نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 3، پاییز 1394، ص. 485-474
شاپا: 4730 - 2008

Journal of Horticultural Science
Vol. 29, No. 3, Fall 2015, P. 474-485
ISSN: 2008 - 4730

# بررسی کود زیستی مایکوگرین بر روابط آبی و راندمان تولید ریز غده سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی

خسرو پرویزی[1*] - مارگارت چان[2]

تاریخ دریافت: 1393/09/24
تاریخ پذیرش: 1394/04/03

## چکیده

به منظور بررسی کود زیستی مایکوگرین بر رشد، عملکرد و کیفیت ریزغده سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی پژوهشی به صورت فاکتوریل درقالب طرح کاملاً تصادفی و در چهار تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. بدین منظور بستر کشت به نسبت 2:3 (پیت: پرلیت) تهیه و با نسبت وزنی 1 درصد با کود زیستی مایکوگرین مخلوط شد. تیمارهای آزمایشی شامل ریزغده‌های دو رقم سیب‌زمینی (آگریا و مارفونا) و سطوح آبیاری با سه دور 5، 8 و 11 روزه بودند. پس از برداشت، ریزغده‌ها به اندازه‌های مختلف تفکیک شده و درصد ماده خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در تیمار شاهد ( دور آبیاری 5 روزه) گیاهان حاصل از ریزغده به طور معنی‌دار از مقدار نسبی آب برگ بیشتری نسبت به گیاهان در دو تیمار دیگر برخوردار بودند. اما گیاهان در دو دور آبیاری 8 و 11 روزه در مقایسه با شاهد پتانسیل اسمزی پایین‌تر و پرولین بیشتری داشتند و توانایی تنظیم اسمزی گیاهان با افزایش دور آبیاری با مصرف کود زیستی افزایش پیدا کرد. تفاوت معنی‌داری در میزان تولید ریزغده با اندازه متوسط و ریز در سه دور آبیاری مشاهده نشد. با این حال در تولید ریز غده درشت تفاوت تیمارهای آبیاری معنی‌دار بود. در دو دور آبیاری 5 و 8 روزه در مقایسه با تیمار 11 روزه به طور متوسط 62 درصد غده درشت‌تری تولید شد. در درصد ماده خشک ریز غده تولیدی سه سطح آبیاری وضعیتی مشابه داشتند. دو رقم سیب زمینی در مجموع واکنشی متفاوت در تولید ماده خشک ریزغده داشتند. در مجموع با نتایج این پژوهش مشخص شد که استفاده از کود زیستی مایکوگرین در کشت ریزغده سیب‌زمینی در شرایط معمول آبیاری و حتی با اعمال تنش ملایم (افزایش طول دوره آبیاری به 3 روز)، سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی تولید ریزغده در گیاهچه‌ها می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** تنظیم اسمزی، عملکرد ریزغده، کم آبی، کود آلی

## مقدمه

کیفیت خاک نه تنها به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن وابسته است بلکه ارتباط بسیار نزدیکی با خصوصیات بیولوژیکی آن نیز دارد (14). یک سیستم ریشه ای فعال، ترکیبات آلی را بطور منظم به محیط ریشه گیاه آزاد می کند. این ترکیبات سبب رشد و افزایش جامعه میکروبی خاک شده که بدنبال آن تنوع کارکردی را تحت تاثیر قرار می دهد (21). در حال حاضر کودهای بیولوژیک به عنوان گزینه‌ای جایگزین برای کودهای شیمیایی، به منظور افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات در کشاورزی پایدار مطرح شده‌اند. کودهای بیولوژیک حاوی باکتری‌های محرک رشد[3] از جنس‌های Pseudomonas و همچنین Bacillus از طریق ساز و کارهای مختلفی از جمله تولید سیدروفورها، سنتز آنتی بیوتیک‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می کنند، سبب تحریک رشد و افزایش قدرت گیاه می‌شوند (34).

قارچ‌های مایکوریز یکی از انواع کودهای زیستی بوده که از طریق رابطه همزیستی با ریشه گیاهان موجب افزایش کارآیی جذب عناصر غذایی پرمصرف و حتی کم مصرف توسط گیاهان می‌شوند. همچنین از طریق افزایش جذب آب، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده (عوامل بیماریزا) و غیر زنده ( خشکی، شوری و...) سبب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های

1- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
(* - نویسنده مسئول: Email: kparvizi@yahoo.com )
2- دانشیار مرکز تحقیقات و توسعه منابع طبیعی، بخش بیوتکنولوژی، دانشگاه ایالتی ساراواک، مالزی.

3 -Plant growth promoting Rhizibacteria (PGPR).

کشاورزی پایدار می‌شوند (15، 29 و 32). گزارش‌های مختلف حکایت از این می‌نماید، که چنانچه باکتریهای حل کننده فسفر در کودهای بیولوژیک و در تلقیح با قارچ میکوریز مورد استفاده قرار گیرند، به دلیل حلالیت فسفر از منابع آلی و معدنی غیر قابل دسترس و انتقال آن به ریزوسفر ریشه سبب تحریک رشد و نمو گیاهی می شوند. این امر به نوبه خود سبب استقرار بهتر میکوریز در محیط ریشه می‌شود (36). از گروه دیگر باکتری‌ها در محیط ریشه می‌توان به باکتری‌های تحریک کننده رشد که به نام باکتری‌های کمک‌کننده به استقرار میکوریز[1] نیز نامیده می‌شوند و نژادهای مختلف پنی‌باسیلوس را شامل می شود، اشاره کرد. این باکتری‌ها با سنتز آنزیم های فسفاتاز، استراز، تری‌هالاز و نیز تولید هورمون‌های محرک رشد با مکانسیم‌های مختلف اثر تحریکی بر توسعه و استقرار میکوریز دارند (25، 31، 37 و 39). به موازات نقش میکوریز در جذب عناصر غذایی، ریسه‌های میکوریز امکان دسترسی بهتر گیاه به آب را با واکنش‌هایی از قبیل تنظیم حرکت روزنه‌ای، افزایش هدایت هیدرولیکی آب، تنظیم اسمزی و کمک به پایداری پتانسیل آب سلولی میسر می سازند (5 و 12). در مطالعات دیگر اثرات قابل توجه میکوریز در تحمل به خشکی به نقش آن در افزایش جذب فسفر، تحریک سنتز سیتوکینین و افزایش راندمان فتوسنتز نسبت داده شده است (16). گیاهان میکوریزی قادرند با پتانسیل آب کمتر در خاک جذب بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی داشته باشند (32). همچنین سرعت تعرق در واحد سطح برگ در آنها نسبت به گیاهان غیر میکوریزی پایین تر است (4). توبار و همکاران (35) و سانچز بلانکو و همکاران (30) نشان دادند که گیاهان میکوریزی، سطح بالایی از هدایت روزنه‌ای نسبت به گیاهان غیر میکوریزی داشتند. سابرامانیان و همکاران (33) نشان دادند که گوجه فرنگی میکوریزی شده با گونه *Rosmarinus officinalis* تحت تنش خشکی در مقایسه با شاهد از مقدار نسبی آب برگ بالاتری هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط آبیاری کامل برخوردار بود.

