The effect of planting date and symbiotic Mycorrhiza fungi on physiological and growth characteristics of three cultivars of potato

Zohrab Adavi[1*], Abolfazl Baghbani-Arani[2]

1. Department of Agronomy Science, Faculty of Agriculture, Payam Noor University, Tehran, Iran

2- Department of Agronomy Science, Faculty of Agriculture, Payam Noor University, Tehran, Iran

Archive of SID

Abstract

In order to investigate the effect of planting date and Mycorrhiza fungi on the physiological, growth characteristics and yield of three cultivars of potato tuber, the treatments were planting date as the main plot at three levels (May 15th, June 1st and June 15th) and the consisted of a factorial combination of three potato cultivars (Agria, Santhe and Arinda) and two levels with and without mycorrhiza as subplots. The results showed that the highest yield of potato tuber cultivars achieved with Arinda in the early cultivating date (May 15th) (38 t ha^{-1}). It was determined that the planting date of May 20th due to the interaction of stages of plant growth (especially flowering) with the maximum temperature of the region was affected by environmental stresses that had a negative effect on the physiological characteristics associated with the photosynthetic pigments. As a result, decreased potato tuber yield in Fereydoun Shahr area. Mycorrhiza has a positive effect on root development, improves the pigments and increases the dry weight of the roots, leaves and shoots. It seems that Agria have less tolerance to environmental stresses due to less production of non-enzymatic (carotenoid) and enzymatic (catalase, peroxidase and ascorbate peroxidase) anti-oxidant, resulting in lower tuber yield in all three planting dates in presence or absence of mycorrhiza.

Keywords: Adaptation strategies, Antioxidant enzymes, Number and tuber yield, Pigments

* Corresponding Author: z_adavi@pnu.ac.ir

Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

www.SID.ir

زیست‌شناسی گیاهی ایران، سال نهم، شمارهٔ سی و پنجم، بهار ۱۳۹۷، صفحهٔ ۵۵-۳۹
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۹
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۲/۱

بررسی اثر تاریخ کاشت و همزیستی مایکوریزا بر ویژگی‌های رویشی، فیزیولوژیک و عملکرد غدهٔ سه رقم سیب‌زمینی

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

۱ استادیار بخش کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲ استادیار بخش کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تاریخ کاشت و همزیستی قارچ مایکوریزا بر ویژگی‌های رویشی، فیزیولوژیکی و عملکرد سه رقم غدهٔ سیب‌زمینی، پژوهشی طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. تیمارها شامل تاریخ کاشت در سه سطح ۱۵ اردیبهشت، ۱ و ۱۵ خرداد (کرت اصلی) و ترکیب فاکتوریلی سه رقم سیب‌زمینی (آگریا، سانته و آریندا) و دو سطح با مایکوریزا و بدون مایکوریزا (کرت فرعی) بودند. نتایج نشان دادند بیشترین عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی (۳۸ تن در هکتار) با کشت رقم آریندا در زمان کشت زودتر (۱۵ اردیبهشت) نسبت به زمان کاشت رایج (اول خرداد) منطقه حاصل شد. تاریخ کاشت رایج به علت هم‌زمانی مراحلی از رشد گیاه (به‌ویژه گلدهی) با حداکثر دمای هوای منطقه دچار تنش‌های محیطی شده و تأثیری منفی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک مرتبط با دستگاه فتوسنتزکننده (رنگدانه‌های فتوسنتزی) گیاه گذاشته و باعث کاهش عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی در منطقهٔ فریدون‌شهر شده است. مایکوریزا با تأثیر مثبت بر توسعهٔ ریشه سبب بهبود رنگدانه‌ها و افزایش وزن خشک ریشه، برگ و اندام هوایی سیب‌زمینی می‌شود. درمجموع به‌نظر می‌رسد رقم آگریا (رقم رایج منطقه) به دلیل تولید کمتر سیستم آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی (کاروتنوئید) و آنزیمی (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز) تحمل کمتری نسبت به دو رقم دیگر در مواجهه با تنش‌های محیطی دارد؛ این امر به عملکرد کمتر غده در هر سه تاریخ کاشت با مایکوریزا یا بدون مایکوریزا منجر شده است.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تعداد و عملکرد غده، راهکارهای سازگاری، رنگدانه‌ها

* نگارندهٔ مسؤول: نشانی پست الکترونیک: z_adavi@pnu.ac.ir، شمارهٔ تماس: ۰۳۱۵۷۵۹۶۸۶۸

Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

بر اساس آخرین گزارش مجمع بین دولتی تغییر اقلیم، میانگین درجه حرارت جهان تا ۵۰ سال آینده ۰/۶ تا ۲/۵ درجهٔ سانتی‌گراد و تا پایان قرن حاضر ۱/۱ تا ۶/۴ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش می‌یابد؛ آثار منفی این تغییر در مناطق گرم و خشک بسیار شدید خواهد بود (Koocheki and Nassiri-Mahallati, 2008; Parrya *et al*., 2004). نتایج مطالعه‌های مربوط به تغییر اقلیم طی سال‌های اخیر در ایران بروز این پدیده را در کشور تأیید می‌کنند (Moradi *et al*., 2014).

ازآنجاکه تولید محصولات زراعی مستقیماً به شرایط اقلیمی وابسته است، کشاورزی یکی از نخستین بخش‌هایی است که از تغییرات اقلیمی متأثر می‌شود. اگرچه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، مدیریت و تغییر عواملی مانند آبیاری، خاک، تاریخ کاشت، رقم محصول، فعالیت‌ها و فناوری‌های استفاده‌شده در کشت محصولات زراعی نقش بسزایی در کاهش آثار مضر تغییر اقلیم بر رشد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی دارد (Moradi *et al*., 2014; Ozkan and Akcaoz, 2002).

سیب‌زمینی با نام علمی (*Solanum tuberosum*) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی دنیاست که چهارمین رتبهٔ تولید را پس از ذرت، برنج و گندم دارد (Adavi and Tadayoun, 2014). مجموع سطح زیرکشت سیب‌زمینی در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در استان اصفهان حدود ۱۷۶۰۰ هکتار گزارش شده است و تقریباً ۴۴۰ هزار تن از تولید سیب‌زمینی کشور را شامل می‌شود. منطقهٔ فریدون‌شهر با سطح زیرکشت بیش از ۲۰۰۰ هکتار و میانگین عملکرد غدهٔ ۲۲ تن در هکتار یکی از مهم‌ترین مناطق مستعد کشت سیب‌زمینی در کشور و قطب تولید سیب‌زمینی در اصفهان است (Adavi, 2014).

تنش‌های غیرزیستی ازجمله خشکی آثار نامطلوبی بر رشد و عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی می‌گذارند (Cantore *et al*., 2014)؛ سیب‌زمینی به کمبود رطوبت خاک بسیار حساس است و حتی با وجود آبیاری مناسب و کافی ممکن است در معرض تنش آبی موقت به‌ویژه در هوای داغ و روزهای آفتابی قرار گیرد؛ در حقیقت، هنگامی که سیب‌زمینی در معرض تقاضای اتمسفری زیاد قرار گیرد ممکن است بسته‌شدن روزنه و پژمردگی نسبی حتی در خاک مرطوب اتفاق افتد (Steyn *et al*., 2007).

