

واکنش عملکرد غده، کارایی زراعی فسفر و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد سیب زمینی به فسفات و مایکوریزا تحت تنش رطوبت

مسعود رحمانی^۱ و محمدعلی ابوطالبیان^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۵)

چکیده

به منظور مطالعه برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد غده سیب زمینی تحت تأثیر کاربرد مایکوریزا و کود فسفات در شرایط تنش رطوبتی، پژوهشی مزرعه‌ای در بهار و تابستان ۱۳۹۷ در همدان، انجام شد. پژوهش به صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول تنش رطوبت در سه سطح آبیاری پس از ۶۰ (شاهد)، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A بود، عامل دوم استفاده از قارچ *Glomus mossea* در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد و عامل سوم کود فسفات در دو سطح مصرف و عدم مصرف، در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش رطوبت، حداکثر شاخص سطح برگ با کاربرد مایکوریزا ۱۰/۵ درصد کاهش یافت اما در تنش متوسط و شدید رطوبت، استفاده از مایکوریزا، آن را به ترتیب ۱۲/۳ و ۱۸/۸ درصد افزایش داد. در تنش شدید رطوبت، مایکوریزا سرعت جذب خالص و سرعت رشد محصول را به ترتیب ۴۳/۶ و ۷۶ درصد افزایش داد. در هر سه سطح تنش رطوبت، حضور مایکوریزا سبب افزایش کارایی زراعی فسفر شد. حضور مایکوریزا در شرایط عدم تنش رطوبت، اثری بر عملکرد غده نداشت اما در سطوح متوسط و شدید تنش رطوبت، مایکوریزا عملکرد غده را به ترتیب ۱۶/۴ و ۳۴/۷ درصد بهبود بخشید در حالی که در تنش شدید رطوبت، کاربرد فسفات نسبت به عدم مصرف فسفات، تنها عملکرد غده را ۱۵/۸ درصد بیشتر کرد. بنابراین برای تولید سیب زمینی در شرایط کمبود رطوبت، کاربرد مایکوریزا به همراه کود فسفات مناسب است.

واژه‌های کلیدی: تشت تبخیر، سرعت جذب خالص، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، *Glomus*

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: aboutaleblian@yahoo.com

مقدمه

بخش وسیعی از مزارع دنیا در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار داشته و با محدودیت آب مواجه هستند. طبق آمار موجود مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان تقریباً ۴۴/۷ میلیون کیلومتر مربع را شامل می‌شود. تقریباً ۹۰ درصد مناطق خشک جهان در ۲۷ کشور از جمله ایران متمرکز شده است (۱۳). در میان محصولات زراعی، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با پتانسیل تولید حدود ۳۲۷ میلیون تن و سطح زیر کشت ۱۸/۶ میلیون هکتار در جهان از منابع با ارزش غذایی بشر به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه است. این گیاه یکی از پرتولیدترین محصولات کشاورزی بوده و تقریباً در هر هکتار دو برابر برنج و گندم، محصول تولید می‌کند (۱۹). متوسط مصرف سرانه سیب‌زمینی در ایران بیش از ۳۵ کیلوگرم در سال است که مصرف آن روز به‌روز در حال افزایش است و با توجه به روند رشد جمعیت، نیاز به تولید بیشتر این محصول احساس می‌شود (۱). سیب‌زمینی به کمبود رطوبت خاک بسیار حساس است که این مورد به دلیل سیستم ریشه‌ای محدود و کم عمق آن است (۱۲). کمبود آب در سیب‌زمینی به‌ویژه در مرحله رشد غده که نیاز آبی آن زیاد است، می‌تواند روی تولید آسیمیلات اثر گذاشته و نه تنها عملکرد بلکه کیفیت آن را نیز کاهش دهد (۲۷). کمبود آب، میزان تجمع مواد فتوسنتزی و سرعت رشد را کاهش می‌دهد که می‌تواند یکی از علل کاهش عملکرد محصول باشد (۱۷). رفیعی و همکاران (۲۰۰۴) نیز بیان داشتند که کمبود رطوبت خاک موجب افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها و کاهش میزان فتوسنتز، زیست توده اندام‌های هوایی، رشد غده و در نتیجه عملکرد شد (۲۱). در پژوهش دیگری گزارش شد کاهش ۲۰ درصد آب مصرفی سیب‌زمینی منجر به کاهش ۰/۹ کیلوگرم در متر مربع عملکرد گیاه شد (۶).

در میان عناصر غذایی، فسفر عنصری است که تحرک کمی در خاک دارد و اغلب از راه انتشار به سطح ریشه می‌رسد، لذا کمبود رطوبت سبب کاهش شدید جذب آن می‌شود (۱۶). فسفر یکی از عناصر پرمصرف و مهم در گیاه به‌شمار می‌رود که

نقش‌های کلیدی متعددی در گیاهان دارد مانند: شرکت در واکنش‌های نقل و انتقال انرژی، فرایندهای سوخت‌وسازی (متابولیسمی) گیاه، نورساخت (فتوسنتز)، تقسیم یاخته‌ای، شرکت در ساختار فسفولیپیدهای غشاء یاخته‌های گیاهی، تبدیل قند به نشاسته، انتقال ویژگی‌های ژنتیکی و توسعه قسمت‌های زایشی گیاه (۸، ۱۵ و ۳۱).

در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در زمین‌های کشاورزی علاوه بر صرف هزینه‌های فراوان موجب معضلات زیست‌محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصلخیزی خاک شده است (۲۹)، به‌همین دلیل کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای زیستی با هدف کاهش چشمگیر در مصرف نهاده‌های کشاورزی، یک راه حل مطلوب برای غلبه بر این مشکلات به‌شمار می‌آید. کودهای زیستی می‌توانند به گیاه در جذب عناصر غیرقابل جذب در خاک کمک کنند و با حفظ تعادل شیمیایی خاک، سبب حصول عملکرد مطلوب گیاهان زراعی شوند (۵) و (۳۲). یکی از مهم‌ترین کودهای زیستی قارچ‌های میکوریزایی هستند که از نظر اکولوژیک اهمیت زیادی دارند، زیرا این موجودات در داخل و روی ریشه‌های گیاهان میزبان روابط همزیستی ایجاد می‌کنند و به جذب آب و عناصر غذایی به‌خصوص فسفر کمک می‌کنند (۸) و در این میان از دو گونه *Glomus mossea* و *G. intraradices* استفاده‌های زیادی در تحقیقات شده است (۱۴). از دیگر اثرات مثبت میکوریزا می‌توان به بهبود شرایط ریزوسفر خاک در شرایط تنش، توسعه سیستم ریشه‌ای، افزایش سیستم دفاعی گیاه میزبان و کاهش خطرات اکسیداسیون ناشی از تنش خشکی اشاره کرد (۲). اثرات مثبت قارچ‌های میکوریزا در افزایش ماده خشک و زیست توده گیاهی به‌ویژه در شرایط کم‌آبایی و در نواحی خشک با پژوهش‌های دیگر نیز به اثبات رسیده است (۱۸ و ۲۰). هدف از این پژوهش، بررسی اثر کاربرد میکوریزا و کود فسفات بر عملکرد غده، کارایی زراعی فسفر و برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد سیب‌زمینی رقم سائنه، تحت تنش رطوبت بوده است.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه تأثیر تلقیح قارچ میکوریزا آربوسکولار و کود فسفات بر عملکرد و برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد گیاه سیب‌زمینی تحت تنش خشکی، پژوهشی در بهار و تابستان سال ۱۳۹۷ به صورت فاکتوریل سه عاملی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان به اجرا درآمد. عامل اول قارچ میکوریزا در دو سطح مصرف و بدون مصرف (*Glomus mossea*)، عامل دوم کود فسفات با دو سطح مصرف و بدون مصرف و عامل سوم تنش رطوبت شامل سه سطح آبیاری پس از ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشت تبخیر کلاس A (به ترتیب به عنوان آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید رطوبت) در نظر گرفته شد. در این بررسی از رقم سیب‌زمینی سانتا استفاده شد که از رقم‌های زودرس به شمار می‌آید (۱۲). عملیات کاشت با تراکم ۵/۳ بوته سیب‌زمینی در هر مترمربع و در کرت‌هایی با پنج ردیف شش متری و پشته‌هایی به عرض ۷۵ سانتی‌متر در تاریخ ۱۹ خرداد انجام شد. لازم به ذکر است، سال قبل از آزمایش زمین مورد نظر به صورت آیش بوده است. مایه تلقیح میکوریزا با ۱۵۰ اسپور در هر گرم از شرکت زیست‌فناوران توران تهیه شد و به میزان ۱۰ گرم در متر مربع همزمان با کاشت به صورت نواری در زیر و کنار غده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. کودهای نیتروژن و فسفات با توجه به نتیجه آزمون خاک (جدول ۱) به ترتیب ۱۲۵ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از منابع اوره و سوپر فسفات تریپل مصرف شد. کود نیتروژنه در دو نوبت همزمان با کشت و مرحله شش برگی بوته مورد استفاده قرار گرفت. کود فسفر در زمان کاشت در کرت‌هایی که مصرف آن طبق تیمارهای آزمایشی لازم بود، به صورت نواری با دست در عمق ۵ تا ۶ سانتی‌متر در زیر غده‌ها ریخته شد. برای محاسبه مقدار آب لازم در هر بار آبیاری نیز از رابطه ۱ استفاده شد و با کنتور حجمی اعمال شد (۱۶):

