فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیستم/ شمارهٔ اول/ صفحات ۱۹۲-۱۷۷/ بهار و تابستان ۹۹
DOI: 10.22084/ppt.2019.15773.1819

اثر تاریخ کاشت، رقم و قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سیب‌زمینی

Effect of Planting Date, Cultivar and Mycorrhizal Fungus on Growth Traits and Anti-oxidant Enzymes Activity in Potato

ظهراب اداوی[۱] و ابوالفضل باغبانی آرانی[۲*]

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۱۹
(مقاله پژوهشی)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تاریخ کاشت، رقم و مایکوریزا بر صفات رشد و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سیب‌زمینی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دانشگاه پیام‌نور فریدون‌شهر انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل تاریخ کاشت به‌عنوان کرت اصلی در سه سطح و ترکیب فاکتوریلی از سه رقم سیب‌زمینی و دو سطح مایکوریزا به‌عنوان کرت فرعی بودند. نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت برتمامی صفات موردمطالعه به‌جز شاخص سطح برگ معنی‌دار بود به‌گونه‌ای‌که تاریخ کشت ۱۵ اردیبهشت یا ۳۰ خرداد، بیش‌ترین عملکرد غده سیب‌زمینی را با کشت رقم آریندا تولید کرد. مشخص گردید تاریخ کاشت اول خرداد به‌ترتیب نسبت به تاریخ کشت ۱۵ اردیبهشت و ۱۵ خرداد به‌دلیل برخورد مرحله گل‌دهی به‌حداکثر دمای منطقه، دچار تنش‌های محیطی گردیده که باتأثیر منفی برطول دوره رویش تا رسیدگی، ازاین‌طریق باعث کاهش عملکردغده سیب‌زمینی در ارقام آریندا به‌مقدار (۲۸/۲۹ و ۱۳/۰۲ درصد)، آگریا (۲۰/۸۳ و ۲۱/۳۲ درصد) و سانته (۲۴/۸۹ و ۱۹/۶۵ درصد) در فریدون‌شهر گردید. مایکوریزا با تأثیر مثبت بر توسعه ریشه، سبب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ریشه و برگ و هم‌چنین موجب افزایش ارتفاع، تعداد ساقه اصلی و فرعی، وزن خشک ریشه، برگ و اندام هوایی و تعداد غده سیب‌زمینی گردید. درمجموع رقم آگریا نسبت به دو رقم دیگر به‌دلیل تولید کم‌تر و سیستم آنتی‌اکسیدان ضعیف‌تر در ریشه و برگ، تحمل کم‌تری به تنش‌های محیطی داشت که منجر به تعداد شاخه اصلی و عملکرد کم‌تر غده با مایکوریزا (۳۹/۲ و ۹/۸ درصد) یا بدون میکوریزا (۱۱/۳ و ۱۹/۹ درصد) در هر سه تاریخ کاشت گردید.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، طول دوره رشد

۱ و ۲. استادیاران، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
*: نویسنده مسئول Email: z_adavi@pnu.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر تغییرات قابل‌توجهی در دما و بارندگی در بعد جهانی و منطقه‌ای، هم ازلحاظ مقدار و هم‌زمان وقوع به‌عنوان تغییر اقلیم اتفاق افتاده است که به‌تبع آن اثرات مختلفی بر نهاده‌ها و تولیدات کشاورزی گذاشته‌است (*ولف*[1] و همکاران، 2010). نتایج مطالعات مربوط به تغییر اقلیم که در طی سال‌های اخیر در ایران انجام شده‌است همگی مؤید بروز این پدیده در کشور بوده‌اند. البته این تحقیقات عمدتاً بر شاخص های اقلیمی تمرکز داشته و اثرات این تغییرات بر تولیدات کشاورزی کم‌تر موردتوجه قرار گرفته‌است (*مرادی*[2] و همکاران، 2014). کشاورزی یکی از اولین بخش‌هایی است که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد. اگرچه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، ولی مدیریت و تغییر در فاکتورهایی چون آبیاری، خاک، تغییر تاریخ کاشت، رقم محصول، فعالیت‌ها و تکنولوژی‌های مورداستفاده در کشت محصولات زراعی، می‌تواند در کاهش اثرات مضر تغییر اقلیم بر رشد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی نقش به‌سزایی داشته باشد (*ازکان* و *آکواز*[3]، 2002؛ *مرادی* و همکاران، 2014). سیب‌زمینی با نام علمی (*Solanum tuberosum* L.) مهم‌ترین گیاهان زراعی در دنیا است که چهارمین رتبه تولید بعد از ذرت، برنج و گندم را دارا می‌باشد (*اداوی* و *تدین*[4]، 2014). مجموع سطح زیر کشت سیب‌زمینی در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در استان اصفهان حدود ۱۲۰۰۰ هکتار گزارش شده‌است و تقریباً ۲۸۵ هزار تن از تولید سیب‌زمینی کشور را شامل می‌شود که در این بین استان اصفهان حدود ۵ درصد سیب‌زمینی کشور و فریدون‌شهر با سطح زیر کشت بیش از ۲۴۰۰ هکتار و میانگین عملکرد غده ۲۸ تن در هکتار در حدود ۸۰ درصد سیب‌زمینی استان اصفهان را تولید می‌کند؛ بنابراین می‌توان اذعان نمود که منطقه فریدون‌شهر به‌عنوان یکی از قطب‌های تولید سیب‌زمینی در کشور محسوب می‌شود (اداوی و تدین، ۱۳۹۶). سیب‌زمینی یکی از منابع مهم انرژی (نشاسته)، پروتئین، منابع معدنی، ویتامین‌ها و ترکیبات فعال آنتی‌اکسیدانتی است که مصرف آن به‌عنوان یک ماده غذایی باارزش و سرشار از کربوهیدرات‌ها در جهان رایج شده‌است. با توجه به‌ضرورت بالای کشت سیب‌زمینی در ایران و جهان، افزایش تولید آن به‌دلیل محدودیت‌های منابع آبی و هم‌چنین محدودیت زمین‌های دارای پتانسیل تولید کشت‌های دیم، امکان‌پذیر نیست و از طرفی دیگر وقوع تغییر اقلیم در جهان و ایران و ایجاد تنش‌های غیرزنده از قبیل خشکی و دمای بالا، اثرات بدی بر رشد و عملکرد غده سیب‌زمینی می‌گذارد (اداوی، ۱۳۹۳).

زمان کاشت به‌دلیل تغییر در طول روز، دما و رطوبت نسبی تأثیر به‌سزایی در رشد، نمو و تولید گیاه طی فصل رشد داشته و یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی مؤثر در تولید تمام محصولات می‌باشد که اگر زمان کاشت مطلوب برای هر گیاهی انتخاب نشود باعث بروز ایجاد تنش‌های محیطی در گیاه خواهد گردید (اداوی و تدین، ۱۳۹۶). یکی از اثرات تنش‌های محیطی (تنش آب و دمای بالا) تغییرات بیوشیمیایی است که در گیاه تحت تنش ایجاد می‌شود که می‌توان به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن که سمی و بسیار واکنش‌پذیرند اشاره داشت. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده، دارای سیستم دفاعی با کارآیی بالایی هستند که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین برده و یا خنثی کنند. این سیستم دفاعی شامل افزایش مقدار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (سوپر اکسیددسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز) است (*کاراماکار*[5] و همکاران، 2014). اداوی گزارش کرد که تغییر اقلیم و گرم شدن زمین در فریدون‌شهر (کاهش میزان بارندگی و افزایش میانگین دما در صدسال آینده)، باعث کاهش تعداد روز تا گل‌دهی و کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی شد. سازگاری یکی از روش‌های مهم شناخته شده برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم می‌باشد (اداوی، ۱۳۹۳). منظور از سازگاری استراتژی‌های است که رشد و نمو گیاه طوری تنظیم شود که کمتر در معرض تغییرات اقلیمی به وقوع پیوسته قرار بگیرد (*روزنویگ* و *توبیلو*[6]، 2007). راهکارهای سازگاری بسته به سیستم کشاورزی، منطقه و سناریوهای تغییر اقلیمی متفاوت می‌باشد. ازجمله این استراتژی‌ها می‌توان به تغییر تاریخ کاشت، تراکم کاشت (*ترنکا*[7] و همکاران، 2004) استفاده از ارقام مقاوم به شرایط گرمتر (مرادی و همکاران، ۱۳۹۲)، تغییر در تناوب کاشت، مدیریت آبیاری و غیره اشاره کرد (*توبیلو*[8] و همکاران، 2002).

