Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

The effect of growth-promoting bacteria on the quantitative and qualitative agricultural traits of various cultivars of *Solanum tuberosum* under drought stress in the greenhouse and garden conditions

Rahmat Nouri Shahali-Baighlou[1], Jalil Ajali[2]✉, Davoud Hassanpanah[3], Ali Faramarzi[4], Naser Mohebealipour[5]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran. Email: Rahmatnori@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran. Email: jalil.ajali@yahoo.com
3. Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre (Moghan), AREEO, Ardabil, Iran, Email: hassanpanah_d@yahoo.com
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran, Email: aliifaramarzii52@gmail.com
5. Department of Agronomy and Plant Breeding, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran, Email: nasermojebali@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Jan. 25, 2023

Revised: Feb. 24, 2022

Accepted: Feb. 25, 2022

Published online: March. 21, 2023

Keywords:
Solanum tuberosum,
Growth-promoting bacterium,
Drought stress,
Agricultural traits,
Qualitative

ABSTRACT

Potato (Solanum tuberosum L) is one of the tuberous products that plays an important role in the nutrition of the world's people, therefore, in order to investigate the effect of growth-promoting bacteria on the agronomic and qualitative traits of different potato cultivars, an experiment was carried out . The conducted research in 2018 examined the effect of growth-promoting bacteria on the quantitative and qualitative agricultural traits of various cultivars of Solanum tuberosum under drought stress in greenhouse and garden conditions . In the garden part, the hybrid of Enterobacter cloacae bacterium × 100% water requirements × Jelly cultivar with means of 48.53 ton/ha and 7.87 kg/m3 had the maximum tuber yield and water productivity, and the hybrid of no bacteria × 60% water requirements × Milva cultivar with means of 23.40 ton/ha and 3.8 kg/ha had the minimum tuber yield and water productivity among the treatments. Actually, using Enterobacter cloacae bacterium in addition to 100% water requirement increased tuber yield and water productivity up to 51.78 and 51.72%, respectively, compared to the no growth-promotion bacterium × 60% water requirements . The indexes of tolerance (TOL) and sensitivity to water scarcity stress in the garden showed that Jelly cultivar in mild stress condition, Agria cultivar in severe stress condition in control treatment had minimum TOL than the other conditions according to TOL index. In addition, Jelly cultivar, when Enterobacter cloacae is used as a growth-promoting bacterium, was superior to the control treatment and use of Azospirillum bacteria according to YP, MP, and GMP indexes. It showed tolerance against the made stress and had a higher tolerance than the two other treatments in mild stress conditions . In general, in laboratory, greenhouse and field conditions, water deficit stress caused the reduction of the evaluated traits. The use of Interbacterculase bacteria was effective in improving the proposed traits compared to its non-use bacteria and caused increasing in most of the proposed traits.

Cite this article: Nouri Shahali-Baighlou, R., Ajali, J., Hassanpanah, D., Faramarzi, A., & Mohebealipour, N. (2023). The effect of growth-promoting bacteria on the quantitative and qualitative agricultural traits of various cultivars of Solanum tuberosum under drought stress in the greenhouse and garden conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (1), 223-243. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354340.669438

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354340.669438

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۱ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر صفات زراعی و کیفی ارقام مختلف سیب‌زمینی تحت تنش کم‌آبی در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای

رحمت نوری شاهعلی بیگلو [۱]، جلیل اجلی [۲]✉، داود حسن پناه [۳]، علی فرامرزی [۴] و ناصر محبعلی‌پور [۵]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران. رایانامه: Rahmatnori@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران. رایانامه: jalil.ajali@m-iau.ac.ir

۳. بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران، رایانامه: hassanpanah_d@yahoo.com

۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران، رایانامه: aliifaramarzii52@gmail.com

۵. گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران، رایانامه: nasermojebali@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱/۱

واژه‌های کلیدی:
باکتری محرک رشد،
تنش کم‌آبی،
سیب‌زمینی،
صفات زراعی،
کیفی.

چکیده

به منظور بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر روی صفات زراعی و کیفی ارقام مختلف سیب‌زمینی تحت تنش کم‌آبی و بررسی تأثیرشان بر شاخص‌های تحمل در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای آزمایشی در سال ۱۳۹۷ به اجرا درآمد. در بخش مزرعه‌ای ترکیب اینتروباکترکولاسه در ۱۰۰ درصد نیاز آبی در رقم جلی با میانگین‌های ۴۸/۵۳ تن در هکتار و ۷/۸۷ کیلوگرم در مترمکعب بیشترین و ترکیب بدون باکتری در۶۰ درصد نیاز آبی در رقم میلوا با میانگین‌های ۲۳/۴۰ تن در هکتار و ۳/۸ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد غده و کارایی مصرف آب را در بین تیمارهای مورد ارزیابی به خود اختصاص دادند در واقع کاربرد باکتری از نوع اینتروباکترکولاسه در کنار استفاده از نیاز آبی به میزان ۱۰۰ درصد نسبت به عدم استفاده از باکتری محرک رشد در شرایط ۶۰ درصد نیاز آبی باعث افزایش ۵۱/۷۸ و ۵۱/۷۲ درصدی عملکرد غده و کارایی مصرف آب گردید. شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محدودیت آبی در مزرعه نشان داد که از نظر شاخص TOL در شرایط تنش ملایم رقم جلی و در شرایط تنش شدید رقم آگریا در شرایط شاهد نسبت به سایر شرایط دارای مقدار TOL کمتری بود، همچنین در شرایط تنش ملایم از نظر شاخص های YP, MP و GMP رقم جلی در شرایطی که از باکتری محرک رشد اینتروباکترکولاسه استفاده گردید دارای برتری نسبت به شاهد و باکتری آزوسپیریلوم بوده و نسبت به تنش ایجاد شده تحمل نشان داد و نسبت به دو تیمار دیگر در شرایط تنش ملایم تحمل بیشتری را داشته است. در کل در شرایط آزمایشگاهی، گلخانه‌ای و مزرعه‌ای، تنش کم‌آبی باعث کاهش صفات مورد ارزیابی گردید. کاربرد باکتری اینترباکترکولاسه نسبت به عدم کاربرد آن در بهبود صفات مورد ارزیابی مؤثر بوده و باعث افزایش اکثر صفات مورد ارزیابی در این پژوهش شد.

استناد: شاهعلی بیگلو؛ رحمت، اجلی؛ جلیل، حسن پناه؛ داود، فرامرزی؛ علی، محبعلی پور؛ ناصر (۱۴۰۲). تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر صفات زراعی و کیفی ارقام مختلف سیب‌زمینی تحت تنش کم‌آبی در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۱)، ۲۴۳-۲۲۳.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354340.669438

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354340.669438

مقدمه

با افزایش مداوم جمعیت دنیا نیاز به مواد غذایی روز به روز با سرعتی شگرف افزایش می‌یابد. سازمان خواروبار جهانی اعلام کرده است که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۹/۸ میلیارد نفر خواهد رسید که تأمین مواد غذایی این جمعیت نیاز به کوشش و پیگیری در زمینه کشاورزی و علوم بستگی دارد (Pais et al., 2020 و Poudel et al., 2023). با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در سه دهه اخیر مصرف سالیانه مواد غذایی فقط در حدود ۲۰ درصد افزایش یافته است (Lefe et al., 2017). براساس برآوردهای موجود تا سال ۲۰۵۰ باید مقدار تولید محصولات غذایی در کشورهای در حال توسعه ۷۰ درصد بیشتر از تولید فعلی آن باشد تا بتواند همگام با جمعیت رو به رشد حرکت نماید و بدرستی جواب‌گوی نیازهای آنها باشد (Batool et al., 2020). یکی از استراتژی‌هایی که به کاهش این ریسک کمک می‌کند، تغییر تولید مواد غذایی به سمت تولید محصولات اساسی مغذی مانند سیب‌زمینی است که حساسیت کمتری نسبت به تغییر بازارهای بین‌المللی دارند (اصغری، ۱۳۸۹).

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L) از محصولات غده‌ای است که نقش مهمی در تغذیه مردم جهان دارد (سبحانی و حمیدی، ۱۳۹۳) که در ۷۹ درصد کشورهای جهان کشت می‌شود. این محصول پس از برنج، گندم و ذرت در جایگاه چهارم از نظر حجم تولید در جهان قرار دارد و ارزان ترین و آسان ترین منبع پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری، کربوهیدرات‌ها، مواد معدنی، آنتی اکسیدان‌ها و ویتامین‌ها را در سراسر جهان فراهم می‌کند (Li et al., 2020). گیاهان در طول دوره رشد خود در معرض تنش‌های گوناگونی قرار دارند و در این میان کمبود آب بزرگترین چالش در تولید محصولات زراعی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا از جمله ایران می‌باشد (Islam et al., 2021). امروزه کم‌آبی یکی از مهمترین عوامل محدود کننده ازدیاد محصول در نواحی خشک و نیمه خشک می‌باشد (Mollasadeghi et al., 2011a) و کاهش رشد در اثر تنش خشکی به مراتب بیشتر از سایر تنش‌های محیطی است (Gupta et al., 2020). خشکی یکی از رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sun et al., 2020). تحت شرایط کم‌آبیاری، عملکرد سیب‌زمینی با میزان آب کاربردی رابطه خطی دارد (Shock and Feibert, 2002). از سوی دیگر روش‌های معمول و متداول کشاورزی در جهان موفقیت قابل توجهی را در جهت مدیریت منابع نداشته اند و با اتکای بیش از حد به نهاده‌های ساختگی و مصنوعی از قبیل سموم و کودهای شیمیایی به منظور افزایش تولید، باعث مشکلات زیست محیطی زیادی از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی، کاهش باروری خاک و همچنین ایجاد اکوسیستم‌های ناپادار گردیده است (Roberts, 2008). از این رو به منظور برخورداری از یک سیستم کشاورزی پایدار، استفاده از نهاده‌هایی که علاوه بر افزایش تولید، موجب بهبود جنبه‌های بیولوژیکی سیستم می‌شود و در عین حال مشکلات محیطی را نیز کاهش می‌دهد یک راه حل مناسب جهت جلوگیری از این مشکلات به شمار می‌رود (Kumar et al., 2004).

در سال‌های اخیر بررسی ویژگی‌های زیستی منطقه رشد ریشه گیاه جهت اصلاح فیزیکی و شیمیایی خاک به منظور بهبود وضعیت تغذیه و رشد گیاه مورد توجه قرار گرفته است. نتایج مطالعات حاکی از آن است که تعدادی از گونه‌های باکتریایی دارای روابط متقابل و همزیستی با ریشه گیاهان می‌باشند و اثرات مفیدی بر رشد آنها دارند (Vessey, 2003). باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR) از جمله ریزجاندارانی هستند که اغلب در نزدیکی ریشه و یا حتی داخل ریشه گیاهان یافت می‌شوند و به طور مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاه تاثیرگذار هستند (Carletti et al., 1994). کودهای زیستی این پتانسیل را دارند که هزینه نهاده تولیدات کشاورزی را کاهش دهند. بعضی از سویه‌های سودوموناس می‌توانند ترکیبات نامحلول حاوی عنصر روی را حل کنند این باکتری‌ها حل کننده روی (ZSB) [1] معروف هستند (Lonergan and Webb, 1993). باکتری‌های محرک رشد و مخصوصا سودوموناس‌های فلورسنت اعلب سبب افزایش تحرک عناصر معدنی نامحلول در خاک می‌گردند و در نتیجه جذب این عناصر توسط گیاه را بهبود می‌بخشد (Lifshitz *et al.*, 1989). همچنین گزارش شده است که گونه‌های مختلف جنس سودوموناس در کنترل قارچ‌های بیماری‌زا موثرند و از طریق مکانیسم‌های مختلفی از جمله تولید سیدروفور، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها ، تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاهی، افزایش جذب فسفر، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌های تنظیم کننده غلظت اتیلن در گیاه سبب تحریک رشد می‌شوند (Abdul-Jaleel *et al.*, 2007).