ازجمله آثار تنش‌های محیطی (تنش آب و دمای زیاد) ممانعت از فتوسنتز، تغییر محتوای کلروفیل و خسارت به دستگاه فتوسنتزی و تغییرات بیوشیمیایی نظیر تجمع گونه‌های فعال اکسیژن سمی و بسیار واکنش‌پذیر است. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجادشده دارای سیستم دفاعی با کارایی زیاد هستند که رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برد و یا خنثی می‌کند. این سیستم دفاعی شامل افزایش مقدار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (سوپراکسیددسموتاز، کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز و گلوتاتیون‌ردوکتاز)

Archive of SID

www.SID.ir

و سیستم غیرآنزیمی (آسکوربات، توکوفرول، کاروتنوئیدها و سایر ترکیبات ازجمله فلاونوئیدها، مانیتول‌ها و پلی‌فنول‌ها) است (Karmakar *et al.*, 2014).

Adavi (۲۰۱۴) گزارش کرد تغییر اقلیم و گرم‌شدن زمین (کاهش میزان بارندگی و افزایش میانگین دما در ۱۰۰ سال آینده) در منطقهٔ فریدون‌شهر باعث کاهش تعداد روز از سبزشدن تا مرحلهٔ گلدهی و کاهش عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی می‌شود.

تخفیف و سازگاری دو روش شناخته‌شده برای کاهش آثار منفی تغییر اقلیم‌اند. راهکارهای تخفیف به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از راه فعالیت‌های مدیریتی مختلف مانند کاهش کاربرد کودهای شیمیایی (Vergé *et al.*, 2007)، مکانیزاسیون، افزایش ترسیب کربن، کشت‌وکار گیاهان زراعی با هدف تولید سوخت‌های زیستی (Falloon and Betts, 2010)، حرکت به سمت کشاورزی ارگانیک (Shiferaw *et al.*, 2009) و ... اشاره دارند. منظور از سازگاری نیز راهکارهایی برای تنظیم رشدونمو گیاه است؛ به‌طوری‌که کمتر در معرض تغییرات اقلیمی رخ‌داده قرار گیرد (Rosenzweig and Tubiello, 2007). راهکارهای سازگاری ازجمله تغییر تاریخ کاشت، تراکم کاشت (Trnka *et a*l., 2004)، استفاده از ارقام مقاوم به شرایط گرم‌تر (Moradi *et al.*, 2013)، تغییر در تناوب کاشت، مدیریت آبیاری (Tubiello *et al.*, 2002) و ... بسته به سیستم کشاورزی، منطقه و سناریوهای تغییر اقلیمی متفاوت هستند.

عملکرد هر گیاه از عوامل مختلف محیطی، ژنوتیپ و مدیریت نهاده‌ها تأثیر می‌پذیرد. تاریخ کاشت یکی از شاخص‌های مهم محیطی در هر منطقه است و واکنش ارقام مختلف به تاریخ کاشت یکسان نیست؛ به‌طوری‌که هر رقم پتانسیل تولید زیادی در تاریخ کاشت مطلوب خود دارد. ترکیب مناسب ژنوتیپ و تاریخ کاشت در گیاهان زراعی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کسب عملکرد مطلوب و اقتصادی است. در تاریخ کاشت مناسب، مراحل رویشی و زایشی گیاه با شرایط مطلوب محیطی منطبق و موجب افزایش بازدهی فتوسنتز، افزایش انتقال و ذخیرهٔ مواد فتوسنتزی در اندام اقتصادی و درنهایت افزایش عملکرد می‌شوند. معمولاً تاریخ کاشت با سایر مدیریت‌های زراعی (انتخاب ارقام مقاوم، مدیریت نهاده‌ها و غیره) اثر متقابلی در کاهش یا تخفیف آثار منفی تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی نشان می‌دهد (Bagheri and Blochi, 2013). روش‌های زیستی مبتنی بر استفاده از پتانسیل ریزجانداران مفید خاکزی در برقراری روابط همزیستی با گیاهان، راهکار مؤثری برای افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش‌های محیطی است (Beltrano and Ronco, 2008). قارچ‌های مایکوریزای 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 گیاهانی که سیستم‌های ریشه‌ای محدود و ضعیف دارند ارتباط‌های هیفی این قارچ‌ها به شکل پل ارتباطی میان ریشه و مکان‌های تغذیه‌ای و آب در خاک عمل و جذب آب و عناصر غذایی غیرمتحرک و کم‌تحرک را برای سلول‌های میزبان تسهیل می‌کنند (Kapoor *et*

Archive of SID

www.SID.ir

(*al*., 2008؛ در پژوهشی نشان داده شده است مایکوریزا سبب افزایش اندازه، تعداد، وزن و عملکرد غده و نشاستهٔ سیب‌زمینی می‌شود (Adavi and Tadayoun, 2014).

باتوجه‌به روند تغییرات اقلیمی اخیر و گرم‌شدن هوا و تأثیر آن بر عملکرد محصولات زراعی ازجمله سیب‌زمینی، اگر کشاورزان راهکارهای تخفیف و سازگاری مناسب را در نظر نگیرند کوتاه‌شدن دورهٔ گلدهی و طول فصل رشد سبب متأثرشدن سیب‌زمینی از تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین می‌شود و ممکن است عملکرد غده در این شرایط کاهش یابد؛ ازاین‌رو هدف پژوهش حاضر، ارزیابی راهکارهای سازگاری (تاریخ کاشت و رقم) و تخفیف (کاربرد مایکوریزا) ناشی از تغییر اقلیم و بررسی اثر تغییرات ایجادشده بر صفت‌های رویشی و فیزیولوژیک (رنگدانه‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان) و عملکرد و تعداد غدهٔ سیب‌زمینی در فریدون‌شهر است.

مواد و روش‌ها.

آزمایش حاضر به شکل مزرعه‌ای طی سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در شهرستان فریدون‌شهر واقع در غرب استان اصفهان و ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقهٔ عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۷ دقیقهٔ عرض شرقی با ارتفاع ۲۵۳۰ متر از سطح دریا انجام شد. اقلیم این ناحیه طی دورهٔ زمانی ۲۵ ساله (۱۹۸۸ تا ۲۰۱۲) سرد کوهستانی با میانگین دمای حدود ۹/۵ درجهٔ سانتی‌گراد و بارندگی ۶۰۰ میلی‌متر بوده است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. به‌منظور بررسی اثر تاریخ کاشت و مایکوریزا بر صفت‌های رویشی، فیزیولوژیکی و عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم غدهٔ سیب‌زمینی، آزمایشی به شکل اسپلیت‌فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تاریخ کاشت در سه سطح ۱۵ اردیبهشت، ۱ و ۱۵ خرداد (کرت اصلی) و ترکیب فاکتوریلی سه رقم مختلف سیب‌زمینی آگریا (Agria)، سانته (Santeh) و آریندا (Arinda) و دو سطح با مایکوریزا و بدون مایکوریزا (کرت فرعی) بودند.

قارچ (*Glomus intraradices*) از مجاورت ریشهٔ گیاه ذرت طی دورهٔ رویشی چهارماهه تهیه شد. تیمار تلقیح با قارچ هنگام کاشت به میزان مخلوط ۱۰۰ گرم از مادهٔ تلقیح شامل قطعه‌های ریشهٔ مایکوریزایی ذرت، خاک و اندام فعال قارچی (اسپور و هیف) که به شکل تجاری تهیه شده بود به محیط اطراف ریشه اضافه شد.

هر کرت شامل ۶ خط کشت به طول ۵ متر بود و فاصلهٔ 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 (یک‌سوم پیش از کاشت و دوسوم در زمان گلدهی) به زمین اضافه شد. آبیاری بلافاصله پس از کاشت و پس‌ازآن، هر ۱۰ روز یک‌بار به شکل نشتی و مبارزه با علف‌های هرز در سه نوبت با وجین دستی انجام شد.

