

The Effect of Growth Hormones and Mycorrhizal Fungi on the Yield of Potato Plant (Agria Cultivar)

MOSAYEB VAFAEE^{1*}, AHMAD GOLCHIN¹, FATEMEH MORADI¹, AFROOZ SHARIATZADE²

1. Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2. Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Jiroft University, Jiroft, Iran.

(Received: Feb. 24, 2020- Revised: May. 17, 2020- Accepted: July. 20, 2020)

ABSTRACT

Among the microorganisms, mycorrhizal fungi are involved in providing phosphorus, zinc, copper and water to the plant. Also, growth hormones by increasing rhyzogenesis and thus the nutrient uptake of rootstocks enhances plant growth. In order to investigate the effects of plant growth hormones and mycorrhizal fungi on the yield of potato plant, Agria cultivar, a factorial experiment with a randomized complete block design was performed under greenhouse conditions. The proposed factors were four types of growth hormone (control, gibberellic acid, indole acetic acid and naphthalene acetic acid) and four types of mycorrhizal fungi which are used for inoculation of the potato plant (control, *Funneliformis Mosseae*, *Rhizophagus intraradices* and a mixture of *Funneliformis Mosseae* + *Rhizophagus intraradices*). Each factor was consisted of three replications. Plant growth hormones were sprayed with a concentration of 25 mg/l and 10 g of the medium containing mycorrhizal fungi was applied to each planting box. The results showed that the highest amount of the leaf chlorophyll index and potato tuber length were obtained from the treatment containing *Funneliformis Mosseae* fungus with the simultaneous use of naphthalene acetic acid growth hormone, which were 1.20 and 5.45 cm, respectively. The highest percentage of dry matter, stem diameter and fresh weight of the potato tuber were obtained from the treatment containing a mixture of *Funneliformis Mosseae* and *Rhizophagus intraradices* fungi and without application of growth hormone, which were 19.69%, 12.93 mm and 98.87 g, respectively. The maximum diameter of potato tuber was obtained by using the gibberellic acid growth hormone without mycorrhizal fungi application, which was 12.46 cm. The highest density of potato tuber was obtained from the treatment containing *Funneliformis mosseae* fungus and gibberellic acid growth hormone, which was 1.50 g/cm³. In general, the results of this study showed that the application of gibberellic acid growth hormone and a mixture of *Rhizophagus intraradices* and *Funneliformis Mosseae* fungi as inoculant created the highest potato yield.

Keywords: Agria, *Funneliformis Mosseae*, Gibberellic Acid, Indole Acetic Acid, *Rhizophagus intraradices*, Yield.

تأثیر هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر عملکرد گیاه سیب‌زمینی، رقم آگریا

مصیب وفایی^{۱*}، احمد گلچین^۱، فاطمه مرادی^۱، افروز شریعت زاده^۲

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۲/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۴/۳۰)

چکیده

قارچ‌های میکوریزی از جمله ریزجاندارانی هستند که در تأمین فسفر، روی، مس و آب برای گیاه نقش دارند و هورمون‌های رشد نیز با گسترش ریشه‌زایی باعث جذب بیشتر مواد غذایی و در نتیجه رشد گیاه می‌شوند. به‌منظور بررسی تأثیر هورمون‌های رشد گیاهی و قارچ‌های میکوریزی بر عملکرد گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط گلخانه به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد بررسی شامل نوع هورمون رشد مصرفی در چهار سطح (شاهد، جیبرلیک‌اسید، ایندول‌استیک‌اسید و نفتالین‌استیک‌اسید) و نوع قارچ میکوریزا مصرفی در چهار سطح (شاهد، فونلیفورمیس‌موسه‌آ، رایزوفآگوس اینترادیسز و مخلوط دو قارچ) بودند که هر فاکتور در سه تکرار اعمال گردید. هورمون‌های رشد گیاهی با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی شدند و میزان مصرف محیط حاوی قارچ میکوریزا ۱۰ گرم در هر جعبه کاشت بود. نتایج نشان دادند که بیش‌ترین مقدار شاخص کلروفیل برگ و طول غده از تیمار قارچ فونلیفورمیس-موسه‌آ هم‌زمان با مصرف هورمون رشد نفتالین‌استیک‌اسید به‌دست آمد که به‌ترتیب برابر با ۱/۲۰ و ۵/۴۵ سانتی‌متر بود. بالاترین درصد ماده خشک، قطر ساقه و وزن تر غده از تیمار حاوی مخلوط دو قارچ فونلیفورمیس‌موسه‌آ، رایزوفآگوس اینترادیسز و بدون مصرف هورمون رشد به‌دست آمد که به‌ترتیب برابر با ۱۹/۶۹ درصد، ۱۲/۹۳ میلی‌متر و ۹۸/۷۸ گرم بود. بیش‌ترین مقدار قطر غده از مصرف هورمون رشد جیبرلیک‌اسید و بدون قارچ میکوریزا به‌دست آمد که ۱۲/۴۶ سانتی‌متر بود. بالاترین دانسیته غده از تیمار حاوی قارچ فونلیفورمیس‌موسه‌آ همراه با مصرف هورمون رشد جیبرلیک‌اسید به‌دست آمد که برابر ۱/۵۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که مصرف هورمون رشد جیبرلیک‌اسید و مخلوط دو قارچ فونلیفورمیس‌موسه‌آ و رایزوفآگوس اینترادیسز باعث بیش‌ترین مقدار عملکرد سیب‌زمینی رقم آگریا شد.

واژه‌های کلیدی: آگریا، عملکرد، جیبرلیک‌اسید، ایندول‌استیک‌اسید، فونلیفورمیس‌موسه‌آ، رایزوفآگوس اینترادیسز.

مقدمه

استفاده بیش‌تر از میکروارگانیسم‌های خاکزی و کودهای زیستی است. از جمله مهم‌ترین کودهای زیستی می‌توان به قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار اشاره کرد. میکوریزا نوعی زندگی هم‌زیستی بین قارچ و ریشه گیاهان می‌باشد که با تأمین فندهای فتوسنتزی تولید شده توسط گیاهان به‌عنوان منبع کربن آلی، قارچ غیر خودکفا^۱ به حیات خود ادامه داده و بقا و تکثیر آن تضمین می‌گردد. در مقابل، این رابطه هم‌زیستی سبب بهبود رشد گیاه از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، تحریک سنتز مواد تنظیم‌کننده رشد و افزایش راندمان فتوسنتز می‌شود (Norris et al., 1992, Bisht et al., 2009).

قارچ‌های میکوریزا با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح جذب ریشه باعث بهبود استقرار گیاه، افزایش جذب آب و عناصر غذایی مخصوصاً فسفر، روی، مس و نیتروژن

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی خانواده سولاناسه است که سالانه با تولید ۳۲۵ میلیون تن محصول پس از گندم، برنج و ذرت رتبه چهارم را در جهان از نظر میزان تولید به خود اختصاص داده است (Harris, 2012). این محصول بخش مهمی از تولیدات کشاورزی در کشورهای درحال توسعه را شامل می‌شود. به‌همین دلیل، افزایش عملکرد آن منجر به افزایش کار و درآمد، بهبود امنیت غذایی و جلوگیری از به‌زیر کشت رفتن اراضی جدید برای تولید غذا می‌شود (Birch et al., 2012). سطح زیر کشت این گیاه در ایران در سال زراعی ۹۵-۹۶ به میزان ۱۴۶۳۱۱ هکتار و تولید ۵۰۳۲۰۰۰ تن بود (Statistics, 2017). یکی از راهکارهای تولید بهینه محصول سیب‌زمینی و حفظ سلامت محیط‌زیست، فراهم‌سازی شرایط لازم و ضرورت

