد خرد و مخلوط شده و سانتریفیوژ شدند (۳۰۰۰ دور در دقیقه). پس از سانتریفیوژ محلول روئی برداشته و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان جذب آن در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد. در نهایت غلظت کلروفیل‌های a و b و کل بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ و با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (Gross, 1991).

$$Chl_a\ (mg.g^{-1}) = 11.64 \times (A663) - 2.16 \times (A645)$$

$$Chl_b\ (mg.g^{-1}) = 20.97 \times (A645) - 3.94 \times (A663)$$

$$Chl_{total}\ (mg.g^{-1}) = Chl_a + Chl_b$$

که در این روابط A645 و A663 به ترتیب میزان جذب در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر می‌باشد.

برای تعیین شدت کلونیزاسیون قارچ میکوریز از روش رنگ‌آمیزی ریشه ارائه‌شده توسط Phillips & Hayman (1970) استفاده شد. درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها براساس روش Gonigle *et al.* (1990) محاسبه گردید.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک قبل از کاشت در دو سال اجرای آزمایش.

Table 1. Physicochemical properties of soil before planting in two years of experiments.

Year	Soil texture	EC ($ds\ m^{-1}$)	pH	Available P ($mg\ kg^{-1}$)	Available K ($mg\ kg^{-1}$)	Nitrogen (%)	Organic carbon (%)
2018	clay loam	1.6	7.8	4.2	356.4	0.38	0.50
2019	clay loam	1.8	7.6	3.8	338.6	0.35	0.70

رکوردگیری در مرحله برداشت به صورت انتخاب واحدهای ۱ متر مربعی و به صورت تصادفی در ۲ نقطه از تیمار و تکرار مربوطه انجام شد. در محصول برداشتی غده‌ها بر اساس اندازه آن‌ها در گروه‌هایی با اندازه کوچکتر از ۳۵، ۵۵-۳۵ و بزرگتر از ۵۵ میلی متر تقسیم بندی و توزین و شمارش شدند. کارایی مصرف آب به وزن غده تولید شده بر حسب کیلوگرم به ازاء مصرف هر متر مکعب آب در تیمارهای مختلف تعیین گردید.

برای تعیین درصد ماده خشک غده، برش‌های نازک از ۴ غده متوسط (۸۰-۴۰ میلی‌متر) از هر رقم تهیه شده و به صورت جداگانه در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و از طریق فرمول زیر اندازه‌گیری شد:

= درصد ماده خشک

۱۰۰× (وزن غده اولیه/ وزن غده پس از خشک شدن)

کارایی مصرف آب به شرح ذیل محاسبه شد.

$WUE = TY / TWU$

در این معادله:

WUE: کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب آب)

TY: عملکرد غده (کیلوگرم در هکتار)

TWU: کل آب مصرف شده توسط سیب‌زمینی (متر مکعب در هکتار)

بر روی کلیه داده‌های حاصل از آزمایش شامل صفات رشد و همچنین عملکرد تجزیه واریانس ساده و مرکب صورت گرفت. آزمون F براساس امید ریاضی میانگین مربعات انجام شد. جهت آنالیز داده‌های حاصله از صفات مختلف و تجزیه و تحلیل آن‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد محاسبه گردید.

نتایج و بحث

صفات رشد

پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها و تست اشتباهات آزمایشی بر روی داده‌های حاصل از صفات مورد بررسی براساس آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب انجام و میانگین مربعات نیز براساس امیدریاضی مورد آزمون قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات رشد نشان داد اثر هیچ‌کدام از تیمارهای آزمایشی (سال، سطوح آبیاری و کاربرد سوپرجاذب و میکوریز) بر زمان لازم تا کسب ۵۰ درصد جوانه زنی و نیز سبزکرد کامل معنی‌دار نشد. همچنین تفاوت معنی‌داری در اثر سال‌های آزمایش بر اغلب صفات رشد ایجاد نشد. اما اثر سطوح آبیاری و استفاده از میکوریز و سوپرجاذب و نیز اثر متقابل آن‌ها بر سایر صفات رشد شامل زمان رسیدن به پوشش کامل، ارتفاع گیاهان در گلدهی، تعداد و طول استولون، میزان کلروفیل، شاخص سطح برگ و وزن تر و خشک ریشه و ساقه معنی‌دار شد. همچنین شدت کلونیزاسیون قارچ میکوریز در تیمارهای مختلف آبیاری تفاوت معنی‌دار داشت. با مقایسه میانگین داده‌های حاصل مشخص شد طولانی‌ترین زمان ممکن تا پوشش کامل در تیمار آبیاری با ۵۰ درصد تبخیر تجمعی روزانه از تشت تبخیر و با عدم کاربرد سوپرجاذب و میکوریز ایجاد شد. همچنین ارتفاع گیاهان در گلدهی در این تیمار نسبت به سایر تیمارها کمترین مقدار را داشت و از نظر آماری نیز تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها نشان داد ($p\leq0.05$). کاربرد جداگانه سوپرجاذب و میکوریز و همچنین ترکیب آن‌ها در شرایط آبیاری نرمال تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاهان در گلدهی و نیز زمان رسیدن به پوشش کامل نداشت، اما در هر دو شرایط کم آبیاری استفاده از میکوریز و سوپرجاذب زمان رسیدن به پوشش کامل را کاهش داده و ارتفاع گیاهان در گلدهی را به طریق معنی‌داری افزایش دادند. این میزان کاهش در طول زمان رسیدن به پوشش کامل و افزایش در ارتفاع گیاهان در گلدهی در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی به میزان بیشتری ملموس بود (جدول‌های ۲ و ۳).