$$d = \frac{Fc - P_0}{100} \times A_s \times D \quad (1)$$

d = ارتفاع آب آبیاری (سانتی‌متر)، Fc = درصد رطوبت وزنی خاک در مرحله ظرفیت زراعی (۲۸/۵ درصد)، P_0 = درصد رطوبت وزنی خاک در زمان آبیاری، A_s = وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۴۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D = عمق توسعه یا گسترش ریشه (۴۰ سانتی‌متر). با ضرب کردن ارتفاع (d) در ۱۰۰، حجم آب مورد نیاز برحسب مترمکعب در هکتار مشخص شد.

پس از استقرار بوته‌ها در سطح خاک (مرحله ۱۵ از مقیاس BBCH) به منظور ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیک در طول فصل رشد شش بار نمونه‌گیری با فاصله زمانی ۱۴ روز، انجام گرفت و در هر بار نمونه‌گیری پنج بوته از نیمه اول هر کرت (نیمه دوم برای عملکرد غده استفاده شد) به صورت تصادفی از سطح خاک برداشت و وزن خشک کل (بخش هوایی و غده‌ها) و سطح برگ‌ها اندازه‌گیری شد. به منظور تهیه نمودار روند تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیک رشد در طول دوره رشد از روابط ۲ تا ۶ استفاده شد (۳ و ۱۷):

$$LAI = \text{EXP}(a + bT + cT^2) \quad (2) \text{ شاخص سطح برگ}$$

$$TDM = \text{EXP}(a + bT + cT^2) \quad (3) \text{ ماده خشک کل}$$

$$(4) \text{ سرعت فتوسنتز خالص}$$

$$NAR = (b + 2cT) \times \text{EXP}[(a - a') + (b - b')T + (c - c')T^2]$$

$$CGR = NAR \times LAI \quad (5) \text{ سرعت رشد محصول}$$

در این معادله‌ها a ، b ، c ، a' ، b' و c' ضرایب معادله‌های رگرسیونی و T زمان برحسب روز بعد از کاشت است. ضرایب رگرسیونی بر اساس رابطه لگاریتم طبیعی داده‌های وزن خشک و شاخص سطح برگ با روزهای نمونه‌گیری پس از کاشت و مربع آنها به دست آمد. داده‌های مربوط به اوج (حداکثر) منحنی‌های شاخص سطح برگ، وزن خشک کل و سرعت رشد محصول تجزیه واریانس شدند. همچنین سرعت جذب خالص در زمان اوج سرعت رشد محصول (حدود ۶۰ روز پس از کاشت) تجزیه واریانس شد.

جدول ۱. نتایج آزمون خاک محل اجرای آزمایش

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	کربن آلی (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (درصد)	بافت خاک لومی رسی
۰/۹	۷/۸	۰/۰۹	۸/۵	۱۸۰	۰/۰۹	

برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است. با افزایش شدت تنش رطوبت حداکثر شاخص سطح برگ کاهش یافت (جدول ۳ و شکل ۱). گزارش شده است که همزیستی بین قارچ میکوریزا و ریشه‌های گیاه میزبان به‌میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصر غذایی گیاه را افزایش می‌دهد (۳)، این قارچ‌ها با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه، کارایی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی افزایش و موجب بهبود رشد آنها می‌شوند (۳۲). البته با توجه به جدول ۳ دیده می‌شود که در شرایط بدون تنش رطوبت و بدون مصرف فسفات، کاربرد میکوریزا نسبت به بدون کاربرد آن، نه تنها سودمندی نداشته است بلکه منجر به کاهش ۱۰/۵ درصدی حداکثر شاخص سطح برگ سیب‌زمینی نیز شده است ولی در دو سطح دیگر تنش یعنی آبیاری پس از ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر در شرایط بدون مصرف فسفات، کاربرد میکوریزا نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۱۵/۴ و ۲۳/۲ درصد حداکثر شاخص سطح برگ را افزایش داد. در پژوهشی روی گیاه سویا نیز گزارش شد که استفاده از میکوریزا در شرایط عدم تنش رطوبت منجر به کاهش ۱۵ درصدی عملکرد دانه شد که علت آن به رقابت بین قارچ و گیاه بر سر منابع آلی نسبت داده شده است (۲). نتیجه دیگر اینکه در سطح تنش شدید در شرایط کاربرد همزمان فسفات و میکوریزا، حداکثر شاخص سطح برگ نسبت به حالت بدون تنش در همان شرایط (مصرف همزمان میکوریزا و فسفات)، کاهش نشان نداده است (جدول ۳) و این یعنی استفاده از فسفات با میکوریزا می‌تواند اثر تنش رطوبت را بر شاخص سطح برگ خنثی کند. از آنجا که حداکثر شاخص سطح برگ همبستگی بالایی با حداکثر ماده خشک کل و سایر شاخص‌های اندازه‌گیری شده

همچنین به‌منظور ارزیابی واکنش عملکرد غده به کود فسفات مصرف شده در تیمارهای مختلف، از شاخص کارایی زراعی فسفر (رابطه ۶) استفاده شد (۹):