فیزیولوژیکی گیاهان نظیر گل‌دهی دخالت دارد (Azarnia and Eisvand, 2014). با توجه به اهمیت محصول سیب‌زمینی در کشور و تأثیرات مثبت قارچ‌های میکوریزا بر خصوصیات خاک، افزایش تولید محصولات کشاورزی، کاهش مصرف کودهای شیمیایی، تولید محصول سالم و از طرفی تنوع در گونه قارچ‌های میکوریزا، همچنین با در نظر گرفتن تأثیر هورمون‌های رشد بر ریشه‌زایی و افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریزی و هورمون‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه سیب زمینی رقم آگریا انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات متقابل هورمون‌های رشد گیاهی و قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر رشد و عملکرد گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و ۳ تکرار در شرایط گلخانه در سال ۹۵-۱۳۹۴ به اجرا درآمد. برای این منظور از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک‌های تحت کشت اطراف دانشگاه زنجان به صورت جمع‌آوری و مورد تجزیه آزمایشگاهی قرار گرفت. سپس نمونه خاک جهت اعمال تیمارهای آزمایشی به گلخانه منتقل گردید. نتایج تجزیه خاک مورد مطالعه در (جدول ۱) گزارش شده است. تیمارهای آزمایشی شامل ۴ سطح قارچ میکوریزا (بدون تلقیح با قارچ، تلقیح با قارچ *فونلیفورمیس موسه*، تلقیح با قارچ *رایزوفلگوس اینترادیسز* و تلقیح با مخلوط دو قارچ) و ۴ سطح هورمون رشد (بدون هورمون، اسیدجیبر لیک (GA)، ایندول استیک اسید (IAA) و نفتالین استیک اسید (NAA))، بودند. خاک مورد مطالعه پس از هوا خشک شدن و آماده‌سازی خاک و عبور از الک ۲ میلی‌متری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از جمله قابلیت هدایت الکتریکی (Carter and Gregorich, 2008)، واکنش خاک (McLean, 1982)، بافت خاک (Bouyoucos, 1962)، درصد کربنات کلسیم معادل (Lebron et al., 2002) و میزان نیتروژن کل (Bremner and Mulvaney, 1982)، فسفر قابل جذب خاک (Olsen and Sommers, 1982) و پتاسیم قابل جذب (Helmke and Spark, 1996) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس ۲۰ کیلوگرم از خاک مورد نظر به جعبه‌های پلاستیکی با عمق ۲۰ سانتی‌متر و ابعاد ۳۰ در ۵۰ سانتی‌متر اضافه شدند. درون هر کدام از جعبه‌ها ۵ بذر سیب‌زمینی رقم آگریا کشت گردید. مقدار ۱۰ گرم از هر کدام از قارچ‌های *فونلیفورمیس موسه*، *رایزوفلگوس اینترادیسز* و مخلوطی از هر دو نوع قارچ (۵ گرم از هر کدام) هنگام کاشت پای هر بذر ریخته شد. جمعیت

می‌شوند (Clark and Zeto, 2000) و در بسیاری از موارد علاوه بر افزایش محصول، نقش مهمی در حفظ تعادل اکولوژیک خاک ایفاء می‌کنند (Abbott and Murphy, 2003). هم‌زیستی میکوریزایی در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی به‌طور گسترده‌ای وجود دارد. پاسخ رشدی گیاهان میزبان به هم‌زیستی میکوریزایی ممکن است بسیار قابل توجه باشد، اما تغییرات فیزیولوژیکی مؤثر بر این پاسخ‌ها نسبتاً ناشناخته مانده‌اند (Wayman, 1980). نتایج مطالعات نشان داد که قارچ‌های میکوریزا قادر به تولید و آزادسازی هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکنین‌ها است. که می‌توانند بر رشد گیاهان تأثیر بگذارند و این تأثیر مستقل از اثر این هم‌زیستی روی جذب عناصر همانند فسفر است (Cozzolino et al., 2013). به‌طور کلی رشد و نمو طبیعی یک گیاه، بیش‌تر توسط اثرات متقابل هورمون‌های تحریک‌کننده و بازدارنده تنظیم می‌شود. بعضی از هورمون‌های گیاهی محرک رشد هستند، درحالی‌که هورمون‌های دیگری همین فرآیندها را کند، یا به تأخیر می‌اندازند. اکسین‌ها و جیبرلین‌ها به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد در طول شدن سلولی، سیتوکنین‌ها به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد در تقسیم سلولی، آبسزیک اسید به‌عنوان یک ماده با اثرات بازدارندگی و اتیلن به‌عنوان یک ماده فرار مؤثر در فرآیندهای رشد و نمو است (Ahmadi et al., 2006). در رابطه با تأثیر هورمون‌ها بر روی غده‌زایی ریشه، نتایج تحقیقات نشان داده است که هورمون‌های گیاهی نقش برجسته و مهمی در غده‌زایی ریشه دارند. برخی از این هورمون‌ها موجب القاء غده‌زایی ریشه برخی نیز دارای اثر بازدارندگی می‌باشند (Vreugdenhil and Struik, 1989; Obata and susuki, 1979; Sharma et al., 2004). گزارش کردند که GA_3 سبب افزایش رشد ساقه، رشد استولون و وزن خشک در سیب‌زمینی شد، ولی شروع غده‌زایی را به تأخیر انداخت. نفتالین استیک اسید یک اکسین مصنوعی است که به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد و توسعه باروری طبقه‌بندی شده است (Sawan et al., 1998). (Bachem, et al., 2000) نتیجه گرفتند که GA_3 در غلظت‌های بالا رشد طولی استولون را تحریک می‌کند ولی در غلظت‌های پایین عاملی برای غده‌زایی است. به‌علاوه این تنظیم‌کننده قادر به شکستن خواب غده‌ها است. (Prakash, et al., 2007) نشان دادند کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی روی پنبه، باعث زودرسی محصول، جذب بالای عناصر غذایی و تعادل بین رشد رویشی و زایشی شد. مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی صفات رشدی و ریخت‌شناختی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند و این ترکیبات باید در غلظت‌های بهینه مورد استفاده قرار گیرند (Biradar, 2008). اسید جیبرلیک (GA_3) از مهم‌ترین جیبرلین‌ها است که در بسیاری از فرآیندهای

جعبه (معادل ۳۴۵ کیلوگرم اوره در هکتار) نیتروژن اضافه گردید. چهار ماه پس از کاشت و در زمان برداشت شاخص‌های رشد مانند شاخص کلروفیل با دستگاه SPAD-502 (Yano *et al.*, 2003)، طول غده، وزن تر بوته، درصد ماده خشک، قطر ساقه، وزن تر غده، قطر غده و دانسیته غده اندازه‌گیری گردید. تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام پذیرفت و از نرم‌افزار Excel برای مرتب کردن داده‌ها و رسم نمودار استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک مورد مطالعه به‌صورت زیر است که در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات نمونه خاک مورد مطالعه

پH	آهک کل (%)	EC (dS.m ⁻¹)	بافت خاک	منگنز	مس	روی	آهن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن کل (%)
۷/۶۰	۱۲/۸	۱/۵	لومی	۳/۱۵	۰/۸۴	۰/۲۶	۳/۵	۲۵۰	۱۰	۰/۰۱۴

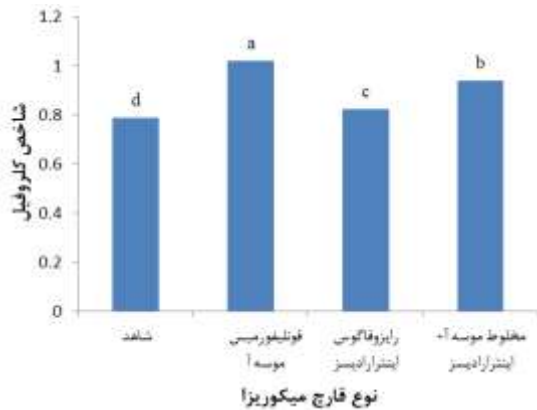
زیادی تأثیر قارچ میکوریزا/ آربوسکولار را بر افزایش غلظت هورمون‌های رشد گیاه و شاخص کلروفیل گزارش کردند مهم‌ترین نقش‌های قارچ میکوریزا/ آربوسکولار در کشاورزی افزایش غلظت هورمون‌های گیاهی (اکسین، سیتوکینین و جیبرلین) و افزایش شاخص کلروفیل است (Dodd, 2000; Varma *et al.*, 1999). Tang, *et al.*, 2009 پس از مطالعه خود بر روی گیاه ذرت گزارش کردند که مایه‌زنی ذرت با گلموس موسه، سنتز کلروفیل در گیاه را بهبود و فتوسنتز گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل هورمون‌های رشد و قارچ میکوریزا نشان داد که بیش‌ترین مقدار شاخص کلروفیل از ترکیب قارچ فونلیفورمیس موسه / با نفتالین استیک اسید و کم‌ترین مقدار آن از تیمار شاهد (بدون هورمون و قارچ مصرفی) حاصل شد که به‌ترتیب برابر با ۱/۲۰ و ۰/۱۷ بودند (جدول ۳). Hamzei and Sadeghi Mayan Abadi (2014) پس از بررسی اثر دوره آبیاری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر روی عملکرد دانه سورگوم گزارش کردند بیش‌ترین مقدار کلروفیل برگ از تیمار دوره آبیاری ۷ روز و گونه فونلیفورمیس موسه آ بود و کم‌ترین این مقدار دور آبیاری ۲۱ روز و عدم تلقیح به‌دست آمد. Doss *et al.*, (2013) گزارش کردند که محلول‌پاشی برگی اسید نفتالین استیک با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر روی گیاه لوبیا باعث افزایش محتوای کلروفیل، تعداد میوه و تعداد بذر داخل میوه