Ierna and Mauromicale, (2012) گزارش کردند سیب‌زمینی به دلیل سیستم ریشه‌ای سطحی و محدود، به تنش کم‌آبی حساس بوده و کمبود آب در مرحله غده‌زایی، باعث کاهش عملکرد غده می‌گردد. استفاده از ارقام متحمل به تنش کم‌آبی (Cabello *et al.*, 2012

1-Zinc solubilizing bacteria

؛ Anithakumari *et al.*, 2012) و داشتن سیستم ریشه‌ای قوی (Palta *et al.*, 2011) برای کاهش مصرف آب و جلوگیری از کاهش عملکرد غده مؤثر می‌باشد. حساس‌ترین مرحله رشد به تنش کم‌آبی، مرحله شروع غده‌زایی می‌باشد (Iqbal *et al.*, 1999). تنش کم‌آبی در سیب‌زمینی باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه، سطح برگ، ریز شدن برگ‌ها و طول ساقه (Farooq *et al.*, 2009)، کاهش سطح برگ (Shao *et al.*, 2008)، وزن و رشد رویشی گیاه، کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک (Nayyar and Gupta, 2006)، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه و برگ و تعداد ریشه (Donnelly *et al.*, 2003)، وزن خشک ریشه (Sharma *et al.*, 2011)، شاخص برداشت و ماده خشک غده (Schittenhelma *et al.*, 2006)، میزان فتوسنتز برگ، بیوماس اندام هوایی، رشد غده (Irna and Mauromicale, 2006)، ارتفاع بوته (Donnelly *et al.*, 2003 و Schittenhelma *et al.*, 2006) و کیفیت و عملکرد غده (Lynch *et al.*, 1995 و Hassanpanah *et al.*, 2008) می‌شود. تنش کم‌آبی در سیب‌زمینی باعث افزایش نسبت طول ریشه به طول ساقه و نسبت طول ریشه به حجم ریشه می‌گردد (Gopal and Iwama, 2007). بروسارد و سناتو (Brussard and Cenato, 1997) گزارش کردند که افزودن کودهای بیولوژیک به خاک سبب افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و در نهایت موجب افزایش رشد گیاهان می‌شود. تأثیر مثبت قارچ‌ها و باکتری‌های محرک رشد بر افزایش عملکرد غده‌های سیب‌زمینی در شرایط مزرعه پیشتر توسط محققین مختلف گزارش شده است (Graham *et al.*, 1976 ؛ Niemira *et al.*, 1995 ؛ Vosátka and Gryndler, 1999 و Wu *et al.*, 2005). دانگ‌پنگ و همکاران (Duangpaeng *et al.*, 2012) نتیجه گرفتند استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش عملکرد گردید. اعتصامی و همکاران (Etesami *et al.*, 2015) را در برنج مفید اعلام کردند. با این حال تأثیر این گروه از قارچ‌ها و باکتری‌ها بر رشد و افزایش عملکرد مینی‌تیوبر سیب‌زمینی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. نتایج تحقیقات مختلف نشان دهنده تاثیرات مثبت کودهای بیولوژیک برروی رشد گیاهان مختلف می‌باشد.

با توجه به جایگاه ویژه سیب‌زمینی در تامین غذای مورد نیاز کشور و صنایع تبدیلی وابسته به آن و با توجه به روند افزایش جمعیت، افزایش تولید در واحد سطح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این میان فاکتورهای زیستی که رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند کمتر مورد استفاده و توجه کشاورزان قرار گرفته است. در حالی که ریزجاندارن مفید موجود در خاک می‌توانند یک مولفه مشخص در مدیریت منابع به منظور تولید محصول بیشتر و مصرف کمتر کودهای شیمیایی و سموم مضر برای سلامت انسان و محیط زیست باشند (Shaalan, 2005). لذا در این تحقیق تأثیر باکتری‌های محرک رشد (اینتروباکترکولاسه و آزوسپیریلوم) در شرایط تنش کم‌آبی در سه بخش آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه‌ای بر صفات زراعی، کیفی و فیزیولوژیکی ارقام مختلف سیب‌زمینی مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر روی صفات زراعی، کیفی و فیزیولوژیکی ارقام مختلف سیب‌زمینی تحت تنش کم‌آبی در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای آزمایشی در سال ۱۳۹۷ به اجرا درآمد.

گلخانه‌ای

در این بخش آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در گلخانه شرکت فناوری زرع‌گستر آرتا به اجرا درآمد. تیمارهای مورد ارزیابی شامل فاکتور A تیمار باکتری‌های محرک رشد ریشه گیاه در سه سطح (شاهد، اینتروباکترکولاسه و آزوسپیریلوم)، فاکتور B غلظت ماده پلی‌اتیلن‌گلیکول در سه سطح (صفر، ۳-، ۶- بار) و فاکتور C ارقام (آگریا، جلی و میلوا) اجرا شد. پلی‌اتیلن‌گلیکول در پتانسیل‌های مختلف اسمزی با استفاده از روش بلوم (Blum, 2006) در غلظت‌های مورد نظر طبق جدول ۱ تهیه شد. مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر از باکتری‌های محرک رشد ریشه گیاه اینتروباکترکولاسه و آزوسپیریلوم در یک لیتر آب مخلوط کرده و ریشه‌های گیاهچه‌ها با محلول آماده شده آغشته و سپس به بستر کشت انتقال داده شد. در این بخش صفات تعداد مینی تیوبر در متر مربع، وزن مینی‌تیوبر در متر مربع، متوسط وزن مینی‌تیوبر، ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته، درصد ماده خشک غده، وزن مخصوص غده، درصد نشاسته غده، تعداد برگ در بوته اندازه‌گیری شدند.

مزرعه‌ای

در بخش مزرعه آزمایشی در سال ۱۳۹۷ در مزرعه شرکت فناوری زرع‌گستر آرتا به صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سه سطح آبیاری کشت شد. فاکتور اول شامل سه سطح آبیاری (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) فاکتور

دوم سه تیمار باکتری‌های محرک رشد ریشه گیاه (شاهد، اینتروباکترکولاسه و آزوسپیریلوم) و فاکتور سوم شامل سه رقم سیب‌زمینی بود. در طول فصل رشد گیاه و قبل از هر آبیاری، رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج پرتابل PMS-714 ساخت تایوان اندازه‌گیری و سپس میزان آبیاری بر أساس کمبود رطوبت برآورد و اعمال گردید (جدول ۱).

جدول ۱. میزان آب مصرفی در طی دوره رشد سیب‌زمینی

مراحل رشد سیب‌زمینی	مقدار آب مصرفی در هر نوبت برای تیمارهای مورد استفاده (متر مکعب در هکتار)			تعداد آبیاری
	۱۰۰ درصد نیاز آبی	۸۰ درصد نیاز آبی	٦۰ درصد نیاز آبی	
در مرحله کاشت	۱۵۹	۱۲۷/۲	۹۵/۴	۱
در مرحله کاشت تا شروع غده‌زائی	۲۳۹	۱۹۱/۲	۱۴۳/۴	۳
در مرحله شروع غده‌زائی تا برداشت غده‌ها	۷۱۵	۵۷۲	۴۲۹	۷
جمع کل	۱۱۱۳	۸۹۰/۴	۶۶۷/۸	۱۱

فاصلهٔ ردیف‌های کاشت از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر و فاصلهٔ غده‌ها از یکدیگر در روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر از باکتری‌های محرک رشد ریشه گیاه اینتروباکترکولاسه و آزوسپیریلوم در یک لیتر آب مخلوط کرده غده‌ها با محلول آماده شده آغشته و سپس در زمین کشت شد. در این بخش صفات تعداد غده در بوته، وزن غده در بوته، ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته، درصد ماده خشک غده (خندان و همکاران، ۱۳۹۰)، وزن مخصوص غده، درصد نشاسته غده (A.O.A.C., 1990) و بر اساس عملکرد غده در تیمارهای تحت تنش آبی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی (SSI, TOL, STI, GMP, MP) (Fischer and Maurer, 1978؛ Frenandez, 1992) برآورد شدند. در رابطه (۱ و ۲) شاخص شدت تنش[1] و شاخص حساسیت به تنش[2] مطابق روش فیشر و ماور (Fischer & Maurer, 1978) محاسبه شدند.

$$SI = 1 - (\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P})$$ رابطه (۱)

$$SSI = \{1 - (Y_s / Y_p)\} / SI$$ رابطه (۲)

رابطه (۳ و ۴) شاخص تحمل[3] و متوسط عملکرد یا میانگین بهره‌وری[4] تولید مطابق روش روزیله و هامبلین (Rosielle & Hamblin, 1981) محاسبه شد.

$$MP = (Y_P + Y_S) / 2$$ رابطه (۳)

$$TOL = Y_P - Y_S$$ رابطه (۴)

رابطه (۵ و ۶) میانگین بهره‌وری هندسی[5] و شاخص تحمل به تنش[6] مطابق روش فرناندز (Fernandez, 1992) محاسبه شد.

$$GMP = \sqrt{Y_S \times Y_P}$$ رابطه (۵)

$$STI = (Y_P \times Y_S) / (\bar{Y}_P)^2$$ رابطه (۶)

Ypi = عملکرد هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش Ysi = عملکرد هر ژنوتیپ در محیط داری تنش

$\bar{Y}_P$ = میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش $\bar{Y}_S$ = میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط دارای تنش

تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل تیمارهای مورد آزمایش در این تحقیق داده‌های حاصله از نمونه‌برداری‌ها و اندازه‌گیری‌ها انجام و در طی دوره آزمایش برای صفات مختلف مورد مطالعه، ابتدا آزمون نرمال بودن انجام شد، تجزیه واریانس برای داده‌های حاصل از اندازه گیری صفات مورد مطالعه و مقایسات میانگین براساس آزمون LSD با استفاده از نرم افزار SAS 9.1، و رسم نمودارها با نرم افزار EXCEL انجام شد.