عملکرد هر گیاه متأثر از عوامل مختلف محیطی، ژنوتیپ و مدیریت نهاده‌ها می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم محیطی در هر منطقه تاریخ کاشت است. واضح است که عکس‌العمل ارقام مختلف به تاریخ کاشت یکسان نیست؛ به‌طوری‌که هر رقم می‌تواند پتانسیل تولید بالایی را در تاریخ کاشت مطلوب خود داشته باشد. ترکیب مناسب ژنوتیپ و تاریخ کاشت در گیاهان زراعی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کسب عملکرد مطلوب و

1. Wolf
2. Moradi
3. Ozkan and Akcaoz
4. Adavi and Tadayoun
5. Karmakar
6. Rosenzweig and Tubiello
7. Trnka
8. Tubiello

اقتصادی است. در تاریخ کاشت مناسب، مراحل رویشی و زایشی گیاه با شرایط مطلوب محیطی منطبق شده و موجب افزایش بازدهی فتوسنتز، افزایش انتقال و ذخیره مواد فتوسنتزی در اندام اقتصادی و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود. معمولاً تاریخ کاشت با سایر مدیریت‌های زراعی (انتخاب ارقام مقاوم، مدیریت نهاده‌ها و غیره) اثر متقابل در کاهش یا تخفیف اثرات منفی تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی نشان می‌دهد (باقری و بلوچی، ۱۳۹۳). روش‌های زیستی مبتنی بر استفاده از پتانسیل ریزجانداران مفید خاکزی در برقراری روابط همزیستی با گیاهان، راهکار مؤثری در افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی بیان شده‌است (*بلترانو و رونکو*[1]، 2008). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با افزایش جذب آب و عناصر معدنی نظیر فسفر که تحرک نسبتاً اندکی در خاک دارند، حیات گیاه میزبان را بهبود می‌بخشند. در گیاهان، به‌ویژه آن دسته از گیاهانی که سیستم‌های ریشه‌ای محدود و ضعیفی دارند، ارتباطات ریسه‌ای[2] توسط این قارچ‌ها به‌عنوان پلی ارتباطی میان ریشه و مکان‌های تغذیه‌ای و آب در خاک عمل کرده، جذب آب و عناصر غذایی غیرمتحرک و کم‌تحرک را توسط سلول‌های میزبان تسهیل می‌کنند (*کاپور*[3] و همکاران، 2008). در تحقیقی نشان داده شد که مایکوریزا سبب افزایش اندازه، تعداد، وزن، عملکرد غده و نشاسته سیب‌زمینی گردید (*اداوی و تدین*، 2014). در تحقیقی چهارساله در ۲۳۱ مزرعه در شمال آمریکا و اروپا گزارش گردید که تلقیح سیب‌زمینی با قارچ مایکوریزا، به‌طور میانگین سبب افزایش ۹/۵ درصدی عملکرد غده در سیب‌زمینی گردید (*هیجری*[4]، 2015).

با توجه به اهمیت محصول سیب‌زمینی در کشور و خصوصاً در شهرستان فریدون‌شهر (قطب تولید سیب‌زمینی در استان اصفهان)، هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی روش های زراعی نظیر تاریخ کاشت و ارقام سازگار به شرایط آب و هوایی منطقه مورد کشت به‌همراه کاربرد قارچ مایکوریزا (به جهت تعدیل اثرات منفی تاریخ کاشت نامناسب بر گیاه و صرفه جویی در مصرف کودهای شیمیایی و تولید محصول سالم‌تر) بر خصوصیات رشدی و به‌تبع آن عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سیب‌زمینی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در شهرستان فریدون‌شهر در غرب استان اصفهان در ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۷ دقیقه عرض شرقی با ارتفاع ۲۵۳۰ متر از سطح دریا انجام شد. اقلیم این ناحیه در طول دوره زمانی ۲۵ ساله (۱۹۸۸ تا ۲۰۱۲) سرد کوهستانی با میانگین دمای حدود ۹/۵ درجه سانتی‌گراد و بارندگی ۶۰۰ میلی‌متر است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

به‌منظور بررسی اثر تاریخ کاشت و مایکوریزا بر صفات رویشی، فیزیولوژیکی و عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم غده سیب‌زمینی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل تاریخ کاشت به‌عنوان کرت اصلی در سه سطح (۱۵ اردیبهشت، ۱ و ۱۵ خرداد) و ترکیب فاکتوریلی از ۳ رقم مختلف سیب‌زمینی (آگریا، سانته و آریندا) و دو سطح (با و بدون مایکوریزا) به‌عنوان کرت فرعی بودند. قارچ (*Glomus intraradices*) از مجاورت ریشه گیاه ذرت طی دوره رویشی چهار ماهه تهیه شدند. زادمایه قارچ مذکور از گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران تهیه گردید و شمارش جمعیت فعال قارچی صورت گرفت و مایه تلقیح قارچ میکوریزی گونه گلوموس اینترارادیسیز دارای ۴۳۰ اسپور در ۱۰۰ گرم خاک بودند. تیمار قارچ به همراه کاشت و به میزان ۱۰۰ گرم مخلوطی از ماده تلقیح شامل قطعات ریشه میکوریزی ذرت، خاک و اندام فعال قارچی (اسپور و هیف) که به‌صورت تجاری تهیه شده بود در نزدیکی محیط ریشه اعمال شد.

هر کرت شامل ۶ خط کشت به طول ۵ متر بود، فاصله‌ی بین خطوط و روی خطوط به‌ترتیب ۷۵ و ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. غده‌ها با تراکم ۵/۳۳ گیاه در مترمربع در اوایل بهار کشت شدند. در طول دوره رشد کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) در دو نوبت (۱/۳ قبل از کاشت) و ۲/۳ دیگر در زمان گل‌دهی به زمین اضافه شد. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و بعد از آن هر ۱۰ روز یک‌بار به‌صورت نشتی و مبارزه با علف هرز توسط وجین دستی در ۳ نوبت انجام گرفته بود.

1. Beltrano and Ronco
2. Hypha
3. Kapoor
4. Hijri

جدول ۱: نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (۳۰-۰ سانتی‌متری)

Table 1: Physical and chemical properties of soil (0-30cm)

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS m^{-1})	اسیدیته pH	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) P (mg kg^{-1})	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) K (mg kg^{-1})
لومی - رسی Loam-clay	1.8	7.7	1.8	0.12	9.1	235.2

جهت تعیین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز از روش (*ابی*[1]، 1984)، پراکسیداز (*کوروی*[2]، 1989) و آسکوربات پراکسیداز (*ناکانو* و *آسادا*[3]، 1981) اندام هوایی و ریشه سیب‌زمینی مورداستفاده قرار گرفت. واحد فعالیت تمامی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اندازه‌گیری شده به‌صورت تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان شد. هشت هفته پس از مایه‌زنی قارچ، گیاهچه‌هایی به‌صورت تصادفی برداشت شده و جهت ارزیابی شدت کلونیزاسیون ریشه از روش (*فیلیپس و هایمن*[4]، 1970) استفاده شد. درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها براساس روش (*بیرمن و لیندرمن*[5]، 1980) محاسبه شد.

تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9(1) انجام پذیرفت. قبل از انجام عمل تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها (با استفاده از رویه Univariate) اطمینان حاصل شد. تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از رویه GLM (مدل خطی تعمیم‌یافته) انجام شد. مقایسه‌ی میانگین تیمارهای آزمایشی به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثر تیمارهای آزمایشی بر درصد کلونیزاسیون ریشه

تجزیه واریانس حاکی از آن بود که درصد کلونیزاسیون تنها تحت تاثیر کاربرد مایکوریزا در سطح یک درصد قرار گرفت به‌گونه‌ای‌که حداکثر میزان کلونیزاسیون در تیمار کاربرد مایکوریزا به میزان ۳۱/۷ درصد و کم‌ترین در شرایط عدم کاربرد ۴/۴ درصد مشاهده گردید. در موافقت با نتایج این تحقیق پرویزی و همکاران (۱۳۹۲) بیان نمودند که زادمایه قارچ بر میزان کلونیزاسیون و تمامی صفات اندازه‌گیری شده (فیزیولوژیکی و عملکردی) سیب‌زمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید.

اثر تیمارهای آزمایشی بر شاخص سطح برگ و مراحل فنولوژیکی سیب‌زمینی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد شاخص سطح برگ در سیب‌زمینی تحت تأثیر تیمارهای رقم و مایکوریزا قرار نگرفت و تنها اثر اصلی تاریخ کاشت بر تعداد روز تا گل‌دهی و برداشت در سیب‌زمینی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین نشان داد که به‌ترتیب بیشترین و کم‌ترین تعداد روز تا گل‌دهی و برداشت در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت و ۱۵ خرداد مشاهده شد (جدول ۲).