با این نتایج مشخص شد کاربرد میکوریز و سوپرجاذب در شرایط آبیاری نرمال اثرات مثبتی در افزایش ارتفاع بوته و میزان کلروفیل گیاهان سیب‌زمینی نداشته است و با تأمین آب کافی گیاه سیب‌زمینی از حداکثر ظرفیت فتوسنتزی استفاده کرده و بکارگیری کود زیستی و سوپرجاذب عملا قادر به افزایش این ظرفیت نبوده است. ولی با کاهش میزان آبیاری و افزایش شدت تنش بدلیل این‌که از

ظرفیت فتوسنتزی گیاهان کاسته می‌شود، رشد و ارتفاع گیاهان نیز کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که تنش متوسط و با شدت بالاتری تنش شدید موجب تسریع در مرحله رویشی و تسریع در غده‌زایی و کاهش ارتفاع بوته سیب‌زمینی می‌شود. بنابراین قابلیت میکوریز و سوپرجاذب در افزایش جذب آب و کاهش اثرات تنش با بالا رفتن درجه تنش آبی بیشتر نمود پیدا کرده و استفاده از هر دو باعث افزایش ظرفیت فتوسنتز و در نتیجه افزایش ارتفاع ساقه، وزن تر و خشک ساقه و ریشه گردیده است. ضمن اینکه کاربرد توأم آن‌ها با افزایش شدت تنش در گیاه سیب‌زمینی اثر هم افزایی بالاتری داشته است. Allahdadi *et al*. (2005) و همچنین Jahan *et al*. (2013) در بررسی تأثیر پلیمر سوپر جاذب بر خصوصیات رشد ذرت علوفه‌ای دریافتند که مصرف سوپر جاذب اثرات مثبتی بر ارتفاع بوته و تجمع ماده خشک در شرایط کم آبیاری داشته است.

استفاده از سوپرجاذب و میکوریز در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش منجر به افزایش در تعداد استولون گردید. با این تفاوت که در شرایط تنش تفاوت معنی‌دار با تیمار شاهد ایجاد شد. و با کاربرد توأم آن‌ها تعداد استولون به میزان بیشتری افزایش پیدا کرد. تفاوت معنی‌داری در طول استولون در عدم کاربرد میکوریز و سوپرجاذب با کاربرد جداگانه و تلفیقی آن‌ها ایجاد نشد. اما در تیمارهای تنش و بویژه در کمترین سطح آبیاری (۵۰ درصد نیاز آبی) با کاربرد میکوریز و سوپرجاذب طول استولون افزایش معنی‌دار پیدا کرد (جدول ۲). در آبیاری نرمال و همچنین در تنش ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی) استفاده از میکوریز و سوپرجاذب و همچنین تلفیق آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل نداشت، اما در شرایط تنش شدید کاربرد میکوریز و سوپرجاذب و همچنین ترکیب آن‌ها به صورت معنی‌داری سبب افزایش میزان کلروفیل شدند (جدول‌های ۴ و ۵).

طول استولون در سیب‌زمینی اگرچه ارتباط نزدیکی با ریخته ارثی رقم دارد، اما تأثیر عوامل محیطی بر آن قابل توجه می‌باشد. تامین مقادیر کافی عناصر غذایی از جمله نیتروژن از عوامل مؤثر بر رشد رویشی گیاهان و همچنین طویل شدن استولون در سیب‌زمینی می‌باشد (Menzel, 1985; Souri *et al*., 2019; Souri & Hatamian, 2019). با پژوهش اخیر مشخص شد کلونیزه شدن گیاهان سیب‌زمینی با میکوریز قادر به کاهش قابل توجه در طول استولون می‌باشد. این یافته یک ارزش دو جانبه از حیث کنترل طول استولون به عنوان یک ناهنجاری فیزیولوژیکی داشته و در عین حال به عنوان یک عامل در ارتقاء عملکرد نهایی می‌تواند محسوب شود. همچنین با تحقیق Yao *et al*. (2002) مشخص شد کلونیزه‌شدن گیاهان در سیب‌زمینی با قارچ میکوریز، ضمن کاهش طول استولون و افزایش تعداد آن‌ها زمان ورود به مرحله آغازیدن غده را کوتاه کرده در عین حال طول دوره رشد را افزایش می‌دهد که با نتایج پژوهش اخیر هماهنگی دارد. با معنی‌دار شدن اثر متقابل سطوح آبیاری و تیمار میکوریز و سوپرجاذب می‌توان دریافت که اگرچه قارچ میکوریز اثر قابل توجهی بر کاهش طول استولون دارد، اما بسته به سطح آبیاری و شدت تنش ممکن است این اثر بسیار متفاوت باشد و در سطوح مختلف آبیاری ممکن است واکنش‌های متفاوتی ایجاد شود.