1 - Stress Index
2 - Stress Susceptibility Index
3 -Tolerance
4 - Mean Productivity
5 - Geometric Mean Productivity
6 - Stress Tolerance Index

نتایج و بحث

بخش گلخانه‌ای

نتایج نشان داد که از نظر اثر سه جانبه فاکتور A (باکتری محرک رشد)× سطوح فاکتور B (تنش کم‌آبی) × رقم از نظر کلیه صفات مورد ارزیابی بخش گلخانه اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱٪ مشاهده گردید (جدول ۲). نتایج با یافته‌های (حیدری ساربان، ۱۳۹۵؛ جعفری، ۱۳۹۴؛ Gorji et al., 2012; Naeim & Atrashi, 2014) مطابقت داشت. از نظر ارتفاع گیاهچه ترکیب (اینتروباکترکولاسه×۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه × آگریا و اینتروباکترکولاسه×۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه× میلوا) به ترتیب با میانگین‌های ۱۶/۵ و ۱۷ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع گیاهچه را داشتند. بیشترین و کمترین تعداد برگ در گیاهچه با میانگین‌های ۸/۵ و ۲/۵ عدد مربوط به ترکیب‌های (اینتروباکترکولاسه×۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه × آگریا و شاهد× ۶- بار×میلوا) بود. ترکیب (اینتروباکترکولاسه× ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه × میلوا) و (اینتروباکترکولاسه× ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه × آگریا) به ترتیب بیشترین تعداد ریشه در گیاهچه و تعداد گره در گیاهچه را به خود اختصاص دادند. ترکیب (آزوسپیریلوم× ۶- بار×میلوا) با میانگین ۲/۵۸ سانتی‌متر بیشترین فاصله میانگره و ترکیب (اینتروباکترکولاسه× ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه × آگریا) بیشترین طول ریشه و وزن میکروتیوبر در گیاهچه، ترکیب (اینتروباکترکولاسه× ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه × میلوا) بیشترین تعداد میکروتیوبر در گیاهچه و متوسط وزن میکروتیوبر را به خود اختصاص دادند.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف مورد مطالعه در گلخانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد میکروتیوبر در گیاهچه	وزن میکروتیوبر در گیاهچه	متوسط وزن میکروتیوبر	تعداد مینی‌تیوبر در متر مربع	وزن مینی‌تیوبر در متر مربع	متوسط وزن مینی‌تیوبر
باکتری محرک رشد (A)	۲	۱۰/۱۹**	۰/۳۷**	۰/۰۵۵**	۹۵۸۰۶۸/۰۳۳**	۵۰۷۰۰۳۵/۰۷**	۵/۴۴**
تنش کم‌آبی (B)	۲	۱۶/۴۴**	۰/۶۲۹**	۰/۰۸۶**	۹۱۰۶۸۳/۲۷۶**	۱۸۲۹۴۹۲۲/۵۱**	۳/۷۵**
ارقام (C)	۲	۰/۱۹۴ ^{ns}	۰/۰۱۱*	۰/۰۰۳ ^{ns}	۱۹۲۲۹/۶۷۶**	۱۳۱۸/۵۳^{ns}	۰/۵۰ ^{ns}
A × B	۴	۰/۳۶۱**	۰/۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۲**	۱۶۹۰۴۸/۹۰۳**	۸۶۶۶۶/۰۸**	۴/۲۷**
A × C	۴	۰/۱۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۳۸۰۲۱/۸۷۹**	۳۰۴۱۵۸/۳۶**	۱/۰۳**
B × C	۴	۰/۳۶۱**	۰/۰۱۶**	۰/۰۰۴ *	۲۵۴۰۳/۱۸۴**	۳۲۰۴۷۹/۲۳**	۱/۷۸**
A × B × C	۸	۰/۲۲۸*	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۵ *	۸۶۵۸/۱۷۴**	۱۲۷۲۳۲/۱۵**	۰/۶۸**
اشتباه	۵۴	۰/۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۱۸۳۶۵۸/۵۹	۲۵۵۶۶/۳۱	۰/۰۴۵
ضریب تغییرات (%)	–	۲۸/۱۳	۲۶/۹۷	۲۹/۴۸	۴/۶۳	۷/۰۵	۱۰/۶۷

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع بوته	تعداد ساقه اصلی در بوته	درصد ماده خشک غده	وزن مخصوص غده	درصد نشاسته غده	تعداد برگ در بوته
باکتری محرک رشد (A)	۲	۲۶۲۰/۳۳**	۱۰/۹۸**	۰/۸۰۹**	۰/۰۰۰۰۱۹**	۰/۸۰۴**	۶۹۲/۸۰**
تنش کم‌آبی (B)	۲	۱۳۵۱۰/۳۳**	۱۲/۲۰**	۰/۸۴۴**	۰/۰۰۰۰۱۸**	۰/۸۳۸**	۷۳۲/۰۹**
ارقام (C)	۲	۱۸۲/۳۳**	۰/۱۹۷ ^{ns}	۹/۴۰۳**	۰/۰۰۱۹۸**	۹/۲۳۱**	۲۲/۹۷**
A × B	۴	۳۱۵/۶۷**	۰/۹۷۵**	۰/۱۱۳*	۰/۰۰۰۰۰۲۳ ^{ns}	۰/۱۱۴ ^{ns}	۱۰۴/۱۹۷**
A × C	۴	۶۲/۶۷*	۰/۹۷۰**	۰/۱۴۳*	۰/۰۰۰۰۰۲۷ ^{ns}	۰/۱۴۳*	۱۲/۰۸۶**
B × C	۴	۱۹۱/۶۷**	۰/۶۳۱*	۰/۱۷۴**	۰/۰۰۰۰۰۴۲*	۰/۱۷۳**	۲/۶۵ ^{ns}
A × B × C	۸	۶۷/۷۵**	۰/۶۷۵*	/۱۶۱**	۰/۰۰۰۰۳**	۰/۱۵۹**	۶/۵۰۳**
اشتباه	۵۴	۲۲/۹۲	۰/۲۶۲	۰/۰۵۲	۰/۰۰۰۰۰۱۴	۰/۰۵۳	۱/۴۳
ضریب تغییرات (%)	–	۶/۵۷	۱۷/۷۷	۱/۱۱	۰/۱۰۷	۱/۵۳	۴/۵۰

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

شاخص‌های تحمل در گلخانه

با استفاده از شاخص حساسیت و مقاومت به تنش می‌توان ژنوتیپ‌ها را براساس مقاومت و حساسیت به تنش دسته‌بندی کرد و به عبارت دیگر با استفاده از این شاخص‌ها می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آنها مشخص کرد (نادری درباغشاهی و همکاران، ۱۳۸۳). هر چه مقادیر شاخص حساسیت به تنش کوچک‌تر باشد، تحمل بیشتر ژنوتیپ به شرایط تنش را نشان

می‌دهد (Fischer and Maurer, 1978). ملاصادقی و همکاران (Mollasadeghi et al., 2011b) گزارش کردند که MP، GMP، STI و MSTI بیشترین همبستگی را با عملکرد در هر دو شرایط داشتند که به عنوان بهترین شاخص‌ها انتخاب شدند. عزیزی نیا و همکاران (۱۳۸۴) گزارش کردند که استفاده از شاخص حساسیت به خشکی از مزایای بیشتری برای گزینش ارقام مطلوب در شرایط تنش و بدون تنش برخوردار هستند، همچنین هر چه مقادیر شاخص MP بالاتر باشد، تحمل بیشتر آن ژنوتیپ به تنش را نشان می‌دهد. در این بررسی شاخص‌های تحمل در بخش گلخانه بر روی صفت تعداد میکروتیوبر در مترمربع ارقام سیب‌زمینی با پتانسیل اسمزی ۳- و ۶- بار (تنش ملایم و تنش شدید) در شرایط گلخانه‌ای به اجرا درآمد و نتایج در پتانسیل اسمزی ۳- و ۶- بار (تنش ملایم و تنش شدید) نشان داد (جدول ۲ و ۳) از نظر شاخص‌های YP, YS1, MP, GMP و STI رقم میلوا در شرایطی که از باکتری محرک رشد اینتروباکترکولاسه استفاده گردید دارای برتری نسبت به شاهد و باکتری آزوسپیریلوم بوده و نسبت به تنش ایجاد شده مقاومت نشان داد و نسبت به دو تیمار دیگر در برابر تنش پتانسیل اسمزی ۳- و ۶- بار تحمل بیشتری را داشته است (جدول ۳ و ۴). بر اساس شاخص TOL و SSI تحمل نسبی بیشتر متعلق به رقمی است که TOL و SSI کوچکتری داشته باشد، از نظر شاخص‌های TOL و SSI به ترتیب ترکیب (جلی و باکتری اینتروباکترکولاسه و جلی و آزوسپیریلوم) در تنش ملایم و ترکیب‌های (جلی و باکتری اینتروباکترکولاسه و جلی و شاهد) در تنش شدید دارای مقدار TOL و SSI کمتری بودند (جدول ۳ و ۴). بر اساس نتایج محققان مختلف، بهترین شاخص برای گزینش ارقام، شاخص تحمل به تنش است؛ زیرا می‌تواند ارقامی را که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A)، از دو گروه ارقامی که فقط در شرایط بدون تنش (گروه B) و یا فقط در شرایط تنش (گروه C) عملکرد نسبتاً بالایی دارند، تفکیک کند (صادق زاده اهری، ۱۳۸۵). ملاصادقی و همکاران (Mollasadeghi et al., 2013) گزارش کردند که بیشترین همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و شاخص‌هایی مانند STI، MP و GMP بود. ضیاچهره و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که برای تعیین تحمل و حساسیت ارقام به کم‌آبی از شاخص تحمل، شاخص بهره وری متوسط، شاخص حساسیت به تنش، شاخص میانگین هندسی بهره وری و شاخص تحمل تنش استفاده گردید. با توجه به عملکرد غده در شرایط تنش کم‌آبی و نرمال مناسب‌ترین شاخص‌های ارزیابی مقاومت و حساسیت به تنش کم‌آبی شاخص‌های STI، MP و GMP می‌باشند.

جدول ۳. میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش کم‌آبی در صفت تعداد مینی‌تیوبر در مترمربع ارقام سیب‌زمینی با پتانسیل اسمزی ۳- بار (تنش ملایم) در شرایط گلخانه‌ای

ارقام	YP			YS1			TOL			MP		
	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم
آگریا	۴۸۴/۲	۱۱۱۱	۷۸۳	۴۲۷/۲	۷۴۴/۲	۴۷۰	۵۷	۳۶۶/۸	۳۱۲/۷	۴۵۵/۷	۹۲۷/۶	۶۲۶/۷
جلی	۴۵۰/۲	۹۱۲	۵۵۵	۴۲۶/۸	۶۹۴/۲	۴۸۵	۲۳/۴	۲۱۷/۳	۶۹/۷	۴۳۸/۵	۸۰۲/۸	۵۲۰/۲
میلوا	۴۳۰/۷	۱۲۷۷	۵۷۹	۴۲۶/۳	۸۴۷/۵	۴۷۳	۴/۴	۴۲۹/۵	۱۰۶/۷	۴۲۸/۵	۱۰۶۲/۳	۵۲۶/۴
SI شدت خشکی	۰/۰۶	۰/۳۱	۰/۲۶									

ادامه جدول ۳.

	GMP			SSI		STI	

ارقام	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم
آگریا	۴۵۴/۸	۹۰۹/۳	۶۰۶/۸	۱/۹	۱/۰۷	۱/۵۷	۱	۰/۶۸	۰/۹
جلی	۴۳۸/۳۴	۷۹۵/۵	۵۱۸/۹	۰/۸۴	۰/۷۸	۰/۴۹	۰/۹۳	۰/۵۲	۰/۶۶
میلوا	۴۲۸/۵	۱۰۴۰/۳	۵۲۳/۶	۰/۱۶	۱/۰۹	۰/۷۲	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۶۷
SI شدت خشکی	۰/۰۶	۰/۳۱	۰/۲۶						

جدول ٤. میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش کم‌آبی در صفت تعداد میکروتیوبر در مترمربع ارقام سیب‌زمینی با پتانسیل اسمزی٦- بار (تنش شدید) در شرایط گلخانه‌ای

ارقام	YP			YS1			TOL			MP		
	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم
آگریا	۴۸۴/۲	۱۱۱۱	۷۸۳	۳۰۸/۸	۳۶/۸	۳۸۰/۳	۱۷۵	۶۷۴	۴۰۲/۷	۳۹۶/۵	۷۷۳/۹	۵۸۱/۶
جلی	۴۵۰/۲	۹۱۱/۵	۵۵۵۵	۳۴۷	۴۲۱/۵	۳۶۵	۱۰۳/۲	۴۹۰	۱۹۰	۳۹۸/۶	۶۶۶/۵	۴۶۰
میلوا	۴۳۰/۷	۱۲۷۷	۵۷۹/۷	۲۳۶/۵	۴۴۰/۵	۳۴۴	۱۹۴/۲	۸۳۶/۵	۲۳۵/۷	۳۳۳/۶	۸۵۸/۷۵	۴۶۱/۸
SI شدت خشکی	۰/۳۵	۰/۶۱	۰/۴۳									

ادامه جدول ٤.