زمان کاشت به‌دلیل تغییر در طول روز، دما و رطوبت نسبی تأثیر به‌سزایی در رشد، نمو و تولید گیاه طی فصل رشد داشته و یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی مؤثر در تولید تمام محصولات می‌باشد. افزایش دما در طول فصل رشد به‌دلیل انتخاب تاریخ کاشت نامناسب، منجر به افزایش رشد گیاه شده و در نتیجه گل‌دهی و رسیدگی تسریع می‌گردد (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۸۵). کاهش طول دوره رشد احتمالاً به دلیل کاهش مدت‌زمان بهره‌برداری از منابع تولید و هم‌چنین زمان کم‌تر برای پرشدن غده‌ها، منجر به کاهش عملکرد گیاه سیب‌زمینی خواهد شد. در بررسی لزوم تعیین تاریخ کاشت مناسب با توجه به تأثیر تغییرات اقلیمی بر عملکرد و مراحل فنولوژیکی سیب‌زمینی گزارش گردید که افزایش درجه حرارت باعث تسریع در مراحل فنولوژیکی و افزایش در سرعت رشد و نمو سیب‌زمینی می‌گردد (*اداوی*، ۱۳۹۳). در این راستا، *کلینوچتر*[2] و همکاران (2016) پیشنهاد کردند که درجه حرارت عامل بسیار کلیدی در تولید سیب‌زمینی در فصل تابستان است. افزایش درجه حرارت با تسریع رشدونمو گیاه، باعث کاهش طول دوره گل‌دهی و رسیدگی در سیب‌زمینی می‌گردد.

1. Aebi
2. Koroi
3. Nakano and Asada
4. Phillips and Haymann
5. Bierman and Linderman

جدول ۲: اثر تاریخ کاشت بر تعداد روز تا گل‌دهی، زمان برداشت و میزان آسکوربات پراکسیداز ریشه و برگ

Table 2: Effect of planting date on number of days to flowering, harvesting time and amount of ascorbate peroxidase in root and leaf

تیمار Treatment	آسکوربات پراکسیداز برگ Ascorbate peroxidase in leaf	آسکوربات پراکسیداز ریشه Ascorbate peroxidase in root	روز تا برداشت Days to harvesting	روز تا گل‌دهی Days to flowering
	نانو مول پراکسید هیدروژن بر میلی‌گرم در دقیقه (nanomol H_2O_2 mg prptein^{-1} min^{-1})		روز Days	
۱۵ اردیبهشت 5 May	0.10a	0.055b	137a	65.33a
۱ خرداد 22 May	0.08bc	0.038c	118b	60.00b
۱۵ خرداد 5 June	0.09ab	0.071a	105c	50.11c

*: در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارد

*: Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD test

اثر تاریخ کاشت، رقم و مایکوریزا بر آنزیم‌های آنتی اکسیدانت ریشه و برگ (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز)

تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تاریخ کاشت، مایکوریزا و رقم بر تمامی صفات مرتبط با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ریشه و برگ به‌جز اثر تاریخ کاشت بر پراکسیداز برگ و اثر رقم بر کاتالاز ریشه معنی‌دار گردید. هم‌چنین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و مایکوریزا بر تمامی صفات مرتبط با آنزیم‌های آنتی اکسیدانت ریشه و برگ به‌جز آسکوربات پراکسیداز برگ معنی دار گشت. علاوه‌بر این میزان کاتالاز و پراکسیداز ریشه و برگ و آسکوربات پراکسیداز برگ تحت تأثیر برهم‌کنش مایکوریزا و رقم قرار گرفت.

مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش مایکوریزا و رقم نشان داد که به‌ترتیب بیش‌ترین مقادیر هر دو آنزیم کاتالاز ریشه و برگ (۰/۱۴۹ و ۰/۶۰ میلی‌گرم بر گرم پروتئین) و پراکسیداز ریشه و برگ (۰/۱۳۱ و ۰/۶۰ میلی‌گرم بر گرم پروتئین) و آسکوربات پراکسیداز برگ (۰/۱۶۷ میلی‌گرم بر گرم پروتئین) در تیمارهای کاربرد مایکوریزا با رقم سانته و کم‌ترین آن‌ها در تیمارهای بدون مایکوریزا و در رقم آگریا (۰/۰۳۱، ۰/۰۲۳، ۰/۰۳۳، ۰/۰۲۱ و ۰/۰۴۳ میلی‌گرم بر گرم پروتئین) مشاهده گردید (جدول ۳). هم‌چنین نتایج این جدول حاکی از آن است در شرایط بدون مایکوریزا، بین ارقام مختلف سیب‌زمینی، از نظر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). جدول مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و مایکوریزا نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار کاتالاز و پراکسیداز برگ در تیمار تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت با مایکوریزا حاصل شد که با تیمار کاشت در ۱۵ خرداد با مایکوریزا اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و بیش‌ترین مقدار کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز ریشه در تاریخ ۱۵ خرداد با کاربرد مایکوریزا به‌دست آمد (جدول ۴). هم‌چنین در تمامی تاریخ‌های کاشت، کم‌ترین مقادیر آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در ریشه و برگ، در شرایط بدون کاربرد مایکوریزا حاصل شد (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر اصلی تاریخ کاشت بر میزان آسکوربات پراکسیداز ریشه و برگ نیز نشان داد که کم‌ترین میزان آسکوربات پراکسیداز ریشه و برگ در تاریخ کاشت ۱ خرداد تولید شد (جدول ۲).

تاریخ کاشت نامناسب در سیب‌زمینی و برخورد گیاه با دمای نامناسب در طول دوره رشد (ازجمله دمای بالا)، سبب ایجاد تنش‌های محیطی در گیاه می‌گردد. عکس‌العمل گیاه به تنش های محیطی به‌ویژه تنش‌های دمایی بازتاب متفاوتی داشته که در تکمیل مراحل رشد و نمو ظرفیتی متفاوت ایجاد می‌کند. سیب‌زمینی در برابر تنش با افزایش سطح پرولین و القای فعالیت آنزیم‌های ضد اکسیداسیون ازجمله پراکسیداز تا حدودی باعث تثبیت غشاء در هنگام تنش می‌گردد (درینی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۳: برهم‌کنش سطوح مایکوریزا و ارقام بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ریشه و برگ، تعداد ساقه اصلی و عملکرد غده سیب‌زمینی

Table 3: Interaction effect of mycorrhiza levels and cultivars on the root and leaf antioxidant enzymes, number of main stem and tuber yield of potato

تیمار Treatment		عملکرد غده Tuber yield	تعداد ساقه اصلی Number of main stem	آسکوربات پراکسیداز برگ Ascorbate peroxidase in leaf	پراکسیداز برگ Peroxidase in leaf	پراکسیداز ریشه Peroxidase in root	کاتالاز برگ Catalase in leaf	کاتالاز ریشه Catalase in root
سطوح مایکوریزا Mycorrhiza levels	ارقام Cultivars	تن در هکتار ton ha^{-1}	-	نانومول پراکسید هیدروژن بر میلی‌گرم در دقیقه Nanomol H_2O_2 mg prptein^{-1} min^{-1}				
عدم تلقیح با مایکوریزا No mycorrhiza	آریندا Arinda	20.15cd	3.83c	0.055c	0.024d	0.035c	0.024c	0.054c
	آگریا Agria	17.88d	2.17d	0.043c	0.021d	0.033c	0.023c	0.031cd
	سانته Santeh	22.33c	2.50d	0.056c	0.026cd	0.037c	0.023c	0.034cd
تلقیح با مایکوریزا Mycorrhiza	آریندا Arinda	44.23a	4.67b	0.096b	0.044b	0.128a	0.038b	0.107b
	آگریا Agria	26.90bc	3.17cd	0.101b	0.033c	0.075b	0.033b	0.118b
	سانته Santeh	29.82b	6.00a	0.167a	0.060a	0.131a	0.060a	0.149a