قارچ میکوریزا دارای حداقل ۸۰ پروپاگول (واحد زنده قارچی) به ازای هر گرم بود و یک تیمار هم بدون قارچ بود. ۴۰ روز پس از کاشت و قبل از گلدهی مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از هورمون‌های رشد جیبرلیک اسید (GA)، ایندول استیک اسید (IAA) و نفتالین استیک اسید (NAA) با غلظت ۲۵ میلی‌گرم (Shahriyar *et al.*, 2015) در لیتر با فاصله زمانی ۷ روز دو بار روی برگ‌های سیب‌زمینی هر بوته اسپری گردید و یک تیمار هم بدون هورمون رشد بود؛ و به‌طور منظم دو روز یکبار تا رسیدن به حد ظرفیت مزرعه (FC) آبیاری شدند. گلدان‌ها به مدت ۵ ماه در شرایط گلخانه‌ای در دمای مناسب نگهداری شدند و در طول دوره رشد گیاه، عملیات داشت شامل آبیاری و دفع علف‌های هرز و افزودن کود اوره طی سه مرحله (به فاصله یک هفته از یکدیگر) به میزان ۱/۰۶ گرم نیتروژن در آب آبیاری برای ۲۰ کیلوگرم خاک هر

شاخص کلروفیل

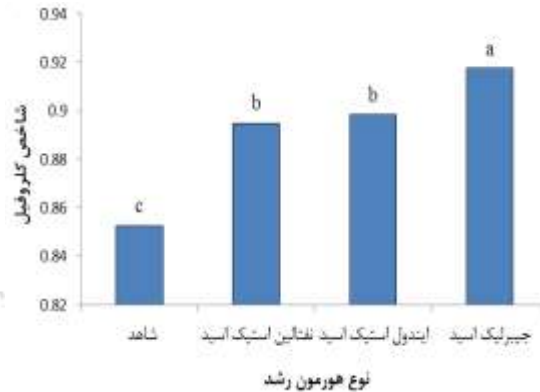
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریزا و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص کلروفیل برگ سیب‌زمینی رقم آگریا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد هورمون‌های رشد سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ شد بیش‌ترین افزایش شاخص کلروفیل برگ از هورمون جیبرلیک به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (بدون هورمون) ۷/۶۲ درصد افزایش داشت. در حالی که بین تیمارهای ایندول استیک اسید و نفتالین استیک اسید اختلاف معنی‌داری نبود (شکل ۱). Brault and Maldiney (1999) گزارش کردند هورمون سیتوکینین باعث تبدیل اتیوپلاست به کلروپلاست و تجمع کلروفیل می‌شود. به‌طور کلی، بهبود شرایط تغذیه‌ای و محیطی باعث افزایش توان گیاه در تولید کلروفیل در برگ‌ها و تولید انرژی بیش‌تر می‌شود که این احتمالاً بر میزان کلروفیل نیز تأثیر می‌گذارد. کاربرد قارچ میکوریزا شاخص کلروفیل برگ را به‌طور معنی‌داری در همه تیمارها افزایش داد که بیش‌ترین مقدار آن متعلق به قارچ فونلیفورمیس موسه آ بود که شاخص کلروفیل برگ را ۲۹/۲۳ درصد نسبت به شاهد (بدون قارچ) افزایش داد (شکل ۲). Wu and Xia (2006) گزارش کردند که محتوای کلروفیل در گیاهچه‌های تانجرین مایه‌زنی با قارچ تحت شرایط آبی ۲۳ درصد بیش‌تر از گیاهچه‌های بدون قارچ بود. محققان

و ۶۰ روز پس از کاشت را بر روی افزایش شاخص کلروفیل گیاه سویا گزارش کردند.



شکل ۲- تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر شاخص کلروفیل گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

نسبت به گیاهان شاهد شد. Senthil *et al.* (2003) پس از مطالعه اثرات ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نفتالین استیک اسید و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول استیک اسید به صورت محلول‌پاشی برگی در ۳۵



شکل ۱- تأثیر هورمون‌های رشد بر شاخص کلروفیل گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع قارچ میکوریزا و هورمون رشد بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه سیب‌زمینی

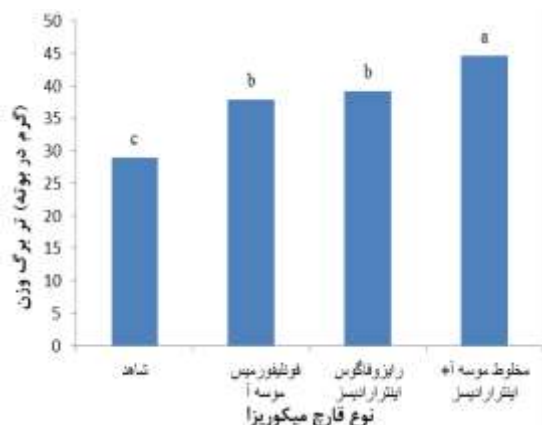
میانگین مربعات			شاخص کلروفیل برگ	درجه آزادی	منابع تغییرات
قطر بوته	درصد ماده خشک برگ	وزن تر بوته			
۱۰/۰۴**	۰/۳۶ ^{ns}	۹۴۹/۱**	۰/۰۰۵**	۳	بلوک
۲/۲۱**	۷/۳۲**	۱۵۲۷/۵**	۰/۱۳۵**	۳	قارچ میکوریزا
۸/۸۹**	۵/۴۹**	۹۴/۳۴**	۰/۰۰۹**	۳	هورمون رشد
۱۴/۲۳**	۱۸/۸۳**	۵۷۷/۶۵**	۰/۲۲**	۱۵	اثر متقابل قارچ میکوریزا هورمون رشد
۰/۲۰	۰/۲۵	۳/۶۵	۰/۰۰۰۲	۲۴	خطای آزمایش
۴/۸۹	۳/۳۳	۴/۲۹	۱/۶۶	-	ضریب تغییرات

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

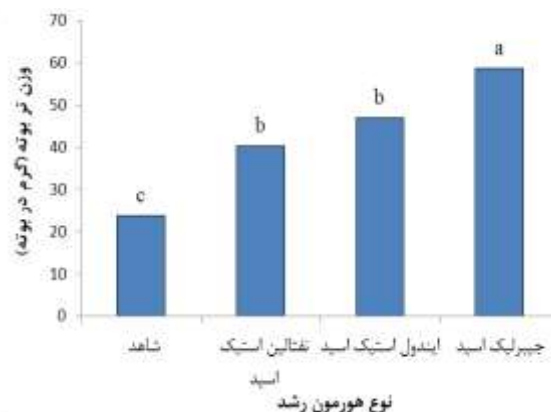
۰/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش در تعداد برگ گیاهچه سیب‌زمینی و در نتیجه افزایش وزن بوته نسبت به دو هورمون رشد NAA^۲ و IBA^۳ شدند. کاربرد قارچ میکوریزا وزن تر بوته گیاه سیب‌زمینی را به طور معنی‌داری افزایش داد که بیش‌ترین مقدار آن متعلق به کاربرد توأم قارچ فونلیفورمیس موسه‌آ + رایزوفگوس اینترادیسز بود که وزن تر بوته گیاه سیب‌زمینی را ۸۱/۶۰ درصد نسبت به شاهد (بدون قارچ) افزایش داد (شکل ۴). (2014) Esmaelpour and Amani پس از بررسی اثر تلقیح با قارچ میکوریزا آربوسکولار بر روی گیاه کاهو گزارش کردند تلقیح این گیاه با قارچ میکوریزا سبب افزایش وزن تر و خشک گیاهان کاهو نسبت به شاهد شد که بیش‌ترین وزن تر بوته در مایه‌زنی گیاهان با قارچ میکوریزا رایزوفگوس اینترادیسز حاصل شد و کم‌ترین وزن تر بوته نیز در گیاه شاهد حاصل شد.