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها از روش آرنون استفاده شد (Arnon, 1949). میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز (Aebi, 1984)، پراکسیداز (Koroi, 1989) و آسکوربات‌پراکسیداز (Nakano and Asada,

Archive of SID

www.SID.ir

(1981 اندام هوایی سیب‌زمینی سنجیده شد. واحد فعالیت تمام آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اندازه‌گیری‌شده به شکل تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیان شد.

تمام تجزیه‌های آماری با نرم‌افزار آماری SAS انجام شدند. پیش از انجام عمل تجزیهٔ واریانس با استفاده از روش Univariate از نرمال‌بودن توزیع باقیمانده‌ها اطمینان حاصل شد. تجزیهٔ واریانس داده‌های آزمایش با روش GLM (الگوی خطی تعمیم‌یافته) انجام شد. میانگین تیمارهای آزمایشی به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن (DNMRT) در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقهٔ اجرای آزمایش

عمق خاک (cm)	بافت	EC (dS/m)	pH	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)
۰-۳۰	لوم رسی	۱/۸	۷/۷	۱/۸	۰/۱۲	۵/۵	۲۶۶

نتایج

اثر تاریخ کاشت، مایکوریزا و رقم بر رنگدانه‌ها (میزان کلروفیل‌های کل، a، b و کاروتنوئید برگ): تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد آثار اصلی تاریخ کاشت، مایکوریزا و رقم بر تمام صفت‌های مرتبط با کلروفیل و کاروتنوئید در سطح ۱ درصد معنادار هستند. همچنین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و مایکوریزا بر صفت کلروفیل (a، b و کل) معنادار است. تمام صفت‌های مرتبط با رنگدانه‌های برگ از اثر برهم‌کنش مایکوریزا و رقم تأثیر می‌پذیرند؛ علاوه‌براین، اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت، مایکوریزا و رقم فقط بر میزان کلروفیل a معنادار است.

مقایسهٔ میانگین برهم‌کنش تاریخ کاشت، مایکوریزا و رقم نشان می‌دهد رقم آریندا بیشترین میزان کلروفیل a را در تاریخ کاشت سوم (۱۵ خرداد) با مایکوریزا تولید کرده است که ازنظر آماری با تیمار رقم سانته در همان تاریخ کاشت با مایکوریزا و رقم آریندا در تاریخ کاشت اول (۱۵ اردیبهشت) و با مایکوریزا اختلاف معناداری ندارد. کمترین مقدار کلروفیل a در تاریخ کاشت ۱ خرداد بدون مایکوریزا در رقم آگریا دیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهند رقم آگریا در هر سه تاریخ کاشت با مایکوریزا و بدون مایکوریزا کمترین میزان کلروفیل a را تولید کرده است (جدول ۲).

کلروفیل‌های b، کل و کاروتنوئید: جدول مقایسهٔ میانگین اثر برهم‌کنش مایکوریزا و رقم نشان می‌دهد بیشترین میزان هر سه صفت (کلروفیل‌های b، کل و کاروتنوئید) با کاربرد مایکوریزا در رقم آریندا (رقم زودرس) حاصل شده است؛ این حالت سبب افزایش ۵۰، ۴۲/۳ و ۴۳/۶ درصدی به‌ترتیب رنگدانه‌های کلروفیل‌های b، کل و کاروتنوئید نسبت به شرایط بدون کاربرد مایکوریزا در رقم آریندا شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهند کمترین مقدار هر سه صفت یادشده در شرایط بدون مایکوریزا در رقم آگریا (رقم دیررس) حاصل شده است (جدول ۳). جدول برهم‌کنش

Archive of SID

www.SID.ir

تاریخ کاشت و مایکوریزا نیز تأثیر مثبت مایکوریزا بر میزان کلروفیل‌های b و کل را نشان می‌دهد؛ به‌شکلی‌که بیشترین و کمترین مقدار هر دو صفت به‌ترتیب در تیمار تاریخ کاشت ۱۵ خرداد با مایکوریزا و تیمار تاریخ کاشت ۱ خرداد بدون مایکوریزا مشاهده شد (جدول ۴).

مقایسهٔ میانگین اثر اصلی تاریخ کاشت بر میزان کاروتنوئید نیز نشان می‌دهد بیشترین میزان کاروتنوئید در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت تولید شده است و اختلاف آماری معناداری با تاریخ کاشت ۱۵ خرداد ندارد (شکل ۱).

جدول ۲- اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت، مایکوریزا و ارقام بر میزان کلروفیل a برگ و وزن خشک ریشه، برگ و اندام هوایی سیب‌زمینی (حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهندهٔ نبود اختلاف معنادار بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.)

تاریخ کاشت	سطوح مایکوریزا	ارقام	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)	وزن خشک بخش هوایی (گرم)
۱۵ اردیبهشت	بدون مایکوریزا	آرینداd	۰/۴۴d	۱/۶۵f	۱۰/۲۷de	۲۵/۳f
		آگریا	۰/۳۷de	۶/۲۵c	۷/۶۱de	۱۸/۷h
		سانته	۰/۴۲d	۸/۱۵b	۸/۱۰d	۳۰/۲de
	مایکوریزا	آرینداa	۰/۷۴a	۱۰/۰۵a	۳۸/۰۹a	۶۱/۷b
		آگریا	۰/۵۳c	۶/۸۲c	۸/۰۸d	۲۳/۸fg
		سانته	۰/۶۳b	۷/۸۳bc	۴/۶۴f	۳۹/۰d
۱ خرداد	بدون مایکوریزا	آرینداde	۰/۳۴de	۴/۴۹de	۱۲/۲۷cd	۲۲/۲fg
		آگریاef	۰/۲۷ef	۱/۷۴f	۶/۱۱e	۱۵/۹i
		سانته	۰/۳۲e	۳/۱۸e	۱۰/۹۱de	۲۱/۷fg
	مایکوریزا	آرینداc	۰/۵۴c	۱/۴۸f	۱۵/۷۳c	۵۱/۱bc
		آگریاe	۰/۳۳e	۱/۸۴ef	۵/۷۱ef	۳۰/۷de
		سانته	۰/۴۳d	۴/۶۷de	۱۴/۳۷c	۴۵/۴cd
۱۵ خرداد	بدون مایکوریزا	آرینداc	۰/۵۲c	۶/۳۹c	۱۳/۸۷c	۶۱/۶b
		آگریاd	۰/۴۵d	۱/۷۴f	۷/۰۷de	۱۹/۱h
		سانته	۰/۵۰c	۳/۰۰e	۸/۷۳d	۳۰/۰de
	مایکوریزا	آرینداa	۰/۸۲a	۴/۶۲de	۲۷/۰۵b	۶۱/۸b
		آگریاb	۰/۶۶b	۵/۰۳d	۱۱/۱۵d	۵۲/۳bc
		سانته	۰/۷۶a	۴/۷۷de	۱۲/۷۹cd	۸۰/۵a

جدول ۳- اثر برهم‌کنش سطوح مایکوریزا و ارقام بر محتوای کلروفیل، کاروتنوئید و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهندهٔ نبود اختلاف معنادار بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصدند.)