ارقام	GMP			SSI			STI		
	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم
آگریا	۳۸۶/۷	۶۹۶/۶	۵۴۵/۷	۱/۰۵	۱	۱/۱۹	۰/۷۲	۰/۴	۰/۷۳
جلی	۳۹۵/۳	۶۱۹/۸	۴۵۰/۱	۰/۶۶	۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۷۵	۰/۳۲	۰/۵
میلوا	۳۱۹/۲	۷۵۰/۱	۴۴۶/۵	۱/۳	۱/۰۸	۰/۹۴	۰/۴۹	۰/۴۷	۰/۴۹
SI شدت خشکی	۰/۳۵	۰/۶۱	۰/۴۳						

بخش مزرعه‌ای

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در بخش مزرعه در جدول (۵) آورده شده است. نتایج نشان داد از نظر اثر سه جانبه فاکتور A (تنش کم‌آبی)× سطوح سطوح فاکتور B (باکتری محرک رشد) × سطوح C (رقم) به جز تعداد ساقه اصلی در بوته از نظر کلیه صفات مورد ارزیابی اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱٪ مشاهده گردید. ضریب تغییرات معیاری از دقت آزمایش بوده و نشان دهنده این است که میـزان پراکنـدگی چنـد درصد میانگین است (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۳). طبق نتایج بدست آمده، ضریب تغییرات مربوط به صفات مورد ارزیابی خطاهای اندازه‌گیری شده در محدوده مناسبی قرار داشـتند و ضریب تغییرات مربوط به خطاهای آزمایشی بین ۰/۷۲ تا ۱۷/۳۰ درصد بود (جدول ۵). حسن پناه و حسن آبادی (۱۳۸۹) گزارش کردند که بین اثرمتقابل سال × نوع کشت، رقم × نوع کشت، سال × رقم و سال× نوع کشت × رقم از لحاظ صفات متوسط اندازه غده و بین ارقام از لحاظ صفات ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌ی اصلی در بوته اختلاف

معنی‌دار مشاهده شد. مقدس زاده و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند اثر متقابل ژنوتیپ×سال×مکان برای صفات تعداد غده در بوته و ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

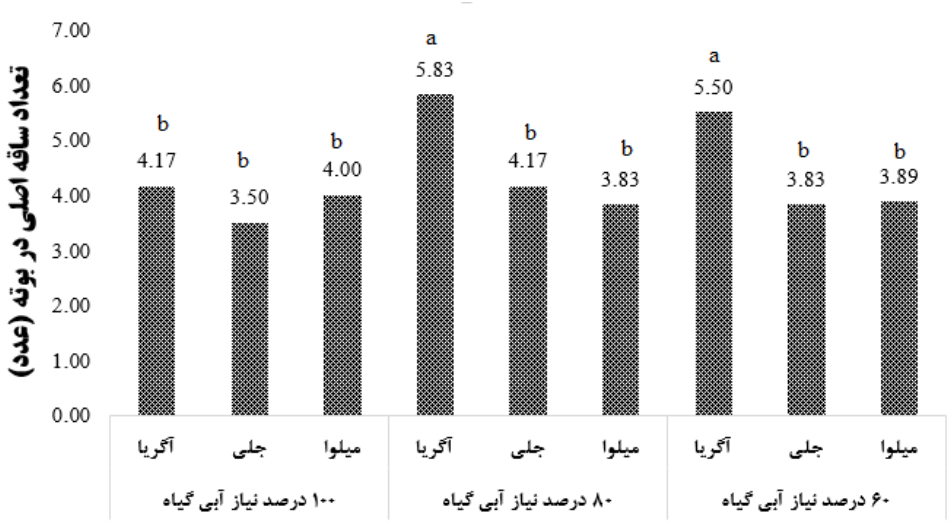
جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف مورد مطالعه در شرایط مزرعه‌ای

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع بوته	تعداد ساقه اصلی در بوته	وزن غده در بوته	تعداد غده در بوته	متوسط وزن غده
تکرار	۲	۲۰/۳۶ n.s	۶/۷۹ n.s	۳۰۲۹/۴۸ n.s	۳/۷۰**	۳۱۸۲/۸۵**
تنش کم‌آبی (A)	۲	۱۲۸۵/۸۴**	۳/۷۴ n.s	۱۳۶۰۰۶/۵۸**	۹/۰۳**	۱۰۳/۰۵ n.s
اشتباه	۴	۴۲/۷۰	۱/۲۴	۱۳۴۵/۹۵	۰/۰۷	۴۰/۶۳
باکتری محرک رشد (B)	۲	۱۰۶۲/۰۴**	۱۵/۱۶**	۳۶۷۳۴۶/۵۸**	۱/۶۹**	۶۹۹۶/۹۸**
A × B	۴	۲۸/۱۰*	۲/۱۶**	۱۸۲۱۰/۶۷**	۷/۹۹**	۴۲۳۸/۶۳*
ارقام (C)	۲	۱۴۳/۳۶**	۴/۱۳**	۹۴۰۰۰/۰۸**	۲/۱۹**	۹۹۲/۳۳*
A × C	۴	۴۱/۸۰**	۰/۲۲ n.s	۱۰۶۳۱/۹۲*	۰/۷۴ n.s	۱۵۰۸/۶۳**
B × C	۴	۲۸/۸۳*	۱/۶۷*	۶۹۲۷۳/۴۲**	۰/۷۸ n.s	۵۳۶/۵۲ n.s
A × B × C	۸	۲۴/۷۱*	۰/۶۸ n.s	۱۴۵۵۹/۱۹**	۰/۸۲*	۵۹۶/۵۲*
اشتباه	۵۴	۱۰/۲۸	۰/۵۵	۳۷۵۲/۱۵	۰/۳۶	۲۵۳/۳۴
ضریب تغییرات (%)	–	۴/۹۱	۱۷/۳۰	۹/۳۹	۱۱/۹۳	۱۱/۹۲

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد غده	کارایی مصرف آب	درصد ماده خشک غده	درصد نشاسته غده	
تکرار	۲	۸/۲۸ n.s	۰/۲۲۴ n.s	۰/۳۱۹ n.s	۰/۳۲ n.s	
تنش کم‌آبی (A)	۲	۳۸۲/۲۷**	۱۰/۲۲۸**	۰/۳۶۱ n.s	۰/۳۸ n.s	
اشتباه	۴	۳/۷۲	۰/۱۲۱	۰/۱۲۱	۰/۱۲	
باکتری محرک رشد (B)	۲	۱۰۳۱/۴۱**	۲۶/۹۹۸**	۰/۳۸۳*	۰/۴۰*	
A × B	۴	۵۰/۸۳**	۱/۳۳۹**	۰/۸۶۹**	۰/۸۶**	
ارقام (C)	۲	۲۰۶/۴۵**	۲/۷۱۶**	۱۳/۹۵**	۱۳/۷۳**	
A × C	۴	۳۰/۰۶*	۱/۷۷۶**	۰/۵۷**	۰/۵۷**	
B × C	۴	۱۱۹/۷۱**	۱/۵۲۱**	۰/۲۵ n.s	۰/۲۶ n.s	
A × B × C	۸	۶۲/۷۵**	۲/۳۲۸**	۰/۴۴۹**	۰/۴۳**	
اشتباه	۵۴	۱۰/۵۵	۰/۲۷۵	۰/۱۵۰	۰/۱۵	
ضریب تغییرات (%)	–	۹/۱۳	۹/۳۵	۱/۸۵	۲/۵۵	

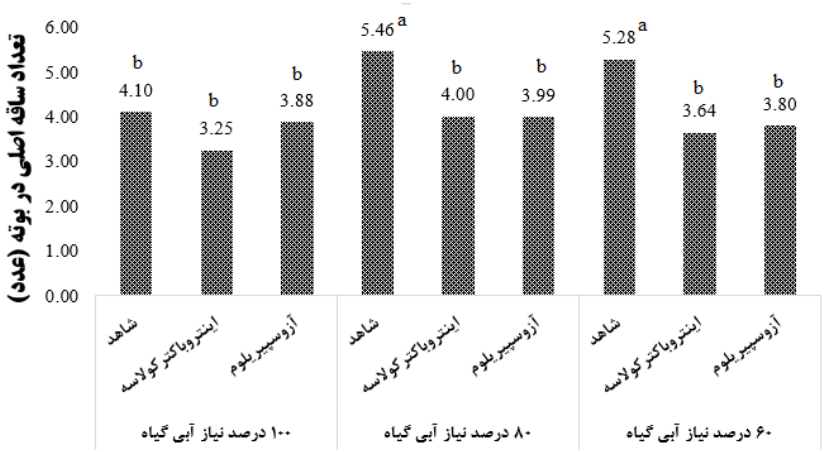
ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

نتایج مقایسه میانگین اثرسه جانبه نشان داد (جدول ۶) که ترکیب آزوسپیریلوم در ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم جلی با میانگین ۷۸ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته را داشت و نسبت به ترکیب بدون باکتری در۶۰ درصد نیاز آبی در رقم جلی که کمترین ارتفاع بوته را دارا بود افزایش ۳۶/۳۲ درصدی ارتفاع بوته را باعث شد. تعداد ساقه اصلی در بوته سیب‌زمینی یکی از صفات مهم به شمار می‌رود. به طورکلی هرچه تعداد ساقه در بوته بیشتر باشد باعث زیاد شدن تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد برگ‌ها و بالا رفتن سطح فتوسنتز کننده و در نتیجه زیادتر شدن تعداد غده قابل برداشت می‌شود. مقایسه میانگین اثرمتقابل شرایط تنش کم‌آبی و رقم‌های سیب‌زمینی نشان داد که ترکیب‌های ۸۰ درصد نیاز آبی در رقم آگریا و ۶۰ درصد نیاز آبی در رقم آگریا به ترتیب با ۵/۵ و ۵/۸۳ عدد بیشترین تعداد ساقه اصلی در بوته را داشتند و در گروه آماری برتر قرار گرفتند، از لحاظ تأثیر تنش، تعداد ساقه اصلی در ارقام جلی و میلوا در یک گروه هست و معنی دار نیست فقط در رقم آگریا بین سطوح اختلاف جزیی در حدود یک عدد می‌باشد در کل تأثیر تنش بر تعداد ساقه معنی دار نمی‌شود اما بر ارتفاع تأثیر دارد (شکل ۱). همچنین، اثرمتقابل باکترهای محرک رشد گیاه و شرایط تنش کم‌آبی تیمار شاهد در ۸۰ درصد نیاز آبی و شاهد در ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب با میانگین‌های ۵/۴۶ و ۵/۲۸ عدد بیشترین تعداد ساقه اصلی در بوته را به خود اختصاص دادند (شکل ۲).