میزان کلونیزاسیون قارچ میکوریز با تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در بالاترین میزان بود (با متوسط ۴۲/۱۲ درصد) که نسبت به کلونیزه شدن آن در دو تیمار دیگر آبیاری تفاوت معنی‌دار داشت. شدت کلونیزاسیون قارچ در تنش ملایم با متوسط ۳۸/۸۷ درصد نسبت به آبیاری نرمال با متوسط ۳۰/۰۴ درصد به طور معنی‌داری بیشتر بود و از این حیث در موقعیت دوم قرار گرفت (جدول ۴).

شاخص سطح برگ در گیاهان تلقیح‌شده در آبیاری نرمال و همچنین در دو سطح تنش نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده به صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرد، اما این افزایش شاخص سطح برگ در نتیجه تلقیح با میکوریز و همچنین تلفیق آن با سوپرجاذب در سطح آبیاری ۵۰ درصد (تنش شدید) به مراتب بیشتر از دو سطح دیگر آبیاری بود. به کارگیری سوپرجاذب در سطوح آبیاری پایین تر اثرات بهتری در افزایش شاخص سطح برگ در مقایسه با آبیاری نرمال

داشت. در مجموع در تیمار تلفیق میکوریز و سوپرجاذب سطح برگ نسبت به کاربرد جداگانه آن‌ها افزایش قابل توجه داشت. نسبت افزایش شاخص سطح برگ با کاربرد جداگانه میکوریز و سوپرجاذب در مقایسه با شاهد به طور متوسط در دو تیمار آبیاری نرمال و ۷۵ درصد نیاز آبی به ترتیب ۷/۰۱ و ۸/۶ درصد بود که در مقایسه با میزان آن در کاربرد تلفیقی آن‌ها و در این دو رژیم آبیاری (متوسط ۱۱/۲۴ درصد) پائین تر بوده و در این خصوص تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد (جدول‌های ۴ و ۵).

وزن تر و خشک ساقه و ریشه تحت تأثیر کاربرد سوپرجاذب و میکوریز قرار گرفت. اثرات مثبت میکوریز و سوپرجاذب و بویژه تیمار تلفیقی آن‌ها در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی بسیار قابل توجه بود. در آبیاری نرمال تفاوت معنی‌داری بین کاربرد سوپرجاذب و نیز میکوریز و کاربرد تلفیقی آنها در وزن تر و خشک ریشه و ساقه در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد میکوریز و سوپرجاذب) ایجاد نشد. متوسط وزن تر ساقه در بوته در تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی و با کاربرد تلفیقی میکوریز و سوپرجاذب به ترتیب ۶۶۴/۴۷ و ۶۱۶/۸۰ گرم در بوته حاصل شد که در مقایسه با عدم کاربرد میکوریز و سوپرجاذب در همین سطوح آبیاری تفاوت معنی‌دار داشتند. در حالی که در تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی با کاربرد تلفیقی میکوریز و سوپرجاذب متوسط وزن تر بوته ۶۶۵/۸۸ گرم حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد (متوسط ۶۵۳/۱۴ گرم در بوته) تفاوت معنی‌دار نشان نداد (جدول‌های ۴ و ۵). وزن خشک ساقه در دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد با کاربرد میکوریز و سوپرجاذب و همچنین تلفیق آن‌ها افزایش معنی‌دار نداشت. اما در سطح آبیاری ۵۰ درصد استفاده از سوپرجاذب و میکوریز سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه در مقایسه با تیمار شاهد شد. این اثرات مثبت در افزایش وزن خشک ساقه در تیمار تلفیقی سوپرجاذب و میکوریز نسبت به استفاده جداگانه از آن‌ها بیشتر بود (جدول‌های ۴ و ۵).

با بررسی تغییرات میزان کلروفیل، شاخص سطح برگ و سایر فاکتورهای رشد در پژوهش حاضر به خوبی می‌توان دریافت که افزایش وزن تر و خشک ساقه ناشی از اثر مستقیم میکوریز در افزایش میزان کلروفیل، ارتقاء ظرفیت فتوسنتز و در نتیجه بهبود رشد نسبی در گیاهچه‌های تلقیح شده می‌باشد (Naiji & Souri, 2018). همچنین دلیل دیگر می‌تواند ناشی از اثرات غیر مستقیم میکوریز در افزایش سرعت رشد گیاهچه‌ها به دلیل نقش آن در افزایش میزان جذب عناصر غذایی و به ویژه فسفر باشد که با نتایج پژوهش اخیر حاصل گردیده است. همچنین میکوریز با مکانیسم‌های غیر مستقیم از قبیل کاهش اثر مخرب تنش‌های زنده و غیر زنده نیز قادر می‌باشد محرک رشد رویشی در گیاهان میکوریزایی باشد (Pawlowska & Charvat, 2004). افزایش درصد وزن تر و خشک ساقه در گیاهچه‌های سیب‌زمینی در نتیجه تلقیح با میکوریز در این تحقیق با نتایج پژوهش Duffy *et al.* (1999) در سیب‌زمینی، wright *et al.* (1998) و Feng *et al.* (2002) در ذرت هماهنگی دارد. همزیستی با قارچ‌های میکوریز در این آزمایش سبب افزایش ارتفاع و وزن تر و خشک ساقه و ریشه و همچنین شاخص سطح برگ گردید که از این نظر با نتایج تحقیقات مربوطه در سیب‌زمینی (Duffy & Cassells, 2000)، در ذرت (Subramanian *et al.*, 2008)، فلفل (Demir, 2004) و نیز در *Artemisia annua* (Rapparini *et al.*, 2008) مطابقت دارد.