*: در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارد

*: Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD test

پاسخ‌های ریخت شناختی و فیزیولوژیکی ارقام گیاهی پایه‌ی شناسایی تأثیر تنش بر عملکرد نهایی آن‌ها است. برای اصلاح گیاه سیب‌زمینی شناخت سازوکار رویارویی با تنش‌های محیطی و نیز تشخیص تأثیر تنش بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و سوخت‌وسازی متابولیسمی گیاه از گام‌های نخست به‌شمار می آید (باقری و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از مهم‌ترین تغییرات بیوشیمیایی در گیاهان که تحت تنش‌های غیرزیستی ایجاد می شود، تولید گونه‌های فعال اکسیژن مانند سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل در کلروپلاست و میتوکندری‌ها است که ایجاد تنش اکسیداتیو می‌کند (*کاراماکار* و همکاران. 2014). گیاهان برای مقابله با این خسارت سلولی، از سیستم آنتی‌اکسیدانی پیچیده‌ای استفاده می‌کنند که آنزیم‌هایی مانند کاتالاز، آسکوربات و پراکسیداز ازجمله آن‌ها هستند که این آنزیم‌ها در مقابله با تنش اکسیداتیو نقش کلیدی دارند (*کاراماکار* و همکاران، 2014؛ سریری و همکاران، ۱۳۹۴). آسکوربات اولین آنتی‌اکسیدانت مهمی است که به‌طور مستقیم با پراکسید هیدروژن، رادیکال‌های هیدروکسیل، سوپراکسید و اکسیژن یکتایی واکنش می‌دهد و نقش مهمی در حفاظت کلروپلاست سلول‌های گیاهی در برابر آسیب اکسیداتیو دارد (*اسمیرونوف* و *ویلر*[1]، 2000). در تحقیقی نشان داده شد که فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به‌منظور جلوگیری از آسیب‌های واردشده به گیاه و حفظ هم‌ایستایی[2] افزایش یافت (*یانگ کیم*[3] و همکاران، 2005).

محققین در تحقیقی روی گیاه زوفا نشان دادند که به‌طورکلی گونه‌های میکوریزا با خنثی کردن اثرات رادیکال‌های آزاد، افزایش پایداری غشاء سلولی و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (کاتالاز، سوپراکسیددسموتاز و آسکوربات پراکسیداز) در تعدیل تنش کمبود آب مؤثر بودند (سلیمانی و پیرزاد، ۱۳۹۴). در شرایطی که گیاه در معرض تنش دمای بالا و پایین قرار می‌گیرد، نفوذپذیری غشاء افزایش می‌یابد. در همان زمان انواع گونه‌های فعال اکسیژن مثل رادیکال آنیون سوپراکسید، رادیکال‌های هیدروکسیل و هیدروژن پراکسید القاء شده که سبب پراکسیداسیون غشاء لیپیدی می‌شود. شواهد نشان می‌دهد که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تنش‌های غیرزیستی تغییر می‌کند که از مکانیسم‌های دفاعی گیاه در مقابل تنش است.

1. Smirnoff and Wheeler
2. Homeostasis
3. Yong Kim
4. Sandhya

جدول ۴: برهم‌کنش تاریخ کاشت و سطوح مایکوریزا بر خصوصیات رویشی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و تعداد غده در بوته سیب‌زمینی

Table 4: Interaction effect of planting date and mycorrhiza levels on vegetative properties, antioxidant enzymes and number of tuber in potato

تیمار Treatment		تعداد غده در بوته Number of tuber per plant	آسکوربات پراکسیداز ریشه Ascorbate peroxidase in root	پراکسیداز ریشه Peroxidase in root	پراکسیداز برگ Peroxidase in leaf	کاتالاز ریشه Catalase in root	کاتالاز برگ Catalase in leaf	تعداد ساقه فرعی Number of sub stem	تعداد ساقه اصلی Number of main stem	ارتفاع بوته Plant height
تاریخ کاشت Planting date	سطوح مایکوریزا Mycorrhiza levels	-	نانومول پراکسید هیدروژن بر میلی‌گرم در دقیقه Nanomol H_2O_2 mg prptein^{-1} min^{-1}					-	-	سانتی‌متر Cm
۱۵ اردیبهشت 5 May	عدم مایکوریزا No mycorrhiza	4.67d	0.026d	0.045c	0.023d	0.046c	0.027d	12.58b	3.50b	38.76b
	مایکوریزا Mycorrhiza	8.50b	0.084b	0.116a	0.053a	0.142a	0.051a	12.33b	5.33a	39.59b
۱ خرداد 22 May	عدم مایکوریزا No mycorrhiza	6.00c	0.015e	0.033d	0.028d	0.032d	0.020e	8.92d	2.50c	37.18c
	مایکوریزا Mycorrhiza	6.33c	0.060c	0.095b	0.036c	0.083b	0.034e	12.25b	3.67b	37.55b
۱۵ خرداد 5 June	عدم مایکوریزا No mycorrhiza	6.33c	0.025d	0.028e	0.020d	0.041c	0.024de	10.62c	2.50c	35.70c
	مایکوریزا Mycorrhiza	10.17a	0.117a	0.124a	0.048ab	0.149a	0.047ab	14.83a	5.83a	45.82a

*: در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارد

*:Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD test

همزیستی با میکوریزا می‌تواند فیزیولوژی گیاه را برای تحمل تنش با افزایش ترکیبات حفاظتی مثل آنزیم‌های آنتی اکسیدانت تغییر دهد (خورشیدی و همکاران، ۱۳۹۲). تحقیقات مختلف نشان داده‌است که یک ارتباط قوی بین تحمل تنش‌های محیطی و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ارقام متحمل به تنش وجود دارد (سریری و همکاران، ۱۳۹۴). در تحقیق حاضر، انباشت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در تاریخ کاشت اول نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت شاید نشان‌دهنده قرار گرفتن گیاه در شرایط تنش در مدت زمان بیش‌تری بود و گیاه فرصت کافی برای انباشت آن‌ها جهت مقابله با تنش را داشت. در این راستا، درینی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی اثر تاریخ کاشت بر میزان پرولین (سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانتی غیرآنزیمی) در گیاه سیب‌زمینی گزارش کردند که میزان پرولین در تاریخ کاشت اول (۲۰ شهریور) نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت بیش‌تر بود که علت آن را در معرض تنش قرار داشتن گیاه (دمای بالای خاک) در مدت بیش‌تر و فرصت کافی برای انباشت آن دانست. به‌نظر می‌رسد که رقم آگریا نسبت به دو رقم دیگر به‌دلیل تولید کم‌تر آنتی اکسیدانت آنزیمی (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز) در مواجهه با تنش‌های محیطی، تحمل کم‌تری به تنش‌های محیطی داشته که منجر به عملکرد کم‌تر غده در هر سه تاریخ کاشت با یا بدون مایکوریزا شده‌است.

پرویزی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که واکنش دو رقم سیب‌زمینی (آگریا و سانته) در پاسخ به شدت کلونیزاسیون در تیمارهای مختلف میکوریزایی روند مشابهی نداشت و رقم سانته نسبت به رقم آگریا به شیوه‌ای مؤثرتر تحت تأثیر مایه‌زنی با قارچ قرار گرفت. و این در مطابقت با نتایج این تحقیق است که نشان می‌دهد در اکثر صفات موردبررسی، رقم آریندا نسبت به دو رقم دیگر و رقم سانته نسبت به رقم آگریا برتری دارد. و این به‌نظر می‌رسد به‌دلیل موفقیت رقم آریندا و سانته در پاسخ سیگنالی به قارچ و توانایی هم‌زیستی موفق‌تر با قارچ در این ارقام باشد.

اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات رویشی سیب‌زمینی

تجزیه واریانس نشان داد که همه صفات رویشی موردمطالعه، تحت تأثیر تمامی اثرات اصلی تاریخ کاشت، مایکوریزا و ارقام

قرار گرفتند و هم‌چنین اثر برهم‌کنش دوگانه تاریخ کاشت × مایکوریزا و تاریخ کاشت × ارقام بر تمامی صفات رویشی موردمطالعه و اثر برهم‌کنش ارقام × مایکوریزا بر تعداد ساقه اصلی، وزن خشک برگ و اندام هوایی معنی‌دار گردیدند. علاوه بر این اثر برهم‌کنش سه‌گانه تاریخ کاشت × مایکوریزا × ارقام نیز بر وزن خشک ریشه، برگ و اندام هوایی معنی‌دار گردید.

مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و مایکوریزا حاکی از آن است که بیش‌ترین مقادیر هر سه صفت (ارتفاع، تعداد ساقه اصلی و فرعی) در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد و با کاربرد مایکوریزا حاصل گشت و کاربرد مایکوریزا سبب افزایش آن‌ها در مقایسه با شرایط بدون مایکوریزا در هر سه تاریخ کاشت گردید (جدول ۴).