$$APE = \frac{Y_p - Y_{p0}}{PE} \quad (۶) \text{ کارایی زراعی فسفر (APE)}$$

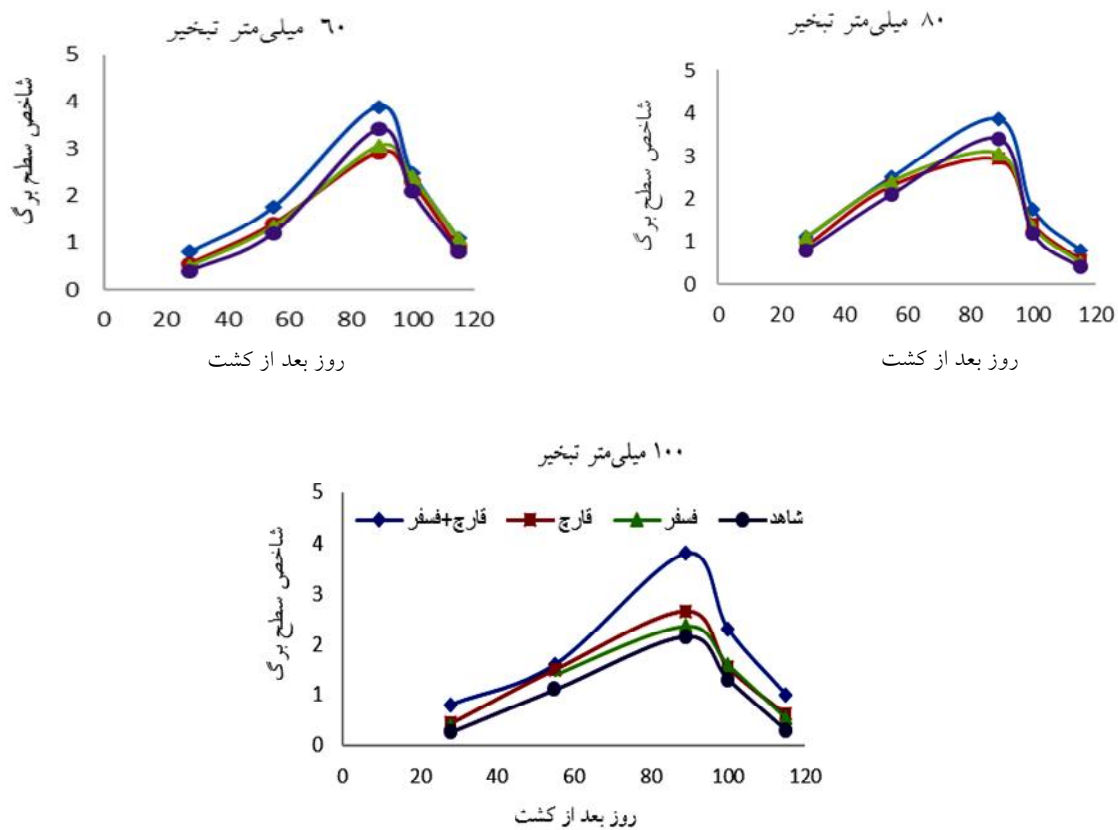
Y_p عملکرد در کرت دریافت کننده کود فسفات، Y_{p0} عملکرد غده در کرت شاهد (بدون دریافت کود فسفات) و PE مقدار کود فسفات مصرف شده در واحد سطح است. در پایان فصل رشد برای اندازه‌گیری عملکرد غده از نیمه دوم هر کرت دو مترمربع برداشت شد. داده‌ها با استفاده از SAS بعد از اطمینان از نرمال بودن باقیمانده‌ها آنالیز واریانس شد و برای مقایسه میانگین از روش حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI)

تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد در شکل ۱ دیده می‌شود. بررسی سطوح آبیاری نشان داد در اوایل دوره رشد تا حدود ۵۰ روز پس از کاشت، سطح برگ گیاه به آهستگی افزایش یافت و پس از آن تا رسیدن به حداکثر با سرعت افزایش سپس کاهش یافت. توقف تولید برگ‌های جدید، پیری و زردی برگ‌ها از عوامل کاهش سطح برگ محسوب می‌شوند که در نتایج سبحانی و حمیدی (۲۰۱۴) نیز به آن اشاره شده است (۲۶).

مطابق جدول ۲ مشاهده می‌شود که اثرات اصلی و برهم‌کنش دوگانه فسفات در میکوریزا و برهم‌کنش سه‌گانه تنش رطوبت، فسفات و میکوریزا روی حداکثر شاخص سطح



شکل ۱. بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش رطوبت، مایکوزیما و فسفات (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
حداکثر ماده خشک	حداکثر سرعت رشد	سرعت جذب خالص	حداکثر شاخص سطح برگ		
۸۵۹/۹ ^{ns}	۰/۷۰۳ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۰۴۹ ^{ns}	۲	تکرار
۹۰۷۹۰/۴ ^{**}	۱۲۸/۵ ^{**}	۲/۶۳ [*]	۲/۱۰۷ ^{**}	۲	تنش (S)
۶۲۵۷۸/۳ ^{**}	۱۲۶/۱۷ ^{**}	۸/۴۷ ^{**}	۱/۲۷ ^{**}	۱	فسفات (P)
۱۰۴۱۰۹/۳ ^{**}	۳۷/۴۴ [*]	۳/۱۱ ^{**}	۰/۴۵ ^{**}	۱	مایکوزیما (M)
۴۴۳۹/۶۶ [*]	۴۳/۶ ^{**}	۴/۴ ^{**}	۰/۰۹۴ ^{ns}	۲	S*P
۲۹۱۸/۵۵ ^{ns}	۸/۶ [*]	۰/۷۴ [*]	۰/۰۱۲ ^{ns}	۲	S*M
۰/۶۵۰۷ ^{ns}	۱/۵ ^{ns}	۰/۲ ^{ns}	۰/۴۸ ^{**}	۱	P*M
۶۱۶۶/۰۶ [*]	۲/۱۵ ^{ns}	۰/۸۰۹ [*]	۱۰/۴ ^{**}	۲	S*P*M
۱۳۱۵/۱۶	۲/۴۹	۰/۱۸	۰/۰۴۵	۲۲	اشتباه
۸/۹۹	۹/۴۸	۷/۱۱	۷/۲	-	ضریب تغییرات (/.)

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیرمعنی‌دار است.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات تنش رطوبت، کود فسفات و مایکوریزا بر صفات اندازه‌گیری شده

عملکرد غده (کیلوگرم در هکتار)	حد اکثر ماده خشک (گرم بر مترمربع)	حداکثر سرعت رشد (گرم بر مترمربع در روز)	سرعت جذب		شاخص سطح برگ	مایکوریزا	فسفات	تنش رطوبت (میلی‌متر)
			خالص	جذب				
۲۵۸۵۱ ^b	۴۶۰ ^b	۲۰/۴۲ ^a	۶/۹۰۳ ^b	۲/۹۳ ^d	مصرف	مصرف	۶۰	
۲۵۸۴۳ ^b	۴۶۰ ^b	۲۰/۴۱ ^a	۷/۲۸۶ ^a	۲/۹۳ ^d	بدون مصرف	مصرف		
۲۴۵۱۲ ^{bc}	۴۳۵ ^b	۱۸/۲ ^b	۶/۹۶۶ ^{ab}	۳/۴۲ ^b	مصرف	بدون مصرف	۸۰	
۲۴۵۳۲ ^{bc}	۳۹۶ ^c	۱۷/۸۶ ^b	۷/۷۳ ^a	۳/۰۶ ^c	بدون مصرف	بدون مصرف		
۲۹۳۴۳ ^a	۵۳۰/۶۶ ^a	۲۱/۰۲ ^a	۷/۰۷ ^{ab}	۳/۸۲ ^a	مصرف	مصرف	۱۰۰	
۲۹۹۵۱ ^{bc}	۴۶۰ ^b	۱۵/۰۵ ^c	۷/۱۱۹ ^{ab}	۲/۸۳ ^d	بدون مصرف	بدون مصرف		
۲۵۵۱۵ ^b	۴۸۷/۱۶ ^{ab}	۲۰/۱۶ ^a	۷/۲ ^a	۳/۱۴ ^c	مصرف	بدون مصرف	۱۰۰	
۲۱۹۱۱ ^c	۳۳۰/۳ ^d	۱۵/۰۳ ^c	۷/۳۱۱ ^a	۲/۷۲ ^e	بدون مصرف	بدون مصرف		
۱۵۳۵۱ ^d	۴۳۹ ^b	۱۸/۶۸ ^b	۴/۴۱ ^{cd}	۳/۳۹ ^b	مصرف	مصرف	۱۰۰	
۱۱۰۰۷ ^f	۳۲۴/۳ ^d	۱۰/۷۴ ^d	۵/۲۳ ^c	۲/۳۷ ^f	بدون مصرف	بدون مصرف		
۱۲۸۳۲ ^e	۲۵۱/۳ ^e	۱۳/۹ ^c	۵/۲۷۲ ^c	۲/۶۵ ^g	مصرف	بدون مصرف	۱۰۰	
۹۵۰۳ ^g	۲۱۸/۱۴ ^f	۸/۶۹ ^e	۵/۴۹۸ ^c	۲/۱۵ ^e	بدون مصرف	بدون مصرف		
۸۱۰	۳۰/۷۴	۱/۳۴	۰/۸۸	۰/۱۸	LSD (۵٪)			

در هر ستون میانگین‌هایی با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری از نظر آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