سطوح مایکوریزا	ارقام	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	کاتالاز برگ	پراکسیداز برگ	آسکوربات‌پراکسیداز
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ)			(میلی‌گرم بر گرم پروتئین)		
بدون مایکوریزا	آرینداc	۰/۱۷c	۰/۶۰c	۵/۰۷d	۰/۰۲۴c	۰/۰۲۴d	۰/۰۵۵c
	آگریاcd	۰/۱۳cd	۰/۴۹d	۴/۰۹e	۰/۰۲۳c	۰/۰۲۱d	۰/۰۴۳c

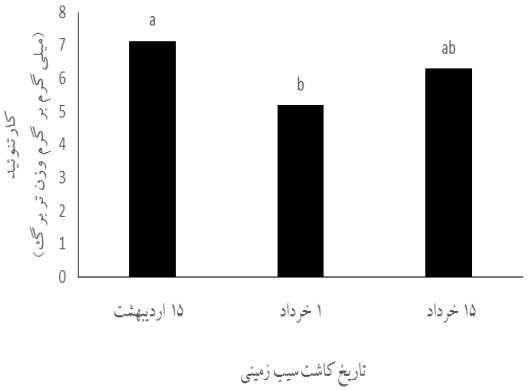
Archive of SID

www.SID.ir

	سانته	۰/۱۵^{c}	۰/۵۷^{c}	۴/۲۰^{e}	۰/۰۲۳^{c}	۰/۰۲۶^{cd}	۰/۰۵۶^{c}
	آریندا	۰/۳۴^{a}	۱/۰۴^{a}	۸/۹۹^{a}	۰/۰۳۸^{b}	۰/۰۴۴^{b}	۰/۰۹۶^{b}
مایکوریزا	آگریا	۰/۲۴^{b}	۰/۷۵^{c}	۶/۸۹^{c}	۰/۰۳۳^{b}	۰/۰۳۳^{c}	۰/۱۰۱^{b}
	سانته	۰/۲۹^{b}	۰/۹۰^{b}	۷/۹۹^{b}	۰/۰۶۰^{a}	۰/۰۶۰^{a}	۰/۱۶۷^{a}

جدول ۴- اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و سطوح مایکوریزا بر محتوای کلروفیل، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و تعداد غده در بوته (حروف مشابه در هر ستون به‌منزلهٔ وجودنداشتن اختلاف معنادار بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد هستند.)

تاریخ کاشت	سطوح مایکوریزا	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاتالاز برگ	پراکسیداز برگ	تعداد غده در بوته
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ)		(میلی‌گرم بر گرم پروتئین)		
۱۵ اردیبهشت	عدم مایکوریزا	۰/۱۵^{d}	۰/۵۶^{d}	۰/۰۲۷^{d}	۰/۰۲۳^{d}	۴/۶۷^{d}
	مایکوریزا	۰/۲۷^{b}	۰/۹۰^{b}	۰/۰۵۱^{a}	۰/۰۵۳^{a}	۸/۵۰^{b}
۱ خرداد	عدم مایکوریزا	۰/۱۱^{d}	۰/۴۲^{e}	۰/۰۲۰^{e}	۰/۰۲۸^{d}	۶/۰۰^{c}
	مایکوریزا	۰/۲۴^{bc}	۰/۶۷^{c}	۰/۰۳۴^{c}	۰/۰۳۶^{c}	۶/۳۳^{c}
۱۵ خرداد	عدم مایکوریزا	۰/۲۰^{c}	۰/۶۹^{c}	۰/۰۲۴^{de}	۰/۰۲۰^{d}	۶/۳۳^{c}
	مایکوریزا	۰/۳۷^{a}	۱/۰۱^{a}	۰/۰۴۷^{ab}	۰/۰۴۸^{ab}	۱۰/۱۷^{a}



شکل ۱- اثر تاریخ‌های مختلف کاشت سیب‌زمینی بر میزان کاروتنوئید برگ

اثر تیمارهای آزمایشی بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برگ (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز): تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد آثار اصلی تاریخ کاشت، مایکوریزا و رقم (به‌جز اثر تاریخ کاشت بر پراکسیداز در سطح ۱ درصد) بر تمام صفت‌های مرتبط با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برگ معنادار هستند. اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و مایکوریزا بر صفت‌های کاتالاز و پراکسیداز معنادار است. تمام صفت‌های مرتبط با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برگ از آثار برهم‌کنش مایکوریزا و رقم متأثر هستند.

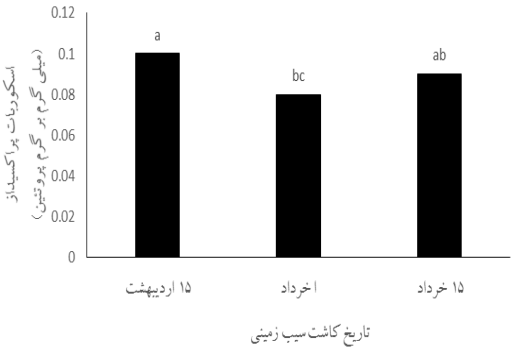
مقایسهٔ میانگین اثر برهم‌کنش مایکوریزا و رقم نشان می‌دهد بیشترین و کمترین مقادیر هر سه آنزیم آنتی‌اکسیدان بررسی‌شده به‌ترتیب در تیمارهای کاربرد مایکوریزا در رقم سانته و بدون مایکوریزا در رقم آگریا مشاهده می‌شود (جدول ۳). نتایج جدول ۳ نشان می‌دهند در شرایط بدون مایکوریزا، اختلاف آماری معناداری بین ارقام مختلف سیب‌زمینی وجود ندارد. نتایج جدول مقایسهٔ میانگین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و مایکوریزا نشان می‌دهند بیشترین مقدار کاتالاز و پراکسیداز برگ در تیمار تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت با مایکوریزا حاصل شده است و اختلاف آماری معناداری با تیمار کاشت در ۱۵ خرداد با مایکوریزا ندارد؛ کمترین مقدار کاتالاز و پراکسیداز در تاریخ کاشت ۱ خرداد بدون مایکوریزا مشاهده می‌شود

Archive of SID

www.SID.ir

(جدول ۴). نتایج جدول ۴ نشان می‌دهند کاربرد مایکوریزا در تمام تاریخ‌های کاشت سبب افزایش میزان هر دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز شده است.

مقایسهٔ میانگین اثر اصلی تاریخ کاشت بر میزان آسکوربات‌پراکسیداز نشان می‌دهد بیشترین میزان (۰/۱ میلی‌گرم بر گرم پروتئین) آسکوربات‌پراکسیداز در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت تولید شده است و اختلاف آماری معناداری با میزان آسکوربات‌پراکسیداز (۰/۰۹ میلی‌گرم بر گرم پروتئین) در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد ندارد (شکل ۲).



شکل ۲- اثر تاریخ‌های مختلف کاشت سیب‌زمینی بر میزان آسکوربات‌پراکسیداز برگ

اثر تیمارهای آزمایشی بر صفت وزن خشک ریشه، برگ و اندام هوایی: تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد صفت وزن خشک ریشه، برگ و اندام هوایی از تمام آثار اصلی، برهم‌کنش‌های دوگانه و سه‌گانه تأثیر می‌پذیرد (به‌جز وزن خشک ریشه که از برهم‌کنش رقم و مایکوریزا متأثر نمی‌شود).

مقایسهٔ میانگین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت، مایکوریزا و رقم (جدول ۲) نشان می‌دهد بیشترین وزن خشک ریشه و برگ در تاریخ کاشت زودتر (۱۵ اردیبهشت) با مایکوریزا و در رقم آریندا حاصل شده است و نسبت به شرایط بدون مایکوریزا در همین تاریخ کاشت سبب افزایش ۸۳/۶ و ۷۳ درصدی به‌ترتیب وزن خشک ریشه و برگ شده است. در بیشتر ترکیب‌های تیماری تاریخ کاشت، رقم‌های آریندا (زودرس) و آگریا (رقم دیررس) به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک برگ را تولید کرده‌اند (جدول ۲).

نتایج جدول ۲ تأیید می‌کنند رقم آگریا در تاریخ کاشت ۱ خرداد و بدون کاربرد مایکوریزا کمترین (۱۵/۹ گرم) وزن خشک اندام هوایی را تولید کرده است.