جدول مقایسه میانگین (۵) نشان داد که بالاترین ارتفاع سیب‌زمینی در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد و در رقم آریندا (۵۳/۲۰ سانتی‌متر) مشاهده گردید که با تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت و رقم آریندا (۵۱/۲۵ سانتی‌متر) از لحاظ آماری تفاوت معنی داری نداشت. هم‌چنین نتایج این جدول نشان داد که کم‌ترین مقادیر تعداد ساقه اصلی و فرعی در هر سه تاریخ کاشت و در رقم آگریا حاصل شد (جدول ۵). نتایج جدول ۳ نیز مؤید این نکته است که رقم آگریا با و بدون کاربرد مایکوریزا، کم‌ترین تعداد ساقه اصلی در سیب‌زمینی را تولید نمود و به‌ترتیب در ارقام آریندا، آگریا و سانته استفاده از مایکوریزا سبب افزایش ۱۷/۹۹، ۳۱/۵۴ و ۵۸/۳۳ درصدی تعداد ساقه اصلی گردید (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت، مایکوریزا و ارقام (جدول ۶) نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک ریشه و برگ در تاریخ کاشت زودتر (۱۵ اردیبهشت) با مایکوریزا و در رقم آریندا به‌دست آمد که نسبت به شرایط بدون مایکوریزا در همین تاریخ کاشت، به‌ترتیب سبب افزایش ۸۳/۶ و ۷۳ درصدی وزن خشک ریشه و برگ گردید. در اکثر ترکیبات تیماری تاریخ کاشت، به‌ترتیب رقم آریندا (زودرس) و آگریا (رقم دیررس)، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک برگ را تولید نمودند (جدول ۶). هم‌چنین نتایج جدول (۶) مؤید این مطلب است که در تاریخ کاشت ۱ خرداد و بدون کاربرد مایکوریزا، رقم آگریا کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی (با ۱۵/۹ گرم) را تولید نمود.

مطابق با نتایج این تحقیق، در تحقیقی پرویزی و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی واکنش ارقام مختلف سیب‌زمینی به تاریخ کاشت در استان همدان (منطقه سردسیر و مشابه اقلیم محل آزمایش)، اثرات رقم و تاریخ کاشت در تمامی صفات مورد اندازه‌گیری (ارتفاع در زمان گل‌دهی، تعداد ساقه، طول دوره رشد و عملکرد قابل فروش و غیرقابل فروش غده) معنی‌دار شد و به‌طور مشخص دو رقم مارفونا و سانته در زمانی سریع تر نسبت به رقم آگریا به گل‌دهی می‌رسند و طبیعی است که ارتفاعی کم‌تر در زمان گل‌دهی داشته باشند. اما این تغییرات ارتفاع در تاریخ‌های آخر کاشت در این دو رقم نسبت به آگریا کم‌تر بود. بدین ترتیب مشخص می‌شود که هرچند سرعت ورود به گل‌دهی تأثیرپذیری مشخصی از نوع رقم دارد اما سیگنال‌های دمایی که همبستگی نزدیکی با تاریخ‌های کاشت دارد، نیز بر فرآیند گل‌دهی تاثیر داشته و به‌ویژه در کوتاه نمودن این زمان در ارقام مختلف و به صورتی معنی دار در تاریخ‌های کشت آخر (بیستم خرداد و پنجم تیر) مؤثر بوده‌است و چنین استنباط کردند چنان‌چه سیب زمینی بالاجبار در تأخیر با کاشت مواجه شود، با فراهم نبودن زمینه رشد رویشی بیش‌تر، گیاه قبل از این‌که رشد رویشی را تکمیل کند وارد فاز زایشی شده و بالنسبه از ارتفاع بوته آن کاسته می‌شود و هم‌چنین در طی دو سال آزمایش نشان دادند که از نظر عملکرد قابل فروش، دو تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت و پنجم خردادماه در هر ۳ رقم (مارفونا، آگریا و سانته) وضعیت مطلوب‌تری داشتند. در تحقیقی دیگر باقری و بلوچی (۱۳۹۲) نشان دادند که ارتفاع گیاه سورگوم تحت تأثیر تاریخ کاشت و رقم قرار گرفت به‌گونه‌ای که در رقم (SOR1003) بالاترین ارتفاع در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت و در رقم (SOR834) در تاریخ ۱۵ خرداد و در رقم (SOR1009) در تاریخ ۳۰ خرداد مشاهده شد که با تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. از طرفی قارچ مایکوریزا باعث افزایش جذب نیتروژن و فسفر می‌شود که نقش اساسی در ساختمان کلروفیل دارا بوده و از طرفی مهم‌ترین عنصر در سنتز پروتئین‌ها و افزایش میزان آن در شرایط مطلوب تا حد مشخص موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد. با افزایش پروتئین‌ها گیاه به توسعه رویش مثل افزایش تعداد ساقه فرعی، ارتفاع و قطر ساقه می‌پردازد که افزایش این صفات افزایش مواد فتوسنتزی و در نهایت عملکرد را به عهده دارد (*چودهاری*[1] و همکاران، 2007).

محققین مختلفی نشان دادند که بین تعداد ساقه اصلی و تعداد غده در بوته در ارقام مختلف سیب‌زمینی همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد (پرویزی، ۱۳۸۷؛ *کامینسکی*[2]، 1977). در تحقیقی نشان داده شد تعداد ساقه در بوته سیب‌زمینی در هر دو گروه آزمایش (ارقام زودرس و دیررس) با میزان عملکرد کل و عملکرد بذری همبستگی مثبت معنی‌دار داشت. این نتیجه بیانگر این

1. Chaudhary
2. Kaminiski

موضوع مهم می‌باشد که ارقامی که عمدتاً از پتانسیل تولید ساقه بیش‌تری برخوردار هستند میزان عملکرد کل و سایز بذری در آن‌ها نیز بالاتر می‌باشد (پرویزی، ۱۳۸۷). در این تحقیق نیز رقم آگریا در هر سه تاریخ کاشت با یا بدون مایکوریزا کم‌ترین تعداد ساقه اصلی و فرعی را تولید کرد و درنتیجه کم‌ترین تعداد غده و عملکرد سیب‌زمینی را تولید کرد (جداول ۳، ۴ و ۵ و شکل ۱). در تحقیقی گزارش کردند که مایکوریزا به‌دلیل بهبود جذب فسفر توسط گیاه، سبب افزایش اندازه، تعداد، وزن، عملکرد غده و نشاسته سیب‌زمینی گردید (*اداوی* و *تدین*، 2014).

در این تحقیق استفاده از مایکویزا در هر سه تاریخ کاشت و در تمامی ارقام سبب افزایش وزن خشک ریشه، برگ و اندام هوایی سیب‌زمینی شد. *رحمت‌زاده*[1] و همکاران (2007). در تحقیقی بر وزن‌تر و خشک اندام هوایی گیاه پروانش تحت تأثیر قارچ مایکوریزا نشان دادند که قارچ‌های میکوریزا با افزایش جذب عناصر معدنی نظیر فسفر که تحرک نسبتاً کمی در خاک دارند باعث افزایش رشد در گیاهان می‌شوند. این قارچ‌ها به‌شدت ریشه‌های جانبی را در خاک افزایش می‌دهند و با تشکیل ریسه شعاعی به گیاه برای جذب آب و مواد معدنی یاری می‌رسانند. هم‌چنین پرویزی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که با کاربرد قارچ مایکوریزا درصد ماده خشک ریزغده سیب‌زمینی افزایش پیدا کرد و در مجموع مایه‌زنی گیاهچه‌های سیب‌زمینی با قارچ میکوریزا کمک قابل‌توجهی به جذب عناصر غذایی کرد که به نوبه خود ضمن افزایش زیست توده گیاهی اثرات مثبتی در استقرار گیاهچه‌ها و افزایش راندمان تولید ریزغده در آن‌ها داشت.

در موافقت با نتایج این تحقیق مبنی بر تولید کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی در تاریخ کاشت ۱ خرداد، هم‌چنین، آغشتگی با قارچ‌های میکوریزا، می‌تواند بسته به نوع میزبان مقدار سایر عناصر غذایی نظیر کلسیم، مس، منیزیم و روی را در گیاه افزایش دهد و این خود به رشد گیاه کمک می‌کند.

در موافقت با نتایج این تحقیق مبنی بر تولید کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی در تاریخ کاشت ۱ خرداد، موسی پور گرجی و حسن‌زاده (۱۳۹۱) گزارش کردند که در تاریخ کاشت پنجم خرداد، روند تغییرات ماده خشک قسمت‌های هوایی گیاه در ابتدای دوره رشد سیب‌زمینی برخلاف سایر تاریخ کشت‌ها نه‌تنها صعودی نبود بلکه نزولی گردید و نتیجه گرفتند که روند تغییرات ماده خشک گیاهی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار دارد. آن‌ها بیان نمودند که احتمالاً کامل نبودن پوشش گیاهی و بالا بودن دمای محیط در ماه‌های تیر و مرداد دلیل اصلی این پدیده باشد.

اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد غده و عملکرد سیب‌زمینی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که هر دو صفت تحت تأثیر تمامی اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. هم‌چنین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و مایکوریزا بر تعداد غده در بوته و اثر برهم‌کنش‌های تاریخ کاشت با رقم و برهم‌کنش مایکوریزا با رقم، بر صفت عملکرد غده سیب‌زمینی معنی‌دار گردید.

جدول مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و مایکوریزا بر تعداد غده نشان داد که بالاترین تعداد غده در شرایط کاربرد مایکوریزا در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد به‌دست آمد و در هر سه تاریخ کاشت، در خصوص صفت تعداد غده در سیب‌زمینی، برتری با کاربرد مایکوریزا بود (جدول ۴). هم‌چنین به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد غده در رقم آریندا و آگریا مشاهده شد (شکل ۱). با مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و رقم نیز مشخص گردید که کم‌ترین عملکرد غده سیب‌زمینی در تاریخ کاشت ۱ خرداد و در رقم آگریا (۱۹ تن در هکتار) تولید حاصل شد؛ در هر سه تاریخ کاشت به‌ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد غده سیب‌زمینی در رقم آریندا و آگریا حاصل شد (جدول ۵). نتایج جدول (۳) حاکی از برتری عملکرد غده سیب‌زمینی در تیمار کاربرد مایکوریزا در تمامی ارقام موردمطالعه می‌باشد و به‌ترتیب ارقام (آریندا، آگریا و سانته) کاربرد مایکوریزا نسبت به عدم کاربرد آن، سبب افزایش ۵۴/۴، ۳۳/۵ و ۲۵/۱ درصد عملکرد غده سیب‌زمینی گردید. موسی‌پور گرجی و حسن‌زاده (۱۳۹۱) گزارش کردند که اثر عوامل محیطی و رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد غده سیب‌زمینی معنی‌دار بود و بیان نمودند عوامل محیطی نه‌تنها در طی سالیان متوالی بلکه حتی با تغییر در تاریخ کاشت در طول یک‌سال عملکرد سیب‌زمینی را شدیداً تحت تأثیر قرار می دهد و هم‌چنین در بررسی واکنش ارقام نسبت به تاریخ کاشت نشان داد که واریته‌ها در تاریخ‌های مختلف کاشت عکس‌العمل‌های متفاوتی از لحاظ عملکرد داشتند و این بدان معنی است که عدم توجه به تاریخ کاشت مناسب برای هر یک از ارقام، افت عملکرد را به‌همراه خواهد داشت و میزان آن در کشت‌های زودهنگام و کشت‌های تأخیری بیش‌تر می‌باشد. بنابراین در کشت‌های زودهنگام و کشت‌های تأخیری انتخاب نوع رقم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

3. Rahmatzadeh

جدول ۵: برهم‌کنش تاریخ کاشت و ارقام بر ارتفاع، تعداد ساقه اصلی و فرعی و عملکرد غده سیب‌زمینی

Table 5: Interaction effect of planting date and cultivars on height, number of main stems and substrate and potato tuber yield

تیمار Treatment		عملکرد غده (تن در هکتار) Tuber yield (ton ha^{-1})	تعداد ساقه فرعی Number of sub stem	تعداد ساقه اصلی Number of main stem	ارتفاع (سانتی‌متر) Height (cm)
تاریخ کاشت Planting date	ارقام Cultivars				
۱۵ اردیبهشت 5 May	آریندا Arinda	38.00a	11.88c	5.50b	51.25a
	آگریا Agria	24.00c	10.50cd	2.50e	35.08c
	سانته Santeh	29.13b	15.00a	6.00a	31.20cd
۱ خرداد 22 May	آریندا Arinda	27.25b	11.50c	3.00d	44.53b
	آگریا Agria	19.00d	9.63d	2.25e	32.00cd
	سانته Santeh	21.88cd	10.63cd	2.50e	35.58c
۱۵ خرداد 5 June	آریندا Arinda	31.33ab	13.18b	4.25c	53.20a
	آگریا Agria	24.15c	9.25d	3.25d	34.30c
	سانته Santeh	27.23b	15.75a	4.25c	34.78c

*: در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارد

*: Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD test

جدول ۶: برهم‌کنش تاریخ کاشت، مایکوریزا و ارقام بر وزن خشک ریشه، برگ و اندام هوایی سیب‌زمینی

Table 6: Interaction effect of planting date, mycorrhiza and cultivars on root and leaf dry weight and potato aerial organ

وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک اندام هوایی Aerial organ dry weight	تیمار Treatment		
	گرم gr		ارقام Cultivars	سطوح مایکوریزا Mycorrhiza levels	تاریخ کاشت Planting date
1.65f	10.27de	25.30f	آریندا Arinda		
6.25c	7.61de	18.70h	آگریا Agria	عدم مایکوریزا No mycorrhiza	
8.15b	8.10d	30.20de	سانته Santeh		
10.05a	38.09a	61.70b	آریندا Arinda		۱۵ اردیبهشت 5 May
6.82c	8.08d	23.80fg	آگریا Agria	مایکوریزا Mycorrhiza	
7.83bc	4.64f	39.00d	سانته Santeh		
4.49de	12.27cd	22.20fg	آریندا Arinda		
1.74f	6.11e	15.90i	آگریا Agria	عدم مایکوریزا No mycorrhiza	
3.18e	10.91de	21.70fg	سانته Santeh		
1.48f	15.73c	51.10bc	آریندا Arinda		۱ خرداد 22 May
1.84ef	5.71ef	30.70de	آگریا Agria	مایکوریزا Mycorrhiza	
4.67de	14.37c	45.40cd	سانته Santeh		
6.39c	13.87c	61.60b	آریندا Arinda		
1.74f	7.07de	19.10h	آگریا Agria	عدم مایکوریزا No mycorrhiza	
3.00e	8.73d	30.00de	سانته Santeh		
4.62de	27.05b	61.80b	آریندا Arinda		۱۵ خرداد 5 June
5.03d	11.15d	52.30bc	آگریا Agria	مایکوریزا Mycorrhiza	
4.77de	12.79cd	80.50a	سانته Santeh		

*: در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارد

*: Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD test

در تحقیقی دیگر در بررسی اثر تاریخ کاشت و ارقام مختلف سیب‌زمینی در همدان گزارش گردید که اثرات رقم و تاریخ کاشت در تمامی صفات مورد اندازه‌گیری معنی‌دار شد و هم چنین اثرات متقابل رقم × تاریخ کاشت به غیر از سه صفت تعداد ساقه، طول دوره خواب و ارتفاع در زمان گل‌دهی، در صفات دیگر معنی‌دار گردید و هم‌چنین طی دوسال آزمایش نشان دادند که از نظر عملکرد قابل فروش، دو تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت و پنجم خرداد ماه در هر سه رقم (آگریا، مارفونا و سانته) وضعیت مطلوب‌تری داشتند و رقم مارفونا در بیش‌تر تاریخ‌های کاشت عملکرد قابل فروش بیش‌تری نسبت به دو رقم دیگر داشت (پرویزی و همکاران، ۱۳۹۰).

در موافقت کامل با نتایج این تحقیق، ایشان هم‌چنین نشان دادند که روند تغییرات درصد تعداد غده با اندازه بذری در تاریخ کاشت پنجم (۲۰ خرداد) نسبت به دیگر تاریخ‌های کاشت دارای شیب تندتری بود و میزان درصد نهایی آن نیز در

مقایسه با آن‌ها بالاتر بود و کم‌ترین درصد تعداد غده‌ها در تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت مشاهده شد. مساعد بودن شرایط آب و هوایی در تاریخ کاشت ۲۰ خرداد و در نتیجه مساعد بودن شرایط گیاه بعد از مرحله آغازش غده که حدود ۴۰ روز بود باعث گردید تا ظرفیت انتقال مواد به غده‌ها نسبت به دیگر تاریخ‌های کاشت با سرعت بیش‌تری صورت پذیرد.