متوسط و شدید رطوبت، کاربرد مایکوریزا در هر دو حالت مصرف و بدون مصرف فسفات، منجر به افزایش قابل توجهی در سرعت جذب خالص شد که این افزایش در تنش شدید رطوبت و نسبت به حالت نبود مایکوریزا بیش از ۴۰ درصد بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد با افزایش شدت تنش رطوبت نقش مایکوریزا در بهبود جذب آب و عناصر غذایی خاک بسیار بارزتر می‌شود و می‌تواند تعادل آبی گیاه را بهتر حفظ کند (۱۰ و ۳۱) همچنین گزارش شده است که مایکوریزا در شرایط کمبود رطوبت می‌تواند به کاهش مقاومت روزنه‌ای و ادامه فتوسنتز کمک کند (۱۱). نتایج به‌دست آمده در مورد روند تغییرات سرعت جذب خالص نشان داد که در اوایل فصل رشد (مرحله ۱۵ از مقیاس BBCH)، این شاخص در بیشترین مقدار خود بود و ۶۴ روز پس از کاشت، روند نزولی آن با سرعت بیشتری طی شد و در بازه زمانی ۸۰ تا ۱۰۰ روز پس از کاشت،

دارد (جدول ۴)، لذا می‌توان نتیجه گرفت که بهبود شاخص سطح برگ تحت تأثیر کاربرد مایکوریزا و فسفات در تنش رطوبت سبب افزایش فتوسنتز می‌شود. پرویزی و نوایی (۲۰۱۹) واکنش‌های مثبت ایجاد شده توسط همزیستی مایکوریزا و سیب‌زمینی را در شرایط تنش تایید کرده‌اند (۲۰).

سرعت جذب خالص (NAR)

نتایج تجزیه واریانس سرعت جذب خالص در زمانی که سرعت رشد در حداکثر خود بود (۶۴ روز پس از کاشت)، نشان داد که تمام اثرات اصلی و برهم‌کنش‌ها به‌جز اثر دو گانه فسفات در مایکوریزا بر این شاخص معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش رطوبت، بین تیمارهای مصرف و عدم مصرف فسفات و مایکوریزا تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما در تنش‌های

جدول ۴. همبستگی بین صفات مطالعه شده

شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول	سرعت جذب خالص	تجمع ماده خشک	عملکرد
شاخص سطح برگ	۱			
سرعت رشد محصول	۰/۶۳**	۱		
سرعت جذب خالص	۰/۵۴**	۰/۷۸**	۱	
تجمع ماده خشک	۰/۶۲**	۰/۷۷**	۰/۶۶**	۱
عملکرد	۰/۷۵**	۰/۸۱**	۰/۶۳**	۰/۸**

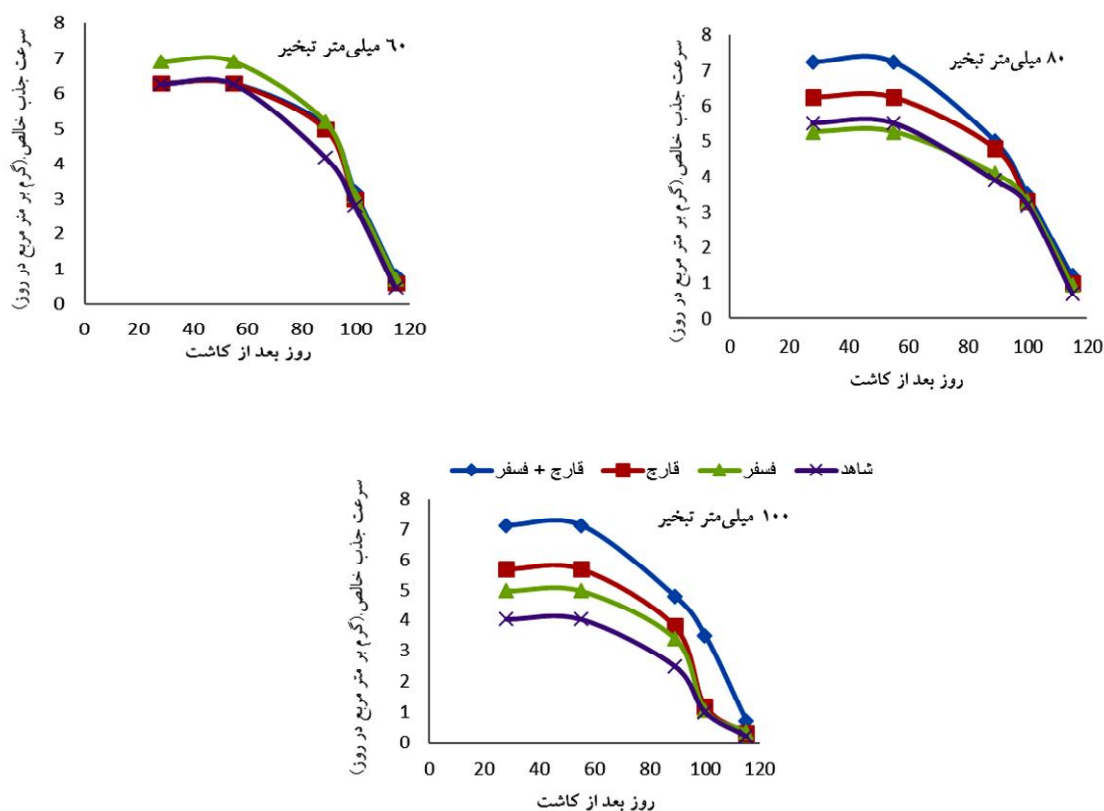
** معنی دار در سطح احتمال یک درصد است.

سرعت رشد محصول (CGR)

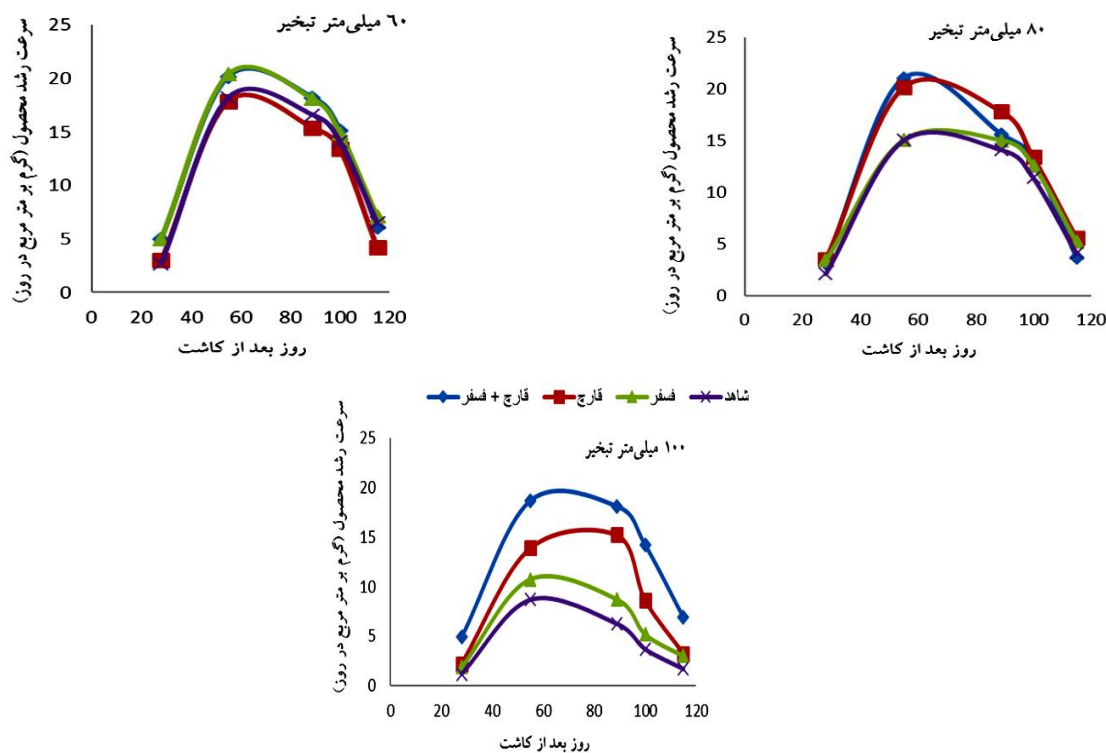
تجزیه واریانس حداکثر سرعت رشد محصول نشان داد که این صفت در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثرات اصلی فاکتورها، برهم کنش‌های دوگانه تنش در مایکوریزا و سه‌گانه تنش، قارچ و فسفر قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های حداکثر سرعت رشد محصول بیانگر اثر هم‌افزایی مصرف مایکوریزا با فسفر بود (شکل ۳). بر اساس نتایج حداکثر سرعت رشد محصول در تیمار مصرف مایکوریزا و مصرف فسفر نسبت به بدون مصرف کود بیشتر و نسبت به مصرف همزمان آنها کمتر بود. همچنین نتایج نشان داد که در آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر، مصرف مایکوریزا تفاوت معنی‌داری با بدون مصرف مایکوریزا نداشت اما در آبیاری پس از ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر، مصرف مایکوریزا نسبت به بدون مصرف آن اثر مثبت بیشتر و معنی‌داری بر افزایش حداکثر سرعت رشد محصول داشت (شکل ۳). مقایسه تیمارها نشان داد که به‌طور کلی، تنش رطوبتی منجر به کاهش سرعت رشد محصول شده و مصرف مایکوریزا به‌ویژه مصرف همزمان آن با کود فسفات، توانسته تا حدودی اثرات منفی تنش خشکی را خنثی کند.