وزن تر بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریزا و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر بوته گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد هورمون‌های رشد سبب افزایش وزن تر بوته گیاه سیب‌زمینی شد به طوری که بیش‌ترین تأثیر را هورمون جبرلیک اسید بر وزن تر بوته گیاه سیب‌زمینی داشت که افزایش ۱۴۶/۶۳ درصدی نسبت به شاهد (بدون هورمون) داشت که پس از آن به ترتیب ایندول استیک و نفتالین استیک اسید بیش‌ترین تأثیر را در افزایش وزن تر بوته داشتند (شکل ۳). این موضوع نشان‌دهنده تأثیر جبریلین در فتوسنتز گیاه است و از این‌رو افزایش وزن تر در گیاه مشهود بود (Ashraf *et al.*, 2006). Ghaffoor *et al.* (2003) گزارش کردند که اثر IAA^۱ در غلظت



شکل ۴- تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر وزن تر بوته گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا



شکل ۳- تأثیر هورمون‌های رشد بر وزن تر بوته گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

نتایج تحقیقات نشان داد غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر ایندول استیک اسید را بهترین غلظت برای عملکرد بهتر گیاه سیب‌زمینی بود (Hoque, 2010). کاربرد قارچ میکوریزا درصد ماده خشک بوته گیاه سیب‌زمینی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد که بیش‌ترین میزان درصد ماده خشک از کاربرد توأم قارچ‌های میکوریزا فونلیفورمیس موسه آ همراه با رایزوفگوس اینترادیسز بود که درصد ماده خشک گیاه سیب‌زمینی را ۱۲/۵۳ درصد نسبت به شاهد (بدون قارچ) افزایش داد (شکل ۶). Duffy and Cassells (2000) تأثیر تلقیح سیب‌زمینی با گونه رایزوفگوس اینترادیسز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که وزن تر بخش هوایی و وزن متوسط غده در اثر تیمار با قارچ نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت.

دلیل افزایش ماده خشک در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا، مکانیزم عمل این قارچ در جذب فسفر است. ریشه‌های قارچ میکوریزا به دو دسته تقسیم می‌شوند، تعدادی از آن‌ها وارد سیستم گیاه شده و سبب کاهش غلظت آب‌سیزیک اسید و افزایش میزان سیتوکینین می‌شوند. این عمل سبب افزایش جذب آب و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌گردد. دسته دوم از ریشه‌ها خارج از سیستم ریشه بوده، این ریشه‌ها از خود اسیدهای آلی محلول‌کننده فسفر نظیر اسید مالیک ترشح کرده که جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهند و باعث افزایش ماده خشک می‌گردند (Khalvati et al., 2005).

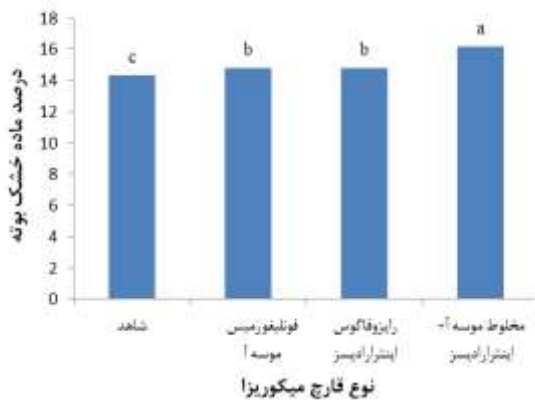
نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل هورمون‌های رشد و قارچ میکوریزا بر درصد ماده خشک بوته گیاه سیب‌زمینی نشان داد که بیش‌ترین مقدار درصد ماده خشک از کاربرد توأم قارچ فونلیفورمیس موسه آ + رایزوفگوس اینترادیسز و بدون هورمون مصرفی و کم‌ترین مقدار آن از تیمار شاهد (بدون هورمون و قارچ مصرفی) حاصل شد که به‌ترتیب ۱۹/۶۹ و ۷/۳۸ درصد بودند

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل هورمون‌های رشد و قارچ میکوریزا روی وزن تر گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا نشان داد که بیش‌ترین وزن تر از تیمار کاربرد توأم فونلیفورمیس موسه آ و رایزوفگوس اینترادیسز همراه با هورمون رشد نفتالین استیک اسید و کم‌ترین مقدار آن از تیمار شاهد (بدون هورمون و قارچ مصرفی) حاصل شد که به‌ترتیب برابر ۶۷/۲۳ و ۱۴/۹۶ گرم در بوته بودند (جدول ۳). Alizadeh Ajirilo, et al. (2015) پس از مطالعه خود بر روی تأثیر سه گونه قارچ میکوریزا اربوسکولار بر رشد و نمو، گیاه گل جعفری آفریقایی گزارش کردند وزن تر بوته در گیاهانی که با قارچ میکوریزا تلقیح شده بودند در مقایسه با گیاهان شاهد بدون قارچ میکوریزا بیش‌تر بود و افزایش وزن تر در مورد گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های گلموس و رسیفورم، گلموس موسه آ، گلموس اینترادیسز در مواردی حتی بیش از دو برابر گیاهان شاهد بود. Keshavarza et al. (2013) با بررسی تأثیر هورمون‌های اکسین و جیبرلین بر عملکرد ذرت علوفه‌ای گزارش کردند وزن تر بلال، وزن تر گیاه و عملکرد کل علوفه تر نیز تحت تأثیر سطوح مختلف هورمون‌های جیبرلین قرار گرفت و بیش‌ترین صفات فوق مربوط به کاربرد سطح ۱۵۰ پی‌پی‌ام جیبرلین بود و کم‌ترین میزان آن مربوط به سطح شاهد بود.

درصد ماده خشک بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر قارچ‌های میکوریزا و هورمون‌های رشد و اثر متقابل آن‌ها بر درصد ماده خشک بوته گیاه سیب‌زمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد هورمون‌های رشد سبب افزایش درصد ماده خشک بوته گیاه سیب‌زمینی شد که بیش‌ترین تأثیر را هورمون ایندول استیک اسید بر درصد ماده خشک بوته گیاه سیب‌زمینی داشت که افزایش ۱۰/۰۷ درصدی نسبت به شاهد (بدون هورمون) داشت که اختلاف معنی‌داری با نفتالین استیک اسید نداشت (شکل ۵).

گیاه نخود (*Cicer arietinum* L) شد. Singh (1993) پس از بررسی تأثیر تلقیح قارچ میکوریزا بر استقرار اولیه و خصوصیات مورفولوژیک گیاه دارویی آویشن گزارش کردند که گونه‌های فونلیفورمیس موسه‌آ و رایزوفگوس اینترادیسز وزن خشک اندام هوایی را به ترتیب به میزان ۴۶ و ۱۸ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون قارچ و هورمون) افزایش دادند.



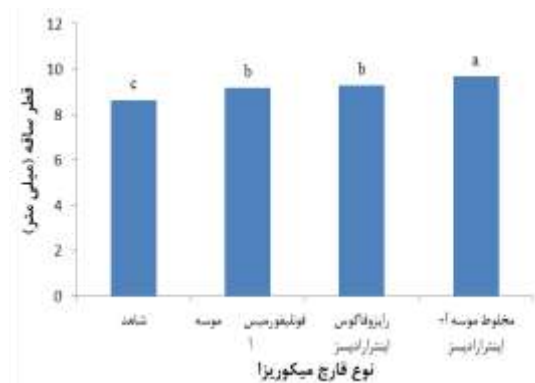
شکل ۶- تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر درصد ماده خشک بوته گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

(جدول ۳). نتایج تحقیقات اثر قارچ میکوریزا بر روی گیاه ذرت نشان داد که گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا آربوسکولار دارای وزن خشک ساقه و درصد ماده خشک بیش‌تری نسبت به تیمار شاهد بود (Huang et al., 2009). Kamara et al. (2009) گزارش کردند که قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش تولید گره، کلونیزه شدن ریشه، تجمع ماده خشک در اندام هوایی و جذب عناصر غذایی در



شکل ۵- تأثیر هورمون‌های رشد بر درصد ماده خشک بوته گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

سیب‌زمینی داشت که افزایش ۴۳/۶۴ درصدی نسبت به تیمار شاهد (بدون هورمون) داشت (شکل ۷). کاربرد توأم قارچ فونلیفورمیس موسه‌آ + رایزوفگوس اینترادیسز قطر ساقه ۱۲/۰۸ درصد افزایش داد که بیش‌ترین مقدار بود (شکل ۷). در مطالعه‌ای بر روی گیاه توت‌فرنگی ۳۰ تا ۶۰ روز بعد از کاشت، کاربرد اسید جیبرلیک با غلظت ۵۰ یا ۱۰۰ پی‌پی‌ام باعث افزایش قطر ساقه شد (Turmis, 1997).