در تیمارهای کم آبیاری شاخص سطح برگ سیب‌زمینی به طریق معنی‌داری تحت تأثیر استفاده سوپرجاذب قرار گرفت. اثرات مثبت‌تر استفاده از سوپرجاذب با افزایش سطح تنش چشمگیرتر بود. نتایج مشابهی با کاربرد سوپرجاذب بر سطح برگ ذرت در شرایط کم آبیاری با پژوهش Moazzen Ghamsari *et al.* (2009) و همچنین Jahan *et al.* (2013) حاصل شده است. افزایش شاخص سطح برگ سیب‌زمینی تحت تأثیر کاربرد پلیمر سوپرجاذب در دورهای مختلف آبیاری ممکن است در نتیجه تداوم پتانسیل فشاری لازم برای رشد برگ‌ها و تقلیل اثر تنش خشکی در گیاه در نتیجه استفاده از این ماده باشد.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر آبیاری، سوپرجاذب و میکوریز بر برخی صفات رویشی سیب‌زمینی.

Table 2. Mean comparison effect of irrigation, superabsorbent and mycorrhiza on some vegetative traits of potato.

Treatments	Time to fifty percent germination (day)	Complete germination (day)	Overlapping time (day)	Height of plant in flowering time (cm)	Stolon number per plant	Stolon length (cm)
100% water requirement	13.04 a	18.75 a	40.00 b	56.83 a	7.08 a	11.20a
75% water requirement	12.95 a	19.20 a	42.54 a	55.37 b	7.12 a	10.67a
50% water requirement	13.04 a	19.20 a	42.20 a	51.54 c	8.06 b	9.31 b
Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	12.77 a	18.66 a	44.22 a	51.94 c	6.27 b	10.03b
Use of superabsorbent	13.00 a	19.33 a	40.22 c	55.05 b	6.55 ab	10.62a
Use of mycorrhiza	13.16 a	19.05 a	41.66 b	54.38 b	7.05 a	10.50a
Both mycorrhiza and superabsorbent applications	13.11a	19.16 a	40.22 c	56.94 a	7.16 a	10.44a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری، سوپرجاذب و میکوریز بر برخی صفات رویشی سیب‌زمینی.

Table 3. Mean comparison interaction effect of irrigation, superabsorbent and mycorrhiza on some vegetative traits of potato.

Treatments	Time to fifty percent Germination (day)	Complete germination (day)	Overlapping time (day)	Height of plant in flowering time (cm)	Stolon number per plant	Stolon length (cm)
100% water requirement × control	12.50 a	18.16 b	39.33 g	56.66 ab	7.16 a	11.09 a
100% water requirement × superabsorbent	13.50 a	19.16 ab	41.00 def	55.83 bc	6.66 ab	10.97 a
100% water requirement × mycorrhiza	13.16 a	18.83 ab	39.66 fg	56.50 b	7.00 ab	11.18 a
100% water requirement × superabsorbent and mycorrhiza	13.00 a	18.83 ab	40.00 efg	58.33 a	7.50 a	11.56 a
75% water requirement × control	12.83 a	18.83 ab	45.50 b	51.66 d	6.66 ab	11.11 a
75% water requirement × superabsorbent	12.83 a	19.50 a	40.00 efg	56.83 ab	7.16 a	11.32 a
75% water requirement × mycorrhiza	13.16 a	19.33 ab	43.00 c	54.66 c	7.50 a	10.27 b
75% water requirement × superabsorbent and mycorrhiza	13.00 a	19.16 ab	41.66 cde	58.33 a	7.16 a	10.01 b
50% water requirement × control	13.00 a	19.00 ab	47.83 a	47.50 e	5.00 c	7.90 c
50% water requirement × superabsorbent	12.83 a	19.33 ab	39.66 fg	52.50 d	5.83 bc	9.56 b
50% water requirement × mycorrhiza	13.16 a	19.00 ab	42.33 cd	52.00 d	6.66 ab	10.05 b
50% water requirement × superabsorbent and mycorrhiza	13.33 a	19.50 a	39.00 g	54.16 c	6.83 ab	9.74 b

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر آبیاری، سوپرجاذب و میکوریز بر برخی صفات رویشی سیب‌زمینی.

Table 4. Mean comparison effect of irrigation, superabsorbent and mycorrhiza on some vegetative traits of potato.