روند تغییرات سرعت رشد محصول نسبت به زمان در تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی در شکل ۳ آمده است. با گذشت زمان سرعت رشد محصول افزایش یافته و پس از رسیدن به حداکثر خود رو به کاهش نهاد. افزایش تنش کم‌آبی بر فتوسنتز جاری و انتقال مواد از بخش هوایی به غده‌ها عامل مهمی در کاهش سرعت رشد است (۲۶). حداکثر سرعت رشد

مقدار آن به صفر میل کرده است (شکل ۲)، به این معنی که فتوسنتز خالص گیاه از مقدار تنفس و هزینه نگهداری گیاه کمتر بوده است (۲۷). در شرایط تنش رطوبت متوسط و شدید (به‌ترتیب آبیاری پس از ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) کاربرد همزمان فسفات و مایکوریزا به دلیل افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱ و جدول ۳) و در نتیجه افزایش سایه‌اندازی، منجر به افزایش شیب کاهش سرعت فتوسنتز خالص به‌خصوص در محدوده زمانی ۵۰ تا ۱۰۰ روز پس از کاشت شد (شکل ۲). کاهش سرعت فتوسنتز خالص در اثر افزایش سایه‌اندازی در تحقیقات متعددی اشاره شده است (۱۱ و ۲۲). در ابتدای فصل رشد، در سطوح مختلف آبیاری، کاربرد مایکوریزا با فسفر، سرعت جذب خالص بیشتری داشت، به‌طوری که در تیمار تنش شدید و تنش ملایم رطوبت به‌ترتیب به‌میزان ۷/۱۴ و ۷/۲۴ گرم بر مترمربع در روز بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون تنش رطوبت در همان شرایط نداشت (جدول ۳). نتایج همچنین نشان داد که بین مقدار هر کدام از شاخص‌های رشد و عملکرد با سرعت جذب خالص در گیاه سیب‌زمینی ارتباط و همبستگی معنی‌دار وجود دارد (جدول ۴). تنش رطوبتی باعث افزایش شیب افت سرعت فتوسنتز خالص شد. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های ولدآبادی و همکاران (۲۰۰۹) هماهنگ است. آنها نیز گزارش کردند با افزایش شدت تنش خشکی، سرعت جذب خالص گیاه کاهش یافت (۳۰). کاهش شاخص فتوسنتز خالص تحت تأثیر تنش خشکی در گندم نیز گزارش شده است (۳۲).



شکل ۲. روند تغییرات سرعت جذب خالص تحت تاثیر تنش رطوبت، مایکوریزا و فسفات (رنگی در نسخه الکترونیکی)



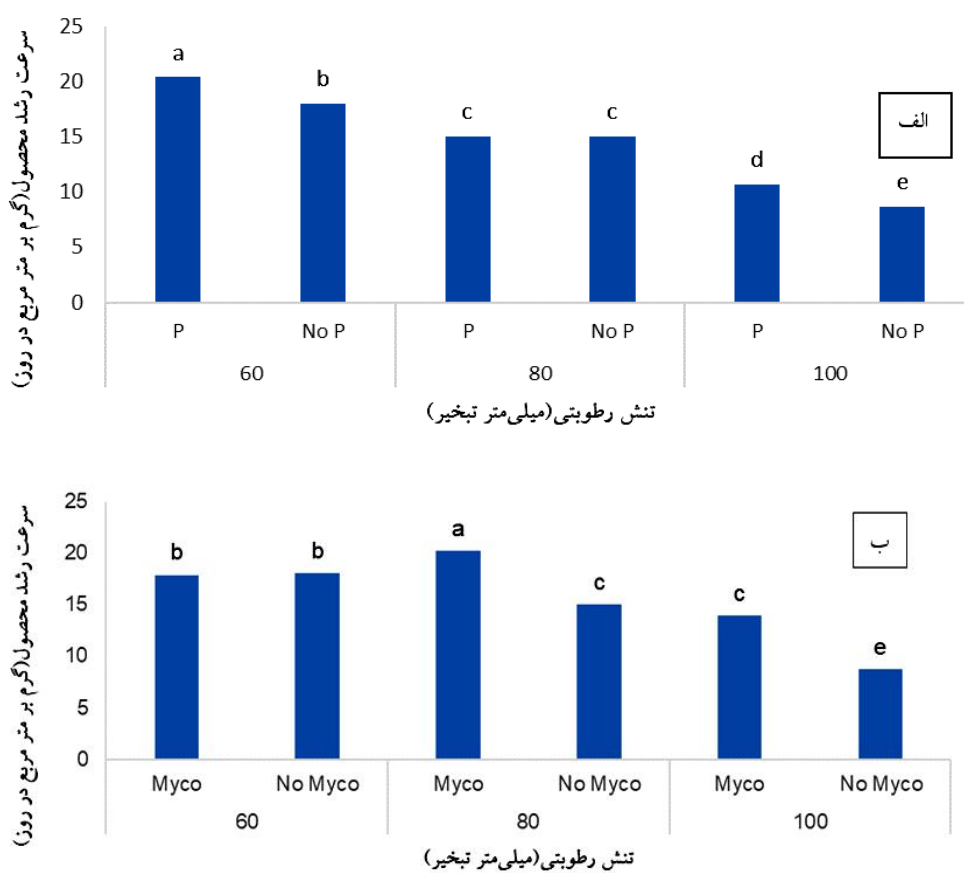
شکل ۳. بررسی روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تاثیر تنش رطوبت، مایکوریزا و فسفات (رنگی در نسخه الکترونیکی)

در شرایط کمبود رطوبت سودمند بوده است (۱). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین مصرف قارچ‌های مایکوریزا و کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی مشاهده شد (جدول ۴) که حاکی از تاثیر مثبت تلفیق قارچ مایکوریزا و فسفات در شرایط تنش رطوبتی است.