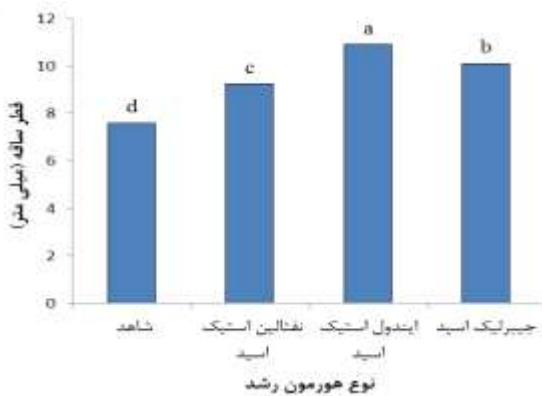


شکل ۸- تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر قطر ساقه گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

شاهد (بدون هورمون و قارچ) حاصل شد که به ترتیب برابر با ۱۲/۹۳ و ۳/۰۷ میلی‌متر بود (جدول ۳). کارایی بیشتر قارچ میکوریزا در تحریک رشد گیاه سیب‌زمینی می‌تواند دلیل مشخصی بر افزایش طول بیشتر ساقه و متناسب با آن قطر ساقه

قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریزا و اثر متقابل آن‌ها بر قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد هورمون‌های رشد سبب افزایش قطر ساقه گیاه سیب‌زمینی شد که بیش‌ترین تأثیر را هورمون ایندول استیک اسید بر قطر ساقه گیاه



شکل ۷- تأثیر هورمون‌های رشد بر قطر ساقه گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل هورمون‌های رشد و قارچ میکوریزا نشان داد که بیش‌ترین مقدار قطر ساقه مربوط به کاربرد توأم قارچ فونلیفورمیس موسه‌آ همراه با رایزوفگوس اینترادیسز بدون هورمون مصرفی و کم‌ترین مقدار آن از تیمار

ایندول استیک اسید، جیبرلین و سیتوکنین در گیاهان همزیست با میکوریز ارائه شده است (Ludwig-Muller, 2000).

باشد. به نظر می‌رسد نقش دیگر میکوریز در تحریک و توسعه رشد رویشی ناشی از تأثیر آن بر تولید و سنتز فیتوهورمون‌های گیاهی رشد و به‌ویژه اکسین باشد. گزارش‌های زیادی از افزایش مقدار

جدول ۳ - مقایسه میانگین‌های تأثیر گونه‌های قارچ میکوریزا و سطوح هورمون‌های رشد بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

گونه قارچ میکوریزا	هورمون رشد	شاخص کلروفیل برگ	وزن تر بوته (گرم در بوته)	درصد ماده خشک بوته	قطر ساقه (میلی‌متر)
بدون قارچ میکوریزا	بدون هورمون	۰/۱۷k	۱۴/۹۶g	۷/۳۸g	۳/۰۷k
	نفتالین استیک اسید	۰/۹۹d	۴۴/۸۲d	۱۶/۷۵c	۱۰/۴۵cd
	ایندول استیک اسید	۱/۰۹c	۲۶/۹۴f	۱۷/۶۹b	۱۰/۹۱c
	جیبرلیک اسید	۰/۸۹f	۲۹/۳۱f	۱۵/۵۷d	۱۰/۰۹de
فونلیفورمیس موسه آ	بدون هورمون	۱/۰۶c	۴۶/۲۴cd	۱۴/۰۲f	۱۲/۱۲b
	نفتالین استیک اسید	۱/۲۰a	۳۳/۹۸e	۱۵/۳۶de	۷/۵۷j
	ایندول استیک اسید	۰/۹۳e	۵۷/۱۴b	۱۵/۵۳d	۸/۲۱ij
	جیبرلیک اسید	۰/۸۸f	۵۹/۱۱b	۱۴/۲۶f	۸/۷۵h-j
رایزوفگوس اینترادیسز	بدون هورمون	۰/۹۸d	۴۴/۶۴d	۱۵/۵۹d	۹/۴۶e-g
	نفتالین استیک اسید	۰/۵۴j	۲۸/۷۳f	۱۴/۴۲f	۹/۶۴ef
	ایندول استیک اسید	۰/۵۹i	۴۷/۲۴cd	۱۴/۶۴d-f	۸/۹۰f-i
	جیبرلیک اسید	۱/۱۶b	۵۷/۲۴b	۱۴/۴۷ef	۹/۰۵fgh
فونلیفورمیس موسه آ + رایزوفگوس اینترادیسز	بدون هورمون	۱/۱۸ab	۵۹/۳۹b	۱۹/۶۹a	۱۲/۹۳a
	نفتالین استیک اسید	۰/۸۵g	۶۷/۲۳a	۱۵/۵۸d	۹/۱۲f-h
	ایندول استیک اسید	۰/۹۸d	۴۹/۸۲c	۱۴/۵۳ef	۸/۰۹ij
	جیبرلیک اسید	۰/۷۴h	۴۶/۴۴cd	۱۴/۷۹d-f	۸/۵۵hi

حروف مشابه هر ستون نشانگر عدم تفاوت در سطح ۵ درصد است.

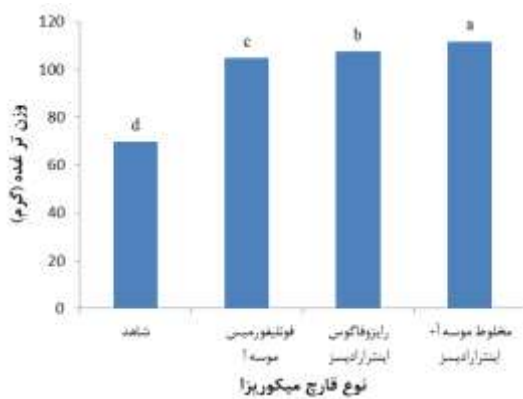
وزن تر غده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریزا و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر غده گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). کاربرد هورمون‌های رشد سبب افزایش وزن تر غده گیاه سیب‌زمینی شد به‌طوری‌که بیش‌ترین تأثیر را هورمون جیبرلیک اسید بر وزن تر بوته گیاه سیب‌زمینی داشت که افزایش ۱۱/۴۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد (بدون هورمون) داشت (شکل ۹). Anjum and Villiers (1997) پس از بررسی تأثیر سه تیمار هورمونی بر تعداد و میانگین وزن ریزغده چهار ژنوتیپ سیب‌زمینی گزارش کردند استفاده از هورمون‌های BAP و 2,4-D را بر عملکرد ریزغده در مقایسه با شاهد افزایش داد و همچنین نتایج آن‌ها نشان داد ترکیب دو هورمون ذکر شده با همدیگر می‌تواند تأثیر مضاعفی بر اجزای عملکرد ریزغده داشته باشد. علاوه بر این نتایج آن‌ها نشان داد که محیط فاقد هورمون برای القاء و رشد ریزغده مناسب نمی‌باشد به‌طوری‌که کمترین مقدار برای میانگین وزن ریزغده در رقم دزایی از این تیمار به‌دست

آمد. Romanov et al. (2000) پس از بررسی تأثیر هورمون رشد بر وزن و تعداد ریزغده‌های سیب‌زمینی گزارش کردند ایندول استیک اسید موجب افزایش وزن ریزغده‌ها شد. کاربرد تیمار قارچ میکوریزا وزن تر غده گیاه سیب‌زمینی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد که بیش‌ترین مقدار آن متعلق به کاربرد توأم قارچ موسه آ + اینترادیسز بود که وزن تر غده گیاه سیب‌زمینی را ۶۰/۲۷ درصد نسبت به شاهد (تیمار بدون قارچ) افزایش داد (شکل ۱۰). Khaninejad et al. (2015) با بررسی تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر عملکرد دو رقم سیب‌زمینی گزارش کردند گونه‌های رایزوفگوس اینترادیسز و فونلیفورمیس موسه آ به‌ترتیب با ۵۲ و ۵۳ گرم در بوته بیش‌ترین وزن غده را در سیب‌زمینی رقم آگریا تولید کردند.

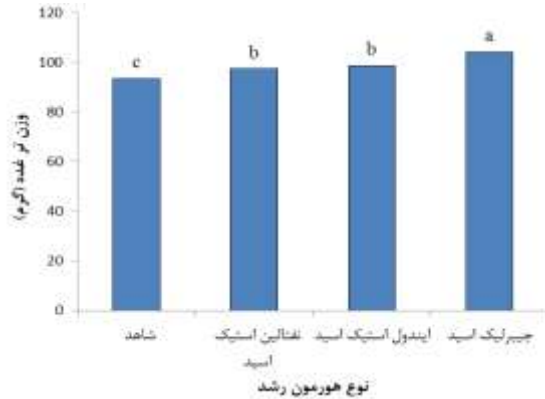
نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل هورمون‌های رشد و قارچ میکوریزا بر وزن تر غده گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا نشان داد که بیش‌ترین وزن تر غده از مخلوط دو قارچ فونلیفورمیس موسه آ + رایزوفگوس اینترادیسز و عدم مصرف هورمون رشد و کم‌ترین میزان آن از تیمار شاهد (تیمار بدون قارچ و هورمون) حاصل بود که به‌ترتیب ۹۸/۸۷ و ۱۷/۱۸ گرم در غده بود (جدول

در کیلوگرم با قارچ میکوریزا آربوسکولار سبب افزایش ۸۵ درصدی عملکرد سیب‌زمینی نسبت به تیمار شاهد شد (Davies *et al.*, 2005). Duffy and Cassells (2000) با مطالعه گونه رایزوفگوس اینترادیسز روی سیب‌زمینی گزارش کردند که تعداد غده‌های ریز تولیدی در اثر تیمار با قارچ اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد (بدون قارچ) نداشت اما وزن متوسط هر غده نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت.