استفاده از غده‌چه‌ها و ریزغده‌چه‌های بذری سالم و عاری از بیماری در سیب زمینی از طریق کشت بافت با هدف کاهش انتقال عوامل بیماریزا به نسل بعد و تهیه بذور سالم، سرعت و قدرت رشد بیشتر ، یکنواختی رشد در گیاهان حاصله و نهایتاً دستیابی به عملکرد بالا انجام می‌گیرد (9). ریز ازدیادی در سیب‌زمینی با هدف بالا بردن ضریب تکثیر و بر مبنای تولید ریزغده، علاوه بر تولید هسته اولیه بذر سالم، امکان ذخیرهٔ ژرم پلاسم جدید و انتقال آسان مواد گیاهی را میسر می سازد. در بررسی تأثیر دو ایزوله تجاری مخلوط از قارچ مایکوریز با نام‌های Vaminoc و Endorize ونیز جدایه خالص شده از قارچ آربوسکولار مایکوریز گونه *Glomus intraradices* بر میزان تولید غده و توزیع آن در اندازه های مختلف مشخص شد که گیاهچه های تلقیح شده با مخلوط دو ایزوله تجاری عملکرد غده بیشتری نسبت به بکارگیری *G. intraradices* به صورت خالص داشتند (13). هم‌چنین در آزمایشی دیگر نتیجه گرفتند که ایزوله تجاری از قارچ مایکوریز گونه *G. intraradices* به صورتی معنی دار تولید ریزغده را در گیاهچه های حاصل از کشت بافت در رقم آتلانتیک سیب زمینی را افزایش می دهد (23).

تکثیر ریزغده‌ها معمولا از نظر رشد و استقرار اولیه بطئی و کند است. کاهش قدرت رشد اولیه به ویژه اگر با تنش همراه باشد علاوه بر ایجاد حساسیت به آلودگی‌های قارچی و باکتریایی، منجر به کاهش چشمگیری در عملکرد نهایی در گیاهچه‌های حاصله می‌گردد.

به منظور مطالعه تأثیر کود بیولوژیکی (زادمایه میکوریز و باکتری‌های محرک رشد) بر میزان قدرت رشد گیاهان حاصل از ریزغده، روابط آبی سیب‌زمینی و نیز عملکرد نهایی تولید ریزغده در شرایط تنش در سه دور آبیاری این آزمایش به اجرا درآمد.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر کاربرد کود زیستی مایکوگرین[2] (جدول 1) بر مقدار آب نسبی، پتانسل اسمزی، میزان پرولین برگ و همچنین عملکرد کمی و کیفی گیاهچه‌های حاصل از کشت ریزغده سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی انجام شد. کود زیستی مایکوگرین توسط شرکت پیت گرو در مالزی تولید شده و به عنوان کود بیولوژیک استفاده گسترده‌ای در گلکاری‌ها، نهالستان‌های تولید نخل روغنی، گیاهان خزانه‌ای و نشایی دارد. تولید این کود دارای مجوز رسمی از وزارت کشاورزی مالزی می‌باشد و به عنوان یک کود بیولوژیک که با قارچ میکوریز و باکتریهای محرک رشد همراه می باشد، در مالزی مورد توجه فراوان می‌باشد. محل اجرای پژوهش گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ایالتی ساراواک[3] در کشور مالزی بود. ابتدا بستر کشت از پیت و پرلیت با نسبت 1:3 (پیت: پرلیت) تهیه و با کود زیستی مایکوگرین به نسبت 1 درصد وزنی کاملا مخلوط گردید. مخلوط خاکی و کود به جعبه‌های کشت (با ابعاد 60 ×40 سانتی‌متر) منتقل گردیده و به مقدار 10 کیلوگرم در هر جعبه کشت توزیع گردید. کاشت ریزغده‌ها از دو رقم آگریا و مارفونا با فاصله 6 x 8 سانتی‌متر در هر جعبه کشت انجام شد. تعداد 16 عدد ریزغده جوانه¬دار در هر جعبه کاشت 80 گیاهچه در متر مربع و در عمق 7 سانتی‌متری صورت گرفت. طرح آزمایشی مورد استفاده آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح پایه کاملاً تصادفی بود. فاکتورهای آزمایش سه دور آبیاری 5 روزه (دور معمول درگلخانه)، 9 و 11 روزه (به عنوان تنش) و دو نوع رقم (سانته و آگریا)

1 - Mycorrhizal helper bacteria

2 -Myco-green

3 -University of International Technology Mara Sarawak (UITM)

مد نظر قرار گرفتند. هر تیمار آزمایشی در چهار تکرار اجرا شد. شروع تیمارهای آبیاری (5، 8 و 11 روزه) همزمان با خروج جوانه‌ها و تکمیل جوانه‌زنی صورت گرفت. درست قبل از هر آبیاری مقدار کاهش وزن جعبه‌های کشت اندازه‌گیری و به همان میزان آب تا رسیدن به ظرفیت مزرعه‌ای به هر جعبه کشت اضافه شد. جهت تأمین عناصر غذایی ریزمغذی که کود مایکوگرین فاقد آنها بود، کود میکرو کامل با نام تجاری فرتایل گرو[1] با نسبت وزنی 0/1 درصد وزنی به مخلوط خاکی اضافه و به صورت کامل با محیط کشت مخلوط گردید. در دو ماه اول کاشت و قبل از غده زایی طول روز با 16 ساعت تنظیم شد و دوره نوری بیشتر با روشن نمودن لامپ‌های سدیمی فشار بالا به صورت خودکار با زمان سنج مرکزی تأمین شد. در دو ماه آخر دورهٔ رشد، طول روز معمولی 12 ساعته و کمتر برقرار شد. در روزهای ابری و بارانی با روشن کردن لامپ‌های سدیمی فشار بالا (با توزیع 2 عدد لامپ 250 واتی در هر 10 متر مربع از سطح گلخانه) و تأمین شدت نوری معادل 5000 لوکس به ازاء هر لامپ، کمبود نور در گلخانه جبران شد. پتانسیل اسمزی برگ در سه نوبت با شروع غده‌زایی، و دو نوبت پس از آن با فواصل دو هفته‌ای اندازه‌گیری شد. بدین منظور قسمتی از برگ همسن در تمام واحدهای آزمایشی، قبل از آبیاری جدا شده و به سرعت در میکروتیوب 1 میلی لیتری قرار داده و فوراً در نیتروژن مایع منجمد گردید. در زمان اندازه‌گیری، بعد از ذوب نمونه‌ها و تخریب یاخته‌ها در مدت کوتاه در دمای اتاق، عصاره یاخته‌ای با سانتریفوژ در دمای 4 درجه سانتی‌گراد با دور 4200 دور در دقیقه و به مدت 10 دقیقه استخراج گردید. بی‌درنگ پتانسیل اسمزی عصاره به وسیله دستگاه اسمومتر[2] اندازه‌گیری شد (11). برای تعیین مقدارنسبی آب برگ (RWC)[3] همانند پتانسیل اسمزی در سه نوبت در زمان‌های یاد شده، سه دیسک برگی به قطر 7 میلی‌متر توزین (وزن تر) و سپس به مدت 4 ساعت در آب مقطر با دمای حدود 5 درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور و در محل تاریک نگهداری گردید. بعد از خشک کردن سطحی به وسیله کاغذ خشک کن، نمونه‌ها دوباره توزین (وزن تورم کامل) و سپس وزن خشک آن‌ها در دمای 72 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت تعیین گردید و به وسیله معادله ( 1) محاسبه شد.

$$RWC= ((Fw-Dw)/(Tw-Dw))\times 100 \quad (1)$$

Tw، Fw و Dw به ترتیب وزن تورم کامل، وزن تر و وزن خشک نمونه‌ها را نشان می‌دهند (19).