Treatments	Chlorophyll ($mg.g^{-1}FW$)	Colonization percentage	Leaf area index	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
100% water requirement	2.07a	30.04c	4.16a	662.44a	99.83a	261.49a	25.72a
75% water requirement	2.03a	34.87b	4.09a	649.71b	96.12a	256.73b	25.35a
50% water requirement	1.91a	42.12a	3.70b	595.91c	87.20b	242.16c	24.32b
Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	1.86c	0.00b	3.71c	611.15c	90.59b	239.92d	22.90c
Use of superabsorbent	1.97b	0.00b	4.04b	640.06b	92.30b	257.57b	25.70b
Use of mycorrhiza	2.12a	71.00a	3.99b	643.81ab	96.79a	254.93c	25.29b
Both mycorrhiza and superabsorbent applications	2.07a	71.72a	4.18a	649.05a	97.85a	261.43a	26.64a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری، سوپرجاذب و میکوریز بر برخی صفات رویشی سیب‌زمینی.
Table 5. Mean comparison interaction effect of irrigation, superabsorbent and mycorrhiza on some vegetative traits of potato

Treatments	Chlorophyll (mg g^{-1} FW)	Colonization percentage	Leaf area index	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
100% water requirement × control	2.03a	0.00e	4.15a	653.14c	100.00abc	258.50bc	24.27def
100% water requirement × superabsorbent	2.03a	0.00e	4.19b	655.01bc	93.59def	263.60a	25.68abc
100% water requirement × mycorrhiza	2.13a	60.33d	4.10bc	675.73a	104.92a	261.88ab	25.56bcd
100% water requirement × superabsorbent and mycorrhiza	2.09a	59.83d	4.21ab	665.89ab	100.82abc	262.00ab	25.91abc
75% water requirement × control	1.90bc	0.00e	3.81e	614.45de	88.71fg	241.67e	23.35f
75% water requirement × superabsorbent	2.02ab	0.00e	4.11bc	661.21bc	95.73cde	259.75bc	26.25abc
75% water requirement × mycorrhiza	2.17a	68.33c	4.08bc	658.72bc	97.73bcd	261.01abc	26.22abc
75% water requirement × superabsorbent and mycorrhiza	2.05a	71.16b	4.35a	664.47abc	102.32ab	264.51a	27.05a
50% water requirement × control	1.66d	0.00e	3.19f	656.87g	82.06g	219.60f	21.08g
50% water requirement × superabsorbent	1.85c	0.00e	3.84de	603.97ef	87.58fg	249.35d	25.16cde
50% water requirement × mycorrhiza	2.05a	84.33a	3.79e	596.98f	87.73fg	249.91e	24.08ef
50% water requirement × superabsorbent and mycorrhiza	2.08a	84.16a	3.99cd	616.81d	90.42ef	257.77c	26.95ab

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارند.
In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

عملکرد کل، درصد ماده خشک غده و کارایی مصرف آب

تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی و استفاده تلفیقی از سوپرجاذب و میکوریز بیشترین عملکرد کل غده را داشت که با متوسط ۴۸/۸۸ تن در هکتار تفاوت معنی‌دار با سه تیمار دیگر از این سطح آبیاری و نیز سایر تیمارها داشت. در مجموع استفاده از میکوریز و سوپرجاذب و همچنین کاربرد توأم آن‌ها سبب افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد در هر سه سطح آبیاری شد. اما صرفا در تیمار ترکیبی میکوریز و سوپرجاذب در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار ایجاد شد. استفاده از میکوریز و سوپرجاذب در دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد اثر معنی‌داری بر میزان ماده خشک غده ایجاد نکرد و در هر دو سطح آبیاری تیمارهای شاهد و میکوریز و سوپرجاذب و نیز تلفیق آن‌ها، درصد ماده خشک غده بسیار بهم نزدیک بود.، اما در سطح آبیاری ۵۰ درصد (اعمال تنش) افزایش قابل توجه و معنی‌داری در درصد ماده خشک غده بین تیمار شاهد و تیمارهای میکوریزایی و نیز سوپرجاذب ایجاد شد. در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و در تیمارهای میکوریز، سوپرجاذب و نیز تلفیق آن‌ها ماده خشک غده به ترتیب ۲۰/۰۷، ۲۰/۵۲ و ۲۰/۳۹ درصد بود که در مقایسه با تیمار شاهد در همین سطح آبی (با متوسط ۱۸/۷۲ درصد ماده خشک غده) تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان داد (جدول‌های ۶ و ۷).

استفاده از میکوریز و سوپرجاذب و بویژه تلفیق آن‌ها موجب شد کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. این افزایش با سطوح آبیاری ۵۰ درصد چشمگیرتر بود. در مجموع بیشترین کارایی مصرف آب به میزان ۱۸/۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب و در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و در استفاده توأم از میکوریز و سوپرجاذب ایجاد شد که نسبت به سه تیمار دیگر در این سطح آبیاری و سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد نشان داد. کمترین کارایی مصرف آب (با متوسط ۱۱/۰۲ کیلوگرم بر متر مکعب آب) با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بدون استفاده از میکوریز و سوپرجاذب حاصل شد که صرفا باکاربرد سوپرجاذب در این سطح آبیاری تفاوت معنی‌دار نشان نداد، اما با سایر تیمارها تفاوت‌ها معنی‌دار شد (جدول‌های ۶ و ۷).