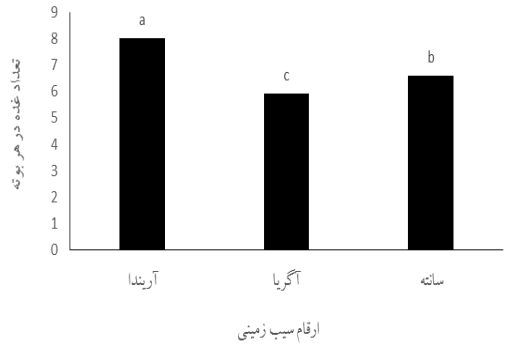
اثر تیمارهای آزمایشی بر صفت‌های تعداد و عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی: تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان می‌دهد هر دو صفت تعداد و عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی از تمام آثار اصلی تیمارهای آزمایشی تأثیر پذیرفته‌اند. اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و مایکوریزا فقط بر تعداد غده در بوته، اثر برهم‌کنش‌های تاریخ کاشت با رقم و برهم‌کنش مایکوریزا با رقم تنها بر صفت عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی معنادار است.

جدول مقایسهٔ میانگین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و مایکوریزا بر تعداد غده نشان می‌دهد بیشترین تعداد غده در شرایط کاربرد مایکوریزا در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد حاصل شده است. در زمینهٔ صفت تعداد غدهٔ سیب‌زمینی، برتری با تیمار کاربرد مایکوریزا در هر سه تاریخ کاشت است (جدول ۴) و بیشترین و کمترین تعداد غده به‌ترتیب در رقم‌های آریندا و آگریا مشاهده می‌شود (شکل ۳). جدول مقایسهٔ میانگین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و رقم

Archive of SID

www.SID.ir

نشان می‌دهد کمترین عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی در تاریخ کاشت ۱ خرداد در رقم آگریا (۱۹ تن در هکتار) تولید شده است. بیشترین و کمترین عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی در هر سه تاریخ کاشت به‌ترتیب در رقم‌های آریندا و آگریا حاصل شده است (جدول ۵).



شکل ۳- اثر ارقام مختلف سیب‌زمینی بر تعداد غدهٔ سیب‌زمینی

جدول ۵- اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت و ارقام بر عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی. (حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهندهٔ نبود اختلاف معنادار بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد هستند.)

تاریخ کاشت	ارقام	عملکرد(تن در هکتار)
	آریندا	۳۸/۰۰^{a}
۱۵ اردیبهشت	آگریا	۲۴/۰۰^{c}
	سانته	۲۹/۱۳^{b}
	آریندا	۲۷/۲۵^{b}
۱ خرداد	آگریا	۱۹/۰۰^{d}
	سانته	۲۱/۸۸^{cd}
	آریندا	۳۱/۳۳^{ab}
۱۵ خرداد	آگریا	۲۴/۱۵^{c}
	سانته	۲۷/۲۳^{b}

بحث

راهکارهای افزایش سازگاری به شرایط تغییر اقلیم به‌منظور کاهش آثار منفی تغییر اقلیم و ثبات تولید منطقه‌ای ضروری به نظر می‌رسند. پژوهشگران گزارش کرده‌اند راهکارهای مختلف مدیریتی باید برای تعدیل آثار منفی تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات زراعی (تغییر تاریخ کاشت، رقم مناسب و استفاده از نهاده‌های زیستی) در آینده در نظر گرفته شوند (Moradi *et al*., 2014). پژوهشگران در ارزیابی روش‌های سازگاری به شرایط اقلیمی آینده نشان داده‌اند تغییر تاریخ کاشت و اصلاح ارقامی از گندم با دامنهٔ مقاومت بیشتر به گرما در مرحلهٔ گلدهی تأثیر چشمگیری در بهبود عملکرد خواهند داشت (Koocheki and Nassiri-Mahallati, 2008).

زمان کاشت به علت تغییر طول روز، دما و رطوبت نسبی تأثیر بسزایی در رشد، نمو و تولید گیاه طی فصل رشد دارد و یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی مؤثر در تولید تمام محصولات در راستای کاهش آثار منفی تنش‌های محیطی است (Khichar and Niwas, 2006).

پاسخ‌های ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی ارقام گیاهی پایهٔ شناسایی تأثیر تنش بر عملکرد نهایی آنها هستند. شناخت سازوکار رویارویی با تنش‌های محیطی و تشخیص تأثیر تنش بر فرایندهای فیزیولوژیکی و سوخت‌وسازی گیاه از گام‌های نخست اصلاح گیاه سیب‌زمینی هستند (Bagheri *et al*., 2014). میزان تجمع کلروفیل در بافت‌های سبز گیاهی از مهم‌ترین صفت‌های فیزیولوژیکی است که رابطهٔ مستقیمی با میزان فتوسنتز و مادهٔ خشک گیاهی دارد و میزان آن در شرایط تنش به‌واسطهٔ افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیداز و کلروفیلاز به‌شدت کاهش می‌یابد (Baghbani- Arani *et al*., 2017).

Archive of SID

www.SID.ir

در پژوهش حاضر، گیاه سیب‌زمینی در تاریخ ۱ خرداد به علت هم‌زمانی زمان گلدهی با بیشترین دمای منطقه (Adavi, 2014) با تنش محیطی مواجه شده و میزان رنگدانه‌ها کاهش بیشتری یافته است. Najaf Zadeh و Ehsanpour (۲۰۱۲) گزارش کردند مقدار کلروفیل و کاروتنوئید در سیب‌زمینی در اثر تنش محیطی (خشکی) کاهش می‌یابد؛ همچنین آنها نشان دادند میزان کلروفیل و کاروتنوئید در این گیاه از رقم متأثر می‌شود و کاهش بیشتر محتوای کلروفیلی در رقم Concord ممکن است به‌دلیل حساسیت بیشتر، ناسازگاری و مقاومت این رقم به تنش خشکی باشد. در موافقت با نتایج پژوهش حاضر، در پژوهشی نشان داده شده است میزان کلروفیل‌های a و bو کاروتنوئید از آثار اصلی تاریخ کاشت، رقم و همزیستی قارچ مایکوریزا و آثار متقابل آنها در گیاه رازیانه تأثیر می‌پذیرد؛ به‌شکلی‌که اعمال تیمار قارچ در تمام ارقام و تاریخ‌های کاشت به افزایش میزان رنگدانه‌ها منجر می‌شود (Barzegar *et al*., 2013). در پژوهش‌ها نشان داده شده است مایکوریزا سه منفعت جذب فسفر و سایر مواد مغذی، افزایش مقاومت به تنش‌های غیرزیستی و مقاومت به بیماری‌ها برای گیاه خواهد داشت (Sharma *et al*., 2008).

Rahmatzadeh و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل‌های a وb درگیاه پروانش در تیمارهای مایکوریزایی بیشتر از نمونه‌های شاهد غیرمایکوریزایی است؛ قارچ‌های مایکوریزا با افزایش جذب عناصر ضروری در بیوسنتز کلروفیل‌ها شامل منیزیم و آهن سبب افزایش ساخت این رنگیزه‌ها و درنهایت، افزایش میزان فتوسنتز می‌شوند (Krishna *et al*., 2005). آنها افزایش غلظت کلروفیل کل را در گیاه *Vitis vinifera* همزیست با چند گونه قارچ مایکوریزا گزارش کردند.