سطوح فاکتور A (تنش کم آبی) × سطوح C (رقم)

شکل ۱. مقایسه میانگین اثرمتقابل شرایط تنش کم‌آبی و رقم‌های سیب‌زمینی در صفت تعداد ساقه اصلی در بوته در شرایط مزرعه‌ای



سطوح فاکتور A (تنش کم آبی) × سطوح b(باکتری محرک رشد)

شکل ۲. مقایسه میانگین اثرمتقابل باکترهای محرک رشد گیاه و شرایط تنش کم‌آبی در صفت تعداد ساقه اصلی در بوته در شرایط مزرعه‌ای

تعداد غده نیز از طریق وزن است که بر عملکرد تأثیر می‌گذارد و این بدان معنی‌است که اگرچه تعداد غده تأثیر زیادی در عملکرد دارد، ولی این تأثیر از طریق وزن اعمال می‌شود. نتایج نشان داد که ترکیب اینتروباکترکولاسه در۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم جلی با میانگین ۹۱۶ گرم بیشترین وزن غده در بوته را دارا بود (جدول ۶). صفت تعداد غده در بوته از مهمترین صفات است و از اجزای اصلی عملکرد در سیب‌زمینی به شمار می‌رود. این صفت در کنار وزن غده دو رکن اساسی عملکرد را تشکیل می‌دهد و هیچ کدام تا این حد در عملکرد دخیل نمی‌باشند (Alva et al., 2012). نتایج نشان داد که ترکیب (اینتروباکترکولاسه ×۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه× آگریا) با میانگین ۷ عدد بیشترین تعداد غده در بوته را به خود اختصاص داد و در کلاس آماری برتر قرار گرفت (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر سه جانبه صفت متوسط وزن غده نشان داد که ترکیب آزوسپیریلوم در ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم جلی با میانگین ۲۰۳ گرم بیشترین و ترکیب آزوسپیریلوم در۶۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم جلی با میانگین ۹۹/۶۷ گرم کمترین متوسط وزن غده را در بین تیمارهای مورد ارزیابی به خود اختصاص دادند در واقع ۱۰۰ درصد نیاز آبی نسبت به ۶۰ درصد نیاز آبی باعث افزایش ۵۰/۹ درصدی متوسط وزن غده در تیمار مشترک بین سطوح آبی گردید (جدول ۶).

در مورد صفت عملکرد غده کل با توجه به این که شاخص "درصد عملکرد غده نسبت به شاهد" معیار مناسب و یکنواختی را برای مقایسه مواد فراهم می‌کند، استفاده گردید. زیرا عملکرد مطلق از منطقه‌ای به منطقه دیگر و از سالی به سال دیگر متفاوت است. نتایج مقایسه میانگین اثر سه جانبه صفت متوسط وزن غده نشان داد که ترکیب اینتروباکترکولاسه در ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در جلی با

میانگین ۴۸/۵۳ تن در هکتار بیشترین و ترکیب بدون باکتری در ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم میلوا با میانگین ۲۳/۴۰ تن در هکتار کمترین عملکرد غده را در بین تیمارهای مورد ارزیابی به خود اختصاص دادند در واقع کاربرد باکتری از نوع اینتروباکترکولاسه در کنار استفاده از نیاز آبی به میزان ۱۰۰ درصد نسبت به عدم استفاده از باکتری محرک رشد در شرایط ۶۰ درصد نیاز آبی باعث افزایش ۵۱/۷۸ درصدی عملکرد غده گردید (جدول ۶). به طورکلی کمبود رطوبت خاک موجب افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ، کاهش میزان فتوسنتز برگ، کاهش رشد غده و در نتیجه کاهش عملکرد غده گردید. تحقیقات انجام گرفته توسط دملاش (Demelash, 2013)، آلوا و همکاران (Alva et al., 2012) و ابراهیمی‌پاک (Ebrahimi Pak, 2011) هم نشان داد که با افزایش میزان آب مصرفی عملکرد محصول سیب‌زمینی افزایش پیدا می‌کند و تیمار بدون تنش آبی دارای بیشترین عملکرد است.

کارایی مصرف آب به عنوان عملکرد حاصل از کاربرد واحد آب مصرف شده (تبخیر و تعرق) توسط گیاه مورد بررسی تعریف می‌شود (Doorenbos and Pruitt, 1977). در این مورد حسن و همکاران (Hassan *et al*., 2002) گزارش کردند که کارایی مصرف آب سیب‌زمینی از ۰/۶۹ تا ۲/۳۳ تن در هکتار در سانتی‌متر تغییر نموده که بیشترین WUE از تیمارهای دارای تنش پیوسته در تمام مراحل رشد سیب‌زمینی بدست آمده است. در مورد واکنش کارائی مصرف آب به تنش‌های ملایم و یا شدید می‌توان گفت تحت تنش کمبود آب در سیب‌زمینی و بسته شدن جزئی روزنه‌ها تعرق را بیشتر از فتوسنتز کاهش داده و کارآیی مصرف آب افزایش می‌یابد. اما تنش شدید باعث بسته شدن کامل روزنه‌ها شده و کارآیی مصرف آب به علت پائین آمدن فتوسنتز و در نهایت عملکرد کاهش می‌یابد (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۳). نتایج مقایسه میانگین اثر سه جانبه صفت کارایی مصرف آب نشان داد که ترکیب اینتروباکترکولاسه در ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم جلی با میانگین ۷/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین و ترکیب بدون باکتری در ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم میلوا با میانگین ۳/۸ کیلوگرم بر مترمکعب کمترین کارایی داشتند و در واقع کاربرد باکتری از نوع اینتروباکترکولاسه در کنار استفاده از نیاز آبی به میزان ۱۰۰ درصد نسبت به عدم استفاده از باکتری محرک رشد در شرایط ۶۰ درصد نیاز آبی باعث افزایش ۵۱/۷۲ درصدی کارایی مصرف آب گردید (جدول ۶). بهرام لو ناصری (۱۳۸۹) گزارش کردند که بیشترین کارآیی مصرف آب برابر ۲/۴۴ وکمترین مقدار آن برابر ۱/۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب از کاربرد تیمار آبیاری با دو هفته تاخیر و آبیاری کامل حاصل شده است. وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2007) در طی دو سال آزمایش برروی سیب‌زمینی نشان دادند با افزایش میزان آبیاری کارآیی مصرف آب افزایش یافت که افزایش عملکرد را نیز به دنبال داشت. همچنین در رژیم آبیاری تامین ۷۰ درصد نیاز آبی در کل دوره رشد گیاه کارآیی مصرف آب هیچ یک از ارقام بکار رفته در این آزمایش با یکدیگر اختلاف معنی دار نداشتند و ارقام آلمرا و آگریا به ترتیب با ۲/۵۶ و ۲/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین مقدار را داشتند. Baghani, (2009) نیز بیان داشت که با کاهش حجم آبیاری، مقدار کارآیی مصرف آب نیز کاهش پیدا کرد. در این میان رقم سینورا به دلیل زودرس تر بودن و نیز کاهش حجم آبیاری در دوره قبل از آغازش غده که می‌تواند بر پتانسیل تولید غده در این رقم تاثیر گذار باشد در کلیه رژیم‌های آبیاری کمترین میزان کارآیی مصرف آب را به خود اختصاص داده بود. کیپتو و همکاران (Kiptoo *et al*., 2018) در مورد کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی در رژیم‌های مختلف آبیاری، کارایی مصرف آب (WUE) به دلیل کاهش آب آبیاری افزایش یافت.

مقدار ماده خشک تعیین کنندهٔ مقدار آبی است که در حین فرآوری باید از ماده غذایی جدا و تبخیر شود تا محصول به مقدار رطوبت نهایی مطلوب برسد. اگر مقدار ماده خشک سیب‌زمینی بسیار بالا باشد، محصول حاصل دارای پوسته بسیار سخت و بافت درونی خشک خواهد بود. برعکس مقدار ماده خشک پایین منجر به تولید محصولی با پوسته ضعیف و بافت داخلی مرطوب می‌شود. مقدار ماده خشک و قندهای احیاء کننده سیب‌زمینی در سال‌ها و فصول مختلف برداشت و نیز بخش‌های مختلف درون یک غده با هم متفاوت است (Wil, 2005). ماده خشک در انواع سیب‌زمینی در دامنه ۲۵-۱۰ درصد متفاوت است که ارقام در محدوده ۲۲-۲۱ درصد جهت فرآوری مناسب هستند (Lisinska and Leszczynski, 1989). مقدار ماده خشک در غدد یک رقم خاص نیز متفاوت بوده و حتی در خود غده نیز یکسان نمی‌باشد. غدد مصرفی نباید اختلاف فاحشی در ماده خشک داشته باشند (Dokhani, 1984). ماده خشک علاوه بر تأثیر تکنولوژیکی از جنبه اقتصادی هم مهم است زیرا بر بازده تولید اثر دارد. از جنبه تکنولوژیکی، تأثیر ماده خشک بر جذب روغن در حین فرآیند سرخ کردن، حائز اهمیت است. با افزایش ماده خشک، میزان جذب روغن کاهش می‌یابد، نتایج لیزینسکا و لیسچینسکی (Lisinska and Leszczynski, 1989) نشان می‌دهد که خلال‌های با ۲۴ درصد ماده خشک غده، جذب روغنی در حدود ۹ درصد کمتر از خلال‌های با ۱۹/۵ درصد ماده خشک غده دارند. از نظر درصد ماده خشک اثرات سه جانبه تیمارهای مورد ارزیابی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ وجود داشتند (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر سه جانبه صفت مورد نظر نشان داد که ترکیب اینتروباکترکولاسه در۸۰ درصد نیاز آبی

گیاه در رقم آگریا با میانگین ۲۲/۳۳ درصد بیشترین و ترکیب بدون باکتری در۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم میلوا با میانگین ۲۰/۰۸ درصد کمترین درصد ماده خشک غده را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). به عبارتی ترکیب اینتروباکترکولاسه در۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم آگریا به دلیل اینکه درصد ماده خشک آن بیشتر از ۲۲ درصد می‌باشد و داری تیپ پخت D و بافت کاملاً آردی داشتند و برای چیپس مناسب می‌باشند و ترکیب بدون باکتری در ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم میلوا چون درصد ماده خشک غده آن بین ۲۲-۲۰ درصد می‌باشد و دارای تیپ پخت C و بافت آردی بوده و برای خلال مناسب می‌باشند (جدول ۶). Darwish *et al*., (2006) گزارش کردند که با اعمال تنش خشکی (کم‌آبیاری) بر درصد ماده خشک غده‌ها به‌طور معنی‌داری افزوده می‌شود، به طوریکه در آزمایش آنها در رژیم‌های آبیاری تأمین ۱۲۵ و ۶۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی، میزان ماده خشک غده‌ها از ۲۰/۳۹ به ۲۱/۴۴ درصد افزایش یافت. شفیقی اصل و ملوفی (۱۳۹۴) گزارش کردند که بیشتربن ماده‌ی خشک در سیب‌زمینی رقم ماریلا می‌باشد که این مقدار ۲۲/۷ درصد می‌باشد و کمترین آن در سیب‌زمینی رقم شانون می‌باشد که مقدار آن ۱۷/۶ درصد می‌باشد.