شکل ۱۰- تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر وزن تر غده گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

۵). در مطالعه‌ای به‌منظور افزایش عملکرد سیب‌زمینی از قارچ آربوسکولار میکوریزا (AM) استفاده شد که نتایج نشان داد. عملکرد غده بر اساس وزن تر در سال اول به‌طور قابل‌توجهی در تلقیح با قارچ آربوسکولار (AM) افزایش یافت. نتایج حاکی از آن بود که عملکرد تیمارهای تلقیح شده با قارچ ۱۰ تا ۲۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت (Douds *et al.*, 2007). در تحقیق دیگری تلقیح یک نمونه خاک با غلظت فسفر ۱۱ میلی‌گرم



شکل ۹- تأثیر هورمون‌های رشد بر وزن تر غده گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر گونه‌های قارچ میکوریزا و سطوح هورمون‌های رشد بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییرات
وزن تر غده	قطر غده	دانسیته غده		
۱۱۸۶/۱۹**	۰/۵۷ ^{ns}	۰/۱۲*	۳	بلوک
۱۸۵۹/۲۲**	۲۸/۱۸**	۰/۲۴**	۳	قارچ میکوریزا
۴۲۳/۲۴**	۲/۸۰**	۰/۱۷**	۳	هورمون رشد
۱۱۱۸/۶۸**	۲۵/۶۰**	۰/۱۴**	۱۵	اثر متقابل قارچ میکوریزا هورمون رشد
۱۱/۸۲	۰/۱۲	۰/۰۲	۲۴	خطای آزمایش
۴/۵۶	۵/۰۶	۱۲/۱۴	-	ضریب تغییرات

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

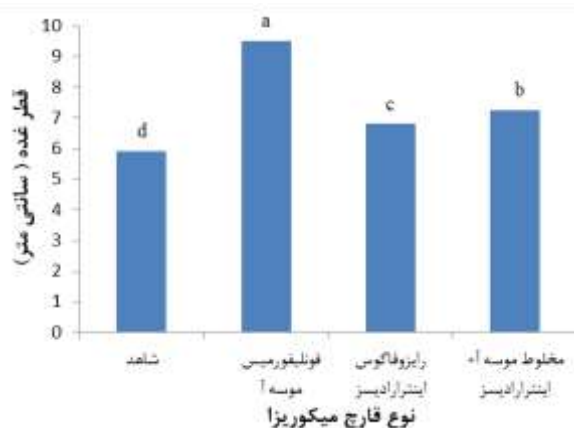
رویشی و افزایش قطر ساقه شد. کاربرد قارچ میکوریزا قطر غده گیاه سیب‌زمینی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد که بیش‌ترین مقدار آن متعلق به کاربرد قارچ فونلیفورمیس موسه ۱ بود که قطر غده گیاه سیب‌زمینی را ۳۷/۸۳ درصد نسبت به شاهد (بدون قارچ) افزایش داد (شکل ۱۲). نتایج محققان دیگر نشان داد با کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار قطر غده و بیوماس غده در گیاه سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. (Niemira *et al.*, 1995; 2007; Davies *et al.*, 2005).

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل هورمون‌های رشد و قارچ میکوریزا بر عملکرد قطر غده سیب‌زمینی رقم آگریا نشان داد که بیش‌ترین قطر غده مربوط به تیمار جیبرلیک اسید و عدم مصرف قارچ میکوریزا و کم‌ترین مقدار آن از تیمار شاهد (بدون

قطر غده

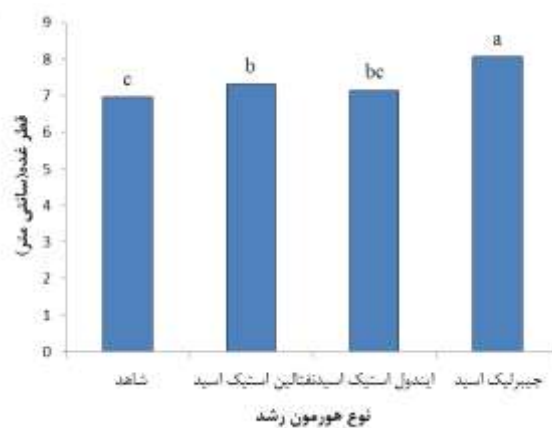
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر قارچ‌های میکوریزا و هورمون‌های رشد و بر اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد قطر غده سیب‌زمینی رقم آگریا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). کاربرد هورمون‌های رشد سبب افزایش قطر غده گیاه سیب‌زمینی نسبت به تیمار شاهد (بدون هورمون) شد. به‌طوری که بیش‌ترین تأثیر را هورمون جیبرلیک اسید بر قطر غده گیاه سیب‌زمینی داشت که افزایش ۱۵/۸۶ درصدی نسبت به شاهد داشت (شکل ۱۱). Christensen *et al.* (2019) گزارش کردند که اسید جیبرلیک با تحت تأثیر قرار دادن فرایندهای سلولی از جمله تحریک تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها سبب افزایش رشد

ریز غده‌های بزرگ‌تری تولید می‌کنند ولی دو رقم هیچ تفاوت معنی‌داری از نظر وزن کل ریزغده‌ها و تعداد غده‌ها نشان ندادند به طوری که وزن ریزغده‌های تازه تولیدشده را از ۱/۹ میلی‌گرم به ۳۹/۲ میلی‌گرم افزایش یافت.



شکل ۱۲- تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر قطر غده گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

هورمون و قارچ) به دست آمد که به ترتیب برابر با ۱۲/۴۶ و ۰/۹۶ سانتی‌متر بودند. Armin *et al.* (2011) پس از بررسی تأثیر تنظیم‌کننده‌های گیاهی در تولید ریزغده‌های دو رقم سیب‌زمینی (آگریا و مارفونا) گزارش کردند رقم آگریا نسبت به رقم مارفونا

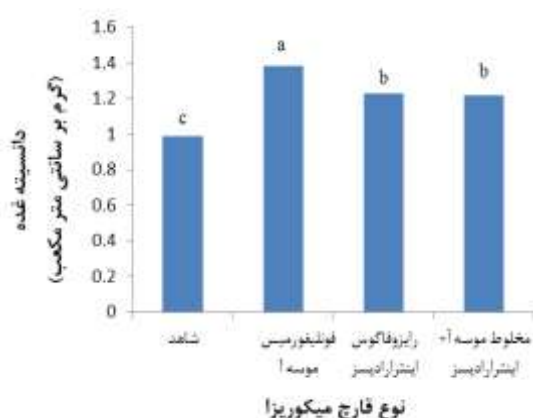


شکل ۱۱- تأثیر هورمون‌های رشد بر قطر غده گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

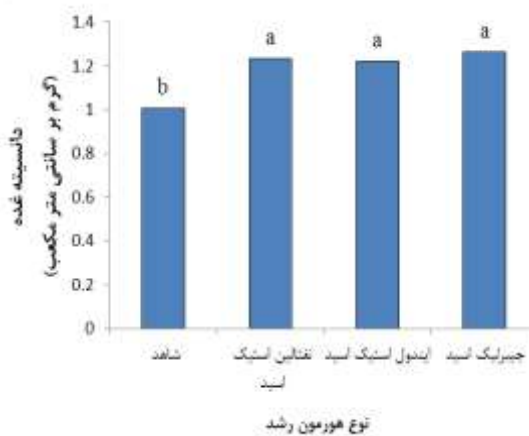
بهترین غلظت برای توسعه کامل بوته و مریستم سیب‌زمینی گزارش کرده‌اند (Badoni and Chauhan, 2009). Lim *et al.* (2004) گزارش کردند که اسید جیبرلیک عملکرد گیاه سیب‌زمینی را به طور معنی‌داری افزایش داد. کاربرد قارچ میکوریزا دانسیته غده گیاه سیب‌زمینی را به طور معنی‌داری افزایش داد که بیش‌ترین مقدار آن متعلق به قارچ فونلیفورمیس موسه A با افزایش ۳۴/۳۴ درصدی نسبت به تیمار شاهد (بدون قارچ) بود (شکل ۱۴). Niemira *et al.* (1995) (۱۴). بر روی سیب‌زمینی گزارش کردند آن‌ها بهبود عملکرد در سیب‌زمینی را تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر تغییرات مثبت هورمونی عنوان کردند.