تولید گونه‌های فعال اکسیژن مانند سوپراکسید، پراکسیدهیدروژن و رادیکال هیدروکسیل در کلروپلاست و میتوکندری یکی از مهم‌ترین تغییرات بیوشیمیایی ایجادشده در گیاهان بر اثر تنش‌های غیرزیستی است که تنش اکسیداتیو را ایجاد می‌کند (Karmakar *et al*., 2014). گیاهان برای مقابله با خسارت سلولی یادشده از سیستم آنتی‌اکسیدانی پیچیده‌ای شامل آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات و پراکسیداز استفاده می‌کنند که نقش کلیدی در مقابله با تنش اکسیداتیو بازی می‌کند (Karmakar *et al*., 2014)؛ آسکوربات نخستین آنتی‌اکسیدان مهمی است که به‌طور مستقیم با پراکسیدهیدروژن، رادیکال‌های هیدروکسیل، سوپراکسید و اکسیژن یکتایی واکنش می‌دهد و نقش مهمی در حفاظت کلروپلاست سلول‌های گیاهی در برابر آسیب اکسیداتیو ایفا دارد (Smirnoff and Wheeler, 2000). در پژوهشی نشان داده شده است فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز به‌منظور جلوگیری از آسیب‌های واردشده به گیاه و حفظ هوموستازی افزایش می‌یابد (Yong Kim *et al*., 2005). پژوهشگران در پژوهشی دربارهٔ گیاه زوفا نشان دادند به‌طور کلی گونه‌های مایکوریزا با خنثی‌کردن آثار رادیکال‌های آزاد، افزایش پایداری غشای سلولی و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز، سوپراکسیددسموتاز و آسکوربات پراکسیداز) در تعدیل تنش کمبود آب مؤثر هستند (Soleymani

Archive of SID

www.SID.ir

and Pirzad, 2015; 2016).

در این راستا، Heshmati و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند استفاده از کود زیستی فسفر بارور- ۲ با کاهش تجمع مقدار مالون‌دی‌آلدهید سبب افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز در شرایط تنش آبی در گیاه گلرنگ می‌شود. نتایج آنها نشان می‌دهند باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات می‌توانند به‌عنوان مواد تلقیحی برای کاهش‌دادن آسیب اکسیداتیو ایجادشده در اثر خشکی استفاده شوند (Kohler *et al.*, 2008).

افزایش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات‌پراکسیداز (Sandhya *et al.*, 2010)، کاتالاز (Kohler *et al.*, 2008) و پراکسیداز (Gillham and Dodge, 1987) در شرایط تنش خشکی در گیاهچهٔ ذرت تلقیح‌شده با باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات نیز مشاهده شده است؛ ازاین‌رو، نقش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در تحمل به تنش‌های غیرزیستی به‌خوبی شناخته شده است (Noctor and Foyer, 1998).

Heydari و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند تنش‌های محیطی سبب کاهش میزان کلروفیل‌های a و b و افزایش فعالیت دو آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز و گلوتاتیون‌پراکسیداز در گیاه دارویی گاوزبان اروپایی می‌شوند. نتایج آنها نشان می‌دهند سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدان در گیاه برای مقابله با تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن فعال می‌شود. استفاده از هیومیک‌اسید سبب افزایش سنتز کلروفیل‌های a و b و افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز می‌شود.

پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند ارتباطی قوی بین تحمل تنش‌های محیطی و افزایش غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ارقام متحمل به تنش وجود دارد (Sairam and Srivastava, 2001; 2002).

در پژوهش حاضر، انباشت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در تاریخ کاشت اول نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت احتمالاً نشان‌دهندهٔ قرارگرفتن گیاه در شرایط تنش برای مدت زمان بیشتر و فرصت کافی گیاه برای انباشت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌منظور مقابله با تنش است. در این راستا، Dariny و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثر تاریخ کاشت بر میزان پرولین (سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی) در گیاه سیب‌زمینی گزارش کردند میزان پرولین در تاریخ کاشت اول (۲۰ شهریور) نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت بیشتر است؛ آنها علت را در معرض تنش قرار داشتن گیاه برای مدت بیشتر و داشتن فرصت کافی برای انباشت پرولین بیان کردند.

به نظر می‌رسد رقم آگریا به علت تولید کمتر آنتی‌اکسیدان آنزیمی (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز) در مواجهه با تنش‌های محیطی تحمل کمتری نسبت به دو رقم دیگر داشته که به عملکرد کمتر غده در هر سه تاریخ کاشت با مایکوریزا یا بدون مایکوریزا منجر شده است. در پژوهشی گزارش شده است مایکوریزا به علت بهبود جذب فسفر توسط گیاه سبب افزایش اندازه، تعداد، وزن و عملکرد غده و نشاستهٔ سیب‌زمینی می‌شود (Adavi and Tadayoun, 2014).

در پژوهش حاضر، استفاده از مایکویزا در هر سه تاریخ کاشت و در تمام ارقام سبب افزایش وزن خشک ریشه، برگ و اندام هوایی سیب‌زمینی شد.

Archive of SID

www.SID.ir

Rahmatzadeh و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی دربارهٔ وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه پروانش در اثر قارچ مایکوریزا نشان دادند قارچ‌های مایکوریزا با افزایش جذب عناصر معدنی نظیر فسفر که تحرک نسبتاً کمی در خاک دارند باعث افزایش رشد گیاهان می‌شوند؛ این قارچ‌ها به‌شدت ریشه‌های جانبی را در خاک افزایش می‌دهند و با تشکیل ریسهٔ شعاعی برای جذب آب و مواد معدنی به گیاه کمک می‌کنند. آغشتگی به قارچ‌های مایکوریزا بسته به نوع میزبان، مقدار سایر عناصر غذایی نظیر کلسیم، مس، منیزیم و روی را در گیاه افزایش می‌دهد و به رشد گیاه کمک می‌کند.

در موافقت با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر تولید کمترین وزن خشک اندام هوایی در تاریخ کاشت ۱ خرداد، Mousupour- Gorji و Hasanabadi (۲۰۱۲) گزارش کردند روند تغییرات مادهٔ خشک بخش‌های هوایی گیاه در ابتدای دورهٔ رشد سیب‌زمینی (تاریخ کاشت ۵ خرداد) برخلاف سایر تاریخ کشت‌ها صعودی نیست بلکه نزولی است؛ آنها نتیجه گرفتند روند تغییرات مادهٔ خشک گیاهی از عوامل محیطی تأثیر می‌پذیرد و احتمالاً علت اصلی این پدیده کامل‌نبودن پوشش گیاهی و زیادبودن دمای محیط در ماههای تیر و مرداد است. پژوهشگران مختلفی دربارهٔ تأثیر دما بر میزان مادهٔ تولیدشده در سیب‌زمینی اظهار داشته‌اند افزایش درجه‌حرارت باعث افزایش تنفس نوری و در نتیجه کاهش فتوسنتز خالص برگ‌ها می‌شود (Berry and Björkman, 1980; Timlin *et al*., 2006). باتوجه‌به نتایج پژوهش حاضر، کمترین عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی در تاریخ کاشت ۱ خرداد در رقم آگریا تولید شده و در هر سه تاریخ کاشت، برتری در صفت تعداد غدهٔ سیب‌زمینی با تیمار کاربرد مایکوریزا بوده است.