ماده خشک کل (TDW)

اثرات اصلی در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش دوگانه تنش رطوبت در فسفات و برهم‌کنش سه‌گانه تنش رطوبت، مایکوریزا و فسفات در سطح احتمال پنج درصد بر حداکثر ماده خشک کل معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که در شرایط بدون تنش رطوبت و تنش شدید رطوبت، تأثیر کاربرد فسفات به‌طور معنی‌داری بیشتر از مایکوریزا بوده است اما کاربرد مایکوریزا به‌تنهایی در مقایسه با تیمار شاهد (بدون مصرف فسفات و مایکوریزا) سبب افزایش قابل توجه ماده خشک کل در هر سه سطح تنش رطوبت شده است (جدول ۳). باگو و همکاران (۲۰۰۰)، در تحقیقات خود نشان دادند که همزیستی با مایکوریزا به‌طور معنی‌داری وزن خشک کل گیاه را در مقایسه با شاهد افزایش داد (۴). بهبود وزن خشک تولیدی در اثر مایه‌زنی با قارچ‌های حل‌کننده فسفات در چغندر قند نیز گزارش شده است (۷). به‌نظر می‌رسد دلیل این امر علاوه بر جذب بهتر آب و مواد غذایی، تولید بیشتر پوشش گیاهی و در نتیجه جذب بیشتر تشعشع در گیاهان تیمار شده با قارچ ناشی می‌شود موضوعی که در تحقیق حاضر هم مشاهده شده است (شکل ۵). بر اساس نتایج به‌دست آمده، تجمع ماده خشک در گیاه، ۵۰ روز پس از کاشت روند سریع خود را آغاز کرده و در بازه زمانی ۹۰ تا ۱۰۰ روز پس از کاشت، ماده خشک گیاه در بیشترین مقدار خود بود. البته نتایج حاکی است که اوج ماده خشک کل در سطوح آبیاری پس از ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر، ۹۵ روز پس از کاشت و در سطح آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر، ۹۰ روز پس از کاشت اتفاق افتاد (شکل ۵). می‌توان اظهار داشت که گیاهان، اغلب در

محصول در شرایط تنش کم‌آبی اختلافات زیادی نشان داد. در تنش‌های ملایم و شدید حداکثر سرعت رشد محصول زودتر انجام شد، به‌نظر می‌رسد علت در کوتاه‌تر شدن دوره رشد گیاه باشد موضوعی که در تحقیقات دیگر هم گزارش شده است (۲۸). میانگین حداکثر سرعت رشد محصول در تیمارهای مصرف همزمان فسفر و مایکوریزا به‌ترتیب در تیمارهای بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید ۲۰/۴۲ و ۲۱/۰۲ و ۱۸/۶۸ گرم بر مترمربع در روز بود و میانگین حداکثر سرعت رشد محصول در تیمارهای بدون مصرف فسفر و مصرف مایکوریزا به‌ترتیب در تیمارهای بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید ۱۸/۲ و ۲۰/۱۶ و ۱۳/۹ گرم بر مترمربع در روز است. در شرایط عدم تنش رطوبت (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر) این مصرف کود فسفات بوده است که حداکثر سرعت رشد محصول را افزایش داد، اما در تنش‌های متوسط و شدید رطوبت، حضور مایکوریزا بود که افزایش معنی‌داری در این شاخص ایجاد کرد (جدول ۳). نتیجه اینکه در شرایط بدون تنش رطوبت، مایکوریزا در بهبود رشد اثر معنی‌داری ندارد و حتی ممکن است به‌دلیل رقابت بر سر مواد فتوسنتزی، منجر به کاهش رشد شود (۲)، اما در شرایط تنش رطوبت مایکوریزا با اثر بر افزایش جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌تحرک خاک می‌تواند منجر به بهبود سرعت رشد گیاه شود (۲۰) (شکل ۳ و ۴). در پژوهش حاضر، بیشترین اثر مایکوریزا بر حداکثر سرعت رشد در حضور فسفات رخ داد به‌طوری که در تنش متوسط و شدید رطوبت، کاربرد مایکوریزا نسبت به بدون کاربرد آن در شرایط مصرف فسفات، حداکثر سرعت رشد را به‌ترتیب ۳۹ و ۷۶ درصد افزایش داد (جدول ۳). البته در تیمار نبود فسفات در شرایط تنش رطوبت ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر نیز مایکوریزا افزایش قابل توجهی در سرعت رشد ایجاد کرد و این موضوع به سودمندی مایکوریزا در بهبود عوارض ناشی از تنش رطوبت و کمی جذب عناصر غذایی دلالت دارد (شکل ۴)، که نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های عابدی و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. آنها بیان کردند قارچ مایکوریزا در رشد و نمو گیاه میزبان



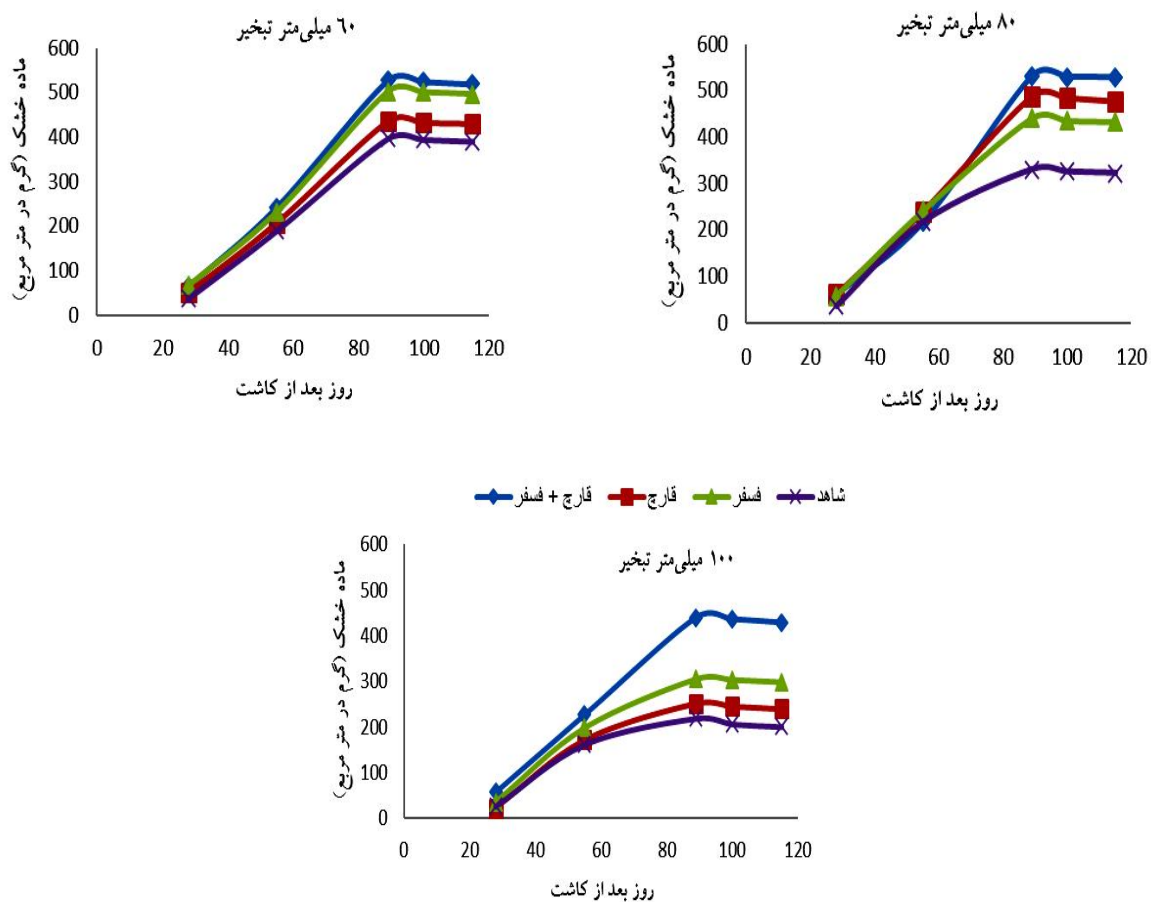
شکل ۴. اثر: الف) تنش رطوبتی و فسفات و ب) تنش رطوبتی و مایکوریزا بر سرعت رشد محصول، حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد است. (P: مصرف کود فسفات، No P: بدون مصرف کود فسفات، Myco: کاربرد قارچ مایکوریزا، No Myco: بدون کاربرد قارچ مایکوریزا)

که دلیل عمده آن به نظر می‌رسد شاخص سطح برگ بالاتر بوده است، به طوری که میزان افزایش ماده خشک تولیدی در تیمار مصرف همزمان قارچ مایکوریزا و کود فسفر نسبت به تیمار شاهد، در هر سه تنش رطوبتی (بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید) به ترتیب با افزایش ۱۶ و ۶۰ و ۱۰۱ درصدی روبه‌رو شده‌اند (جدول ۳).