دانسیته غده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریزا و اثر متقابل آن‌ها بر دانسیته غده گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). کاربرد هورمون‌های رشد سبب افزایش دانسیته غده گیاه سیب‌زمینی شد به طوری که بیش‌ترین تأثیر را هورمون جیبرلیک اسید بر دانسیته غده گیاه سیب‌زمینی داشت که افزایش ۲۵/۵۷ درصدی نسبت به شاهد (بدون هورمون) داشت (شکل ۱۳). برخی محققان غلظت‌های پایین‌تر اکسین (۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر) و جیبرلیک اسید (۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر) را



شکل ۱۴- تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر دانسیته غده گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا



شکل ۱۳- تأثیر هورمون‌های رشد بر دانسیته غده گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

غوزه و عملکرد پنبه داشته است. Azarnia *et al.* (2016) در بررسی اثر تلقیح میکوریزا و پرایمینگ بذر بر برخی خصوصیات کمی و کیفی عدس (*Lens culinaris* L) گزارش کردند، کاربرد کود زیستی سبب افزایش عملکرد دانه عدس شد به طوری که به ترتیب قارچ رایزوفآگوس اینترادیسز و قارچ فونلیفورمیس موسه‌آ نسبت به شاهد سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۳۰/۷۸ و ۲۲/۴ نسبت به تیمار شاهد شدند.

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل هورمون‌های رشد و قارچ میکوریزا بر دانسیته گیاه سیب‌زمینی نشان داد که بیش‌ترین حجم غده از کاربرد هم‌زمان قارچ فونلیفورمیس موسه‌آ همراه با هورمون جیبرلیک اسید و کم‌ترین مقدار آن از تیمار شاهد حاصل شد که به ترتیب برابر با ۱/۵۰ و ۰/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بودند (جدول ۵). Abro *et al.* (2004) گزارش کردند که اسید نفتالین استیک اثر قابل توجهی بر ارتفاع بوته، تعداد انشعاب، حجم

جدول ۵ - مقایسه میانگین‌های تأثیر گونه‌های قارچ میکوریزا و سطوح هورمون‌های رشد بر برخی ویژگی‌های غده گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا

نوع قارچ میکوریزا	نوع هورمون رشد	وزن تر غده (گرم)	قطر غده (سانتی‌متر)	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
بدون قارچ میکوریزا	بدون هورمون	۱۸/۱۷z	۰/۹۰z	۰/۵۴f
	نفتالین استیک اسید	۶۵/۵۹gh	۴/۵۵i	۱/۳۸abc
	ایندول استیک اسید	۵۵/۶۲i	۵/۷۳h	۱/۰۷ed
گلواموس موسه‌آ	جیبرلیک اسید	۹۸/۱۵a	۱۲/۴۶a	۱/۰۶ed
	بدون هورمون	۸۹/۸۵b	۹/۸۹c	۱/۱۰cde
	نفتالین استیک اسید	۸۰/۲۷cd	۱۰c	۱/۳۹abc
رایزوفآگوس اینترادیسز	ایندول استیک اسید	۹۴/۶۲ab	۱۱/۵۲b	۱/۴۴fab
	جیبرلیک اسید	۸۹/۹۹b	۶/۶۳g	۱/۵۰a
	بدون هورمون	۷۲efg	۸/۱۵e	۱/۲۰a-e
فونلیفورمیس موسه‌آ + رایزوفآگوس اینترادیسز	نفتالین استیک اسید	۸۰/۱۹cd	۷/۵۱f	۱/۱۳cde
	ایندول استیک اسید	۷۶/۴۲cde	۶/۷۳g	۱/۲۳a-e
	جیبرلیک اسید	۶۳/۹۹h	۴/۸۲i	۱/۱۹b-e
فونلیفورمیس موسه‌آ + رایزوفآگوس اینترادیسز	بدون هورمون	۹۸/۸۷a	۸/۸۹d	۱/۱۸b-e
	نفتالین استیک اسید	۷۵/۴۷def	۷/۱۸fg	۱/۰۳ed
	ایندول استیک اسید	۶۳/۶۴h	۴/۵۹i	۱/۲۴a-e
جیبرلیک اسید	۸۲/۴۵c	۸/۳۳de	۱/۳۱a-d	

حروف مشابه هر ستون نشانگر عدم تفاوت در سطح ۵ درصد می‌باشد.

رایزوفآگوس اینترادیسز بر افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی داشت. در این مطالعه استفاده از قارچ تأثیر بیش‌تری نسبت به هورمون در افزایش تولید سیب‌زمینی داشت ولی استفاده از هورمون کارآیی قارچ را افزایش داد و تیمارهای هم‌زمان هورمون و قارچ دارای بیش‌ترین عملکرد بودند. از بین هورمون‌های رشد گیاه نیز هورمون جیبرلیک اسید با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر (دو بار با فاصله زمانی هفت روز) تأثیر بیشتری بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی پرمصرف غده نسبت به دو هورمون دیگر داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که اثر هورمون‌های رشد و قارچ‌های میکوریزا اثر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل، وزن تر بوته، قطر غده، درصد ماده خشک بوته، قطر ساقه، دانسیته غده و وزن تر غده گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا داشت. به طوری که استفاده از هورمون رشد و قارچ میکوریزا تولید غده را به میزان زیادی افزایش داد. از بین تیمارهای قارچی، مخلوط دو قارچ بیش‌ترین تأثیر را نسبت به کاربرد تکی هر یک از قارچ‌های میکوریزا فونلیفورمیس موسه‌آ و

REFERENCES

- Abbott, L. K., and Murphy, D. V. (Eds.). 2003. Soil biological fertility: a key to sustainable land use in agriculture. Springer Science and Business Media.
- Abro, G. H., Syed, T. S., Unar, M. A., and Zhang, M. S. 2004. Effect of a plant growth regulator and micronutrients on insect pest infestation and yield components of cotton. *J Entomol.* 1(1): 12-16.
- Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P. & Jabbari, F. 2006. Introduction to plant physiology. University of Tehran. 1: 653. (In Persian with English Summary)
- Anjum M.K. and Villiers T.A. 1997. Induction of microtubers in vitro from stem segments of *Solanum tuberosum* L., *S. commersonii* Dun. and *S. acaule* Bitt. *Scientia Horticulture*, 70:231-235.
- Armin, M. J. M. M., Asgharipour, M. R., and Yazdi, S. K. 2011. Effects of different plant growth regulators and potting mixes on micro-