افزایش تعداد کل غده و همچنین عملکرد کل در این آزمایش هماهنگی کامل با میزان جذب عناصر غذایی و بویژه فسفر داشت. به گونه‌ای که متناسب با میزان جذب فسفر و بویژه در تیمار مخلوط سوپرجاذب و میکوریز تعداد غده‌ها و به خصوص غده‌های تولیدی با اندزه بذری نیز به صورتی معنی‌دار افزایش پیدا کرد. تأثیرات مثبت میکوریز در افزایش جذب فسفر و در نتیجه تولید تعداد غده بیشتر و در نتیجه عملکرد کل در سیب‌زمینی در این تحقیق با گزارش Mutetwa *et al.* (2010) هماهنگی دارد.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر آبیاری، سوپرجاذب و میکوریز بر عملکرد، درصد ماده خشک غده و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی.

Table 6. Mean comparison effect of irrigation, superabsorbent and mycorrhiza on yield, tuber dry matter percentage and water use efficiency of potato.

Treatments	Total yield (ton.ha $^{-1}$)	Tuber dry matter (%)	Water use efficiency (kg.m^3)
100% water requirement	44.40 a	20.49 a	11.36 c
75% water requirement	37.72 b	20.41 a	12.98 b
50% water requirement	34.16 b	19.92 a	16.56 a
Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	36.72 b	19.82 c	12.82 d
Use of superabsorbent	40.87 a	20.64 a	13.85 b
Use of mycorrhiza	38.21 ab	20.20b c	13.39 c
Both mycorrhiza and superabsorbent applications	39.24 ab	20.43 ab	14.47 a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری، سوپرجاذب و میکوریز بر عملکرد، اندازه غده، درصد ماده خشک و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی.

Table 7. Mean comparison of the interaction effects of irrigation treatment and use of superabsorbent and mycorrhiza on yield, tuber dry matter percentage and water use efficiency of potato.

Treatments	Total yield (ton.ha $^{-1}$)	Tuber dry matter (%)	Water use efficiency (kg.m^3)
100% water requirement × control	42.70 b	20.44 a	11.20 j
100% water requirement × superabsorbent	43.91 b	20.68 a	11.38 ij
100% water requirement × mycorrhiza	43.10 b	20.27 a	11.45 i
100% water requirement × superabsorbent and mycorrhiza	46.88 a	20.59 a	11.41 i
75% water requirement × control	35.70 cd	20.31 a	12.13 h
75% water requirement × superabsorbent	38.79 bc	20.74 a	13.21 f
75% water requirement × mycorrhiza	34.57 cd	20.27 a	12.61 g
75% water requirement × superabsorbent and mycorrhiza	39.45 bc	20.33 a	13.98 e
50% water requirement × control	31.77 d	18.72 b	15.14 d
50% water requirement × superabsorbent	34.95 cd	20.52 a	16.97 b
50% water requirement × mycorrhiza	34.57 cd	20.07 a	16.12 c
50% water requirement × superabsorbent and mycorrhiza	36.12 c	20.39 a	18.01 a

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

همچنین افزایش تعداد غده در بوته در سیب‌زمینی، با تأخیر در ورود به گلدهی و افزایش سطح برگ و ساقه در مرحله استولون‌زایی تا قبل از شروع غده‌زایی همبستگی مثبت دارد (Miri *et al*., 2008). در این پژوهش سوپرجاذب با تأثیر بر صفات مرتبط با ساقه سیب‌زمینی، افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد و ایجاد پوشش کامل در مرحله استولون‌زایی، بر تعداد غده و در نهایت عملکرد کل اثرگذار بود. با نتایج این پژوهش مشخص شد که در شرایط آبیاری نرمال و تنش شدید استفاده توام از میکوریز و سوپر جاذب سبب افزایش تعداد غده و همچنین عملکرد کل نسبت به کاربرد جداگانه سوپرجاذب و میکوریز و نیز تیمار شاهد شد. به نظر می‌رسد که استفاده از سوپرجاذب در شرایط تنش به استقرار میکوریز کمک کرده و کارایی آن را بویژه در شرایط تنش افزایش داده است. یا ممکن است در شرایط عدم تنش سوپرجادب با جذب و تثبیت مواد غذایی بیشتر به اندوخته مواد غذایی در فضای اطراف ریشه (Rhizosphere) کمک کرده و با فراهم نمودن مواد غذایی بیشتر سبب افزایش ظرفیت جذب در ریسه‌های قارچ میکوریز بشود. در همین زمینه گزارش شده است که استفاده از سوپر جاذب سبب تشدید فعالیت قارچ‌های میکوریز می‌گردد (Hadi & Kalantar, 2017).