نشاسته نقش مهمی در کیفیت فرآورده‌ها ایفا کرده و از مهمترین عوامل مؤثر بر کیفیت پخت سیب‌زمینی است (Lisinska and Leszczynski, 1989 و جعفریان، ۱۳۷۹)، بنابراین هرچقدر مقدار نشاسته در غده‌ها بیشتر باشد نشان‌دهنده کیفیت بالاتر و انرژی بیشتر در آنها است (Daraei Garmakhani et al., 2010). از نظر درصد نشاسته نیز اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ بین اثرات سه جانبه تیمارهای مورد ارزیابی وجود داشت (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر سه جانبه درصد نشاسته غده نظر نشان داد که ترکیب اینتروباکترکولاسه در۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم آگریا با میانگین ۱۶/۵۱ درصد بیشترین و ترکیب بدون باکتری در۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم میلوا با میانگین ۱۴/۲۸ درصد کمترین درصد نشاسته غده را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). شفیقی اصل و ملوفی (۱۳۹۴) گزارش کردند مقدار ماده ی خشک با مقدار نشاسته سیب‌زمینی ارتباط مستقیم دارد و با افزایش مقدار ماده‌ی خشک سیب‌زمینی مقدار نشاسته آن نیز افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار نشاسته ۱۵/۱ درصد در سیب‌زمینی رقم ماریلا و کمترین آن ۱۱/۸ درصد در سیب‌زمینی رقم شانون بوده است. کاهش غلظت نشاسته در شرایط کمبود آب ممکن است به‌علت کاهش میزان فتوسنتز و تولید مواد قندی (Basu et al., 1998) کاهش هدایت روزنه‌ای (Motalebifard et al., 2013)، کاهش میزان تشکیل نشاسته و یا افزایش تخریب نشاسته بر اثر کمبود آب (Kumar et al., 2004) باشد. ترکیب اینتروباکترکولاسه در ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم آگریا با میانگین ۱/۰۹۳ بیشترین و ترکیب بدون باکتری در۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم میلوا با میانگین ۱/۰۸۲ کمترین وزن مخصوص غده را به خود اختصاص دادند (جدول ۶).

شاخص‌های تحمل

شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محدودیت آبی در صفت عملکرد غده ارقام سیب‌زمینی در شرایط تنش ملایم در مزرعه

از نظر شاخص‌های YP, MP و GMP رقم جلی در شرایطی که از باکتری محرک رشد اینتروباکترکولاسه استفاده گردید دارای برتری نسبت به بدون باکتری و باکتری آزوسپیریلوم بوده و نسبت به تنش ایجاد شده مقاومت نشان داد و نسبت به دو تیمار دیگر در شرایط تنش ملایم تحمل بیشتری را داشته است. در ارزیابی ارقام با استفاده از شاخص TOL طبق فرمول این شاخص، مقدار بالای TOL حاکی از تغییرات بیشتر عملکرد ارقام در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی می‌باشد و حساسیت ارقام را نسبت به شرایط تنش آبی نشان می‌دهد. بر اساس شاخص TOL تحمل نسبی بیشتر متعلق به رقمی است که TOL کوچک‌تری داشته باشد، از نظر شاخص TOL, SSI و STI رقم جلی در شرایط شاهد نسبت به سایر شرایط دارای مقدار TOL, SSI و STI کمتری بود (جدول ۷).

شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محدودیت آبی در صفت عملکرد غده ارقام سیب‌زمینی در شرایط تنش شدید در مزرعه

شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محدودیت آبی در صفت عملکرد غده ارقام سیب‌زمینی در شرایط تنش شدید در مزرعه نشان داد که از نظر شاخص‌های MP, GMP, SSI و STI رقم میلوا در شرایطی که از باکتری محرک رشد آزوسپیریلوم استفاده گردید دارای برتری نسبت به بدون باکتری و باکتری اینتروباکترکولاسه بوده و نسبت به تنش ایجاد شده مقاومت نشان داد و نسبت به دو تیمار دیگر در برابر تتنش شدید تحمل بیشتری را داشته است. بر اساس شاخص TOL تحمل نسبی بیشتر متعلق به رقمی است که TOL کوچک‌تری داشته باشد، از نظر شاخص TOL رقم آگریا در شرایط شاهد نسبت به سایر شرایط دارای مقدار TOL کمتری بود (جدول ۸).

جدول ٦. مقایسه میانگین اثرمتقابل سه جانبه باکترهای محرک رشد گیاه، تنش کم‌آبی و رقم‌های سیب‌زمینی در صفات مورد مطالعه در شرایط مزرعه‌ای

باکتری	سطوح آبیاری	ارقام	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)		وزن غده در بوته (گرم)		تعداد غده در بوته (عدد)		متوسط وزن غده (گرم)		عملکرد غده (تن در هکتار)	
بدون مصرف باکتری	۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه	آگریا	۶۵	efg	۶۴۵	fghi	۴/۵	cde	۱۴۲	cdef	۳۴/۲	fgh
		جلی	۶۱	fghi	۶۶۶	efg	۴/۵	cde	۱۲۰/۳	fghijk	۳۵/۳	efg
		میلوا	۵۸/۵	hi	۶۳۸	fghij	۳/۵	e	۱۱۹/۴	fghijk	۳۳/۸	fghi
	۸۰ درصد نیاز آبی گیاه	آگریا	۶۴	efg	۵۸۶/۵	ghijkl	۳/۵	e	۱۷۰/۱	b	۳۱/۰۷	ghijk
		جلی	۶۴/۳۳	efg	۶۲۲	fghijk	۳/۵	e	۱۵۵/۵	bcd	۳۲/۹۷	fghij
		میلوا	۵۲	jk	۵۳۸/۵	jklm	۳/۵	e	۱۳۴/۶	defgh	۲۸/۵۳	ijkl
	۶۰ درصد نیاز آبی گیاه	آگریا	۵۳	jk	۵۱۶	lm	۴	de	۱۵۰/۳	bcde	۲۷/۳۳	kl
		جلی	۴۹/۶۷	k	۴۸۹/۵	lm	۴/۵	cde	۱۱۰/۱	hijk	۲۵/۹۳	kl
		میلوا	۴۸/۶۷	k	۴۴۱/۵	m	۳/۵	e	۱۰۰/۶	k	۲۳/۴	l
اینتروباکترکولاسه	۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه	آگریا	۷۴/۳۳	abc	۸۰۴/۵	bcd	۷	a	۱۶۰/۹	bc	۴۲/۶	bcd
		جلی	۷۴	abc	۹۱۶	a	۵/۵	bc	۱۴۱/۷	cdef	۴۸/۵۳	a
		میلوا	۶۵/۶۷	ef	۸۶۵	ab	۵	bcd	۱۲۳/۶	fghijk	۴۵/۸۳	ab
	۸۰ درصد نیاز آبی گیاه	آگریا	۷۷	ab	۷۰۶/۵	def	۴/۵	cde	۱۱۵	ghijk	۳۷/۴۳	def
		جلی	۷۱/۵	cd	۷۱۴/۵	cdef	۴/۵	cde	۱۲۷/۲	efghij	۳۷/۸۷	cdef
		میلوا	۷۲	bc	۷۵۰/۵	cde	۳/۵	e	۱۳۷/۸	cdefg	۳۹/۷۷	cde
	۶۰ درصد نیاز آبی گیاه	آگریا	۶۶/۵	de	۵۵۶	hijkl	۳/۵	e	۱۲۴/۸	efghijk	۲۹/۵	hijk
		جلی	۶۳/۵	efgh	۵۰۴/۵	lm	۴/۵	cde	۱۱۳/۷	ghijk	۲۶/۷	kl
		میلوا	۶۱/۵	efghi	۵۲۲/۵	klm	۳/۵	e	۱۳۹/۴	cdefg	۲۷/۷	jkl
آزوسپیریلوم	۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه	آگریا	۷۴/۶۷	abc	۷۰۷/۵	def	۶	ab	۱۵۹/۴	bcd	۳۷/۵	def
		جلی	۷۱	cd	۸۱۲	bc	۶	ab	۲۰۳	a	۴۳/۰۳	bc
		میلوا	۷۲	bc	۸۰۵/۵	bcd	۴/۵	cde	۱۶۱/۱	bc	۴۲/۷	bcd
	۸۰ درصد نیاز آبی گیاه	آگریا	۷۴	abc	۶۴۵/۵	fgh	۴/۵	cde	۱۲۹/۱	efghi	۳۴/۲	fgh
		جلی	۷۸	a	۷۵۰	cde	۳/۵	e	۱۳۶/۸	cdefg	۳۹/۷۷	cde
		میلوا	۷۱/۶۷	cd	۶۶۹/۵	efg	۳/۵	e	۱۲۳/۱	fghijk	۳۵/۵	efg
	۶۰ درصد نیاز آبی گیاه	آگریا	۵۷	ij	۵۲۱	lm	۳/۵	e	۱۰۱/۸	jk	۲۷/۶	kl
		جلی	۶۰	ghi	۵۴۴/۵	ijkl	۴	de	۹۹/۶۷	k	۲۸/۸۷	ijk
		میلوا	۶۳	efgh	۶۷۴	efg	۱/۱۷	de	۱۰۵/۲	ijk	۳۵/۷	efg

ادامه جدول ٦.

باکتری	سطوح آبیاری	ارقام	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)		درصد ماده خشک غده		وزن مخصوص غده		درصد نشاسته غده	
بدون مصرف باکتری	۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه	آگریا	۵/۵۳	fgh	۲۱/۲۸	def	۱/۰۸۸	abcdefg	۱۵/۴۷	de
		جلی	۵/۷۳	efg	۲۱/۰۴	defg	۱/۰۸۷	cdefgh	۱۵/۲۲	def

		میلوا	fgh	۵/۵	k	۲۰/۰۸	h	۱/۰۸۲	i	۱۴/۲۸
		آگریا	ghij	۵	defg	۲۱/۲۲	abcdefg	۱/۰۸۸	def	۱۵/۴
	۸۰ درصد نیاز آبی گیاه	جلی	fghi	۵/۳۳	efghi	۲۰/۸۸	efgh	۱/۰۸۶	efg	۱۵/۰۷
		میلوا	ijk	۴/۶۳	efghij	۲۰/۸۳	efgh	۱/۰۸۶	efgh	۱۵/۰۱
		آگریا	jk	۴/۴۳	ab	۲۲/۱۴	abc	۱/۰۹۲	ab	۱۶/۳۱
	۶۰ درصد نیاز آبی گیاه	جلی	jk	۴/۲	fghijk	۲۰/۶۵	efgh	۱/۰۸۵	fghi	۱۴/۸۲
		میلوا	k	۳/۸	ghijk	۲۰/۶	efgh	۱/۰۸۵	fghi	۱۴/۷۹
		آگریا	bcd	۶/۹۳	ab	۲۲/۱۱	abc	۱/۰۹۲	ab	۱۶/۲۹
	۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه	جلی	a	۷/۸۷	efgh	۲۰/۹۴	defgh	۱/۰۸۶	efg	۱۵/۱۱
		میلوا	ab	۷/۴۳	ijk	۲۰/۳	gh	۱/۰۸۳	ghi	۱۴/۴۹
اینتروباکترکولاسه		آگریا	ef	۶/۰۷	a	۲۲/۳۳	a	۱/۰۹۳	a	۱۶/۵۱
	۸۰ درصد نیاز آبی گیاه	جلی	def	۶/۱۳	cde	۲۱/۴۵	abcdef	۱/۰۸۹	cde	۱۵/۶۲
		میلوا	cde	۶/۴۷	jk	۲۰/۲	gh	۱/۰۸۳	hi	۱۴/۳۹
		آگریا	hij	۴/۸	ab	۲۲/۱۸	ab	۱/۰۹۲	ab	۱۶/۳۷
	۶۰ درصد نیاز آبی گیاه	جلی	jk	۴/۳۳	ijk	۲۰/۲۸	gh	۱/۰۸۳	ghi	۱۴/۴۸
		میلوا	ijk	۴/۵	ijk	۲۰/۳	gh	۱/۰۸۳	ghi	۱۴/۴۹
		آگریا	ef	۶/۰۷	cde	۲۱/۴۶	abcdef	۱/۰۸۹	cde	۱۵/۶۲
	۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه	جلی	bc	۷	fghijk	۲۰/۶۶	efgh	۱/۰۸۵	fghi	۱۴/۸۳
		میلوا	bcd	۶/۹۳	ijk	۲۰/۳	gh	۱/۰۸۳	ghi	۱۴/۴۹
آزوسپیریلوم		آگریا	fgh	۵/۵۳	defg	۲۱/۱۷	bcdefgh	۱/۰۸۷	def	۱۵/۳۳
	۸۰ درصد نیاز آبی گیاه	جلی	cde	۶/۴۳	hijk	۲۰/۳۴	gh	۱/۰۸۴	ghi	۱۴/۵۲
		میلوا	efg	۵/۷۷	k	۲۰/۱	h	۱/۰۸۲	i	۱۴/۲
		آگریا	ijk	۴/۵	abc	۲۲	abcd	۱/۰۹۱	abc	۱۶/۱۹
	۶۰ درصد نیاز آبی گیاه	جلی	hij	۴/۷	bcd	۲۱/۶۵	abcde	۱/۰۹	bcd	۱۵/۸۲
		میلوا	efg	۵/۸	hijk	۲۰/۳۷	fgh	۰/۰۸۴	ghi	۱۴/۵۷

در هر ستون تفاوت بین دو میانگین که یک حرف مشترک دارند بر اساس آزمون LSD از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیست.