کارایی زراعی فسفر (APE)

اثرات اصلی و برهم‌کنش تنش رطوبت و مایکوریزا بر کارایی زراعی فسفر در سطح احتمال یک درصد معنی دار بوده است (جدول ۵). افزایش شدت تنش رطوبت به‌طور معنی‌داری

شرایط تنش، سعی دارند تا چرخه زندگی خود را سریع‌تر تکمیل کرده و با کوتاه‌تر شدن دوره رشد، از تنش خشکی اجتناب کنند (۲۳). در سطوح مختلف آبیاری، میزان تجمع ماده خشک گیاه در تیمار مصرف قارچ مایکوریزا با کود فسفر نسبت به بدون مصرف آنها، با سرعت بیشتری صورت گرفته است. همچنین در سطوح آبیاری پس از ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر (تنش ملایم و شدید) مصرف همزمان قارچ مایکوریزا و کود فسفر نقش مهمی در تقلیل اثر تنش خشکی داشته و به روند تجمع ماده خشک در گیاه، شتاب بخشیده است (شکل ۵). به هر حال در هر سه سطح تنش رطوبت کاربرد همزمان مایکوریزا و فسفات منجر به تجمع ماده خشک کل بیشتری شد (شکل ۵)،



شکل ۵. روند تجمع ماده خشک تحت تأثیر تنش رطوبت، مایکوریزا و فسفات (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۵. تجزیه واریانس کارایی زراعی فسفر

میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱۲۴/۷۶**	۲	تکرار
۶۳۴۴/۸۶**	۲	تنش (S)
۱۱۹۵/۲۸**	۱	مایکوریزا (M)
۴۸**	۲	S×M
۴/۸	۱۲	اشتباه
۴/۱۸	--	ضریب تغییرات (/.)

ns، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیرمعنی دار است.

مایکوریزا تأثیر معنی داری بر جذب فسفر و کارایی زراعی آن نداشته است اما با کاهش رطوبت محدوده ریشه، وجود مایکوریزا با افزایش سطح تماس ریشه (۱۳) توانسته است جذب فسفر و کارایی زراعی آن را افزایش دهد (جدول ۵).

کارایی زراعی فسفر را کاهش و کاربرد مایکوریزا به طور معنی داری این شاخص را در سطوح تنش متوسط و شدید افزایش داد (جدول ۶). در سطح بدون تنش رطوبت به دلیل آن که جذب فسفر کاهش نداشته است وجود یا عدم وجود

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر تنش رطوبت و مایکوریزا بر کارایی زراعی فسفر

کارایی زراعی فسفر (کیلوگرم افزایش غده بر کیلوگرم فسفات)	مایکوریزا	سطح تنش (میلی متر تبخیر)
۷۷/۵ ^a	مصرف	۶۰
۷۸ ^a	عدم مصرف	
۵۵/۴ ^b	مصرف	۸۰
۳۵/۷ ^c	عدم مصرف	
۲۸/۶ ^d	مصرف	۱۰۰
۱۸/۹ ^e	عدم مصرف	
۲/۸۱		LSD (۵٪)

در هر ستون میانگین‌هایی با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری از نظر آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

میلی متر تبخیر) ۳۴/۷ درصد افزایش داد، این در حالی است که کاربرد فسفات تنها در شرایط تنش شدید رطوبت سبب افزایش معنی‌دار عملکرد غده شد و آن را نسبت به عدم مصرف فسفات ۱۵/۸ درصد افزایش داد (جدول ۳). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کاربرد مایکوریزا تأثیر بیشتری نسبت به فسفات در افزایش عملکرد غده داشته است و کاربرد همزمان آنها با اثرات تقویتی روی یکدیگر به مراتب عملکرد غده را بیشتر کرده است (جدول ۳). نتایج این آزمایش نشان داده است که عملکرد غده و رشد سیب‌زمینی به کاربرد کود مایکوریزا واکنش فوق‌العاده‌ای نشان داده است. همچنین مصرف همزمان فسفات و مایکوریزا نسبت به مصرف فسفات به‌تنهایی در هر سه تنش (مطلوب، ملایم و شدید) به‌ترتیب عملکرد را ۱۶/۳، ۱۷/۶ و ۳۹/۵ درصد افزایش داده است که نشان‌دهنده افزایش میزان کارایی مایکوریزا در شرایط تنش بیشتر رطوبت است و مقدار افزایش عملکرد در شرایط مصرف همزمان فسفات و مایکوریزا نسبت به مصرف تنهای مایکوریزا در هر سه تنش (مطلوب، ملایم و شدید) به‌ترتیب ۲۰، ۱۴/۹ و ۱۹/۹ درصد بوده است که نشان‌دهنده اهمیت وجود مایکوریزا در کنار مصرف فسفات است و با افزایش تنش رطوبت، نقش مایکوریزا در افزایش جذب فسفر و در نهایت افزایش عملکرد مشخص می‌شود (جدول ۳). نتایج شاه حسینی و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد همزیستی گیاه با مایکوریزا مقدار شاخص‌های رشد و ماده خشک گیاه را افزایش

آزمایش صابر و همکاران (۲۰۱۳) روی گندم نیز اشاره شده است که کاهش مصرف کود فسفر و کاربرد قارچ مایکوریزا، سبب افزایش معنی‌دار کارایی کود فسفر شد (۲۴). می‌توان با افزایش مصرف این میکروارگانیسم‌های تحریک‌کننده رشد، کارایی کود فسفر را افزایش و مصرف آن را تا ۵۰ درصد کاهش داد که با نتایج ابوطالبیان و الهی (۲۰۱۵) و کاهش مصرف کودهای فسفره در گیاهان همزیست با قارچ مایکوریزا مطابقت دارد (۳).

عملکرد غده (Y)

اثرات اصلی و همه برهم‌کنش‌ها به‌جز برهم‌کنش فسفات و مایکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد غده معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد غده مربوط به تیمار آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر به‌همراه استفاده از مایکوریزا و کود فسفاته به‌میزان ۲۹۳۴۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد غده در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر بدون استفاده از کود فسفاته و بدون تلقیح مایکوریزا به‌میزان ۹۵۰۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). در پژوهش حاضر مشخص شد که در شرایط بدون تنش رطوبت وجود مایکوریزا اثری بر عملکرد غده نداشت، اما در تنش متوسط رطوبت (آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر) کاربرد مایکوریزا در مقایسه با نبود آن عملکرد غده را ۱۶/۴ درصد و در تنش شدید رطوبت (آبیاری پس از ۱۰۰

رطوبتی و به‌ویژه نبود فسفات استفاده از مایکوریزا سودمند نیست، اما با افزایش شدت محدودیت رطوبت، کاربرد مایکوریزا منجر به افزایش معنی‌داری در بیشتر شاخص‌های رشد کرد و مصرف کود زیستی مایکوریزا توانست اثر منفی تنش رطوبت را در بیشتر شاخص‌های رشد کاهش دهد و در نتیجه خسارت ناشی از تنش رطوبت را کم کند.