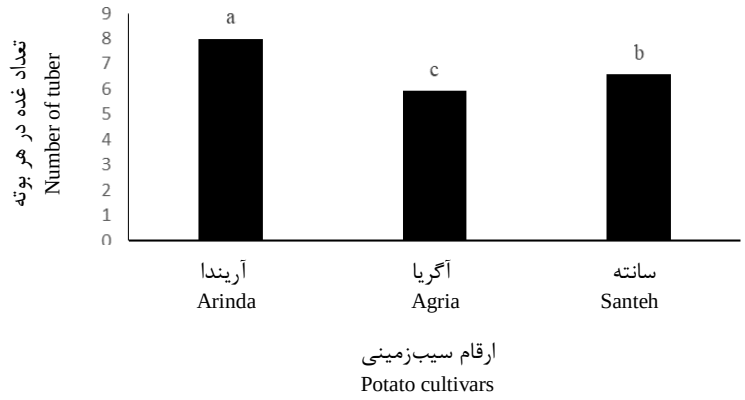
هم‌چنین سماعی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که در بین ارقام مختلف سیب‌زمینی ازنظر تعداد غده در بوته و عملکرد غده در واحد سطح در شرایط بدون تنش و تنش آبی اختلاف معنی‌داری وجود دارد و ۱۵ رقم سیب‌زمینی را از نظر واکنش به تنش کم‌آبی بر پایهٔ شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش با لحاظ کردن ۸۰ درصد همسانی در چهار گروه طبقه‌بندی کرد که رقم سانته در گروه اول و رقم اگریا در گروه دوم تحمل به خشکی قرار داشتند. آن‌ها بیان نمودند دیررس بودن یا زودرس بودن سیب‌زمینی معیار دقیقی برای سنجش تحمل این گیاه به کم‌آبی نیست و به احتمال ویژگی‌های دیگری ازجمله نظام ریشهٔ توسعه یافته و ویژگی اندام‌های رویشی می تواند معیار بهتری برای سنجش تحمل سیب‌زمینی نسبت به کم‌آبی باشد. در تحقیقی *باسیو*[1] (2013) در بررسی تأثیر تحمل تنش محیطی خشکی بر چهار رقم سیب‌زمینی گزارش کرد رقم‌هایی با دوره‌ی رشد درازمدت‌تر نه‌تنها منجر به افزایش عملکرد در شرایط خشکی نشد بلکه برتری بر رقم‌های زودرس‌تر نداشت.

احتمالاً در تاریخ کاشت ۱ خرداد در فریدون‌شهر، آغازش غده‌های سیب‌زمینی با حداکثر دمای تیرماه مواجه گشته به همین علت دچار تنش‌های محیطی شده و کم‌ترین تعداد و عملکرد غده را تولید کرد ولی تلقیح مایکوریزا به‌دلیل توسعه سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب و مواد غذایی باعث بهبود عملکرد غده شد.

مامن پوش و همکاران (۱۳۸۴) گزارش کردند تنش‌های محیطی در مرحلهٔ تشکیل غده‌ها، شمار غده در بوته، میانگین اندازه‌ی غده‌ها و وزن مخصوص آن‌ها را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر راهبردهای مختلفی می‌تواند توسط گیاه سیب‌زمینی برای سازگاری با شرایط تنش محیطی (تنش آبی، نور و گرما و ...) اتخاذ شود به‌طور مثال شمار غدهٔ کم‌تر می تواند موجب برقراری تعادل در توزیع مواد پرورده به غده‌ها شده و بنابراین اندازه‌ی غده‌ها بزرگ‌تر شود (*ال- محمود*[2] و همکاران، 2014). موسی پور گرجی و حسن‌زاده (۱۳۹۱) بیان نمودند که عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی رقم آگریا (با بالاترین سطح زیر کشت سیب‌زمینی در کشور و مصارف متعدد اقتصادی) در تمام طول رشد گیاه تحت تأثیر محیط بوده و تغییر در تاریخ کاشت، باعث تغییر در روند تغییرات عملکرد و اجزای آن به‌دلیل تغییر در سرعت رشد محصول گردید. هم‌چنین در موافقت کامل با نتایج این تحقیق، آن‌ها نشان دادند که تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت و ۲۰ خرداد برای کاشت رقم آگریا در کرج مناسب است و تغییر تاریخ کاشت به دلیل تأثیر بر شرایط محیطی، باعث تغییر طول دوره رشد، اختلاف در پوشش گیاهی و سطح فتوسنتزکننده و متعاقب آن اختلاف در میزان جذب تشعشع، از اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر تغییر عملکرد غده سیب‌زمینی می‌باشند. در تحقیقات نشان داده شده که مایکوریزا سه منفعت را برای گیاه به‌دنبال خواهد داشت که عبارت‌اند از: افزایش جذب فسفر و سایر مواد مغذی، افزایش مقاومت به تنش‌های غیرزیستی و مقاومت به بیماری ها (*شرما*[3] و همکاران، 2008).

نتایج پژوهش‌های مختلف در رابطه با اثر مایکوریز داخلی بر عملکرد و راندمان تولید محصول در سیب‌زمینی بسته به نوع رقم سیب‌زمینی (به‌دلیل تفاوت در جذب مواد غذایی) و ایزوله قارچ انتخابی متفاوت است (*یائو*[4] و همکاران، 2002؛ *داویس*[5] و همکاران، 2005). *داویس* و همکاران (2005) با مایه‌زنی قارچ میکوریز در شرایط گلخانه موفق به افزایش عملکرد در حد ۶۵ درصدی در مقایسه با شاهد در رقم یانگای سیب‌زمینی شدند.

1. Baciu
2. Al-Mahmud
3. Sharma
4. Yao
5. Davies



شکل ۱: اثر ارقام مختلف سیب‌زمینی بر تعداد غده سیب‌زمینی. تیمارهایی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد هستند

Fig. 1: The effect of different cultivars of potato on the number of tubers per plant. Treatments in each column having at least one common letter are not significantly different according to LSD test at 5% probability

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش و تأثیر تاریخ کاشت نامناسب با دماهای نامطلوب (خصوصاً دمای بالا)، با ایجاد تنش‌های محیطی در مراحلی از رشد گیاه (به‌خصوص گل‌دهی و آغازش غده‌ها)، تأثیر منفی بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه داشته و از این طریق باعث کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در منطقه فریدون‌شهر گردید و راهکارهای مدیریت زراعی در این منطقه، باید به‌گونه‌ای در نظر گرفته شود که کشت ارقام مقاوم (آریندا) در تاریخ زودتر (۱۵ اردیبهشت) یا دیرتر (۳۰ خرداد) انجام شود. به نظر می رسد که رقم آگریا (رایج منطقه) نسبت به دو رقم دیگر به‌دلیل تولید فعالیت کم‌تر سیستم آنتی‌اکسیدانت آنزیمی (هر سه آنزیم آنتی‌اکسیدانت در ریشه و برگ) در مواجهه با تنش‌های محیطی، تحمل کم‌تری به تنش‌های محیطی دارد. در پایان به کشاورزان محترم فریدونشهر (مناطق سردسیر) توصیه می‌شود که کاشت سیب‌زمینی زودرس رقم آریندا و ارقام مشابه در تلقیح با مایکوریزا در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت و یا ۱۵ خرداد جهت جلوگیری از برخورد مرحله حساس گل‌دهی گیاه با حداکثر دمای منطقه صورت گیرد.

منابع

اداوی، ظ. ۱۳۹۳. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد سیب‌زمینی و استراتژی‌های سازگاری در منطقه فریدون‌شهر اصفهان. رساله دکتری دانشگاه شهرکرد. ایران. ۲۵۴ صفحه.

اداوی، ظ. و تدین، م. ر. ۱۳۹۶. تأثیر تغییر اقلیم بر تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در منطقه فریدونشهر اصفهان 1- رشد و نمو. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۹ (۴): ۱۱۱۷-۱۱۳۵.

باقری، ف. و بلوچی، ح. ۱۳۹۲. اثر تاریخ کاشت بر برخی صفات کمی و کیفی نه رقم سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) در منطقه یاسوج. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۳ (۹): ۲۹-۴۲.

باقری، ح.، قرینه، م.، بخشنده، ا.، طایی، ج.، محنت‌کش، ا. و اندرزیان، ب. ۱۳۹۳. اثر تنش خشکی و میزان نیتروژن بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و کیفی سیب‌زمینی در شرایط چهارمحال بختیاری. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۶ (۲۲): ۵-۲۲.

پرویزی، خ. ۱۳۸۷. بررسی صفات کمی و کیفی ارقام جدید زودرس و دیررس سیب‌زمینی در کشت بهاره. مجله پژوهش و سازندگی (در زراعت و باغبانی)، ۷۹: ۸۰-۹۰.

پرویزی، خ.، سوری، ج. و محمودی، ر. ۱۳۹۰. بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد کل و میزان عملکرد قابل فروش ارقام سیب‌زمینی در همدان. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۱): ۸۲-۹۳.