جدول ۷. میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش کم‌آبی در صفت عملکرد غده ارقام سیب‌زمینی در شرایط تنش ملایم در مزرعه

ارقام	YP			YS1			TOL			MP		
	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم
آگریا	۳۴/۲	۴۲/۶	۳۷/۵	۳۱/۰۷	۳۷/۴۳	۳۴/۲	۳/۱۳	۵/۱۵	۳/۳	۳۲/۶۴	۴۰/۰۲	۳۵/۸۵
جلی	۳۵/۳	۴۸/۵۳	۴۳/۰۳	۳۲/۹۷	۳۷/۸۷	۳۹/۷۷	۲/۳۳	۱۰/۶۶	۳/۲۶	۳۴/۱۴	۴۳/۲	۴۱/۴
میلوا	۳۳/۸	۴۵/۸۳	۴۲/۷	۲۸/۵۳	۳۹/۷۷	۳۵/۵	۵/۲۷	۶/۰۶	۷/۲	۳۱/۱۷	۴۲/۸	۳۹/۱
SI شدت خشکی	۰/۱	۰/۱۶	۰/۱۱									

ادامه جدول ۷.

ارقام	GMP			SSI			STI		
	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم

آگریا	۳۲/۶	۳۹/۹	۳۵/۸۱	۰/۸۸	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۹	۰/۷۷	۰/۷۶
جلی	۳۴/۱۲	۴۲/۸۷	۴۱/۳۷	۰/۶۴	۱/۳۸	۰/۶۸	۰/۹۸	۰/۸۸	۱/۰۱
میلوا	۳۱/۰۵	۴۲/۶۹	۳۸/۹۳	۱/۵	۰/۸۳	۱/۵۱	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۹
SI شدت خشکی	۰/۱	۰/۱۶	۰/۱۱						

جدول ۸. میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش کم‌آبی در صفت عملکرد غده ارقام سیب‌زمینی در شرایط تنش شدید در مزرعه

ارقام	YP			YS1			TOL			MP		
	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم
آگریا	۳۴/۲	۴۲/۶	۳۷/۵	۲۷/۳۳	۲۹/۵	۲۷/۶	۶/۸۷	۱۳/۱	۹/۹	۳۰/۷۷	۳۶/۰۵	۳۲/۵۵
جلی	۳۵/۳	۴۸/۵۳	۴۳/۰۳	۲۵/۹۳	۲۶/۷	۲۸/۸۷	۹/۳۷	۲۱/۸۳	۱۴/۱۶	۳۰/۶۲	۳۷/۶۲	۳۵/۹۵
میلوا	۳۳/۸	۴۵/۸۳	۴۲/۷	۲۳/۴	۲۷/۷	۳۵/۷	۱۰/۴	۱۸/۱۳	۷	۲۸/۶	۳۶/۷	۳۹/۲
SI شدت خشکی	۰/۲۶	۰/۳۹	۰/۲۵									

ادامه جدول ۸.

ارقام	GMP			SSI			STI		
	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم	شاهد	اینتروباکتر کولاسه	آزوسپیریلوم
آگریا	۳۰/۵۷	۳۵/۴۵	۳۲/۱۷	۰/۷۸	۰/۷۸	۱/۰۵	۰/۷۹	۰/۶	۰/۶۱
جلی	۳۰/۲۵	۳۶	۳۵/۲۵	۱/۰۳	۱/۱۶	۱/۳	۰/۷۷	۰/۶۲	۰/۷۴
میلوا	۲۸/۱۲	۳۵/۶۳	۳۹/۰۴	۱/۱۹	۱/۰۲	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۶۱	۰/۹
SI شدت خشکی	۰/۱	۰/۱۶	۰/۱۱						

نتیجه‌گیری

در بخش گلخانه تنش کم‌آبی باعث کاهش صفات مورد ارزیابی گردید، همچنین کاربرد باکتری اینترباکترکولاسه نسبت به عدم کاربرد آن در بهبود صفات مورد ارزیابی مؤثر بوده و باعث افزایش اکثر صفات مورد ارزیابی گردید. بیشترین مقدار همبستگی مثبت بین درصد ماده خشک غده و وزن مخصوص غده (r=0.99**) و بیشترین رابطه منفی و معنی‌دار بین ویتامین ث غده و میزان قند احیا شده (r=-0.84**) بدست آمد. با توجه به عملکرد غده در شرایط تنش کم‌آبی و نرمال مناسب‌ترین شاخص‌های ارزیابی مقاومت و حساسیت به تنش کم‌آبی شاخص‌های MP، STI و GMP می‌باشند.

در بخش مزرعه‌ای نتایج نشان داد ترکیب اینتروباکترکولاسه در ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم جلی به ترتیب با میانگین‌های ۴۸/۵۳ تن در هکتار و ۷/۸۷ کیلوگرم در مترمکعب بیشترین و ترکیب شاهد در۶۰ درصد نیاز آبی گیاه در رقم میلوا به ترتیب با میانگین‌های ۲۳/۴۰ تن در هکتار و ۳/۸ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد غده و کارایی مصرف آب را در بین تیمارهای مورد ارزیابی به خود اختصاص دادند در واقع کاربرد باکتری از نوع اینتروباکترکولاسه در کنار استفاده از نیاز آبی به میزان ۱۰۰ درصد نسبت به عدم استفاده از باکتری محرک رشد در شرایط ۶۰ درصد نیاز آبی باعث افزایش ۵۱/۷۸ و ۵۱/۷۲ درصدی عملکرد غده و کارایی مصرف آب گردید. شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محدودیت آبی در صفت عملکرد غده ارقام سیب‌زمینی در شرایط تنش ملایم و شدید مزرعه نشان داد که در شرایط تنش ملایم از نظر شاخص‌های YP, MP و GMP رقم جلی در شرایطی که از باکتری محرک رشد اینتروباکترکولاسه استفاده

گردید دارای برتری نسبت به شاهد و باکتری آزوسپیریلوم بوده و نسبت به تنش ایجاد شده تحمل نشان داد و نسبت به دو تیمار دیگر در شرایط تنش ملایم تحمل بیشتری را داشته است، از نظر شاخص TOL, SSI و STI رقم جلی در شرایط بدون باکتری نسبت به سایر شرایط دارای مقدار TOL, SSI و STI کمتری بود. در شرایط تنش شدید شاخص‌های MP, GMP, SSI و STI رقم میلوا در شرایطی که از باکتری محرک رشد آزوسپیریلوم استفاده گردید دارای برتری نسبت به بدون باکتری و باکتری اینتروباکترکولاسه بوده و نسبت به تنش ایجاد شده تحمل نشان داد و نسبت به دو تیمار دیگر در برابر تتنش شدید تحمل بیشتری را داشته است و از نظر شاخص TOL رقم آگریا در شرایط شاهد نسبت به سایر شرایط دارای مقدار TOL کمتری بود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

اصغری، د (۱۳۸۹). تاریخچه سیب‌زمینی. مدیریت تبلیغات و مشارکت مردمی سازمان جهاد کشاورزی خراسان.

بهراملو، ر. و ناصری، ع. (۱۳۸۹). تأثیر آبیاری محدود بر کارایی مصرف آب و عملکرد رقم سیب‌زمینی سانتا. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۴ (۱): ۹۰-۹۸.

جعفری، ف. (۱۳۹۴). تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم سیب‌زمینی ساتینا. اولین کنفرانس علمی-پژوهشی زیست شناسی و علوم باغبانی ایران، تهران، انجمن علمی توسعه و ترویج علوم بنیادی و فناوری.

جعفریان، س (۱۳۷۹). تأثیر پیش گرم کردن و استفاده از برخی هیدروکلوئیدها در کاهش جذب روغن و کیفیت سیب‌زمینی سرخ کرده سیب‌زمینی پایان نامه ارسالی به مقطع کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۲۰ ص.

حسن پناه، د و حسن آبادی (۱۳۸۹). ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی کلون‌های امیدوارکننده سیب‌زمینی در منطقه اردبیل، ایران. مجله علم نوین کشاورزی پایدار، ۷: ۳۷-۴۸.

حیدری سربان، ب. (۱۳۹۵). بررسی تحمل کم‌آبی در نهال ارقام سیب‌زمینی تیمار شده با پلی اتیلن گلیکول و باکتری‌های محرک رشد گیاه در شرایط آزمایشگاهی. پایان نامه کارشناسی ارشد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل. ۱۱۰ صفحه.

خندان، ع.، مبصر، س.، مسلم خانی، ک. و حسن آبادی، ح. (۱۳۹۰). دستورالعمل ملی آزمایش های تعیین ارزش زراعی ارقام سیب‌زمینی. موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال. ۳۵ صفحه.

رضایی، ع. و سلطانی، ع. (۱۳۸۳). کشت سیب‌زمینی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۷۳ صفحه. (به فارسی).

سبحانی، ع و حمیدی، ح (۱۳۹۳). ارزیابی عملکرد و شاخص‌های رشد سیب‌زمینی تحت سطوح مختلف تنش کم‌آبی. مجله تحقیقات کشاورزی ایران، ۱۲(۲): ۲۸۳-۲۹۵.

شفقی اصل، س.ک. و ملوفی، ن. (۱۳۹۴). میزان ماده خشک و نشاسته در ارقام مختلف سیب‌زمینی. بیست و سومین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قوچان

صادق زاده اهری، د. (۱۳۸۵). ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ های گندم دوروم امیدوارکننده. علوم زراعی، ۸(۱): ۴۴-۳۰.