داد و در شرایط کم‌آبی به‌طور معنی‌داری کارایی مصرف آب را زیاد کرد (۲۵). در پژوهشی روی سیب‌زمینی نیز گزارش شد میزان جذب فسفر گیاه همزیست با قارچ مایکوریزا نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (۱).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت در شرایط مطلوب

منابع مورد استفاده

1. Abedi, N., A. Golchin, S. Shafiei and H. Besharati. 2018. The effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on yield and quality of potato under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science* 49(2): 398-406. (In Farsi).
2. Aboutalebian, M. and M. Khalili. 2014. Effect of arbuscular mycorrhiza and *Bradyrhizobium japonicum* on soybean yield and yield components under water stress. *Iranian Journal of Crop Science* 45(2): 169-181. (In Farsi).
3. Aboutalebian, M. and M. Elahi. 2015. Evaluation of changes in some physiological indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected by on-farm seed priming and bio-fertilizers at different phosphorus levels *Journal of Crop Production and Processing* 20: 25-38. (In Farsi).
4. Bago, B., P. E. Feffer and Y. Shachar-Hill. 2000. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhiza. *Plant Physiology* 124: 949-957.
5. Cooper, K. M. and P. B. Tinker. 1978. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. II. Uptake and translocation of phosphorus, zinc and sulphur. *New Phytologist* 81: 43-52.
6. Ghadami Firoozabadi, A. and Kh. Parvizi. 2011. Effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of new potato clones under trickle irrigation. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture* 24(2): 133-144. (In Farsi).
7. Ghafari, N., F. Abdollahi and A. Sadeghi Lari. 2020. Biochemical and vegetative responses of swiss chard (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris*) to mycorrhiza symbiosis under water deficit conditions. *Journal of Agroecology* 12(2): 211-230. (In Farsi).
8. Ghobadi, M., S. Jahanbin., H. R. Owliaie, R. Motalebifard and Kh. Parvizi. 2013. The effect of phosphorus biofertilizers on yield and phosphorus uptake in potato. *Water and Soil Science* 23(2): 125-138. (In Farsi).
9. Gholinezhad, E. and A. Eivazi. 2020. Evaluation of the interaction of water stress and superabsorbent on the characteristics related to the quality of bread wheat cultivars (*Triticum aestivum*). *Journal of Crop Production and Processing* 10(1): 23-37. (In Farsi).
10. Hamzei, J. and F. Sadeghi Meabadi. 2014. Effect of irrigation intervals and arbuscular mycorrhizal fungi on chlorophyll index and yield components of grain sorghum. *Journal of Crop Production and Processing* 4(12): 211-221. (In Farsi).
11. Heidari, N., M. Pouryousef and A. Tavakkoli. 2015. Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Plant Research* 27(5): 829-839. (In Farsi).
12. Keihani, A. and A. Saneinejad. 2015. Growth and yield response of potato plants to different nitrogen levels. *Journal of Crops Improvement* 17(3): 583-593. (In Farsi).
13. Khalafallah, A. A. and H. H. Abo-Ghalia. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. *Journal of Applied Sciences Research* 5: 559-569.
14. Khaninejad, S., H. Khazaie, J. Nabati and M. Kafi. 2017. Effect of three species of mycorrhiza inoculation on yield and some physiological properties of two potato cultivars under drought stress in controlled conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 14(4): 558-574. (In Farsi).
15. Kim, K. Y., D. Jordan and G. A. MacDonald. 1998. *Entrobacter agglomerans*, phosphate solubilizing bacterial activity in soil: Effect of carbon sources. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 995-1003.
16. Mazaheri, D. and N. Majnoonhoseini. 2009. *Fundamental of Agronomy*. University of Tehran Publication, Tehran. (In Farsi).

17. Monte, J. A., D. F. de Carvalho, L. O. Medici, L. D. B. da Silva and C. Pimentel. 2013. Growth analysis and yield of tomato crop under different irrigation depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17(9): 926-931.
18. Naher, U. A., R. Othman and Q. A. Panhwar. 2013. Beneficial effects of mycorrhizal association for crop production in the tropics (a review). *International Journal of Agriculture and Biology* 15: 1021-1028.
19. Parvizi, Kh. 2008. Evaluation of quantitative and qualitative traits of late and early ripening advanced potato cultivars. *Pajouhesh Va Sazandegi* 21: 80-90. (In Farsi).
20. Parvizi, Kh. and A. Navaei. 2019. Evaluation of potato growth traits by inoculation of mycorrhiza under drought stress conditions. *Journal of Plant Research* 32(2): 355-365. (In Farsi).
21. Rafiei, M., H. Nadian., Gh. Noor Mohammadi and M. Karimi. 2004. Effect of drought stress, phosphorus and zinc application on concentration and total nutrient uptake by corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Agricultural Science* 35(1): 235-243. (In Farsi).
22. Rahnama, A. 2018. Plant Physiology. Pouran Pajouhesh Press, Tehran. (In Farsi).
23. Rezaei, A. M. and A. Soltani. 1996. Introduction to Potato Production (translation). Mashhad University Press. Mashhad. (In Farsi).
24. Saber, Z., H. Pirdashti, M. A. Esmaili and A. Abbasian. 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria, nitrogen and phosphorus on relative agronomic efficiency of fertilizers, growth parameters and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar n-80-19 in sari. *Agroecology* 5(1): 39-49. (In Farsi).
25. Shahhosseini, Z., A. Gholami and H. R. Asghari. 2012. Effect of arbuscular mycorrhizae and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize under water deficit condition. *Arid Biome Scientific and Research Journal* 2(1): 39-57. (In Farsi).
26. Sobhani, A. R. and H. Hamidi. 2014. Evaluation of yield and growth indices of potato under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crops Research* 12(2): 283-295. (In Farsi).
27. Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic Journal of Biology* 1(3): 44-48.
28. Tabatabaei, A. and E. Shakeri. 2012. Comparison of qualitative traits and tolerance indices of sunflower cultivars under drought stress and non-stress conditions. *Agricultural Knowledge* 8: 15-26. (In Farsi).
29. Tariq, M., G. Rozina, M. Fazal, J. Fazal, H. Zahid, N. Nadia, Kh. Hamayoon and Kh. Hayatullah. 2011. Effect of different phosphorus levels on the yield and yield components of maize. *Sarhad Journal Agriculture* 27: 167-170.
30. Valadabadi, S. A. R., M. H. Lebaschi and H. Aliabadi Farahani. 2009. The effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), P₂O₅ fertilizer and irrigation according to physiological growth indices of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 25(3): 414-428. (In Farsi).
31. Verma, K. C. and A. B. Abidi. 2009. Effect of phosphorus and molybdenum on biochemical, yield and yield attributing parameters of Indian mustard (*Brassica juncea* L. Czern and Coss). *African Journal of Basic and Applied Sciences* 1(3-4): 67-69.
32. Wang, X., M. Vignjevic, F. Liu, S. Jacobsen, D. Jiang and B. Wollenweber. 2015. Drought priming at vegetative growth stages improves tolerance to drought and heat stresses occurring during grain filling in spring wheat. *Plant Growth Regulation* 75(3): 677-687.

Response of Tuber Yield and Some Physiological Growth Indices of Potato to Phosphate and Mycorrhizae under Moisture Stress

M. Rahmani¹ and M. A. Aboutalebian^{2*}

(Received: June 30-2020; Accepted: February 23-2021)

Abstract

In order to study the effect of mycorrhizae and phosphate fertilizer on some physiological indices of growth and tuber yield of potato under moisture stress conditions, a field experiment was conducted in spring and summer of 2018 in Hamedan, west of Iran. This research was done as a factorial with three factors in a randomized complete block design with three replications. The first factor was moisture stress at three levels of irrigation after 60 (control), 80 and 100 mm evaporation from class A evaporation pan, the second factor was mycorrhizae (*Glomus mossea*) at two levels of application and non-application and the third factor was phosphate fertilizer at two levels of application and non-application. The results showed that in the absence of moisture stress, the maximum leaf area index decreased by 10.5% with use of mycorrhizae, but in moderate and severe moisture stress, the use of mycorrhizae increased it by 12.3% and 18.8%, respectively. Under severe moisture stress, mycorrhizae increased net assimilation rate and crop growth rate by 43.6% and 76%, respectively. At all three levels of moisture stress, the presence of mycorrhizae increased phosphorus agronomic efficiency. The presence of mycorrhizae in no-moisture stress had no effect on tuber yield, but at moderate and severe moisture stress, mycorrhizae improved it by 16.4% and 34.7%, respectively. In severe moisture stress condition, the application of phosphate increased tuber yield by only 15.8% compared to non-application of phosphate. Therefore, for potato production in conditions of moisture stress, the use of mycorrhizae with phosphate fertilizer is suitable.

Keywords: crop growth rate, evaporation pan, glomus, leaf area index, net assimilation rate

1. and 2. M.Sc. Student and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University.

*: Corresponding Author, Email: aboutalebian@yahoo.com