پرویزی، خ.، دشتی، ف.، اثنی‌عشری، م.، رجالی، ف. و چایچی، م. ۱۳۹۲. تأثیر دو گونه قارچ آربوسکولار (*Glomu. Mosseae* و *G. Etunicatum*) بر جذب عناصر غذایی و تولید ریزغده در گیاهچه‌های حاصل از کشت بافت سیب‌زمینی. مجله زیست‌شناسی خاک، ۱ (۱): ۶۱-۶۹.

خورشیدی، م.، بیچرانلو، ب. و باقری، م. ۱۳۹۲. افزایش تحمل گیاهچه‌های ذرت به تغییرات دما از طریق همزیستی با سه گونه میکوریزا. ویژه‌نامه نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۱۸۷-۱۹۹.

درینی، ع.، فتحی، ق.، قرینه، م. ح.، عالمی سعید، خ.، خدادادی، م. و سیادت، س. ع. ۱۳۹۲. اثر تاریخ کاشت و کاربرد آنتی‌فریز بر عملکرد غده و برخی صفات فیزیولوژیکی ارقام سیب‌زمینی در کشت پاییزه در منطقه جیرفت. مجله به‌زراعی نهال و بذر، ۲-۲۹ (۴): ۴۵۹-۴۴۳.

رحمت‌زاده، س.، خارا، ج. و کاظمی تبار، س. ک. ۱۳۹۲. تأثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر بهبود رشد و شاخص‌های بیوشیمیایی گیاهان پروانش باززایی شده تحت تیمار تریپتوفان طی فرآیند سازگاری. مجله زیست‌شناسی گیاهی، ۵ (۱۶): ۲۷-۴۰.

سریری، ر.، رئوفی ماسوله، ع. و بخشی خانیکی، غ. ۱۳۹۴. اثر سرما روی تخریب اکسیداتیو و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در برگ چای شمال ایران. یافته‌های نوین در علوم زیستی، ۲ (۴): ۲۹۸-۳۱۱.

سلیمانی، ف. و پیرزاد، ع. ۱۳۹۴. تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) در شرایط کمبود آب. دوماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۱ (۶): ۱۰۱۳-۱۰۲۳.

سماعی، م.، مدرس ثانوی، س. ع.، موسی‌پور گرجی، ا. و زند، ا. ۱۳۹۵. بررسی تحمل ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) به تنش کم‌آبی. علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۷ (۴): ۵۲۷-۵۴۰.

Adavi, Z. and Tadayoun, M. R. 2014. Effect of mycorrhiza application on plant growth and yield in potato production under field conditions. Iraian Journal of Plant Physiology, 4 (3): 1087-1093.

Aebi, H. 1984. Catalase *in vitro*. Methods Enzymol, 105: 121-126.

Al-Mahmud, A., Hossain, A., Al-Mamun, A., Ebna Habib, Sh., Rahaman, Sh., Ali Khan, Sh. and Bazzaz, M. 2014. Plant canopy, tuber yield and growth analysis of potato under moderate and severe drought condition. Journal of Plant Science, 2 (5): 201-208.

Baciu, A. 2013. Reaction of native potato varieties to water stress. Potato research and development station-târgu secuiesc, Romania. Journal of Horticulture, Forest and Biotechnology, 17 (2): 80-86.

Beltrano, J. and Ronco, M. G. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus claroideum: Effect on growth and cell membrane stability. Brazilian Journal of Plant Physiology, 20: 29-31.

Bierman, B. and Linderman, R. G. 1980. Quantifying vesicular – arbuscular mycorrhizae: a proposed method towards standardization. New Phytologist, 87: 63-67.

Chaudhary, V., Kapoor, R. and Bhatnagar, A. K. 2007. Effect of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia anmua* L., Mycorrhiza, 17: 581-587.

Davies, Jr., Calderón, F. T. and Huainan, Z. 2005. Influence of arhuscular on growth, yield and leaf elemental concentration of 'Yungay' potatoes. Horticulture Science, 40: 381-385.

Hijri, H. 2015. Analysis of a large dataset of mycorrhiza inoculation field trials on potato shows highly significant increases in yield. Mycorrhiza, 1-6.

Karmakar, N., Chakravarty, A., Bandopadhyay, P. K. and Kanti Da, P. 2014. Response of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seedlings under moisture and heavy metal stress with special reference to antioxidant system. African Journal of Biotechnology, 13 (3): 434-440.

Kleinwechter, U., Gastelo, M., Ritchie, J., Nelson, G. and Asseng, S. 2016. Simulating cultivar variations in potato yields for contrasting environments. Agricultural Systems, 145: 51-63.

Koroi, S. A. 1989. Gel electrophoresis tissue and spectrophotometr scho unter uchungen zomeinfiuss der temperature auf struktur der amylase and peroxidase isoenzyme. Physiology Review, 20: 15-23.

Moradi, R., Koocheki, A. and Nassiri-Mahallati, M. 2014. Adaptation of maize to climate change impacts in Iran. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 19 (8): 1223-1238.

Nakano, Y. and Asado, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant Cell Physiol, 22 (5): 867-880.

Ozkan, B. and Akcaoz, H. 2002. Impacts of climate factors on yields for selected crops in southern Turkey. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 7: 367-380.

Phillips, J. M. and Haymann, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society, 55: 158-161.

Rosenzweig, C. and Tubiello, F. N. 2007. Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12: 855-873.

Sandhya, V., Ali, S. K. Z., Grover, M., Reddy, G. and Venkateswarlu, B. 2010. Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. Plant Growth Regulation, 62 (1): 21-30.

Sharma, D., Kapoor, R. and Bhatnagar, A. K. 2008. AM fungi help in conservation of curculigo orchioides gaertn – a vulnerable anti cancerous plant. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 24 (3): 395-400.

Smirnoff, N. and Wheeler, G. L. 2000. Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. Critic. Review Plant Science, 19: 267-290.

Trnka, M., Dubrovsky, M. and Ekzalud, Z. 2004. Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. Climate Change, 64: 227-255.

Tubiello, F. N., Jagtap, S., Rosenzweig, C., Goldberg, R. and Jones, J. W. 2002. Effects of climate change on US crop production from the National Assessment. Simulation results using two different GCM scenarios. Part I: Wheat, Potato, Corn, and Citrus. Climate Reserch, 20: 259-270.

Wolf, J., Adger, W., Lorenzoni, I., Abrahamson, V. and Raine, R. 2010. Social capital, individual responses to heat waves and climate change adaptation: An empirical study of two UK cities. Global Environmental Change, 20 (1): 44-52.

Yao, M. K., Tweddell, R. J. and Desilets, H. 2002. Effects of two Vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of microplanted potato plantlets. Mycorrhiza Journal, 12: 235-242.

Yong Kim, S., Lim, J. H., Park, M. R., Kim, Y., Won Seo, Y., Choi, K. G. and Yun, S. J. 2005. Enhanced antioxidant enzymes are associated with reduced hydrogen peroxide in barely roots under saline stress. Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 38: 218-224.

Effect of Planting Date, Cultivar and Mycorrhizal Fungus on Growth Traits and Activity of Aanti-oxidant Enzymes in Potato

Adavi[1*], Z. and Baghbani- Arani [2], A.

Abstract

In order to study the effect of planting date, cultivar and mycorrhiza on growth traits and antioxidant activity in potato, a split factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications in the of Payame Noor University in Fereidoun Shahr during. The experimental treatments were planting date as the main plot in three levels and the factorial arrangement of three potato cultivars and two levels of fungi as subplots. The results showed that the effect of planting date on all studied traits was significant except for leaf area index. Also, planting at 5 May or 5 June produced the highest potato tuber yield with Arinda cultivar. In general, It was determined that the planting date of 20 May due to the interaction of stages of plant growth to the maximum temperature of the region affected by environmental stresses, which had a negative effect on the length of the planting period to maturity stage, thereby reducing potato tuber yield in Fereydounshahr region. Mycorrhiza had a positive effect on root development, improved the activity of root and leaf antioxidant enzymes and also increased length, number of main and lateral branches, root and shoot dry weight, and leaf number of potato tubers. Overall, the Agria cultivar had less tolerance to the environmental stresses compared to the other two cultivars due to less production of root and leaf antioxidant systems, which resulted in the short number of the main and minor branches and fewer tuber yields with (39.2% and 9.8%) or without mycorrhiza (11.3% and 19.9%) in all planting dates.

Keywords: Peroxidaze, Catalaze, Ascorbate peroxidaze, Growth period

1 and 2. Assistant Professors, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
*: Corresponding author Email: z_adavi@pnu.ac.ir