برای برآورد توان تنظیم اسمزی از مقادیر مقدار نسبی آب و پتانسیل اسمزی برگ اندازه‌گیری شده، استفاده شد. مقدار نسبی آب و پتانسیل اسمزی متغیر وابسته به هم بوده و معادله رگرسیونی بین آن ها به صورت زیر است.

$$\ln RWC= a - b \ln\psi s \quad (2)$$

عکس شیب معادله 2 به عنوان برآوردی از توان تنظیم اسمزی گیاه بکار رفته است (18 و 20).

پرولین با استفاده از روش ایریگوئن و همکاران (17) استخراج و با استفاده از منحنی حاصل از استانداردهایی از پرولین (صفر تا 0/1 میکرومول بر لیتر) در طول موج 515 نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازگیری شد.

برای اطمینان از کلونیزه شدن زادمایه قارچ میکوریز موجود در کود مایکوگرین با ریشه در گیاهچه‌ها، هشت هفته پس از کاشت ریزغده‌ها، در هر واحد آزمایشی یک گیاهچه به صورت تصادفی برداشت شده و کلونیزاسیون ریشه مورد اندازه گیری قرار گرفت. برای تعیین شدت کلونیزاسیون قارچ در ریشه از روش فیلیپس و هیمن (24) استفاده شد. درصد کلونیزاسیون ریشه ها براساس روش بیرمن و لیندرمن (10) محاسبه شد. در هنگام برداشت، گیاهچه‌ها با دقت از محیط کشت خارج شده و ریزغده‌های تولیدی پس از توزین به چهار کلاس با اندازه‌های متفاوت تفکیک شده (بزگ‌تر از پنج گرم، سه تا پنج گرم، یک تا سه گرم و کوچک‌تر از یک گرم)، تعداد آن‌ها در هر کلاس بذری مشخص شده و بر اساس نسبت به گیاهچه موجود در هر جعبه کاشت متوسط تعداد ریزغده در هر گیاهچه و در هر تکرار برآورد گردید. جهت اندازه‌گیری ماده خشک غده سه نمونه تصادفی از هر تکرار جدا شده و پس از شستشو و خشک نمودن آن‌ها، برش‌هایی به صورت چیپس از آن‌ها تهیه شده و در آون در دمای 85 درجه سانتی‌گراد بمدت 48 ساعت قرار گرفتند. بعد از چند نوبت توزین، و رسیدن به وزن ثابت، درصد ماده خشک آن‌ها از تقسیم وزن نهایی بر وزن اولیه و ضرب عدد حاصل در 100 تعیین شد. در خاتمه محاسبات آماری داده‌های حاصل از طریق نرم‌افزار SAS انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال خطای 5 درصد استفاده گردید.

## نتایج و بحث

نتایج نشان داد که کاربرد کود بیولوژیک مایکوگرین تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال 1 درصد) بر محتوای نسبی آب برگ در گیاهچه‌های سیب‌زمینی دارد. اثر دور آبیاری بر مقدار آب نسبی برگ در سطح 1 درصد معنی‌دار شد. در برهمکنش رقم و دور آبیاری تفاوت معنی‌دار ایجاد نشد (جدول 2). با مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که در دور آبیاری 5 روزه محتوای آب نسبی برگ در مقایسه با دو دور آبیاری 8 و 11 روزه بالاتر بود. اما تفاوت معنی‌دار در محتوای آب نسبی با دور آبیاری 11 روزه ایجاد شد و در هر دو رقم با دور آبیاری 8 روزه تفاوت‌ها در سطح 5 درصد آزمون دانکن معنی‌دار نشد (جدول 4).

1 - Fertile gro

2 -Osmometer (Osmomat 010, Gonotec Gmbh, Berlin, Germany)

3 -Relative Water Content

گزارشات مختلف (5 و 21) بیانگر آن است که در خاکی با پتانسیل آبی برابر، برگ گیاهان میکوریزی از مقدار نسبی آب بیشتری در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی برخوردار هستند. ارتباط بهتر ریشه و خاک باعث افزایش هدایت آبی خاک به سطح ریشه می‌شود و دلایلی وجود دارد که همزیستی گیاهان با قارچ های میکوریز می‌تواند هدایت آبی خاک به ریشه را تغییر دهد. در این آزمایش افزایش قابل توجه در میزان نسبی آب در دور آبیاری 5 و 8 روزه (تنش ملایم) با کاربرد کود بیولوژیک، می‌تواند با قابلیت بالای میکوریز موجود در کود در جهت کلونیزه شدن با گیاهچه‌های سیب زمینی مرتبط باشد. در مقابل کاهش محتوای آب نسبی در دور آبیاری 11 روزه (تنش شدید) بیانگر این موضوع مهم می باشد که هر چند میکوریز با کمک به هدایت هیدرولیکی قادر به افزایش قدرت جذب آب در شرایط کم آبی می‌باشد، اما این توانایی ممکن است نامحدود نبوده و در شرایطی از کم آبیاری که آستانه بحرانی تنش وجود دارد، می‌تواند کاهش پیدا کرده و یا به ظرفیت نهایی برسد. افزایش مقدار نسبی آب برگ در نتیجه تلقیح با میکوریز در گوجه‌فرنگی (33) در شرایط تنش و رژیم های مختلف آبی به اثبات رسیده است. همچنین روئیز لوزانو وآزکن (27) نشان دادند که در کاهوی تلقیح شده با میکوریز میزان آب نسبی برگ بیشتر از گیاهان شاهد بود.

پتانسیل اسمزی هم زمان با مقدار نسبی آب در سه نوبت اندازه گیری شد. روند تغییرات پتانسیل اسمزی در هر سه مرحله یکنواخت بود. با ادغام داده های سه مرحله، مشخص گردید که پتانسیل اسمزی برگ به طور معنی‌دار متأثر از دور آبیاری می باشد. برهمکنش دور آبیاری و نوع رقم تفاوت معنی‌دار نشان نداد. اثر دور آبیاری بر پتانسیل اسمزی برگ معنی‌دار شد (جدول 2). در هر دو رقم با افزایش دور آبیاری از 5 روز به 8 و 11 روز پتانسیل اسمزی افزایش پیدا کرد. در دو دور آبیاری 8 و 11 روزه تفاوت معنی‌دار با دور 5 روزه حاصل شد. اما این دو با همدیگر تفاوت معنی‌دار نداشتند (جدول 4). میکوریزی شدن منجر به کاهش پتانسیل اسمزی برگ در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود. پایین بودن پتانسیل اسمزی در گیاهچه‌های تیمار شده با کود زیستی حاوی میکوریز در تنش ملایم (8 روزه) موقعی که پتانسیل کل برگ ها در زمان تنش آبی بالاست، بیانگر این است که گیاهچه‌های میکوریزی شده در این شرایط قادر به عبور از تنش بوده و با کاستن از اثرات مخرب تنش، قادر به ادامه رشد و فعالیت فتوسنتزی فعال و موثر می باشند. کاهش پتانسیل اسمزی برگ در ورد (رز) تلقیح شده با *G. intraradices* و *G. deserticola* (8) گزارش شده است. استفاده از کود بیولوژیک و در نتیجه ایجاد تلقیح با میکوریز و باکتری محرک رشد در گیاهچه‌های سیب‌زمینی متناسب با دور آبیاری و شدت تنش آبی، تنظیم اسمزی را افزایش داد. این افزایش به صورت معنی‌دار در دور 8 و 11 روزه در مقایسه با دور 5 روزه قابل ملاحظه بود. طی آزمایشی (38) گزارش شد که در

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی کود بیولوژی مایکوگرین (M-Green).

Table 1- Chemical, physical and biological characters of mycogreen biofertilizer.

| جمعیت باکتری محرک رشد growth promoting Rhizibacteria colony (cfu.g$^{-1}$) | زادمایه میکوریز Mycorrhizal inoculom (n.g$^{-1}$) | کلسیم Ca (ppm) | منیزیم MgO (ppm) | پتاسیم $K_2O$ (ppm) | فسفر $P_2O_5$ (ppm) | نیتروژن N (درصد) (%) | C/N | درصد کربن Carbon percentage | PH | درصد رطوبت Moisture percentage |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $2-3\times10^3$ | 80-120 | 2000-7000 | 2000-3000 | 1200-1500 | 1200-1500 | 1-1.5 | 25-35 | 30-40 | 5.5-6.6 | 45-55 |

گیاهان تلقیح شده با میکوریز و باکتریهای محرک رشد غلظت کربوهیدرات‌های محلول و غیر ساختاری و نیز یون‌های پتاسیم و منیزیم بالا رفته و این عوامل به عنوان اسمولیت‌ها می‌توانند نقش مهمی در تنظیم اسمزی بویژه در شرایط تنش در گیاهان داشته باشند. سانچز-بلانکو و همکاران (30) گزارش کردند که همزیستی گیاه رزماری با قارچ *G.deserticola* باعث کاهش پتانسیل اسمزی برگ شده و گیاهان میکوریزی از توانایی تنظیم اسمزی بالاتری نسبت به شاهد برخوردار شدند. در پژوهش اوگ و همکاران (7) همزیستی لوبیا با قارچ میکوریز در شرایط فسفر کم باعث افزایش توانایی تنظیم اسمزی شده است. هم‌چنین در ریحان تلقیح شده با قارچ میکوریز توانایی تنظیم اسمزی در مقایسه با شاهد به صورتی معنی‌دار افزایش پیدا کرده است (6). اثر رقم بر میزان پرولین در گیاهچه‌ها معنی‌دار نشد اما دور آبیاری بر میزان پرولین تاثیر معنی‌دار داشت (جدول 2). عموماً سطح پرولین آزاد در گیاهچه‌ها با دو دور آبیاری 8 و 11 روزه در مقایسه با دور آبیاری 5 روزه بالاتر بود، این افزایش در رقم آگریا معنی‌دار شد اما در رقم مارفونا دو تیمار 5 و 8 روزه تفاوت معنی‌دار نشان ندادند (جدول 4). به نظر می‌رسد تغییرات سطوح پرولین در گیاه تابع پتانسیل اسمزی آب و محلول خاک باشد. در دور آبیاری 5 روزه که هیچ نوع تنشی به گیاه وارد نمی‌شود، سیگنال‌های کمتری در جهت القاء سنتز پرولین در گیاه دریافت می‌شود. بنابراین سطح پرولین کاهش می‌یابد. متناسب با افزایش شدت تنش، سیگنال‌های بیشتری از ریشه به اندام هوایی منتقل شده و این فرآیند منجر به افزایش میزان پرولین شده و در نتیجه گیاهان با تنظیم اسمزی و استفاده از پرولین به عنوان یک اسمولیت خود را در جهت انطباق با تنش و کاهش اثرات مخرب آن همراه و سازگار می‌نمایند. به نظر می‌رسد وجود قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های محرک رشد در ایجاد این سازگاری در شرایط تنش نقش تعیین کننده‌ای دارد. گزارشات ضد و نقیضی در ارتباط با اثرات میکوریز بویژه در شرایط تنش در مقدار پرولین آزاد گیاهان ارائه شده است. روئیز لوزانو و آزکن (27) نشان دادند که در تنش ملایم، کاهوی میکوریزی در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزی از میزان پرولین کمتری برخوردار بود. در حالی که براساس یافته های خلف اله و ابوگالیا (19) در تنش کوتاه مدت کمبود آب، گندم میکوریزی دارای پروتئین آزاد و پرولین بیشتری نسبت به شاهد بدون میکوریز بود. بلند نظر و همکاران (1) نتیجه گرفتند که در پیاز در شرایط عدم تنش و تنش ملایم (دور آبیاری 7 و 9 روزه) در گیاهان شاهد مقدار پرولین بیشتر از گیاهان میکوریزی بود اما با افزایش شدت تنش و در دور آبیاری 11 روزه مقدار پرولین افزایش پیدا کرد و میزان آن در گیاهان میکوریز بسته به گونه میکوریز متفاوت بود. افزایش و کاهش تجمع پرولین در گیاهان میکوریزی به مقاومت بالای این گیاهان به تنش کمبود آب نسبت داده می‌شود. بدین ترتیب که در تنش ملایم کمبود آب، به طور معمول در گیاهان میکوریزی مقدار پرولین با شیب و شدت کمتری افزایش می‌یابد و بیانگر برطرف شدن تنش کمبود آب می‌باشد. در تنش های شدید آب، گیاهان میکوریزی با تجمع پرولین بیشتر، از توانایی تنظیم اسمزی بالاتری برخوردار شده و در برابر تنش کمبود آب نسبت به شاهد مقاوم‌تر می‌شوند (اوگ، 2001 و رویز-لوزانو، 2003). دو رقم مورد مطالعه از نظر شدت کلونیزاسیون تفاوت معنی‌دار نداشتند. در مقابل دور آبیاری بر میزان کلونیزاسیون ریشه تاثیری معنی‌دار در سطح 5 درصد گذاشت (جدول 3). شدت کلونیزاسیون ریشه در دور آبیاری 8 روزه در هر دو رقم بالاتر از دو تیمار 5 و 11 روزه بود. هرچند تفاوت معنی‌داری با دور آبیاری 5 روزه ( بدون تنش) نشان نداد (جدول 5). با این نتایج مشخص می‌شود که در حالت کلی کود بیولوژیک مایکوگرین با ترکیب جمعیت فعال قارچ ذکر شده، قابلیت بالایی در جهت کلونیزاسیون با گیاهچه‌های سیب-زمینی دارد، اگرچه در تیمار با تنش آبی زیاد (دور 11 روزه) ممکن است این قابلیت به صورت نسبی کاهش بیابد. پژوهش پرویزی و همکاران (2) نشان داد که در تلقیح ایزوله‌های خالص شده از دو گونه قارچ میکوریز (*G. etunicatum* و *G. mosseae*) با گیاهچه‌های سیب‌زمینی به ترتیب درصد کلونیزاسیون 36/63 و 55/25 درصد حاصل شد. که در پژوهش اخیر در مقایسه با آن وضعیتی به مراتب بهتر در میزان استقرار و شدت کلونیزاسیون ایجاد شد. نوع رقم و دور آبیاری در تولید ریزغده در هر چهار اندازه ریزغده معنی‌دار شد اما در میزان کل ریزغده تولیدی نوع رقم تفاوت معنی‌دار نداشت. اثر متقابل رقم و دور آبیاری در تمامی اندازه‌های ریزغده معنی‌دار شد اما در میزان کل ریزغده تولیدی این برهمکنش معنی‌دار نشد (جدول 3). در میزان تولید ریزغده در اندازه بزرگتر از 5 گرم و 3 تا 5 گرم، در هر دو رقم در دو دور آبیاری 5 و 8 روزه بیشترین ریزغده حاصل شد. هر چند در مجموع رقم آگریا با تولید ریزغده بیشتر در هر دو اندازه وضعیتی مطلوب‌تر از رقم مارفونا داشت. ریز غده‌های تولید شده با اندازه متوسط، مناسب‌ترین نوع ریزغده جهت کشت در مزرعه می باشند. معمولاً میزان تلفات آنها بسیار پایین بوده و از سرعت رشد بالاتری برخوردار هستند. با بررسی صورت گرفته توسط پرویزی و همکاران (2) هم ثابت شده است که رقم آگریا در مجموع نسبت به مارفونا ضریب تکثیر پایین‌تری دارد. افزایش معنی‌دار تعداد ریزغده بویژه در اندازه متوسط در رقم آگریا نسبت به مارفونا در این پژوهش می‌تواند با تأثیر مستقیم و غیر مستقیم کود زیستی در سرعت آسیمیلاسیون و افزایش راندمان فتوسنتز مرتبط باشد. و به نظر می‌رسد رقم آگریا در پاسخ به کود زیستی واکنش بهتری در مقایسه با رقم مارفونا نشان داده است. در تولید ریزغده متوسط و ریز ( 1 تا 3 گرم و کوچک‌تر از 1 گرم)، در هر دو رقم تفاوت معنی‌داری با سه دور آبیاری ایجاد نشد. اما در رقم مارفونا و در این دو اندازه، ریزغده بیشتری نسبت به رقم آگریا در هر سه دور آبیاری تولید شد (جدول

5). در مجموع در تعداد کل ریزغده تولیدی، در هر دو رقم با دو دور آبیاری 5 و 8 روزه بیشترین تعداد ریزغده در گیاهچه تولید شد و از نظر آماری در سطح 5 درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار با هم نداشتند. اما تفاوت‌ها در هر دو رقم با دور آبیاری 11 روزه معنی‌دار شد (شکل 1). به نظر می‌رسد در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، رابطه همزیستی قارچ و وجود باکتری‌های محرک رشد با افزایش سرعت جذب آب و مواد غذایی، سنتز هورمون‌های گیاهی و افزایش ضریب جذب و بکارگیری مواد فتوسنتزی ضمینه رشد مضاعف را فراهم کرده و گیاهچه‌ها را نه تنها به غلبه بر تنش کمک نموده‌اند، بلکه گیاهچه-ها را با ذخیره‌سازی بهتر در جهت تشکیل ریزغده‌های بیشتر کمک کرده و در نتیجه راندمان تولید ریزغده را افزایش داده‌اند. با اعمال تنش شدیدتر در گیاهچه‌ها (دور آبیاری 11 روزه)، تولید ریزغده و عملکرد نهایی کاهش پیدا کرد. با این وصف می‌توان نتیجه گرفت که هرچند وجود میکوریز و باکتری محرک رشد در افزایش جذب آب و مواد غذایی موثر و کارآمد بوده و سرعت رشد قابل قبول را ایجاد کرده است، اما به نظر می‌رسد اثرات مثبت آن‌ها بیشتر تابع شدت تنش بوده و در تنش بحرانی که در آستانه خسارت به گیاه قرار دارد، ممکن است به حد نهایی ظرفیت همیاری خود برسند. با پژوهش میجاهد و همکاران (22) ثابت شد که با کاربرد کودهای بیولوژیکی حاوی باکتری‌های محرک رشد *Azospirillum*، Azotobacter و *Bacillus megaterium* در کرفس افزایش قابل توجهی در عملکرد و اسانس گیاه ایجاد شده است. در گیاه *Vallisneria spiralis* کاربرد کودهای بیولوژیک حاوی مخلوط باکتریهای *Bacillus sp.* و *pseudomonas sp* در ترکیب با کود آلی کمپوست افزایش وزن خشک گیاه نسبت به تیمارهایی شد که تنها از کود آلی استفاده شده بود. ضمن این‌که جمعیت باکتری‌های حل کننده فسفات و تثبیت کننده نیتروژن در محیط ریشه گیاه در این تیمار افزایش یافت (40 ). وضعیت تغییرات درصد ماده خشک ریزغده در هر سه تیمار آبیاری با کاربرد کود بیولوژیک تفاوت معنی‌دار نشان نداد. در مجموع ماده خشک ریزغده‌ها در هر سه تیمار آبیاری در رقم آگریا بالاتر از رقم مارفونا بود و تفاوتها در سطح 5 درصد آزمون دانکن معنی‌دار شد (شکل 2). اثرات مثبت کودهای بیولوژیک در افزایش ماده خشک و زیست توده گیاهی با پژوهشهای دیگر به اثبات رسیده است (3 و 26).

**جدول 2- نتایج تجزیه واریانس اثرات کاربرد کود بیولوژیک مایکوگرین بر روابط آبی گیاهچه‌های سیب‌زمینی در دوره‌های مختلف آبیاری.**

**Table 2- Variance analysis of the effect of biofertilizer Myco-green on water relation of potato plantlets in different interval irrigation**

| S.O.V<br>منابع تغییرات | DF<br>درجه آزادی | میانگین مربعات Mean of Squares<br>محتوای آب نسبی برگ $RWC_1$ | محتوای آب نسبی برگ $RWC_2$ | محتوای آب نسبی برگ $RWC_3$ | پتانسیل اسمزی $OP_m^3$ | پرولین Proline | تنظیم اسمزی 1/b Osmotic adjustment |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رقم Cultivar | 1 | 4.50 * | 3.38 * | 16.66 ** | 0.0018 ns | 0.41 ns | 0.05 ns |
| دور آبیاری Irrigation interval | 2 | 7.94 ** | 8.66 ** | 6.73 ** | 0.051 * | 0.58 * | 0.39 * |
| رقم×دور آبیاری Cultivar×Irrigation interval | 2 | 0.002 ns | 0.031 ns | 0.39 ns | 0.030 ns | 0.01 ns | 0.04 ns |
| خطا Error | 10 | 15.23 | 9.53 | 18.19 | 0.0018 | 0.48 | 1.62 |
| کل Total | 17 | | | | | | |
| ضریب تغییرات C.V | | 3.90 | 3.52 | 4.73 | 6.63 | 10.03 | 6.32 |

1، 2 و 3 به ترتیب محتوای آب نسبی برگ در شروع غده‌زایی، دو و چهار هفته پس از آن

1, 2 and 3 are relative water content of leaf in tuberization stage, 2 and 4 weeks after tuberization respectively.

**، * به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 1 و 5 درصد و ns بدون اختلاف معنی‌دار

**and* show being significant (α=0.01 and 0.01, respectively). ns means no significant.

**جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثرات کاربرد کود بیولوژیک مایکوگرین بر کلونیزاسیون ریشه و تولید ریزغده از گیاهچه‌های سیب‌زمینی در دوره-های مختلف آبیاری.**

**Table 2- variance analysis of the effect of biofertilizer Myco-green on root colonization and minituber production of potato plantlets in different interval irrigation.**

| | | میانگین مربعات Mean of Squares | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S.O.V منابع تغییرات | درجه آزادی DF | کلونیزاسیون ریشه Root colonization | تعداد ریز غده کوچکتر از 1 گرم Minituber No ≤ 1 gr | تعداد ریز غده 1 تا 3 گرم Minituber No (1 ≥ 3 ≤) | تعداد ریز غده3 تا 5 گرم Minituber No (3 ≥ 5 ≤) | تعداد ریز غده بزرگتر از 5 گرم Minituber No ≥ 5 gr | تعداد کل ریزغده Total Minituber No | ماده خشک ریزغده Minituber dry matter |
| رقم Cultivar | 1 | 1.34 * | 3.62 ** | 7.25 ** | 3.83 ** | 5.88 ** | 0.48 ns | 3.29 ns |
| دور آبیاری Irrigation interval | 2 | 24.00 ** | 0.76 * | 2.69 ** | 0.54 * | 2.19 ** | 13.22 * | 1.21 ns |
| رقم×دور آبیاری Cultivar×Irrigation interval | 2 | 0.08 ns | 0.88 * | 1.06 * | 0.96 ** | 1.506 * | 0.012 ns | 0.01 ns |
| خطا Error | 10 | 1.26 | 0.218 | 0.241 | 0.071 | 0.505 | 2.92 | 1.299 |
| کل Total | 17 | | | | | | | |
| ضریب تغییرات C.V | | 5.29 | 12.78 | 13.49 | 10.89 | 23.26 | 14.99 | 5.92 |

1، 2 و 3 به ترتیب محتوای آب نسبی برگ در شروع غده‌زایی، دو و چهار هفته پس از آن

1, 2 and 3 are relative water content of leaf in tuberization stage, 2 and 4 weeks after tuberization respectively.

**، * به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 1 و 5 درصد و ns بدون اختلاف معنی‌دار

**and* show being significant (α=0.01 and 0.05, respectively). ns means no significant.

**جدول 4- اثر دور آبیاری بر ویژگی های مربوط به روابط آبی در گیاهچه‌های سیب‌زمینی.**

**Table 2- The effect of interval irrigation on water relation of potato plantlets.**

| رقم Cultivar | دورآبیاری (روز) Interval Irrigation (day) | محتوای آب نسبی برگ در مرحله 1 $RWC_1$ (%) | محتوای آب نسبی برگ در مرحله 2 $RWC_2$ (%) | محتوای آب نسبی برگ در مرحله 3 $RWC_3$ (%) | پتانسیل اسمزی $OP_m^3$ (MPa) | پرولین Proline ($\mu g\ g^{-1}$) | تنظیم اسمزی 1/b Osmotic adjustment |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| آگریا Agria | 5 | 89.35 a† | 89.25 ab | 90.15 ab | - 0.86 b | 5.568 c | 0.360 c |
| | 8 | 85.35 b | 86.45 b | 88.25 b | - 0.93 a | 6.793 b | 2.421 ab |
| | 11 | 82.19 c | 83.29 c | 83.90 c | - 0.94 a | 7.321 a | 3.105 a |
| مارفونا Marfona | 5 | 91.35 a | 90.65 a | 94.85 a | - 0.87 b | 6,422 b | 0.541 c |
| | 8 | 87.45 ab | 89.15 ab | 93.25 a | - 0.91 a | 7.310 a | 2.855 a |
| | 11 | 85.29 b | 87.19 b | 89.09 b | - 0.92 a | 8.310 a | 3.301 a |

1، 2 و 3 به ترتیب محتوای نسبی آب برگ در مرحله غده‌زایی، 2 و 4 هفته بعد از غده‌زایی 3- پتانسیل اسمزی برگ (میانگین سه مرحله).

1, 2 and 3 are relative water content of leaf in tuberization stage, 2 and 4 weeks after tuberization respectively, 3- osmotic potential of leaf (three phases means)

† اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter in every colomn are not significantly differentns ($P<0.05$)

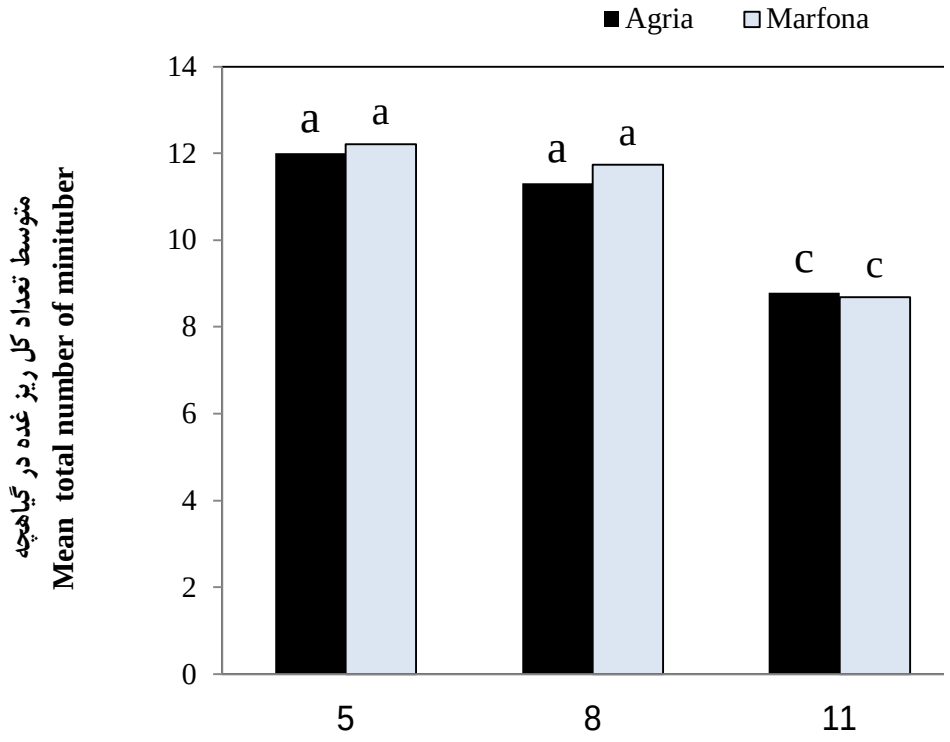
جدول ۵- مقایسه میانگین های مربوط به اثرات متقابل رقم و سطوح آبیاری بر درصد کلونیزاسیون ریشه و تولید ریزغده در اندازه‌های مختلف.

**Table 3- Mean comparisons of interaction between cultivar and irrigation levels on root colonization percentage, minituber production and dry weight of minituber in potato plantlets.**

| ترکیبهای مختلف رقم با سطوح آبیاری<br>Different combination of cultivar with irrigation levels | کلونیزاسیون ریشه (درصد)<br>Root colonization (%) | تعداد ریزغده بزرگتر از ۵ گرم<br>Minituber No ≥ 5 gr | تعداد ریز غده ۳ تا ۵ گرم<br>Minituber No (3 ≥ 5 ≤) | تعداد ریزغده ۱ تا ۳ گرم<br>Minituber No (1 ≥ 3 ≤) | تعداد ریزغده کوچکتر از ۱ گرم<br>Minituber No ≤ 1 gr |
|---|---|---|---|---|---|
| آگریا × دور آبیاری ۵ روزه<br>Agria × 5 days interval irrigation | 78.86 b | 2.82 a | 3.15 a | 3.03 b | 3.07 b |
| آگریا × دور آبیاری ۸ روزه<br>Agria × 8 days interval irrigation | 81.33 a | 2.61 a | 2.95 a | 2.70 b | 3.05 b |
| آگریا × دور آبیاری ۱۱ روزه<br>Agria × 11 days interval irrigation | 75.30 b | 1.02 b | 2.65 ab | 2.25 b | 2.87 b |
| مارفونا × دور آبیاری ۵ روزه<br>Marfona × 5 days interval irrigation | 79.25 ab | 1.42 b | 2.12 b | 4.40 a | 4.27 a |
| مارفونا × دور آبیاری ۸ روزه<br>Marfona × 8 days interval irrigation | 84.00 a | 0.95 c | 2.19 b | 4.23 a | 4.37 a |
| مارفونا × دور آبیاری ۱۱ روزه<br>Marfona × 11 days interval irrigation | 73.88 b | 0.58 c | 1.67 c | 3.27 ab | 3.17 b |

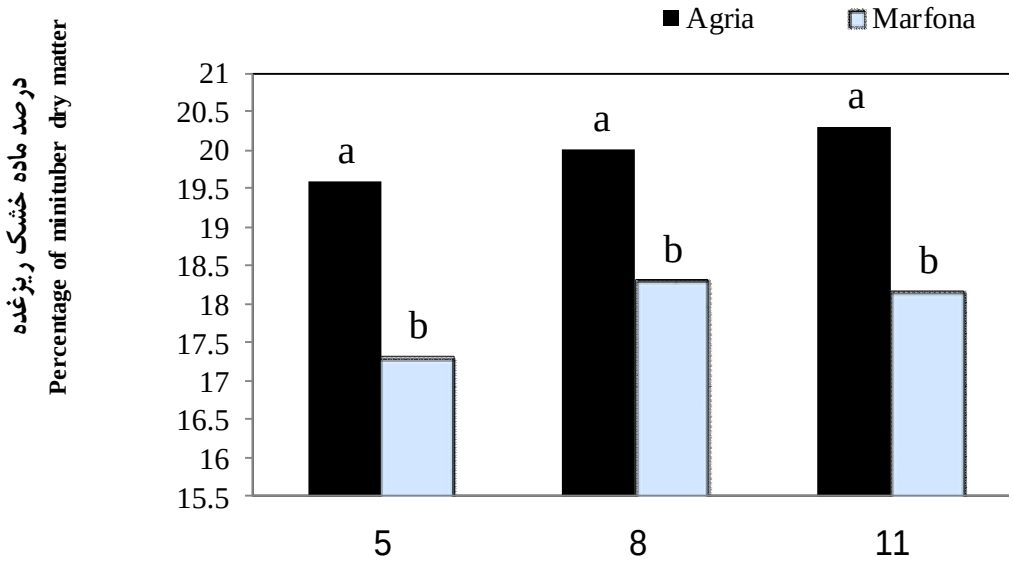
اعداد با حروف غیر مشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) می‌باشند.

Numbers followed by different letters in every colomn are significantly differentns ($P<0.05$)




**شکل 1- مقایسه میانگین تعداد کل ریزغده تولیدی در دو رقم سیب‌زمینی و در دوره‌های مختلف آبیاری**

**Figure 1- Comparison of mean total number of minituber production in two potato cultivar in different interval irrigation.**




**شکل 2- مقایسه میانگین درصد ماده خشک ریزغده در دو رقم سیب‌زمینی و در دوره‌های مختلف آبیاری**

**Figure 2- Comparison of mean dry matter percentage of minituber in two potato cultivar in different interval irrigation.**

البته در این آزمایشات اثرات کاربرد کود بیولوژیک بر ماده خشک و زیست توده گیاهی در مقایسه با شاهد که کودی مورد استفاده قرار نگرفته است، مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین با شرایط انجام آزمایش حاضر که در همه تیمارها کود بیولوژیک به کار گرفته شده است، مطابقت ندارد. اما دستآورد مهمتر پژوهش حاضر در این است که تغییرات ماده خشک ریزغده در سطوح مختلف آبیاری، حتی زمانی که تنش جدی و موثر به گیاهچه‌ها وارد شده است نیز وضعیتی مشابه با تیمارهای بدون تنش (دور آبیاری 5 روزه) داشته است. ثابت شده است که میکوریز و باکتری‌های محرک رشد با افزایش جذب عناصر غذایی مهم از جمله فسفر، آهن، روی و منگنز و نیز با کمک به هدایت هیدرولیکی آب و کاهش شدت تعرق، سرعت آسیمیلاسیون و فتوسنتز موثر را بالا برده و نقش مهمی در تعدیل اثرات تنش آبی در گیاهان دارند (4، 5، 37 و 38). لذا اثرات کود بیولوژیک در افزایش ماده خشک غده حتی با اعمال تنش شدید و در دور آبیاری 11 روزه در این راستا می‌باشد.

## نتیجه‌گیری کلی

می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که کود زیستی مایکوگرین که حاوی میکوریز و باکتری محرک رشد می‌باشد از طریق افزایش امکان جذب و تجمع املاح معدنی بیشتر و افزایش توانایی تنظیم اسمزی قادر به جذب آب و تعدیل اثرهای تنش کمبود آب از خاک در حال خشک شدن می باشد و این قابلیت بسته به شدت تنش متفاوت می‌باشد. در شرایط عدم تنش و هم چنین در تنش ملایم می‌توان از اثرات مثبت این کود بیولوژیک در افزایش قدرت رشد و عملکرد نهایی تولید ریزغده از گیاهچه‌های سیب‌زمینی به یک نسبت بهره برد. اما در تنش‌های شدید از اثرات مثبت آن کاسته می‌شود.

## منابع


1- Boland nazar S., Naishaboori M., Asgharzadeh N., and Chaparzadeh N. 2009. The effects of Arbuscular mycorhizal fungi on water relation of Onion. Journal of Horticultural Science and Technology: 10 (4): 293-300 (in Persian with English abstract)

2- Parvizi K. 2013. Symbiotic effect of Arbuscular mycorrhiza on growth regulators levels, growth properties and yield of potato plantlets under *in vitro* and *ex vitro* condition Ph.D thesis of horticulture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (in Persian with English abstract).

3- Abdul-Jaleel C., Manivannan P., Sankar B., Kishorekumar A., Gopi R., Somasundaram R., and Panneerselvam R. 2007. *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 60: 7–11.

4- Allen M.F., Smith W.K., Moore, T.S. and Christensen M. 1981. Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal and non-mycorrhizal *Bouteloua gracilis*. New Phytologist, 88: 683-693.

5- Auge R.M. 2000. Stomatal behaviour of arbuscular mycorrhizal plants. In Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Edited by Y. Kapulnik and Douds J.D.D. Kluwer Academic Publishers, Netherlands PP.360.

6- Auge R.M. 2001. Water relation, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza, 11:3-42.

7- Auge R.M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. Canadian Journal Soil Science, 84:373-381.

8- Auge R.M., Schekel K.A., and Wample R.L. 1986. Greater leaf conductance of VA mycorrhizal rose plants is not related to phosphorus nutrition. New Phytologist, 103:107-116.

9- Bajaj Y.P.S., and Sopory S.K. 1988. Biotechnology of potato improvement, In Bajaj, Y.P.S. (eds). Biotechnology in Agriculture and Forestry 2. Springer-Verlag, Germany. P.429-454.

10- Bierman B., and Linderman R.G. 1980. Quantifying vesicular – arbuscular mycorrhizae: a proposed method toward standardization, New Phytology. 87: 63 – 67. Busse, M.D. and Ellis, J.R. 1984. Vesicular-arbuscular mycorrhizal (*Glomus fasciculatus*) influenceon soybean drought in high phosphorus soil. Canadian Journal of Botany, 63: 2290-2294.

11- Chapharzadeh, N., Khavari-Nejad R.A., Navari-Izzo F., and Izzo R. 2003. Water relation and ionic balance in *Calendola officinalis* L. under salinity conditions. Agrochimica, 117:69-79.

12- Davies J., Calderón F. T., and Huainan Z. 2005. Influence of arhuscular on growth, Yield, and leaf elemental concentration of 'Yungay' potatoes. Hort Science, 40: 381-385.

13- Duffy E.M., Hurley E., and Casseles A.C. 1999. Weaning performance of potato microplants following bacterization and micorrhization. Potato Research, 42: 521-527.

14- Ebhin Masto R., Chhonkar P.K., Singh D., and Patra A.K. 2006. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisoil. Soil Biology and Biochemistry, 38: 1577–1582.

15- Fortin J.A., Becard G., Dalpe S., and St- Arnoud M.Y. 2002. Arbuscular mycorrhiza on root-organ cultures Canadian Journal Botany, 80: 1-20.
16- Goicoechea N., Antolín M.C., and Sánchez-Díaz M. 1997. Influence of arbuscular my-corrhizae and Rhizobium on nutrient content and water relations in drought stressed alfalfa. Plant and Soil, 192: 261- 268.
17- Irrigoyen J.J., Einerich D.W., and Sanchez-Diaz M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (Medicago sativa) plants. Physiology Plantarium, 84:55-60.
18- Jensen C.R., Mogensen V.O., Mortensen C., Fieldsend J.K., Mildford G.F.J., Andersen M.N., and Thage J.H. 1996. Seed glocosinolate, oil and protein contents of fieldgrown rape (Brassica napus L.) affected by soil drying and evaporative demand. Field Crop Research, 47:93-105.
19- Khalafallah A.A., and Abo-Ghalia H.H. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal Apllied Science Research, 4:559-569.
20- Kumar A., and Singh D.P. 1998. Use of physiological indices as a technique for drought tolerance in oilseed Brassica species. Annual Botany, 81:413-420.
21- Mandal A., Patra A.K., Singh D., Swarup A., and Ebhin Masto R. 2007. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages. BioresourceTechnology, 98: 3585–3592.
22- Migahed H.A., Ahmed A.E., and Abd El-Ghany B.F. 2004. Effect of different bacterial strains as biofertilizer agents on growth, production and oil of Apium graveolense under Calcareous soil. Journal of Agricultural Sciences, 12: 511-525.
23- Niemira B.A., Safir G.R and Bird G.W. 1995. Production of prenuclear mini-tubers of potato with peat based arbuscular mycorrhiza fungal inoculums. Agronomy Journal, 87: 942-946.
24- Phillips J.M and Hayman D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Mycology Society Journal, 55: 159-161.
25- Pozo M.J., Cordier C., Dumas-Gaudot E., Gianinazzi S., Barea J.M., and Azcon-Aguilar C. 2002. Localized versus systemic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on de-fence responses to Phytophthora infection in tomato plants. Journal of Experimental Botany, 53: 525-534.
26- Ratti N., Kumar S., Verma H.N., and Gautams S.P. 2001. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martini* var. motia by Rhizobacteria, AMF and Azospirillum inoculation. Microbiology Research, 156: 145-149.
27- Ruiz-Lozano J.M., and Azcon R. 1997. Effect of calcium application on the tolerance of mycorrhizal lettuce plants to polyethylene glycol-induced water stress. Symbiosis, 23:9-21.
28- Ruiz-Lozano J.M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. Mycorrhiza, 13:309-317.
29- Ryan N.A., Deliopoulos T., Jones P., and Haydock P.P. 2003. Effects of mixed-isolate mycorrhizal inoculums on the potato- potato cyst nematode interaction. Annual Applied Biology. 143: 111-119.
30- Sanchez-Blanco M.J., Ferrnandez T., Morales M.A., Morte A., and Alarcon J.J. 2001. Variation in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glumus deserticola* under drought conditions. Journal Plant Physiology. 161:675-682.
31- Siddiqui Z.A. 1998. Effect of a plant growth promoting bacterium on AM fungus and soil types morphogenesis. Applied Soil Ecology. 8: 77-88.
32- Smith S.E and Read D.J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. 3rd edit. London Academic Press, 787p.
33- Subramanian K.S., Santhanakrishnan P., and Balasubramania P. 2006. Response of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. Scientia Horticulture, 107:245-253.
34- Tilak K.V.B.R., Ranganayaki N., Pal K.K., De R., Saxena A.K., Shekhar C., Shilpi M., Tripathi A.K., and Johri B.N. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science, 89: 136-150.
35- Tobar R., Azcón R., and Barea J.M. 1994. Improved nitrogen uptake and transport from 15N-labelled nitrate by external hyphae of arbuscular mycorrhiza under water-stressed conditions. New Phytologist, 126: 119-122.
36- Toro M., Azcon R., and Barea J. 1997. Improvement of arbuscular mycorrhiza devel-opment by inoculation of soil with phosphate-solubilizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability ((sup32)P) and nutrient cycling. Applied Environmental Microbiology, 63: 4408-4412.
37- Vázquez M.M., César S., Azcón R., and Barea J.M. 2000. Interaction between arbus-cular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (Azospirillum, Pseudomonas, Trichoderma) and their effect on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. Applied Soil Ecology, 15: 261-272.
38- Vessey J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant Soil. 255: 571-586.

39- Vosatka M., and Gryndler M .1999. Treatment with culture fractions from pseudomonas putida modifies the development of Glomus Fistulosum mycorrhiza and response of potato to inoculation. Applied Soil Ecology, 11: 245-251.

40- Young C.C., Lai W.A., Shen F.T., Huang W.S., and Arun A.B. 2004. Characterization of multifunctional biofertilizer from Taiwan and biosafety considerations. International Symposium on Future Development of Agricultural Biotechnology Park, pp. 373-388.