Mousupour- Gorji و Hasanabadi (۲۰۱۲) گزارش کردند اثر عوامل محیطی و رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی معنادار است و عوامل طی سالیان متوالی و حتی با تغییر تاریخ کاشت در یک‌سال به‌شدت بر عملکرد سیب‌زمینی تأثیر می‌گذارند. آنها در بررسی واکنش ارقام نسبت به تاریخ کاشت نشان دادند واریته‌ها واکنش‌های متفاوتی ازنظر عملکرد در تاریخ‌های مختلف کاشت دارند و بی‌توجهی به تاریخ کاشت مناسب برای هریک از ارقام، افت عملکرد را در پی خواهد داشت. میزان افت عملکرد در کشت‌های زودهنگام و کشت‌های تأخیری بیشتر است و بنابراین انتخاب نوع رقم در این کشت‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. در موافقت کامل با نتایج پژوهش حاضر (جدول ۵)، آنها نشان دادند روند تغییرات درصد تعداد غده با اندازهٔ بذر در تاریخ کاشت پنجم (۲۰ خرداد) شیب تندتری نسبت به دیگر تاریخ‌های کاشت دارد و میزان درصد نهایی آن در مقایسه با آنها بیشتر است و کمترین درصد تعداد غده‌ها در تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت مشاهده می‌شود. مساعدبودن شرایط آب‌وهوایی در تاریخ کاشت ۲۰ خرداد و در نتیجه مساعدبودن شرایط گیاه پس از مرحلهٔ آغازش غده (حدود ۴۰ روز) باعث شده است انتقال مواد به غده‌ها نسبت به دیگر تاریخ‌های کاشت با سرعت بیشتری انجام شود.

همچنین Samaee و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند اختلاف معناداری بین ارقام مختلف

Archive of SID

www.SID.ir

سیب‌زمینی ازنظر تعداد غده در بوته و عملکرد غده در واحد سطح در شرایط تنش آبی و بدون تنش آبی وجود دارد. آنها ۱۵ رقم سیب‌زمینی را ازنظر واکنش به تنش کم‌آبی بر پایهٔ شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش با در نظر گرفتن ۸۰ درصد همسانی در چهار گروه طبقه‌بندی کردند. رقم سانته در گروه اول و رقم آگریا در گروه دوم تحمل به خشکی قرار داشتند. آنها بیان کردند دیررس یا زودرس‌بودن سیب‌زمینی معیار دقیقی برای سنجش تحمل این گیاه به کم‌آبی نیست و احتمالاً ویژگی‌های دیگری ازجمله نظام ریشهٔ توسعه‌یافته و ویژگی اندام‌های رویشی معیارهای بهتری برای سنجش تحمل سیب‌زمینی نسبت به کم‌آبی هستند.

Baciu (۲۰۱۳) در بررسی تأثیر تحمل تنش محیطی خشکی چهار رقم سیب‌زمینی گزارش کرد رقم‌های دارای دورهٔ رشد طولانی‌تر نه‌تنها به افزایش عملکرد در شرایط خشکی منجر نمی‌شوند بر رقم‌های زودرس‌تر نیز برتری ندارند.

احتمالاً آغازش غده‌های سیب‌زمینی در تاریخ کاشت ۱ خرداد در منطقهٔ فریدون‌شهر با حداکثر دمای تیرماه مواجه و دچار تنش‌های محیطی شده است؛ ازاین‌رو، کمترین تعداد و عملکرد غده تولید شده است هرچند تلقیح قارچ مایکوریزا سبب توسعه‌یافتن سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب و مواد غذایی و در نتیجه بهبود عملکرد غده شده است.

Moamenpoosh و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند تنش‌های محیطی در مرحلهٔ تشکیل غده‌ها، تعداد غده در بوته، میانگین اندازهٔ غده‌ها و وزن مخصوص غده‌ها را کاهش می‌دهند؛ از سوی دیگر، گیاه سیب‌زمینی راهبردهای مختلفی برای سازگاری با شرایط تنش محیطی (تنش آبی، نور، گرما و ...) استفاده می‌کند، برای نمونه شمار غدهٔ کمتر موجب برقراری تعادل توزیع مواد پرورده به غده‌ها می‌شود و اندازهٔ غده‌ها بزرگ‌تر می‌شود (Al-Mahmud *et al*., 2014).

Mousupour- Gorji و Hasanabadi (۲۰۱۲) بیان کردند عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی رقم آگریا (با بیشترین سطح زیرکشت سیب‌زمینی در کشور و مصرف‌های متعدد اقتصادی) در تمام طول دورهٔ رشد گیاه از محیط متأثر هستند. تغییر تاریخ کاشت با تغییردادن سرعت رشد محصول باعث تغییر روند عملکرد و اجزای آن می‌شود. آنها در موافقت کامل با نتایج پژوهش حاضر نشان دادند تاریخ‌های کاشت ۲۰ اردیبهشت و ۲۰ خرداد برای کاشت رقم آگریا در کرج مناسب هستند. تغییر تاریخ کاشت به علت تأثیر بر شرایط محیطی باعث تغییر طول دورهٔ رشد، اختلاف در پوشش گیاهی و سطح فتوسنتزکننده و متعاقب آن اختلاف در میزان جذب تشعشع می‌شود که از اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر تغییر عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی هستند.

نتیجه‌گیری کلی

باتوجه‌به نتایج پژوهش حاضر، پدیدهٔ تغییر اقلیم و گرم‌شدن هوا با ایجاد تنش‌های محیطی در مراحلی از رشد گیاه (به‌ویژه گلدهی و آغازش غده‌ها) بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی مرتبط با دستگاه فتوسنتزکنندهٔ گیاه (رنگدانه‌های فتوسنتزی) تأثیر منفی داشته و باعث کاهش عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی در منطقه فریدون‌شهر شده است. راهکارهای سازگاری به تغییر اقلیم این منطقه باید به شکلی در

Archive of SID

www.SID.ir

نظر گرفته شوند که کشت ارقام مقاوم (آریندا) در تاریخ زودتر (۱۵ اردیبهشت) یا دیرتر (۳۰ خرداد) به علت منطبق‌نبودن گلدهی با بیشترین دما، بهترین راهکار مدیریت زراعی در منطقه برای کاهش آثار سوء تغییر اقلیم معرفی شود.

به نظر می‌رسد رقم آگریا (رایج منطقه) به علت تولید فعالیت کمتر سیستم آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی (کاروتنوئید) و آنزیمی (هر سه آنزیم آنتی‌اکسیدان) در مواجهه با تنش‌های محیطی نسبت به دو رقم دیگر تحمل کمتری دارد؛ این به تولید کمتر بخش‌های رویشی و تعداد و عملکرد غده در هر سه تاریخ کاشت با مایکوریزا یا بدون مایکوریزا منجر می‌شود.

تلقیح غده‌ها با قارچ مایکوریزا ضمن توسعهٔ سطح ریشهٔ گیاه سبب افزایش جذب عناصر غذایی و آب می‌شود؛ ازاین‌رو در پژوهش حاضر، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در هر سه تاریخ کاشت و ارقام افزایش یافت؛ این امر به کاهش آثار منفی تنش‌های محیطی و افزایش فتوسنتز منجر و با تولید فراوردهٔ بیشتر موجب بهبود رشد ریشه، برگ، اندام هوایی و تعداد غده و درنهایت عملکرد غده شد.

References

Adavi, Z. (2014) Simulation of climate change impacts on potato production and adaptation strategies in Freydonshahr region of Esfahan using modeling approaches. PhD thesis, Shahre Kord University, Shahre Kord, Iran (in Persian).

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

Aebi, H. (1984) Catalase *in vitro*. Methods in Enzymology 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.

Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24(1): 1-150.

Baciu, A. (2013) Reaction of native potato varieties to water stress. Potato Research and Development Station-Târgu Secuiesc, Romania. Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology 17(2): 80-86.

Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi-Akbar-Boojar, M. and Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017) Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. Industrial Crops and Products 109: 346-357.