ثابت شده است که مقدار ماده خشک غده در سیب‌زمینی با فسفر برگ و میزان فسفر خاک همبستگی مثبت دارد (Ekelof., 2007). با توجه به اینکه فسفر عنصری ضروری برای متابولیسم‌های گیاهی به خصوص در متابولیسم کربوهیدرات است، تأمین فسفر مورد نیاز گیاه و تقویت انجام متابولیسم‌های لازم باعث افزایش ذخیره کربوهیدرات غده می‌شود. چون در غده سیب‌زمینی بیشترین میزان

کربوهیدرات ذخیره نشاسته می باشد، این امر باعث افزایش ماده خشک گیاه و در نتیجه مادۀ خشک غده‌ها می‌شود. همچنین با تجزیه برگی مشخص شد که در گیاهان تلقیح شده سطح جذب عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز افزایش معنی‌دار داشته است (داده‌های دیگر حاصل از انجام این تحقیق). نقش این عناصر در تحریک سنتز کلروفیل، افزایش ظرفیت فتوسنتز و در نتیجه کمک به تجمع زیست توده گیاهی کاملاً مشخص شده است. بر این اساس می‌توان بخشی از دلایل افزایش ماده خشک غده بویژه در تیمارهای تنش که با درصد بالاتری از استقرار و کلونیزاسیون قارچ میکوریز همراه بودند را به اثرات مثبت ناشی از تأثیر میکوریز بر جذب این عناصر و درنتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتز، سرعت اسیمیلاسیون و در نهایت تجمع مواد ذخیره‌ای کربوهیدرات در غده‌ها نسبت داد. اثرات مثبت تلقیح با قارچ میکوریز در تجمع ماده خشک غده در این آزمایش با نتایج گزارش‌های David *et al*. (2007) و Ryan (2003) همخوانی کامل دارد.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع با نتایج این پژوهش مشخص شد که با اعمال کم آبیاری و نیز به موازات افزایش شدت تنش آبی، صفات رشد و عملکرد کل در سیب‌زمینی کاهش پیدا کردند، اما این کاهش در شرایط تلقیح با میکوریز و با کاربرد پلیمر سوپر جاذب به طور معنی داری کمتر بود. بنابراین اثرات مثبت استفاده از سوپرجاذب رطوبتی و قارچ همزیست میکوریز بیشتر در شرایط کم آبیاری و به ویژه در شرایط تنش نمود پیدا کرده و قادر به کاهش اثرات سوء ناشی از تنش آبی و تعدیل آن می‌باشد.

REFERENCES

1. Abedi, N., Golchin, A., Shafiei, S. & Besharati, H. (2018). The affect of inoculation with arbuscular mycorhizal fungi on yield and quality of potato under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49 (2), 395-406. (In Farsi).
2. Amerian, M. R. & Stewart, W.S. (2001). Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays*). *Aspects of Applied Biology*, 63, 1-6.
3. Amerian, M. R. & Stewart, W.S. (2001). Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays*). *Aspects of Applied Biology*, 63, 1-6.
4. Al-Karaki, G. N., McMichael, B. & Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, 14, 263-269.
5. Augé, R. M. (2000). *Stomatal behaviour of arbuscular mycorrhizal plants*. In *Arbuscular mycorrhizas*: *physiology and function*. Edited by Kapulnik, Y. & Douds, J. D. D. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
6. Bagheri, V., Shamshiri, M., Alaei, H. & Salehi, H. (2019). Influence of three species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrients uptake in zinnia plant under drought stress conditions. *Journal of Plant Productions Agronomy and Breeding and Horticulture*, 41(4), 83-96. (In Farsi).
7. Banedj Schafiee, S. & Rahbar, E. (2019). Efficiency of a hydrophilic polymer in agriculture and natural resources. *Iranian Journal of Rangeland and Desert research*, 10 (1), 111-129. (In Farsi).
8. Bigdelinasab, H., Solgi, M. & Taghizadeh, M. (2020). The application of humic acid and nanocamposite superabsorbant on growth characteristic and resistance to drought stress in turf grass. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51 (2), 387-402. (In Farsi).
9. Boland nazar S., Naishaboori M., Asgharzadeh N. & Chaparzadeh N. (2009). The effects of arbuscular mycorhizal fungi on water relation of onion. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 10 (4), 293-300 (in Farsi).
10. Boomsma, C. R. & Vyn T. J. (2008). Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, 108, 14-31.
11. Busse, M. D. & Ellis, J. R. (1984). Vesicular-arbuscular mycorrhizal (*Glomus fasciculatus*) influence on soybean drought in high phosphorus soil. *Canadian Journal of Botany*, 63, 2290-2294.
12. Demir, S. (2004). Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology*, 28, 85-90.
13. Duffy, E. M., Hurley, E. M. & Casseles, A. C. (1999). Weaning performance of potato microplants following bacterization and micorrhization. *Potato Research*, 42, 521-527.
14. Ekelof, J. (2007). *Potato yield and tuber set as affected by phosphorous fertilization*. M. Sc. Thesis, Netherland.

15. Feng, G., Zhang, F. S., Tian, C. Y. & Tang, C. (2002). Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*, 12, 185-190.
16. Gee, G. W. & Bauder, J. W. C. (1986). *Methods of soil analysis*, Part1, *physical and mineralogical methods*. (pp. 383-411.) Second edition, American Society of Agronomy, USA.
17. Gross, J. (1991). *Pigments in vegetables*. (2th ed.) Von Nostrand Rrinhold, New York.
18. Graham, S. O., Green, N.E. & Hendrix, J.W (1996). The influence of vesicular- arbuscular mycorrhiza on growth and tuberization of potatoes. *Mycologia Journal*, 68, 925-929.
19. Gaurav, S. S., Sirohi, S. P. S., Singh, B. & Sirohi, P. (2010). Effect of mycorrhiza on growth, yield and tuber deformity in Potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under water stress conditions. *Progressive Agriculture Journal*, 10, 31-40.
20. Goicoechea, N., Antolín, M. C. & Sánchez-Díaz, M. (1997). Influence of arbuscular mycorrhizae and Rhizobium on nutrient content and water relations in drought stressed alfalfa. *Plant and Soil*, 192, 261-268.
21. Gonigle, T., Miller, M. & Swan, J. (1990). A new method that gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 115, 495-501.
22. Hadi, H. & Kalantar, A. (2017) Effects of mycorhizal symbiosis, application of super absorbent gel, glycine- betain and sugar beet extract on physiological traits and seed yield of castor bean (*Ricinus communis* L.) in drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 17(3), 236-250. (In Farsi)
23. Jahan M., Kamayestani, N. & Ranjbar, F. (2013). The feasibility of using superabsorbent moisture to reduce drought stress in corn in a low input system. *Agroecology*, 5 (3), 272-281.
24. Khadem, S. A., Raroudi, M., Ghalvi, M. & Roosta M.G. (2011). Effect of drought stress and application of different ratios of manure and polymers-permeable fertilizer on yield and yield components of corn. *Journal of Iranian Crop Sciences*, 42 (1), 115-123. (In Farsi).
25. Mao, R., Islam, S., Xue, X., Yang, X., Zhao, X. & Hu Y. (2011). Evaluation of a water-saving superabsorbent polymer for corn (*Zea maize* L.) production in arid regions of Northern China. *African Journal of Agricultural Research*, 6(17), 4108-4115.
26. Menzel, C. M. (1985). Tuberization in potato at high temperature: interaction between tem-perature and irradiance. *Annual Botany*, 55, 35-39.
27. Miri, Z., Asghari, J. & Panahi-Kordlagharaki, K. (2008). Effect of irrigation regimes and fertilizer composition on the yield of two potato cultivar in Fereydoon. *Agricultural and Natural Research Science Technology*, 46, 177-178. (In Farsi)
28. Moazzen Ghamsari, B., Akbari, G., Zohuriyan, A. & Nikniyaee, M. G. (2009). Study the yield and growth analysis of forage corn (*Zea maize* L.) under different level of super absorbent polymer application (super water- A200) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 3, 1-8. (In Farsi).
29. Monni, S. (2005). Watter saturated super- absorbent polymers used in high strength concrete. *Journal of Otto- Graf*, 3(16), 193-202.
30. Mutetwa, M., Shoko, M. D & Mtaita, T. A. (2010). The effect of super phosphate and planting density on mini-tuber production from true potato seed. Second Ruforum Biennial Meeting, 20- 24 September 2010, Entebbe, Uganda. pp. 120-126.
31. Naiji, M. & Souri, M. K. (2018). Nutritional value and mineral concentrations of sweet basil under organic compared to chemical fertilization. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus* , 17(2), 167-175.
32. Nelson, D. W. & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: *Methods of soil analysis*. Part 3, *Chemical methods*. (pp. 967-1010). Soil Science Society, American Book Ser. 5. SSSA, Madison WI, USA.
33. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. & Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate*. USDA Circ. 939 US Gover. Prin. Office, Washington DC. pp. 403-427.
34. Pawlowska, T. E. & Charvat, I. (2004). Heavy metal stress and developmental patterns in arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 6643-6649.
35. Parvizi, K., Parvizi, Y. & Navaei, A. (2017). Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungus (*Rhizophagus irregularis*) inoculation in different levels of water deficit on minituber production in potato. *Journal of Plant Productions* (*Agronomy, Breeding and Horticulture*), 40(3), 15-26. (In Farsi).
36. Phillips, J. M. & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Mycology Society Journal*, 55, 159-161.

37. Rapparini, F., Liusia, J. & Penuelas, J. (2008). Effect of arbuscular mycorrhiza on contents of *Artemisia annua*. *Plant Biology*, 10 (1), 108-122.
38. Rashidi, N., Arji, A., Gerdekaneh, M. & Kashi, A. (2014). The effect of organic manure and water super absorbent on tuber yield and yield components of potato (*Solanum tubersum*, cv. Marfona). *Plant Production Technology*, 5 (2), 11-22. (In Farsi).
39. Souri, M.K. & Hatamian, M. (2019). Aminochelates in plant nutrition; a review. *Journal of Plant Nutrition*, 42 (1), 67-78.
40. Souri, M. K., Naiji, M. & Kianmehr, M. H. (2019). Nitrogen release dynamics of a slow release urea pellet and its effect on growth, yield, and nutrient uptake of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 42 (6), 604-614.
41. Subramanian, K. S., Bharathi, C. A. & Jegan, O. (2008). Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. *Biology and Fertility of Soils Journal*, 45, 133-144.
42. Wright, D. P., Scholes, J. D. & Read, D. J. (1998). Effects of mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repens* L. *Plant Cell and Environment*, 21, 209-216.
43. Yao, M. K., Tweddell, R. J. & Desilets, H. (2002). Effects of two vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micro planted potato plantlets. *Mycorrhiza*, 12, 235-242.