- propagation and mini-tuberization of potato plantlets. *Advances in Environmental Biology*. 5(4): 631-638.
- Ashraf, M. Y., Azhar, N., and Hussain, M. 2006. Indole acetic acid (IAA) induced changes in growth, relative water contents and gas exchange attributes of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under water stress conditions. *Plant growth regulation*. 50:1-85.
- Azarnia, M., & Eisvand, H. R. 2014. Effects of hydro and hormonal priming on yield and yield components of chickpea in irrigated and rain-fed conditions. 1-8.
- Azarnia, M., Biabani, A., Eisvand, H. R., Gholamalipour Alamdari, E., and Safikhani, S. 2016. Effect of Seed Priming with Gibberellic Acid and Salicylic Acid on Germination Characteristic and Seed and Seedlings Physiological Quality of Lentil (*Lens culinaris*). *Iranian Journal of Seed Research*, 3(1), 59-73. (In Persian with English Summary).
- Bachem, C., van der Hoeven, R., Lucker, J., Oomen, R., Casarini, E., Jacobsen, E., and Visser, R. 2000. Functional genomic analysis of potato tuber life-cycle. *Potato Research*. (43)4: 297-312.
- Badoni, A., and Chauhan, J. S. 2009. Effect of growth regulators on meristem-tip development and in vitro multiplication of potato cultivar 'Kufri Himalini'. *Nature and Science*, (7)9: 31-34.
- Biradar, G. S. 2008. Effect of plant growth regulators on physiology and quality in bitter melon (*Momordica charantia* L.) (Doctoral dissertation, UAS, Dharwad)..
- Birch, P. R., Bryan, G., Fenton, B., Gilroy, E. M., Hein, I., Jones, J. T., and Toth, I. K. 2012. Crops that feed the world 8: Potato: are the trends of increased global production sustainable?. *Food Security*. (4)4: 477-508.
- Bisht, R., Chaturvedi, S., Srivastava, R., Sharma, A. K., & Johri, B. N. 2009. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi, *Pseudomonas fluorescens* and *Rhizobium leguminosarum* on the growth and nutrient status of *Dalbergia sissoo* Roxb. *Tropical Ecology*. (50)2: 231.
- Bouyoucos, C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soil. *Agron. J.* 54: 466-465.
- Brault, M. and Maldiney, R. 1999. Mechanisms of cytokinin action. *Plant Physiology and Biochemistry*, 37(5), 403-412.
- Bremner, J. M., and Mulvaney, C. S. 1982. Nitrogen-total. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methods of soil analysis 2)*. 595-624.
- Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 2008. *Soil Sampling and Methods Analysis*. 2nd Edition. Canadian Society of Soil Science Publisher. 823.
- Christensen, C. T., Zotarelli, L., Haynes, K. G., & Kelly, C. E. (2019). Comparative Evaluation of the Effects of Gibberellic Acid Concentrations on Dormancy Break in Tubers of *Solanum chacoense*. *HortTechnology*, 1 (aop), 1-6.
- Clark, R. B., & Zeto, S. K. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of Plant Nutrition*. (23)7: 867-902.
- Cozzolino, V., Di Meo, V., & Piccolo, A. (2013). Impact of arbuscular mycorrhizal fungi applications on maize production and soil phosphorus availability. *Journal of Geochemical Exploration*, 129, 40-44.
- Davies, F. T., Calderón, C. M., and Huaman, Z. 2005. Influence of Arbuscular Mycorrhizae Indigenous to Peru and a Flavonoid on Growth, Yield, and Leaf Elemental Concentration of Yungay Potatoes. *HortScience*. (40)2: 381-385.
- Dodd, J. C. 2000. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro-and natural ecosystems. *Outlook on Agriculture*. (29)1: 55-62.
- Doss, A., Anand, S. P., and Keerthiga, M. 2013. Effect of foliar application of di-ammonium phosphate (DAP), potash, K., and naphthalene acetic acid (NAA) on growth, yield and some biochemical constituents of *Vigna mungo* (L.) Hepper. *Wudpecker J. Agril. Res.* (2)7: 206-208.
- Douds Jr, D. D., Nagahashi, G., Reider, C., and Hepperly, P. R. 2007. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. *Biological agriculture & horticulture*. 25(1): 67-78.
- Duffy, E. M., and Cassells, A. C. 2000. The effect of inoculation of potato (*Solanum tuberosum* L.) microplants with arbuscular mycorrhizal fungi on tuber yield and tuber size distribution. *Applied Soil Ecology*. (15)2: 137-144.
- Esmaelpour, b. and Amani, n. 2014. Effect of inoculation with mycorrhizal fungi on growth and absorption of lettuce nutritional elements. *Soil Management and Sustainable Production*, 4(2), 49-68. (In Persian with English Summary).
- Ghaffoor, A., Shah, G. B., and Waseem, K. 2003. In vitro response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to various growth regulators. *Biotechnology*. (2)3: 191-197.
- Hamzei, J., Sadeghi Mayan Abadi, F. 2014. Effect of irrigation rounds and arbuscular mycorrhizal fungi on chlorophyll index, yield and yield components of grain sorghum. *Journal of Production and Processing of Crop and Garden*. 14(12): 211-220. (In Persian).
- Harris, P. M. (Ed.). 2012. *The potato crop: the scientific basis for improvement*. Springer Science and Business Media.
- Helmke P.H., and Spark D.L. 1996. Potassium, P 551-574. In: D.L. Sparks and A.L. Page (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
- Hoque, M. E. 2010. In vitro regeneration potentiality of potato under different hormonal combination. *World J. Agric. Sci.* 6: 660-663.
- Huang, H., Zhang, S., Wu, N., Luo, L., and Christie, P. 2009. Influence of *Glomus etunicatum*/*Zea mays* mycorrhiza on atrazine degradation, soil phosphatase and dehydrogenase activities, and soil

- microbial community structure. *Soil Biology and Biochemistry*. (41)4:726-734.
- Kamara, A.Y., Ekeleme, F., Chikoye, D. and Omoigui, L.O. 2009. Planting date and cultivar effects on grain yield in dry land corn production. *Agronomy Journal*. 101: 91-98.
- Keshavarza, M.S., Jafari Haghighi, B. and Bagheri, A.R. 2013. Evaluation of the effect of hormone auxin and gibberellin on quantitative and qualitative characteristics of corn fodder. *Journal of Plant Ecophysiology*. 15 (5): 26-35. (In Persian with English Summary).
- Khalvati, M. A., Hu, Y., Mozafar, A., and Schmidhalter, U. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology*. (7)06: 706-712.
- Khaninejad, S., Khazaee, H. R., Nabati, J. and Cafi, M. 2015. Effect of Different Species of Mycorrhizal Fungus on Two Potato Cultivars in Controlled Conditions. *Journal of Horticultural Science (Agricultural Sciences and Technology)*. 28(4): 517-523. (In Persian).
- Lebron, I., Suarez, D. L., and Yoshida, T. 2002. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *Soil Science Society of America Journal*. 66:92-98.
- Lim, H. T., Yoon, C. S., Choi, S. P., & Dhital, S. P. (2004). Application of gibberellic acid and paclobutrazol for efficient production of potato (*Solanum tuberosum* L.) minitubers and their dormancy breaking under soilless culture system. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 45(4), 189-193.
- Ludwig-Muller, J. (2000). Hormonal balance in plants during colonization by mycorrhizal fungi. In *Arbuscular mycorrhizas: physiology and function* (pp. 263-285). Springer, Dordrecht.
- Niemira, B., Safir, G. R., Hammerschmidt, R., and Bird, G. W. 1995. Production of pre-nuclear minitubers of potato with peat-based arbuscular mycorrhizal fungal inoculum. *Agronomy journal*. 87(5): 942-946.
- Norris, J. R., Read, D. J., and Varma, A. K. 1992. *Methods in Microbiology*, vol. 24. Techniques for the Study of Mycorrhiza.
- Obata-Sasamoto, H. and Suzuki, H. 1979. Activities of enzymes relating to starch synthesis and endogenous levels of growth regulators in potato stolon tips during tuberization. *Physiologia plantarum*. 45(3): 320-324.
- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus, P 539-579. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical microbiological properties. American Society of Agronomy. Inc. Soil Science of America. Inc. Madison. Wisconsin. USA.
- Prakash, A.H., Gopalakrishnan, N. and Khade, S.E.S.A. 2007. Hormonal manipulation to increase cotton productivity. *Central Institute for Cotton Research, Regional Station, Coimbatore*. Pp: 201-206.
- Romanov, G. A., Aksenova, N. P., Konstantinova, T. N., Golyanovskaya, S. A., Kossmann, J., and Willmitzer, L. 2000. Effect of indole-3-acetic acid and kinetin on tuberisation parameters of different cultivars and transgenic lines of potato in vitro. *Plant Growth Regulation*. (32)2: 245-251.
- Sawan, Z. M., Sakr, R. A. and Momtaz, O. A. 1998. Effect of 1-naphthaleneacetic acid concentrations and the number of applications on the yield components, yield, and fibre properties of Egyptian cotton (*Gossypium barbadense* L.). *Australian journal of agricultural research*. (49)6: 955-960.
- Senthil, A., Pathmanaban, G., and Srinivasan, P. S. 2003. Effect of bioregulators on some physiological and biochemical parameters of soybean (*Glycinemax* L.). *Legume Research-An International Journal*. 26(1): 54-56.
- Shahriyar, S., Akram, S., Khan, K., Miya, M. F., & Sarkar, M. A. R. (2015). In vitro plant regeneration of potato (*Solanum tuberosum* L.) at the rate of different hormonal concentration. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 1(2), 297-303.
- Sharma, N., Kaur, N., and Gupta, A. K. 1998. Effects of gibberellic acid and chlorocholine chloride on tuberisation and growth of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. (78)4: 466-470.
- Singh, D. 1993. Adaptive significance of female physical attractiveness: role of waist-to-hip ratio. *Journal of personality and social psychology*. (65)2: 293.
- Statistics. 2017. *Statistics of the Ministry of Jihad of Agriculture*. First volume. Agricultural and horticultural products. 2016-2017.
- Tang, M., Chen, H., Huang, J. C., and Tian, Z. Q. 2009. AM fungi effects on the growth and physiology of Zea mays seedlings under diesel stress. *Soil Biology and Biochemistry*. (41)5: 936-940.
- Varma, A., Verma, S., Sahay, N., Bütchorn, B., & Franken, P. 1999. Piriformospora indica, a cultivable plant-growth-promoting root endophyte. *Applied and Environmental Microbiology*. (65)6: 2741-2744.
- Vreugdenhil, D., and Struik, P. C. 1989. An integrated view of the hormonal regulation of tuber formation in potato (*Solanum tuberosum*). *Physiologia Plantarum*. (75)4: 525-531.
- Wayman, C. M. 1980. Some applications of shape-memory alloys. *JOM*. (32)6: 129-137.
- Wu, Q. S., and Xia, R. X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of plant physiology*. 163: 417-425.
- Yano-Melo, A. M., Saggin, O. J. and Maia, L. C. 2003. Tolerance of mycorrhizal banana (*Musa* sp. cv. Pacovan) plantlets to saline stress. *Agric Ecosyst Environ*. 95: 343-348