Bagheri, F. and Blochi, H. (2013) Effect of planting date on some quantity and qulity nine grain surgum (*Sorghum bicolor* L.) in Yasouj. Journal of Crop Production and Processing 3(9): 29-42 (in Persian).

Bagheri, H., Gharineh, M., Bakhshandeh, A., Taee, J., Mehnat Kesh, A. and Andarzian, B. (2014) Effect of drought stress and nitrogen rate on yield and some quality and physiological traits in potato in Chaharmehal and Bakhtiari condition. Crop Physiology Journal 6(22): 5-22 (in Persian).

Barzegar, M., Afshari, H., Borhan, N., Laei, Gh. and Zadehbagheri, M. (2013) The Effect of planting date and symbiotic Mycorrhiza fungi on physiological characteristics and active ingredients of three medicinal plants cultivars of fennel (*Foenicumlum vulgare* Mill.) endemic to Iran. Eco-phytochemical Journal of

Archive of SID

www.SID.ir

mycorrhizal fungus Glomus claroideum: Effect on growth and cell membrane stability. Brazilian Journal of Plant Physiology 20: 29-31.

Berry, J. and Björkman, O. (1980) Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. Annuals Review of Plant Physiology 31: 491-543.

Cantore, V., Wassar, F., Yamaç, S. S., Sellami, M. H., Albrizio, R., Stellacci, A. M., and Todorovic, M. (2014) Yield and water use efficiency of early potato grown under different irrigation regimes. International Journal of Plant Production 8(3): 409-428.

Dariny, A., Fathi, Gh., Gharineh, M. H., Alemi Saeed, Kh., Khodadadi, M. and Siadat, S. A. (2013) Effect of planting date and application of anti-freeze on tuber yield and some physiological traits of potato cultivars in autumn planting in Jiroft region Seed and Plant Production Journal 29-2(4): 443-459 (in Persian).

Falloon, P. and Betts, R. (2010) Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation-The importance of an integrated approach. Science of the Total Environment 408: 5667-5687.

Gillham, D. J. and Dodge, A. D. (1987) Chloroplast superoxide and hydrogen peroxide scavenging systems from pea leaves: seasonal variations. Plant Science 50: 105-109.

Heshmati, S., Amini Dehaghi, M. and Fathi Amirkhize, K. (2016) Evolation effect of chemical and biological phosphorous fertilizer on antioxidant enzymes activity and some biochemical traits in spring sufflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficite stress. Journal of Crop Production and Processing 6(19): 203-213 (in Persian).

Heydari, M., Miri, H. R. and Minaee, A. (2013) Antioxidant enzymes activity and biochemical composition (Barago Medical Plants 1(2): 10-25 (in Persian).

Beltrano, J. and Ronco, M. G. (2008) Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular officianlis L.) in response to drought stress and humic acid treatments. Environmental Stresses in Crop Sciences 6(2): 159-170 (in Persian).

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.

Khichar, M. L. and Niwas, I. (2006) Microclimatic profiles under different sowing environment in wheat. Journal of Agrometeorology 8: 201-209.

Kohler, J., Hernande, J. A. Caravaca, F. and Roldan, A. (2008) Plant-growth-promoting rhizobacteria and *Arbuscular mycorrhizal* fungi modify alleviation biochemical mechanisms in water-stressed plants. Functional Plant Biology 35: 141-151.

Koocheki, A. and Nassiri-Mahallati, M. (2008) Impact of climate change with increasing CO_2 concentration on wheat yield in Iran and evaluation of adaptation strategies. Iranian Journal of Agricultural Research 6: 139-153 (in Persian).

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

Krishna, H., Singh, S. K. and Sharma, R. R. (2005) Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculated during ex vitro acclimatization. Scientia Horticulturae 106: 554-567.

Moamenpoosh, A. S., Mortazavibeak, A.,

Archive of SID

www.SID.ir

Bagheri, M. R., Pashnam, M. and Kakaee, M. (2005) Check water use efficiency in a row and two-row cultivation of commercial varieties of potato in Station Esfehan Agricultural Experiment 56.

Moradi, R., Koocheki, A. and Nassiri Mahallati, M. (2013) Effect of Climate Change on Maize Production and Shifting of Planting Date as Adaptation Strategy in Mashhad. Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 23(4): 111-130 (in Persian).

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: 1223-1238.

Mousupour- Gorji, A. and Hasan Abadi, H. (2012) Analysis of growth and variation in trend of some traits of Potato cv. Agria in different planting dates. Seed and Plant Production Journal 28-2 (2): 187-208 (in Persian).

Najaf Zadeh, S. and Ehsanpour, A. (2012) Effect of drought stress on some physiological parameters of two potato cultivars (Kenebec and Concord) under *in vitro* culture condition. Arid Biome Scientific and Research Journal 2(1): 70-81 (in Persian).

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

Noctor, G. and Foyer, C. H. (1998) Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 49: 249-279.

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.

Parrya, M. L., Rosenzweigb, C., Iglesiasc, A., Livermored, M. and Fischere, G. (2004) Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. Global Environmental Change 14: 53-67.

Rahmatzadeh, S., Khara, J. and Kazemitabar, S. K. (2013) Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth improvement and biochemical factors of regenerated *Catharanthus roseus* L. plants under tryptophan treatment during acclimatization process. Journal of Plant Biology 5(19): 27-40 (in Persian).

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.

Sairam, R. K. and Srivastava, G. C. (2001) Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. Journal of Agronomy and Crop Science 186: 63-70.

Sairam, R. K. and Srivastava, G. C. (2002) Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. Plant Science 162: 897-904.

Samaee, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mousapour Gorji, A. and Zand, E. (2016) The study of potato genotypes (*Solanum tubersum* L.) tolerance to water deficit stress. Iranian Journal of Field Crop Science 47(4): 527-540 (in Persian).

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: 21-30.

Sharma, D., Kapoor, R. and Bhatnagar, A. K. (2008) AM fungi help in conservation of curculigo orchioides

Archive of SID

www.SID.ir

gaertn- a vulnerable anti cancerous plant. World Journal of Microbiology and Biotechnology 24: 395-400.

Shiferaw, B. A., Okello, J. and Reddy, R. V. (2009) Adoption and adaptation of natural resource management innovations in smallholder agriculture: reflections on key lessons and best practices. Environment, Development and Sustainability 11: 601-619.

Smirnoff, N. and Wheeler, G. L. (2000) Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. Critical Review of Plant Sciences 19: 267-290.

Soleymani, F. and Pirzad, P. (2015) The effect of mycorrhizal fungi on malondialdehyde concentration and some metabolic processes in hyssop (*Hyssopus officinalis*) under water deficit stress. Iranian Journal of Plant Biology 7(24): 15-26 (in Persian).

Soleymani, F. and Pirzad, A. R. (2016) The effect of mycorrhizal fungi on the oxidant enzymes activity in the medicinal herb, hyssop, under water deficit conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31(6): 1013-1023 (in Persian).

Steyn, J. M., Kagabo, D. M. and Annandale, J. G. (2007) Potato growth and yield responses to irrigation regimes in contrasting seasons a subtropical region. African Crop Science Conference Proceedings 8: 1647-1651.

Timlin, D., Lutfor Rahman, S. M., Baker, J., Reddy, V. R., Fleisher, D. and Quebedeaux, B. (2006) Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature. Journal of Agronomy and Crop Science 98: 1195-1203.

Trnka, M., Dubrovsky, M. and Ekzalud, Z. (2004) Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. Climatic 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 Research 20: 259-270.

Vergé, X. P. C., De Kimpe, C. and Desjardins, R. L. (2007) Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. Agricultural and Forest Meteorology 2-4: 255-269.

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.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir