

واکنش اکوفیزیولوژیکی ارقام سیب‌زمینی به کود زیستی و آبیاری محدود

Ecophysiological Response of Potato Cultivars to Bio-fertilizer and Limited Irrigation

حبیب مارالیان^{۱*}، صفر نصراله زاده^۲، یعقوب راعی^۳ و داوود حسن‌پناه^۴

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۰

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثر کود زیستی بر صفات کمی و کیفی سه ژنوتیپ سیب‌زمینی در شرایط تنش و کمبود آب آبیاری در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل اجرا گردید. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خردشده (اسپلیت اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح شامل I_۱: آبیاری براساس ۱۰۰ درصد آب موردنیاز به‌عنوان شاهد، I_۲: ۸۰ درصد آبیاری (۲۰٪ تنش) و I_۳: ۶۰ درصد آبیاری (۴۰٪ تنش)، کرت‌های فرعی شامل ژنوتیپ و کرت‌های فرعی خردشده به نانو کود بیولوژیک ویژه سیب‌زمینی اختصاص یافت. زمان سبز شدن کامل، زمان گل‌دهی، ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد ساقه، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، مجموع کلروفیل (a+b)، مقدار کاروتنوئید و عملکرد بوته اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تمامی صفات مورد مطالعه به‌استثنا تعداد ساقه به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار گرفتند. زمان سبز شدن کامل، زمان گل‌دهی، ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد ساقه و عملکرد بوته در بین ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ فقط در قطر ساقه اصلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ظاهر شد. استفاده از کود زیستی سبب افزایش معنی‌دار در تمامی صفات شد و کاربرد کود زیستی میزان عملکرد را در مقایسه با شاهد ۱۰ درصد افزایش داد. بیش‌ترین عملکرد در ژنوتیپ ۲-۹۷ و آبیاری کامل حاصل شد. بنابراین کاربرد کود زیستی به‌عنوان مکمل در زراعت سیب‌زمینی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش، بذرمال، کاروتنوئید، عملکرد

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد، گروه اکوفیزیولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴. استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل،

ایران

Email: maralianhabib@gmail.com

* نویسنده مسئول

www.SID.ir

تعداد غده در هر گیاه، و بعد از تشکیل غده، اندازه غده‌ها را افزایش می‌دهد. نیاز آبی سیبزمینی در اوایل دوره رشد به دلیل وجود آب موردنیاز در غده، زیاد نیست (خورشیدی بنام و همکاران، ۱۳۸۱) ولی به دلیل سیستم ریشه‌ای افشان و سطحی، نسبت به تنش آبی حساس بوده و به شرایط نامطلوب خاک هم حساسیت بیشتری دارد و به همین دلیل زراعت آن به آب کافی نیاز دارد (شیری جناقرد، ۱۳۸۵؛ حسن‌پناه و همکاران، ۲۰۰۸). با این وجود مطالعات نشان می‌دهند که تحمل به خشکی و کمبود رطوبت خاک در ارقام سیبزمینی یکسان نیست و تحمل به تنش خشکی و کمبود رطوبت آن‌ها باید در هر منطقه موردبررسی قرار گیرد (جفرز، ۱۹۹۳). به نقل از شیری جناقرد (۱۳۸۵)، اگر رطوبت خاک به‌طور مداوم و یکنواخت بیشتر از ۷۰ درصد کل ظرفیت قابل‌دسترس خاک نگهداری شود، بیش‌ترین عملکرد به‌دست می‌آید. لیتچ و تای^۶ (۱۹۸۹) اوایل دوره حجیم شدن غده‌ها را جزء حساس‌ترین مراحل رشدی سیبزمینی به کم‌آبی گزارش نموده‌اند. مینهاس و بانسال^۸ (۱۹۹۱) نیز مرحله تشکیل استولون و شروع غده‌بندی را حساس‌ترین مرحله گیاه در ارتباط با تنش خشکی گزارش کرده‌اند. مطالعات انجام یافته نشان می‌دهند که بالا بودن عملکرد و کیفیت آن تا حدودی تحت تأثیر زمان، تکرار و مقدار آب آبیاری قرار می‌گیرد و می‌توان با یک برنامه مناسب آبیاری در طول فصل رشد، عملکرد را افزایش داد (آتی^۹ و همکاران، ۲۰۱۲؛ اردم^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۶؛ اوندرا^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۵؛ کاشیپ و پاندا^{۱۲}، ۲۰۰۳). اعمال تنش رطوبتی در دوره تشکیل غده‌ها، کاهش تعداد غده را به همراه داشت (هاورکورت^{۱۳} و همکاران، ۱۹۹۰). اما رژیم‌های مختلف آبیاری بعد از تشکیل غده‌ها تأثیری بر تعداد غده‌ها نداشت و عمده تأثیر آن بر اندازه و متوسط وزن غده‌ها بود (مک کرون^{۱۴}، ۱۹۸۵). کمبود رطوبت خاک باعث افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ، کاهش میزان فتوسنتز، کاهش بیوماس اندام هوایی و در نتیجه کاهش عملکرد غده می‌گردد (اِرنا و مورومیکال^{۱۵}، ۲۰۰۶). کینگ^{۱۶} و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که کمبود رطوبت خاک در اواسط و اواخر غده‌بندی سیبزمینی موجب کاهش

سیبزمینی با نام علمی *Solanum tuberosum* L. از تیره Solanaceae یکی از محصولات غذایی مهم هست که با تولید ۳۶۵ میلیون تن، در ۷۹ درصد از کشورهای جهان کشت می‌شود. این گیاه از نظر سطح زیرکشت بعد از گندم، برنج و ذرت مقام چهارم را به خود اختصاص داده است (فائو^۱، ۲۰۱۴؛ فرنی و ویلمیتزر^۲، ۲۰۰۱). کشورهای چین، هند، روسیه، اوکراین، آمریکا، آلمان، بنگلادش، فرانسه، هلند و لهستان به‌ترتیب مقام‌های اول تا دهم را در تولید سیبزمینی به خود اختصاص داده‌اند. ایران از نظر تولید سیبزمینی در دنیا در رتبه سیزدهم و در آسیا بعد از چین و هند در رتبه سوم قرار دارد. سطح زیرکشت سیبزمینی در ایران حدود ۱۸۶۰۰۰ هکتار و میزان تولید آن ۵/۶ میلیون تن گزارش شده است (فائو، ۲۰۱۵). استان همدان با اختصاص ۱۷/۸ درصد از اراضی سیبزمینی کشور، در مقام نخست قرار دارد. استان‌های اردبیل، اصفهان و آذربایجان شرقی به‌ترتیب با دارا بودن ۱۵، ۱۰/۴، ۶/۷ درصد از اراضی تحت کشت سیبزمینی، مقام‌های دوم تا چهارم را به خود اختصاص داده‌اند. متوسط عملکرد سیبزمینی آبی در کشور ۳۱۴۲۲ کیلوگرم و سیبزمینی دیم ۱۳۵۰۹ کیلوگرم در هکتار است. سیبزمینی دیم بیشتر در گیلان و مازندران کشت می‌شود و تولید آن حدود ۷۵۰۰ تن است. متوسط عملکرد سیبزمینی در اردبیل ۳۴۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. استان کرمانشاه با عملکرد ۳۷۹۹۹ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین و گیلان با عملکرد ۱۳۶۳۱ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد سیبزمینی آبی کشور را دارا هستند. این درحالی است که استان گیلان با عملکرد ۱۸۴۹۴ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین عملکرد سیبزمینی دیم را به خود اختصاص داده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۴). کمبود آب شایع‌ترین تنش را در زراعت سیبزمینی ایجاد می‌کند که در نهایت منجر به کاهش عملکرد و کیفیت غده، تعداد برگ، سطح برگ، وزن برگ و ریشه، تعداد غده و ارتفاع گیاه می‌شود (دونلی^۳ و همکاران، ۲۰۰۳؛ حسن‌پناه^۴، ۲۰۰۹؛ هیویر و نادلر^۵، ۱۹۹۵). سیبزمینی در شروع رشد رویشی خود به کمبود آب مقاوم است، اما از مرحله غده‌بندی تا شروع مرحله رسیدگی غده (بلوغ)، کم‌آبی اثر منفی زیادی بر رشد غده دارد (اصغری زکریا و سیدشریفی، ۱۳۸۷). به‌طور کلی آب کافی قبل از تشکیل غده،

6. Jefferies
7. Lynch and Tai
8. Minhas and Bansal
9. Ati
10. Erdem
11. Onder
12. Kashyap and Panda
13. Haverkort
14. Mac Kerron
15. Irna and Mauromicale
16. King

1. FAO
2. Fernie and Willmitzer
3. Donnelly
4. Hassanpanah
5. Heuer and Nadler

کود زیستی در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد) باعث افزایش ارتفاع، تعداد ساقه اصلی، تعداد غده در هر بوته و درصد ماده خشک می‌شود. میرشکاری (۱۳۹۱) با بررسی اثر تلقیح بذر با کودهای بیولوژیک بر عملکرد غده و اجزای عملکرد سه رقم سیبزمینی گزارش کرد که در صورت تلقیح بذر با کودهای بیولوژیک، تعداد غده‌های با قطر کمتر از ۴۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد و عملکرد بیولوژیک در صورت تلقیح غده با ازتوباکتر ۱۸ درصد افزایش می‌یابد. وی هم‌چنین نتیجه گرفت که در صورت تلقیح بذر با کودهای بیولوژیک ازتوباکتر، سوپرنیتروپلاس و سوپرنیترو به ترتیب ۳۴/۱، ۲۸/۳ و ۲۵/۹ درصد در تعداد غده‌های با قطر کمتر از ۴۰ میلی‌متر کاهش حاصل شد. معنی‌دار بودن مقادیر این تغییرات باهم و با شاهد نیز نشان از اثر قابل‌توجه کودهای بیولوژیک برافزایش اندازه غده در سیبزمینی دارد. بهبود اندازه غده را می‌توان به توسعه سیستم ریشه‌ای و اثرات هورمونی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن اتمسفری نسبت داد. استفاده از کودهای زیستی در سیبزمینی باعث بهبود رشد گیاه، عملکرد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی می‌گردد هم‌چنین کاربرد کودهای زیستی چه به‌صورت خاک کاربرد و چه به‌صورت تلقیح با بذر (بذر مال)، کیفیت غذایی، مقدار ماده خشک، کربوهیدرات کل را نیز افزایش داد (ابو حسین^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۲؛ آشور^{۱۲}، ۱۹۹۸؛ عبدالموتی^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۱؛ زهیر^{۱۴} و همکاران، ۱۹۹۷). بهبود و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی تأثیر فسفر و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و کیفیت سیبزمینی نتیجه گرفتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد (سودوموناس فلورسنس) باعث افزایش عملکرد، ماده خشک غده و بهبود کیفیت غده می‌شود. ورما^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی اثر کودهای زیستی و شیمیایی در سیبزمینی نتیجه گرفت که تلقیح بذر با کودهای زیستی (بذر مال) می‌تواند تا ۲۵ درصد جایگزین کودهای شیمیایی ازته و فسفره بشود. محمدی^{۱۶} و همکاران (۲۰۱۳) کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی را جهت دستیابی به عملکرد قابل‌قبول در زراعت سیبزمینی توصیه نمودند.

با توجه به محدودیت آب در استان اردبیل و پایین رفتن سطح آب زیرزمینی و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در زراعت سیبزمینی، مطالعه رقم‌های برتر نسبت به تنش و استفاده از کودهای زیستی جهت تولید محصول سالم و

عملکرد کل غده بدون توجه به شدت کمبود رطوبت خاک می‌گردد. شوک^۱ و همکاران (۱۹۹۲) گزارش کردند که در برخی شرایط، سیبزمینی می‌تواند قبل از مرحله غده‌بندی نسبت به کمبود رطوبت خاک تحمل نشان دهد. اسکندری و همکاران (۱۳۹۰) بیان کردند که با افزایش حجم آبیاری، کلیه صفات کمی و کیفی سیبزمینی به‌جز وزن مخصوص غده، بهبود یافت. ایشان نتیجه گرفتند که می‌توان با کاهش ۳۰ درصد حجم آبیاری قبل از مرحله تشکیل غده‌ها، عملکرد قابل‌قبولی را برای رقم آگریا به‌دست آورد.

افزایش عملکرد غده سیبزمینی تا ۴۲ درصد در نتیجه تأثیر کودهای بیولوژیک گزارش شده است (حسین^۲ و همکاران، ۲۰۰۹). عبدالموهاب و ریاض^۳ (۲۰۰۶) گزارش کردند که در شرایط تنش آبی عملکرد سیبزمینی در صورت استفاده از کودهای بیولوژیک در مقایسه با شاهد (بدون تنش) افزایش می‌یابد. احمد^۴ و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی کاربرد هم‌زمان کودهای معدنی و زیستی پتاسیم در سیبزمینی طی دو سال نتیجه گرفتند که کاربرد کود زیستی پتاسین^۵ رشد گیاه را بهبود بخشد و بالاترین میزان عملکرد در صورت کاربرد هم‌زمان سولفات پتاسیم و کود زیستی پتاسیم حاصل شد. قلی‌نژاد و درویش‌زاده (۱۳۹۴) با بررسی اثر قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد کنگد در ارومیه نتیجه گرفتند که استفاده از دو گونه قارچ میکوریزا نسبت به حالت عدم استفاده از قارچ باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه کنگد شد. فرج^۶ و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی تأثیر کاربرد سه نوع کود زیستی (ریزوباکترین^۷، میکروبتین^۸ و فسفورئین^۹) به‌صورت بذر مال در سه رقم سیبزمینی طی دو سال در مصر گزارش کردند که تیمار کود زیستی فسفورئین و شاهد دارای بیش‌ترین میزان عملکرد در هکتار بودند. صادقی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی با کود بیولوژیک و آلی بر ذرت دانه‌ای باعث حصول بیش‌ترین عملکرد نسبت به مصرف تنهایی هر کدام از آن‌ها می‌شود. داداش‌زاده^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی تأثیر کود زیستی نیتروکسین بر عملکرد و اجزای عملکرد در دو رقم سیبزمینی گزارش کردند که کاربرد

1. Shock
2. Hossein
3. Abd-El-Vahab and Riaz
4. Ahmed
5. Potassein
6. Farag
7. Rhizobacterin
8. Microbein
9. Phosphorein
10. Dadashzadeh

11. Abou Hussein
12. Ashour
13. Abdel-Mouty
14. Zahir
15. Verma
16. Mohammadi

طول جغرافیایی این منطقه ۱۵' و ۴۸° شرقی، عرض جغرافیایی آن ۱۵' و ۳۸° غربی و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۵۲ متر می‌باشد. اقلیم منطقه نیز سرد نیمه‌خشک می‌باشد. به‌طور کلی منطقه از نظر وضعیت دمایی، جهت زراعت محصول سیبزمینی مطلوب می‌باشد ولی از نظر بارش، مقدار بارش ناکافی و توزیع بارش هم از نظر زمانی، غیریکنواخت می‌باشد (شیری جناقرد، ۱۳۸۵). آمار هواشناسی منطقه در جدول ۱ آورده شده است.

ارگانیک، انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسید. این مطالعه به‌منظور بررسی واکنش کلون‌های امیدبخش نسبت به تنش کمبود آب در مقایسه با رقم آگریا، ارزیابی اثر کود زیستی به‌عنوان کود مکمل برای سیبزمینی و بررسی امکان افزایش عملکرد سیبزمینی با استفاده از کودهای زیستی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان اردبیل واقع در ۱۰ کیلومتری شرق اردبیل در سال ۱۳۹۳ انجام شد.

جدول ۱: برخی پارامترهای هواشناسی در مزرع آزمایشی در سال ۱۳۹۳
Table 1: Some of weather parameters in experimental field in 2014

شهریور September	مرداد August	تیر July	خرداد June	اردیبهشت May	فروردین April	
0.6	0.4	12.2	24.5	35.4	9.3	بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)
18.8	19.8	19.4	17.8	15.3	7.6	میانگین دما (سانتی‌گراد) Mean temperature (°C)
274.4	335.8	287.4	283.5	251.9	207.3	جمع ساعات آفتاب Total Sunny hours
65	51	67	61	61	64	متوسط رطوبت (درصد) Relative humidity (%)

کاشته شدند. کود بیولوژیک نیز به‌صورت بذر مال در کرت‌های فرعی فرعی قرار گرفت. بنابراین هر بلوک (تکرار) شامل ۳ کرت اصلی، ۱۸ کرت فرعی و ۵۴ پلات بود. کوددهی براساس نتایج آزمون خاک و عملیات زراعی مانند وجین، خاک‌دهی پای بوته و سم‌پاشی به‌صورت دستی انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده (اسپلیت اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح شامل I₁: آبیاری براساس ۱۰۰ درصد آب موردنیاز به‌عنوان شاهد، I₂: آبیاری براساس ۸۰ درصد آب موردنیاز (۲۰٪ تنش) و I₃: آبیاری براساس ۶۰ درصد آب موردنیاز (۴۰٪ تنش)، کرت‌های فرعی شامل ژنوتیپ در سه سطح شامل رقم آگریا به‌عنوان رقم رایج در منطقه و دو ژنوتیپ در حال ثبت که در بین ژنوتیپ‌های دیگر برتر هستند (کلون‌های امیدبخش) و کرت‌های فرعی فرعی به کود بیولوژیک نانو ویژه سیبزمینی به‌صورت بذر مال با غلظت دو کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت. زمان شروع آبیاری براساس ۲۸ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A بود (احمدی عدلی، ۱۳۷۵). بدین ترتیب پس از محاسبه میزان آب موردنیاز تیمارها، با استفاده از کنترهای حجمی مقادیر آب موردنظر به کرت‌های اصلی اختصاص یافت. جهت توزیع یکنواخت آب در بین فاروها، آبیاری با استفاده از لوله‌های هم‌قطر که آب را از

براساس نتایج آزمایش خاک، خاک محل اجرای آزمایش دارای بافت رسی-لومی، جرم حجمی ۱/۲۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ظرفیت زراعی ۲۹/۱ درصد، نقطه پژمردگی دائمی ۱۴/۶ درصد، هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۸، کربن آلی ۰/۸۰۳ درصد، میزان فسفر قابل‌استفاده ۱۴ پی‌پی‌ام، پتاسیم ۵۴۰ پی‌پی‌ام و ازت خاک ۰/۱ درصد بود. عملیات خاک‌ورزی شامل شخم عمیق بهاره (۳۰-۲۵ سانتی‌متر)، دیسک و ماله بود. عملیات پاییزه شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره از نوع سوپر فسفات تریپل و شخم عمیق به عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر بود. کود اوره نیز به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله شامل زمان کاشت (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و مرحله خاک‌دهی پای بوته‌ها (۱۰۰ کیلوگرم) به خاک داده شد. تمام مراحل آماده‌سازی از جمله جوی و پشته توسط ماشین‌آلات کشاورزی و کاشت به‌صورت دستی انجام گرفت. غده‌های بذری ارقام موردآزمایش از ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل تهیه شدند. به‌منظور حفظ یکنواختی در اجرای آزمایش، غده‌های بذری با وزن تقریبی ۶۰ تا ۷۰ گرمی انتخاب و کشت انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سه رژیم آبیاری به ابعاد ۱۵×۸ متر بود و غده‌های جوانه‌زده سه ژنوتیپ به فاصله ۲۵×۷۵ در عمق ۱۲-۱۰ سانتی‌متر به‌صورت دستی در کرت‌های فرعی با ابعاد ۵×۸ متر

۲۶۸۸ لیتر می‌باشد. برای اندازه‌گیری مقدار بارش روزانه، یک دستگاه باران‌سنج در تشتک تبخیر نصب گردید. اندازه‌گیری میزان تبخیر روزانه در ساعت معینی (۱۲ ظهر) انجام و دوباره سطح تشتک، تا علامت اولیه با آب پر می‌شد. هر زمان میزان تجمعی تبخیر از تشتک به ۲۸ میلی‌متر می‌رسید بر اساس رابطه ۱ آبیاری انجام می‌گرفت. اولین آبیاری سه هفته بعد از کشت انجام و ۳ هفته قبل از برداشت نهایی برای جلوگیری از رشد مجدد غده‌ها، آبیاری قطع شد.

جوی اصلی به فاروها هدایت می‌کنند، انجام گرفت. جهت محاسبه مقدار آب مورد استفاده در کرت‌های آزمایشی در شرایط بدون تنش از رابطه شماره ۱ استفاده گردید (احمدی عدلی، ۱۳۷۵).

رابطه ۱
 $I_w = 0.8 \times (EP) \times (A)$
 مقدار آب آبیاری برحسب مترمکعب $= EP$ = میزان تبخیر از تشتک تبخیر برحسب متر A = مساحت کرت برحسب مترمربع
 براساس رابطه ۱، مقدار آب موردنیاز برای کرت ۱۲۰ مترمربعی در شرایط آبیاری کامل (۱۰۰ درصد موردنیاز)، برابر



شکل ۱: موقعیت کنتور حجمی و سیفون‌ها در مزرعه
 Fig. 1: Counter and siphons position in experimental field

وزن خشک برگ، مجموع کلروفیل (a+b)، مقدار کاروتنوئید و عملکرد بوته اندازه‌گیری شد. ارتفاع، قطر و تعداد ساقه به صورت تصادفی با انتخاب ۱۰ بوته در انتهای گل‌دهی اندازه‌گیری شدند. میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها در زمان توسعه کامل برگ‌ها به روش آرنون^۲ (۱۹۹۴) انجام شد. و از روابط زیر برای تعیین غلظت کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها استفاده گردید. در انتهای فصل رشد عملکرد هر بوته با برداشت ۱۰ بوته تصادفی اندازه‌گیری شد.

$$C_{chlo. (a)} = 0.0127A_{663} - 0.00269A_{645} \quad C_{chlo. (b)} = 0.0229A_{645} - 0.00468A_{663}$$

$$C_{chlo(a+b)} = 0.0202A_{645} + 0.00802A_{663} \quad C_{carotenoid} (mg/g.f.w) = 0.0076A_{480} - 0.00149A_{510}$$

کود بیولوژیک نانو ویژه سیب‌زمینی (شرکت بیوزر) حاوی میکروارگانیزم‌های مفید از جمله باکتری‌های تثبیت‌کننده غیرهمزیست ازت از جنس ازتوباکتر و آزوسپریلیوم، باکتری‌های حل‌کننده فسفات^۱ و باکتری‌های از جنس سودوموناس باسیلوس می‌باشد. هم‌چنین انواع عناصر میکرو به شکل نانوذره و نانوکلات در این ترکیب غنی شده است. غده‌ها در موقع کشت به صورت بذرمال با غلظت ۲۵۰ گرم در ۲ لیتر تیمار شدند.

صفات مورد اندازه‌گیری

در این آزمایش صفاتی از قبیل زمان سبز شدن، زمان گل‌دهی، ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد ساقه، وزن خشک ساقه،

2. Arnon

1. Phosphorous solubilizing bacteria

مقایسه میانگین اثر آبیاری بر صفات

با نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، مشخص شد که به موازات افزایش میزان تنش، زمان سبز شدن غده‌ها و زمان گل‌دهی کاهش معنی‌داری نشان دادند به طوری که زمان سبز شدن و زمان گل‌دهی به ترتیب از ۴۳/۳ و ۶۴/۴ روز در آبیاری کامل به ۳۶/۱ و ۵۶/۶ روز در تیمار ۶۰ درصد آبیاری کاهش یافت. این کاهش در زمان سبز شدن و زمان گل‌دهی نهایتاً به کاهش طول دوره رشد منجر می‌شود و احتمالاً باعث کاهش عملکرد نیز می‌شود.

عکس‌العمل قطر ساقه اصلی در مواجهه با تنش آبیاری، عکس صفات زمان سبز شدن و زمان گل‌دهی مشاهده شد. به طوری که با افزایش شدت تنش، قطر ساقه اصلی به طور معنی‌داری افزایش یافت. البته اثر تنش ملایم (۸۰ درصد آبیاری) و تنش شدید (۶۰ درصد آبیاری) بر قطر اصلی ساقه از نظر آماری معنی‌دار نشد.

با افزایش شدت تنش و کاهش سطح آبیاری ارتفاع ساقه اصلی کاهش یافت. به طوری که بیش‌ترین ارتفاع ساقه اصلی در آبیاری کامل و کم‌ترین مقدار آن در تیمار ۶۰ درصد آبیاری مشاهده شد (جدول ۳).

وزن خشک ساقه و برگ نیز با افزایش شدت تنش کاهش یافت. بیش‌ترین وزن خشک ساقه و برگ در آبیاری کامل و کم‌ترین مقدار آن‌ها در تیمار ۶۰ درصد آبیاری مشاهده شد. البته وزن خشک ساقه با شدت یافتن تنش در سطوح ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری، به طور معنی‌داری کاهش یافت. اما اثر آبیاری کامل و تنش ملایم بر وزن خشک برگ از نظر آماری معنی‌دار ظاهر نشد و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری در صفت مذکور مشاهده نشد. هم‌چنین شیب کاهش وزن خشک ساقه در مقایسه با وزن خشک برگ در مواجهه با تنش آبیاری تندر بود به طوری که میزان این کاهش در وزن خشک ساقه، ۳۸ درصد و در وزن خشک برگ، ۱۷ درصد مشاهده شد (جدول ۳).

روند تغییرات صفات مجموع کلروفیل (a+b) و محتوای کاروتنوئید در مواجهه با تنش آبیاری مشابه بود. به طوری که با افزایش شدت تنش مقادیر صفات مذکور به ترتیب از ۱/۴۰۹ و ۰/۴۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار شاهد به ۰/۹۶۸ و ۰/۳۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار ۶۰ درصد آبیاری کاهش یافت (جدول ۳).

A_{663} = مقدار جذب نور در طول موج ۶۶۳ نانومتر A_{645} = مقدار جذب نور در طول موج ۶۴۵ نانومتر
 A_{510} = مقدار جذب نور در طول موج ۵۱۰ نانومتر A_{480} = مقدار جذب نور در طول موج ۴۸۰ نانومتر
 C = غلظت بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر

این آزمایش به صورت اسپلیت اسپلیت پلات (کرت‌های دو بار خردشده) اجرا گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام شد و مقایسات میانگین داده‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام گرفت و نمودارها در محیط Excel رسم گردیدند.

نتایج و بحث

باتوجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، تمامی صفات مورد مطالعه به استثناء تعداد ساقه به طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار گرفتند. زمان سبز شدن کامل، زمان گل‌دهی، ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد ساقه، عملکرد غده بذری، عملکرد اقتصادی و عملکرد بوته در بین ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند اما اختلاف معنی‌داری در صفات وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، مجموع کلروفیل (a+b)، مقدار کاروتنوئید و وزن غده‌های ریز در بین ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. هم‌چنین اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ فقط در قطر ساقه اصلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. تمامی صفات مورد مطالعه به استثناء وزن غده‌های ریز به طور معنی‌دار تحت تأثیر کود زیستی قرار گرفتند. هم‌چنین اثر کود زیستی نیز بر کلیه صفات مورد بررسی به استثناء وزن غده‌های ریز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

اثر متقابل کود زیستی و سطوح آبیاری فقط در صفات تعداد ساقه، کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد و وزن غده‌های ریز در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد و سایر صفات مورد بررسی تحت تأثیر اثر متقابل کود زیستی و آبیاری قرار نگرفتند (جدول ۲).

اثر متقابل کود زیستی و ژنوتیپ نیز به استثنای زمان سبز شدن و تعداد ساقه در سایر صفات معنی‌دار ظاهر نشد و اثر متقابل سه‌جانبه کود زیستی، سطوح آبیاری و ژنوتیپ هم فقط در زمان سبز شدن، ارتفاع ساقه اصلی و عملکرد غده بذری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد و در بقیه صفات اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نشد (جدول ۲).

جدول ۲: تجزیه واریانس اثر کود زیستی و آبیاری محدود بر صفات مورد بررسی در ارقام سیب زمینی

Table 2: Analysis of variance for studied traits affected by limited irrigation and bio-fertilizer in potato cultivars

میانگین مربعات Mean Squares							درجه آزادی df	منابع تغییر Source of variations
کاروتنوئید Carotenoid	مجموع کلروفیل Chlorophyll	تعداد ساقه Stem number	ارتفاع ساقه اصلی Main stem height	قطر ساقه اصلی Main stem diameter	زمان گل‌دهی Flowering time	زمان سبز شدن Emergence time		
0.000	0.000	0.421	12.80	0.557	2.89	0.352	2	بلوک Block
0.087**	0.922**	1.92 ^{ns}	695.14**	7.08**	279.50**	234.7**	2	آبیاری (A) Irrigation
0.000	0.007	1.08	17.94	0.351	2.06	1.07	4	خطای آزمایشی Error
0.000 ^{ns}	0.003 ^{ns}	7.77**	1089.69**	3.69**	232.17**	261.5**	2	ژنوتیپ (B) Genotype
0.001 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.588 ^{ns}	34.11 ^{ns}	5.85**	5.83 ^{ns}	2.86 ^{ns}	4	آبیاری × ژنوتیپ A × B
0.001	0.006	0.274	17.54	0.324	3.47	1.69	12	خطای آزمایشی Error
0.038**	0.374**	7.26**	106.68**	3.89**	216.00**	88.17**	1	کود زیستی (C) Bio fertilizer
0.004**	0.013 ^{ns}	2.42**	0.844 ^{ns}	0.574 ^{ns}	5.17 ^{ns}	4.22 ^{ns}	2	آبیاری × کود زیستی A × C
0.000 ^{ns}	0.003 ^{ns}	2.04**	1.08 ^{ns}	0.064 ^{ns}	0.722 ^{ns}	10.17**	2	ژنوتیپ × کود زیستی B × C
0.000 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.621 ^{ns}	19.14*	0.249 ^{ns}	3.56	4.72*	4	آبیاری × ژنوتیپ × کود زیستی A × B × C
0.000	0.004	0.279	5.54	0.251	1.61	1.59	18	خطای کل Total error

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد می‌باشند

ns, * and **: Not significant, significant at p=0.05 and 0.01, respectively

ادامه جدول ۲: تجزیه واریانس اثر کود زیستی و آبیاری محدود بر صفات مورد بررسی در ارقام سیب زمینی

Table continued 2: Analysis of variance for studied traits affected by limited irrigation and bio-fertilizer in potato cultivars

میانگین مربعات Mean Squares						درجه آزادی df	منابع تغییر Source of variations
عملکرد بوته Plant yield	عملکرد اقتصادی Tubers>35mm	عملکرد غده بذری Agronomic yield	عملکرد غده‌های ریز Tubers<35mm	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight		
6632	7397	2304	39.0	32.62	55.4	2	بلوک Block
450541**	559606**	267802**	5929.6**	603.23**	3274.4**	2	آبیاری (A) Irrigation
3811	2904	577	846.7	55.87	71.65	4	خطای آزمایشی Error
36996**	30192**	21221**	491.4 ^{ns}	32.02 ^{ns}	82.14 ^{ns}	2	ژنوتیپ (B) Genotype
2002 ^{ns}	2181 ^{n.s}	2417 ^{ns}	73.2 ^{ns}	40.96 ^{ns}	60.12 ^{ns}	4	آبیاری × ژنوتیپ A×B
5311	3262	1580	664.0	36.89	41.29	12	خطای آزمایشی Error
52828**	46054**	48300**	232.3 ^{ns}	838.59**	587.4**	1	کود زیستی (C) Bio fertilizer
340 ^{ns}	814 ^{ns}	1779 ^{ns}	1315.6*	19.29 ^{ns}	0.306 ^{ns}	2	آبیاری × کود زیستی A×C
772 ^{ns}	777 ^{n.s}	2884 ^{ns}	21.2 ^{ns}	13.41 ^{ns}	21.76 ^{ns}	2	ژنوتیپ × کود زیستی B×C
1141 ^{ns}	879 ^{ns}	2986*	34.6 ^{ns}	12.03 ^{ns}	24.08 ^{ns}	4	آبیاری × ژنوتیپ × کود زیستی A × B × C
2088	1515	910	331.7	11.31	12.18	18	خطای کل Total error

ns, ** و *: به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد می‌باشند

ns, * and **: Not significant, significant at p=0.05 and 0.01, respectively

گرفت که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. البته اثر تنش ملایم در مقایسه با آبیاری کامل مشابه بود که با نتایج این تحقیق مغایرت داشت. بنابراین با توجه به مطالب بالا می‌توان گفت که جهت نیل به حداکثر عملکرد، آبیاری بوته‌ها و جلوگیری از بروز تنش کم‌آبی حائز اهمیت می‌باشد.

مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر صفات

مقایسه میانگین عملکرد بین ژنوتیپ‌ها نشان داد که دو ژنوتیپ ۹۷-۲ (خاوران) و ۸۲-۱۰ در مقایسه با رقم رایج در منطقه (آگریا) از نظر صفات زمان سبز شدن، زمان گل‌دهی، ارتفاع ساقه اصلی و عملکرد برتر هستند. اما رقم آگریا در صفات قطر ساقه اصلی و تعداد ساقه بالاترین رتبه را به خود اختصاص داد (جدول ۴)

مقایسه میانگین اثر کود زیستی بر صفات

مقایسه میانگین اثر کود زیستی بر صفات نشان داد که کلیه صفات مورد بررسی به‌استثنا وزن غده‌های ریز در سطح احتمال آماری تحت تأثیر کود زیستی قرار گرفتند. علی‌رغم این‌که عملکرد غده بذری، عملکرد اقتصادی و عملکرد تک بوته در صورت کاربرد کود زیستی افزایش نشان دادند، ولی وزن غده‌های ریز تغییر معنی‌داری نشان نداد. این یافته از نظر زراعی و اقتصادی خود یک مزیت است زیرا بوته در صورت استفاده از کود زیستی سهم بیشتری از عملکرد کل را به عملکرد اقتصادی اختصاص می‌دهد. البته همواره سهمی اگرچه اندک، به‌عنوان پتانسیل تولید به غده‌های ریز اختصاص می‌دهد تا در صورت مناسب بودن شرایط تغذیه‌ای و اکولوژیکی، این غده‌های ریز هم (عملکرد بالقوه) به عملکرد تجاری قابل‌قبول تبدیل گردد. این بخش از عملکرد در صورت بروز شرایط تنش، کافی نبودن زمان رسیدگی، عوامل تغذیه‌ای و ... ممکن است دچار تغییر گردد، اما همواره به‌عنوان عملکرد بالقوه محسوب می‌شود. با مقایسه میانگین داده‌ها از نظر عملکرد اقتصادی و عملکرد کل غده مشخص شد که حداکثر آن‌ها به ترتیب ۱۴/۴ و ۱۱/۳ درصد بود. و در صورت استفاده از کود زیستی به‌صورت بذرمال در زراعت سیب‌زمینی مقدار افزایش عملکرد اقتصادی، عملکرد تک بوته و عملکرد غده در هکتار در مقایسه با شاهد حدود ۱۰ درصد حاصل می‌گردد (جدول ۵).

وزن غده‌های ریز (تلفات عملکرد) با افزایش شدت تنش افزایش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار آن به تیمار ۶۰ درصد آبیاری و کم‌ترین مقدار آن به آبیاری کامل اختصاص یافت. عملکرد غده بذری نیز در مواجهه با تنش آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که میزان این کاهش از ۵۵۷/۷ گرم در تیمار شاهد به ۳۱۳/۸ گرم در تنش شدید و معادل ۴۴ درصد مشاهده شد. البته باوجود اختلاف در میزان عملکرد غده بذری در تیمارهای ۶۰ و ۸۰ درصد آبیاری، صفت مذکور اختلاف معنی‌داری در تیمارهای تنش نشان نداد. و هر دو تیمار از نظر رتبه همسان و بعد از آبیاری کامل قرار گرفتند (جدول ۳). روند تغییرات عملکرد اقتصادی و عملکرد غده تک بوته در مواجهه با تنش آبیاری مشابه هم بود و هر دو صفت مذکور در هر یک از سطوح تنش کاهش معنی‌داری نشان دادند. بیش‌ترین عملکرد اقتصادی و عملکرد تک بوته در صورت آبیاری کامل به‌دست آمد و با شدت یافتن تنش آبی کاهش معنی‌داری در صفات مذکور مشاهده شد. میزان این کاهش در تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری (تنش ملایم و تنش شدید) در مقایسه با آبیاری کامل در عملکرد اقتصادی به ترتیب ۲۰ و ۵۱ درصد و در عملکرد بوته ۱۵ و ۴۰ درصد مشاهده شد. مقایسات میانگین تیمارها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد بوته در صورت آبیاری کامل به‌دست می‌آید و مقدار عملکرد در تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل به ترتیب ۱۵/۵ و ۳۹/۷ درصد کاهش یافت. در مطالعات زیادی کاهش عملکرد سیب‌زمینی در مواجهه با تنش آبی به اثبات رسیده است (باقری و همکاران، ۱۳۹۵؛ کینگ و همکاران، ۲۰۰۳؛ حسن‌پناه، ۲۰۰۹؛ آلو^۱ و همکاران، ۲۰۱۲؛ ایزا^۲، ۲۰۱۳؛ دملاش، ۲۰۱۳؛ مارالیان و همکاران، ۲۰۱۴). خورشیدی بنام و همکاران (۱۳۸۱) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب، تعداد غده در بوته، درصد ماده خشک و عملکرد شد که با نتایج حاصل مطابقت دارد. باغانی (۱۳۸۸)، یووان^۳ و همکاران (۲۰۰۳) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. ایرنا و مائورومیکال (۲۰۰۶) گزارش کردند تنش کم‌آبی باعث افزایش مقاومت روزنه‌ای، کاهش میزان فتوسنتز برگ، بیوماس اندام هوایی و کاهش رشد غده شده، در نتیجه عملکرد کاهش می‌یابد. باقری و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که عملکرد غده بذری در رژیم‌های مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری نشان نداد ولی عملکرد اقتصادی در سطح احتمال آماری تحت تأثیر تنش آبی قرار

1. Alva
2. Ayas
3. Yuan

جدول ۳: مقایسه میانگین صفات تحت تأثیر مقادیر آبیاری در سیب زمینی
Table 3: Mean comparison of traits affected by limited irrigation in potato

عملکرد بوته (گرم) Plant yield (gr)	عملکرد بذری (گرم) Tubers between 35-55 mm (gr)	عملکرد اقتصادی (گرم) Tubers more than 35 mm (gr)	وزن غده‌های ریز (گرم) Tubers less than 35 mm (gr)	وزن خشک برگ (گرم) Leaf dry weight (gr)	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (gr)	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Carotenoid (mg/gFW)	مجموع کلروفیل (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Total chlorophyll (mg/gFW)	زمان گل‌دهی (روز) Flowering time (day)	زمان سبز شدن (روز) Emergence time (day)	آبیاری Irrigation
557.7 ^a	680.8 ^a	680.8 ^a	109.1 ^b	60.9 ^a	71.0 ^a	0.492 ^a	1.41 ^a	64.4 ^a	43.3 ^a	شاهد Control
669 ^b	429.2 ^b	544.3 ^b	125.1 ^{ab}	59.8 ^a	53.8 ^b	0.471 ^b	1.28 ^b	61.3 ^b	39.7 ^b	80%
467 ^c	313.8 ^b	330.9 ^c	145.3 ^a	50.4 ^b	44.3 ^b	0.363 ^c	0.968 ^c	56.6 ^c	36.1 ^c	60%

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار تفاوت معنی‌دار باهم ندارند (در سطح احتمال کمتر از ۰/۰۵)
In each column, means with similar letters are not significantly different according to the LSD test ($p \leq 0.05$)

جدول ۴: مقایسه میانگین صفات در ارقام سیب زمینی
Table 4: Mean comparison of traits in potato cultivars

عملکرد بوته (گرم) Plant yield (gr)	عملکرد بذری (گرم) Tubers between 35-55 mm (gr)	عملکرد اقتصادی (گرم) Tubers more than 35 mm (gr)	تعداد ساقه Stem number	ارتفاع ساقه اصلی (سانتی‌متر) Main stem height (cm)	قطر ساقه اصلی (میلی‌متر) Main stem diameter (mm)	زمان گل‌دهی (روز) Flowering time (day)	زمان سبز شدن (روز) Emergence time (day)	ژنوتیپ Genotype
662 ^{ab}	455.4 ^a	530.3 ^{ab}	5.41 ^b	74.4 ^a	12.0 ^b	64.2 ^a	43.6 ^a	82-10
680 ^a	451.3 ^a	552.0 ^a	5.56 ^b	74.6 ^a	12.7 ^b	61.1 ^b	39.4 ^b	97-2
594 ^b	394.0 ^b	472.7 ^b	6.62 ^a	61.1 ^b	13.4 ^a	57.1 ^c	36.0 ^c	Agria

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار تفاوت معنی‌دار باهم ندارند (در سطح احتمال کمتر از ۰/۰۵)
In each column, means with similar letters are not significantly different according to the LSD test ($p \leq 0.05$)

جدول ۵: مقایسه میانگین صفات تحت تأثیر کود زیستی در سیب زمینی
Table 5: Mean comparison of traits affected by bio-fertilizer in potato

عملکرد بوته (گرم) Plant yield (gr)	عملکرد بذری (گرم) Tubers between 35-55 mm (gr)	عملکرد اقتصادی (گرم) Tubers more than 35 mm (gr)	وزن خشک برگ (گرم) Leaf dry weight (gr)	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (gr)	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Carotenoid (mg/gFW)	مجموع کلروفیل (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Total chlorophyll (mg/gFW)	تعداد ساقه Stem number	ارتفاع ساقه اصلی (سانتی‌متر) Main stem height (cm)	قطر ساقه اصلی (میلی‌متر) Main stem diameter (mm)	زمان گل‌دهی (روز) Flowering time (day)	زمان سبز شدن (روز) Emergence time (day)	شاهد Control
614 ^b	403.7 ^b	489.5 ^b	53.1 ^b	53.1 ^b	0.415 ^b	1.14 ^b	5.50 ^b	67.6 ^b	12.7 ^b	58.8 ^b	38.4 ^b	شاهد Control
676 ^a	463.7 ^a	547.4 ^a	61.0 ^a	59.7 ^a	0.467 ^a	1.30 ^a	6.23 ^a	71.4 ^a	13.2 ^a	62.8 ^a	41.0 ^a	کود زیستی Bio-fertilizer

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار تفاوت معنی‌دار باهم ندارند (در سطح احتمال کمتر از ۰/۰۵)
In each column, means with similar letters are not significantly different according to the LSD test ($p \leq 0.05$)

شد. همچنین ایشان گزارش کردند که با مصرف کود زیستی نیتروکارا، صفات وزن غده‌های با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر (غده‌های ریز)، وزن غده‌های با قطر ۷۰-۳۵ میلی‌متر و وزن غده‌های با قطر بزرگ‌تر از ۷۰ میلی‌متر (غده‌های درشت) افزایش معنی‌داری داشت. ورما و همکاران (2013) و محمدی و همکاران (2013) نیز در مطالعات خود استفاده تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی را توصیه نموده‌اند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف کود زیستی به‌صورت بذرمال باعث بهبود ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکردی سیب‌زمینی گردید. لذا با توجه به تأثیر مثبت کود زیستی بر صفات مورد مطالعه در سیب‌زمینی، ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و تولید محصول سالم می‌توان از این کودها در راستای کشاورزی پایدار به‌صورت تلفیقی با کودهای شیمیایی استفاده نمود. انجام تحقیقات تکمیلی در مورد ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، اکولوژیکی و عملکردی ژنوتیپ ۲-۹۷ لازم است تا در خصوص معرفی این ژنوتیپ به‌عنوان رقم برتر، با قاطعیت بیشتری اظهار نظر نمود. همچنین انجام تحقیقات بیشتر در خصوص روش‌های دیگر کاربرد کود زیستی (خاک کاربرد، برگ‌پاشی، محلول در آب و بذرمال) توصیه می‌گردد.

میرشکاری (۱۳۹۱) افزایش ۱۸ درصدی عملکرد غده را در صورت استفاده از کودهای زیستی گزارش کرده است به نظر می‌رسد کودهای بیولوژیک به‌ویژه ازتوباکتر با اثر مثبت روی حجم ریشه و بهبود جذب آب و مواد غذایی و به دنبال آن افزایش میزان ذخیره ماده خشک در غده‌ها در طول دوره رشد، موجب کاهش درصد غده‌های کوچک‌تر می‌شوند که با توجه به اهمیت اندازه غده در بازار می‌تواند برای بالا بردن ارزش اقتصادی محصول از این لحاظ توصیه شود (میرشکاری، ۱۳۹۱). ناندکار^۱ و همکاران (2006) با کاربرد کودهای زیستی، علت افزایش ارتفاع گیاه، تعداد ساقه و تعداد برگ را تحریک سنتز هورمون‌های گیاهی گزارش کردند. سینگ (2013) و داداش‌زاده و همکاران (2013) با بررسی تأثیر کودهای زیستی در سیب‌زمینی گزارش کردند که با کاربرد کودهای زیستی بیش‌ترین میزان عملکرد غده، ارتفاع بوته و تعداد ساقه حاصل شد. که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. اما فرج و همکاران (2013) گزارش کردند که کود زیستی فسفورئین و شاهد اثر مشابهی بر عملکرد داشته (عدم معنی‌داری) و تعداد ساقه نیز تحت تأثیر کود زیستی قرار نگرفت. طباطبایی^۲ و همکاران (2014) نیز گزارش کردند که مصرف کودهای زیستی نیتروکارا و نیتروکسین + کود فسفات، عملکرد غده، وزن خشک غده و تعداد غده در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود زیستی) باعث افزایش معنی‌داری در صفات مذکور گردید. میزان افزایش عملکرد در صورت کاربرد نیتروکارا حدود ۳۳ درصد و در صورت کاربرد نیتروکسین+ فسفات حدود ۳۷ درصد گزارش

منابع

- احمدی عدلی، ر. ۱۳۷۵. تعیین میزان آب مصرفی سیب‌زمینی. گزارش نهایی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل.
- اسکندری، ع.، خزاعی، ح.، نظامی، ا.، کافی، م. و مجد آبادی، ع. ۱۳۹۰. تأثیر رژیم آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در شرایط آب و هوایی مشهد. علوم باغبانی، مجله علوم و صنایع کشاورزی، ۲۵: ۲۱۰-۲۰۱.
- اصغری زکریا، ر. و سیدشرفی، ر. ۱۳۸۷. زراعت و اصلاح سیب‌زمینی. انتشارات مهد تمدن. ۱۶۵ صفحه.
- باغانی، ج. ۱۳۸۸. آرایش کاشت و مقادیر آب در سیب‌زمینی با آبیاری قطره‌ای در مشهد. مجله آب‌و‌خاک، ۲۳: ۱۵۹-۱۵۳.
- باقری، ح. ر.، قرینه، م. ح.، بخشنده، ع. م.، طایی، ج.، محنت‌کش، ع. م. و اندرزیان، ب. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر تنش کم‌آبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum L.*). مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۹ (۱): ۱۴-۱.
- بهبود، م.، گلچین، ا. و بشارتی، ح. ۱۳۹۱. تأثیر فسفر و باکتری‌های محرک رشد سودموناس فلورسنس بر عملکرد و کیفیت گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا. مجله آب‌و‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶: ۲۷۱-۲۶۰.
- خورشیدی بنام، م. ب.، رحیم‌زاده خویی، ف.، میرهادی، م. ج. و نورمحمدی، ق. ۱۳۸۱. بررسی اثرات تنش خشکی در مراحل رشد ارقام مختلف سیب‌زمینی. مجله علوم زراعی ایران، ۴: ۵۸-۴۸.

1. Nandekar
2. Tabatabai

- شیری جناقرد، م. ۱۳۸۵. تعیین روند رشد و آنالیز برخی از صفات کمی و کیفی سیبزمینی در الگوهای مختلف آبیاری قطره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی، ۹۳ صفحه.
- صادقی، س.، حیدری، غ. ر. و سهرابی، ی. ۱۳۹۴. تأثیر کودهای زیستی و مدیریت حاصلخیزی بر برخی شاخص‌های رشدی دو رقم ذرت دانه‌ای. مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۵: ۴۳-۶۰.
- قلی‌نژاد، ا. و درویش‌زاده، ر. ۱۳۹۴. اثر قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد توده‌های محلی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در سطوح مختلف آبیاری. مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۵: ۱۱۹-۱۳۵.
- میرشکاری، ب. ۱۳۹۱. اثر تلقیح بذر با کودهای بیولوژیک بر عملکرد غده و اجزای عملکرد سه رقم سیبزمینی. مجله دانش نوین کشاورزی پایدار، ۸: ۷۷-۸۶.
- وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۴. آمارنامه کشاورزی، جلد اول، محصولات زراعی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصاد. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی. ۱۶۹ صفحه.
- Abd Elmouty, M. M., Ali, A. H. and Rizk, F. A. 2001. Potato yield as affected by the interaction between bio-and organic fertilizers. *Egyptian Journal of Applied Science*, 16 (6): 267-286.
- Abd Elvhab, K. and Riaz, P. P. 2006. Sustainable nutrition management of potato under water stress conditions. *Egyptian Journal of Agronomy*, 13 (3): 21-26.
- Abou Hussein, S. D., Eloksh, I. I., Elshorbagy, T. and Elbehairy, U. A. 2002. Effect of chicken manure, compost and biofertilizers on vegetative growth, tuber characteristics and yield of potato crop. *Egyptian Journal of Horticulture*, 29 (1): 135-149.
- Ahmed, A. A., Abd Elbaky, M. M. H., Abd Elaal, F. S. and Zaki, M. F. 2009. Comparative studies of application both mineral and bio-potassium fertilizers on the growth, yield and quality of potato plant. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5 (6): 1061-1069.
- Alva, A. K., Ren, H. and Moore, A. D. 2012. Water and nitrogen management effects on biomass accumulation and partitioning in two potato cultivars. *American Journal of Plant Sciences*, 3: 164-170.
- Arnon, D. L. 1994. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24: 1-15.
- Ashour, S. A. 1998. Influence of bio-fertilizers and phosphorus application on growth and yield of potato. *Journal of Agricultural Science*, 23 (7): 3351-359.
- Ati, A. S., Iyada, A. D. and Najim, S. M. 2012. Water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) under different irrigation methods and potassium fertilizer rates. *Annals of Agricultural Science*, 57 (2): 99-103.
- Ayas, S. 2013. The effects of different regimes on potato (*Solanum tuberosum* L. Hermes) yield and quality characteristics under unheated greenhouse conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19 (1): 87-95.
- Dadashzadeh, S., Yarnia, M. and Hassanpanah, D. 2013. Effects of nitroxin bio-fertilizer on yield and yield components of potato cultivars in Sarab region. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4 (12): 3152-3156.
- Demelash, N. 2013. Deficit irrigation scheduling for potato production in North Gondar, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 8 (11): 1144-1154.
- Donnelly, D. J., Coleman, W. K. and Coleman, S. E. 2003. Potato microtuber production and performance: A review. *American Journal of Potato Research*, 80: 103-115.
- Erdem, T., Erdem, Y., Orta, H. and Okursoy, H. 2006. Water-yield relationships of potato under different irrigation methods and regimens. *Science of Agriculture*, 63 (3): 226-231.
- FAO. 2014. FAO Statistics Division. 2014: 11 August. Available in: <http://http://faostat.fao.org/faostat/collections?Subset=agriculture>.
- FAO. 2015. Available in: www.potatopro.com/world/potato-statistics.
- Farag, M. I., Aly Abdalla, M., Mohamed, M. F. and Aboul Nasr, M. H. 2013. Effect of biofertilization on yield and quality of some potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4 (7): 695-702.
- Fernie, A. R. and Willmitzer, L. 2001. Molecular and biochemical triggers of tuber development. *Plant Physiology*, 127: 1459-1465.
- Hassanpanah, D. 2009. Effects of water deficit and potassium humate on tuber yield and yield component of potato cultivars in Ardabil Region, Iran. *Research Journal of Environment Science*, 3: 351-356.
- Hassanpanah, D., Gurbanov, E., Gadimov, A. and Shahriari, R. 2008. Determination of yield stability in advanced potato cultivars as affected by water deficit and potassium humate in Ardabil region, Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 15: 1354-1359.
- Haverkort, A. J., Van de Waart, M. and Bodlaeander, K. B. A. 1990. The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolen of potato in controlled and field conditions. *Potato Research*, 33: 89-96.
- Heuer, B. and Nadler, A. 1995. Growth and development of potatoes under salinity and water deficit. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46 (7): 1477-1486.

- Hossein, A. K., Fawzy, H. and Radwan, S. 2009. Influence of combined application of organic and inorganic fertilization rates with bio fertilizer on potato under integrated weed managements. National Research Center, Cairo, Egypt.
- Irna, A. and Mauromicale, G. 2006. Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, 82: 193-209.
- Jefferies, R. A. 1993. Responses of potato genotypes to drought. I. Expansion of individual leaves and osmotic adjustment. *Annals of Applied Biology*, 122: 93-104.
- Kashyap, P. S. and Panda, R. K. 2003. Effect of irrigation scheduling on potato crop parameters under water stressed conditions. *Agriculture and Water Management*, 59: 49-66.
- King, B., Stark, J. and Love, S. 2003. Potato production with limited water supplies. Paper presented at the Idaho Potato Conference. January 22.
- Lynch, D. R. and Tai, G. C. 1989. Yield and yield component response of eight potato genotypes to water stress. *Crop Science*, 29: 1207-1211.
- MacKerron, D. K. L. 1985. A simple model of potato growth and yield. I. Validation and external sensitivity. *Agricultural and Forest Meteorology*, 34: 285-300.
- Maralian, H., Nasrollahzadeh, S., Raiyi, Y. and Hassanpanah, D. 2014. Responses of potato genotypes to limited irrigation. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 5 (5): 13-19.
- Minhas, J. S. and Bansal, K. C. 1991. Tuber yield in relation to water stress at different stages of growth in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Indian Potato Association*, 18 (1-2): 1-8.
- Mohammadi, G. R., Rostami Ajirloo, A., Ghobadi, M. E. and Najaphy, A. 2013. Effects of non-chemical and chemical fertilizers on potato (*Solanum tuberosum* L.) yield and quality. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7 (1): 36-42.
- Nandekar, D. N., Sawarkar, S. D. and Naidu, A. K. 2006. Effect of bio fertilizers and NPK on growth and yield of potato in Satpura plateau. *Potato Journal*, 33 (3-4): 168-69.
- Onder, S., Caliskan, M. E., Onder, D. and Caliskan, S. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. *Agriculture and Water Management*, 73: 73-86.
- Shock, C. C., Zalewski, J. C., Stieber, T. D. and Burnett, D. S. 1992. Impact of early season water deficits on Russet Burbank plant development, tuber yield and quality. *American Potato Journal*, 69: 793-803.
- Singh, U. N. 2013. Effect of bio fertilizers on yield and economic traits of potato at two fertility levels. *Hort Flora Research Spectrum*, 2 (3): 262-264.
- Tabatabai, A., Arshad, M. and Naderi, M. R. 2014. Effect of bio fertilization on yield of potato cultivar Marfona. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2 (2): 272-278.
- Verma, R. B., Arbind Kumar, A. and Pathak, S. P. 2013. Studies on nutrient management options in potato. *Potato Journal*, 40 (1): 72-75.
- Yuan, B. Z., Nishyama, S. and Kang, Y. 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. *Agriculture and Water Management*, 63: 153-167.
- Zahir, Z. A., Arshad, M., Azam, M. and Hussain, A. 1997. Effect of an auxin precursor tryptophan and Azotobacter inoculation on yield and chemical composition of potato under fertilized conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 20 (6): 745-753.

Ecophysiological Response of Potato Cultivars to Bio-fertilizer and Limited Irrigation

Maralian^{1*}, H., Nasrollahzadeh², S., Raiyi³, Y. and Hassanpanah⁴, D.

Abstract

In order to study the effect of deficit irrigation and bio-fertilizer on potato cultivars, a field experiment was conducted at Ardabil Agricultural and Natural Research Center, Iran, in year 2014. Water deficit stress set as main factor with three levels, I₁ (full irrigation), I₂ (0.8 full irrigation) and I₃ (0.6 full irrigation), three genotypes set as split plot and bio fertilizer set as split split plot based on randomized complete block design with three replications. Adjectives such as emergence and flowering time, plant height, main stem diameter, number of stem, leaf and stem dry weight, chlorophyll and carotenoid content and plant yield were studied. Results indicated that all traits significantly affected by Irrigation treatments, exception number of branches. Emergence, flowering date, plant height, stem diameter, number of branches and plant yield had significant differences among genotypes. Effect of interactions between irrigation and genotype were significant on stem diameter only. Bio fertilizer increased amount of all traits as plant yield increased in 10 percent proportion compared with control. The highest potato yield was obtained in Clone 97-2. The highest yield obtained with full irrigation and potato yield decreased 40 percent by severe water stress compared with control. Therefore using of bio fertilizer recommended as supplement fertilizer for potato.

Keywords: Stress, Inoculation, Carotenoid, Yield

1, 2 and 3. PhD Student, Associate Professor and Professor, Respectively, Department of Eco-Physiology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran

4. Assistant Professor, Department of Horticulture Crops Research, Agricultural and Natural Resources Research Centre, Ardabil, Iran

*: Corresponding author

Email: maralianhabib@gmail.com