ضیاء چهره، م.، توبه، ع.، حسن پناه، د. و جهانی، ی. (۱۳۹۴). بررسی و انتخاب ارقام سیب‌زمینی متحمل به تنش آبیاری محدود برای جلوگیری از کاهش عملکرد غده از محدوده اقتصادی بر اساس شاخص های تحمل کم‌آبی و حساسیت در شرایط مزرعه. دومین همایش ملی حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی .روشهای رسمی تجزیه و تحلیل انجمن شیمیدانان تجزیه. واشنگتن دی سی آمریکا ص: ۷۷۷

عزیزی نیا، س.، قنادها، محمدرضا، زالی، ع.ع.، یزدی صمدی ب. و احمدی ع. (۱۳۸۴). ارزیابی صفات کمی مرتبط با مقاومت به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم مصنوعی در شرایط تنش و بدون تنش. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۶:۲۸۱-۲۹۳

مقدس زاده، م.، اصغری زکریا، ر.، حسن پناه، د. و زارع، ن. (۱۳۹۷). ارزیابی پایداری عملکرد غده در ژنوتیپ های سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) با استفاده از روش های ناپارامتریک. مجله اصلاح نباتات، ۱۰(۲۸): ۵۰-۶۳.

نادری درباغشاهی، م، نورمحمدی، غ، مجیدی، ع.، درویش، ف.، شیرانی راد، ق و مدنی، ح. (۱۳۸۳). تأثیر تنش خشکی و تراکم بوته بر ویژگی‌های کاشت خطی گلرنگ در اصفهان. مجله تولید بذر و گیاه، ۲۰: ۲۹۶-۲۸۱.

REFERENCES

Abdul-Jaleel, C., Manivannan, B. Sankar, A. Kishorekumar R., Gopi, R. and Omasundaram 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.
Alva, AK., Ren, H. and Moore, AD. (2012).Water and nitrogen management effects on biomass accumulation and partitioning in two potato cultivars. American Journal of Plant Sciences 3: 164-170
Anithakumari, AM., Nataraja, KN., Visser RGF. and Van Der Linden. CG. (2012). Genetic dissection of drought tolerance and recovery potential by quantitative trait locus mapping of a diploid potato population. Molecular Breeding. 30: 1413-1429.
Asghari, D. (2010). History of potato. Promotion management and popular participation. Khorasan Agricultural Jihad Organization. (in Persian)
Azizinia, S., Ghannadha, MR., Zali, AA., Yazdi-Samadi B. and Ahmadi A. (2005). An evaluation ofquantitative traits related to drought resistance in syntheticwheat genotypes in stress and non-stressconditions. Iranian Journal of AgriculturalSciences,36:281-293 (In Persian).
Baghani, J. (2009). Planting arrangement and water content in potato cultivation with drip irrigation in Mashhad. Journal of Water and Soil, 23(1): 153-159.
Bahramloo, R. and Naseri, A. (2010). The effect of limited irrigation on water use efficiency and Santa potato cultivar yield. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 4 (1): 90-98. (In Persian).
Basu, PS., Sharma A., and Sukumaran NP. (1998). Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress. Photosynthetica, 35(1):13-19.
Batool, T., Ali, S., Seleiman, M.F. et al. 2020. Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. Sci Rep 10, 16975 (2020). https://doi.org/10.1038/s41598-020-73489-z
Blum, A. (2006). Use of PEG to induce and control plant water deficit in experimental hydroponics culture. Focus on form: Retrived 2007, from http://www.spectrapor.com
Boyer, JS. (1982). Plant Productivity and Environment. Science. 218: 443-448.
Brussard, L. and Ferrera-Cenato. R. (1997). Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems. Lewis Pub., USA.
Cabello, R., De Mendiburu, F., Bonierbale, M., Monneveux, P., Roca W. and Chujoy. E. (2012). Large scale evaluation of potato improved varieties, genetic stocks and landraces for drought tolerance. American Journal Potato Research. 895: 400-410.
Daraei Garmakhani, A., Mirzaei, HO., Maghsoudlou, Y and Kashaninejad, M. (2010). ABSTRACT9 Investigation of the physicochemical properties of three potato varieties of Golestan province and their effects on quality attribute of French fries. JFST Vol. 7, No. 1, Spring 2010
Darwish, TM., Atallah, TW., Hajhasan, S. and Haidar, A. (2006). Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. Agricultural water management 85: 95–104.
Demelash, N. (2013). Deficit irrigation scheduling for potato production in North Gondar, Ethiopia. African Journal of Agricultural Research 8(11): 1144-1154
Dokhani, Sh. (1984). The Study of Potato Chips Processing and the Shelf Life from Varieties Cultivated in Isfahan Province. Technical Research Report at Isfahan University of Technology. No. 101. In Persian. English Abstract
Donnely, DJ., Coleman WK and Coleman. S.E. (2003). Potato micrituber production and performance: a review. American Journal of Potato Research. 80: 103-115.
Doorenbos, J. and Pruitt, WO. (1977) Guidelines for predicting cropwater requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper no. 24.FAO, Rome, 144 pp., 1977
Duangpaeng, A., Phetcharat1, P., Chanthapho1, S., Boonkantong N and Okuda, N. (2012). The study and development of endophytic bacteria for enhancing organic rice growth. Procedia Engineering. 32: 172-176.
Ebrahimi Pak, N. (2011). The Impact of deficit irrigation (reduced irrigation water) on the quantity and quality of potato crop in Shahrekord. Final Report No. 1695. Karaj Soil and Water Institute, Iran, p. 56.
Etesami, H., Alikhani, HA. and Hosseini, HM (2015). Indole-3-acetic acid (IAA) production trait, a useful screening to select endophytic and rhizosphere competent bacteria for rice growth promoting agents. Methods. 2: 72-78.
Fernandez, GCJ. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crop in temperature and water stress. Taiwan. pp 257-270.
Fischer, RA., and Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. Australean Journal of Agriculture Research. 29: 897-912.
Gopal, J., and Iwama. K (2007). In vitro screening of potato against water stress mediated through Sorbitol

and polyethylene glycol. Plant Cell Report. 26: 693-700.
Gorji, MA., K. Mátyás, Z.S. Dublecz1, K. Decsi1, I. Cernák, K. Decsi, J. Taller, B. Hoffmann and Z. Polgar. (2012). In vitro osmotic stress tolerance in potato and identification of major QTLs. American Potato Research Journal.
Graham, SO., Green NE. and Hendrix, JW (1976). The influence of vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi on growth and tuberization of potatoes. Mycologia. 68: 925-929.
Gupta, A., Rico-Medina, A. & Caño-Delgado, A. 2020. The physiology of plant responses to drought. Science 368, 266–269 (2020).
Hassan, AA., Sarkar, AA., Ali M.H. and Karim. NN., (2002). Effect of deficit irrigation at different growth stages on the yield of potato. Pakestan Journal Biology Sciences., 5: 128-134.
Hassanpanah, D. and Hassanabadi. H (2011). Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of promising potato clones in Ardabil region, Iran. Modern Science of Sustainable Agriculture Journal, 7: 37-48 (In Persian).
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 Biology Science. 15: 1354-1359.
Heidari Sareban, B. (2016). Investigating water deficit tolerance in seedlings of potato cultivars treated with polyethylene glycol and plant growth-promoting bacteria under in vitro conditions. Master's thesis in Agriculture, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Ardabil Branch. 110 pages. (In Persian).
Iqbal, MM., Shah, SM. Ohammad W. and Awaz. H. (1999). Field response of potato subjected to water stress at different growth stages. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D.R. Nielsen (eds), Crop yield response to deficit irrigation. Kluwer Academic Publisher, The Netherlands. pp 213-223.
Irna, A. and G. Mauromicale. (2006). Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management. 82: 193-209.
Islam, M.S., Hasan, M.S., Hasan, M.N. et al. 2021. Genome-wide identification, evolution, and transcript profiling of Aldehyde dehydrogenase superfamily in potato during development stages and stress conditions. Sci Rep 11, 18284 (2021). https://doi.org/10.1038/s41598-021-97691-9
Ja'fari, F. (2015). The impact of growth-promoting bacteria on yield and yield components of Satina potato cultivar. First Iranian Scientific-Research Conference on Biology and Horticulture Science, Tehran, Scientific Association of Fundamental Science and Technology Development and Promotion. (In Persian).
Jafarian, S. (2000). Effect of pre heating and use of some of hydrocolloids in reduction oil uptake and quality of potato French fries. A thesis Submitted to Msc degree of food science and technology, Isfahan University of technology, 120p. (In Persian).
Khalil Zadeh, GHR., and Karbalai Khiyav. H. (2002). Effects of drought and heat stress onadvanced lines of durum wheat. 7th Congress of Agronomy and Plant Breeding of Iran.Agricultural Education Publishing. P:563-564. (In Persian).
Khandan, A., Mobser, S., Moslem-khani, K. and Hassanabadi, H. (2011). National guidelines for agronomic value determination tests of potato cultivars. Research Institute of Registration and Certification of Seeds and Seedlings. 35 pages. (In Persian).
Kumar D., Singh B.P., and Kumar P. (2004). An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. Annals of Applied Biology, 145: 247-256.
Lefe, I., Legay, S. & Lamoureux, D. 2017. Identification of drought-responsive compounds in potato through a combined transcriptomic and targeted metabolite approach. J. Exp. Bot. 61, 2327–2343 (2017).
Li, Q., Qin, Y., Hu, X. et al. 2020. Transcriptome analysis uncovers the gene expression profile of salt-stressed potato (Solanum tuberosum L.). Sci Rep 10, 5411 (2020). https://doi.org/10.1038/s41598-020-62057-0
Lifshitz R., Klopper JW., Kozlowsky M., Simonson C., Carlson J., Tipping E., and Zaleska M. (1989). Growth promotion of Canola (rape seed) seedlings by a strain of Pseudomonas putida under gnotobiotic conditions. Canadian Journal of Microbiology, 33: 390-395.
Lisinska, G., and Leszczynski, W. (1989). Potato science and technology, Elsevier science publishers. pp, 166-227
Lonergan JF., and Webb MJ. (1993). Interaction between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In, Robson, A. D. (ed) Zinc in Soils and Plants, kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 119-134.
Lynch, DR., Oroud, N., Kozub, GC., and Farries. BC (1995). The effect of moisture stress at three growth stages on the yield components of yield and processing quality of eight potato cultivars. American Potato

Journal. 72: 375-386.
Mollasadeghi, V., Eshghi, AG., Shahryari, R and Elyasi S (2013). Evaluation of tolerant and susceptible bread wheat genotypes under drought stress conditions. International Journal of Farming and Allied Sciences 2 (24), 1159-1164
Mollasadeghi, V., Valizadeh, M., Shahryari, R and AA Imani. (2011a). Evaluation of end drought tolerance of 12 wheat genotypes by stress indices. World Applied Sciences Journal 13 (3), 545-551
Mollasadeghi, V., Valizadeh, M., Shahryari, R and AA Imani. (2011b). Evaluation of drought tolerance of bread wheat genotypes using stress tolerance indices at presence of potassium humate American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 10 (2): 151-156.
Moqaddaszadeh, M., Asghari Zakariya, R., Hassanpanah, D. and Zare', N. (2018). Evaluation of tuber yield stability of potato (Solanum tuberosum) genotypes using nonparametric methods. Journal of Crop Breeding, 10(28): 50-63.
Motalebifard R., Najafi N., Oustan S., Nyshabouri MR., and Valizadeh M. (2013). The combined effects of phosphorus and zinc on evapotranspiration, leaf water potential, water use efficiency and tuber attributes of potato under water deficit conditions. Scientia Horticulturae, 162: 31-38.
Naderi Darbagshahi, MR., Noormohamadim GH,, Majidi, A., Darvish, F., Shirani Rad, AH and Madani, H. (2004). Effect of drought stress and plant density on the characteristics in line planting safflower in Isfahan. Seed and Plant Production Journal, 20: 296-281. (In Persian).
Naeim, A. and Atrashi, M. (2014). Investigating the effect of plant growth-promoting bacteria and fungi on increased yield and some growth parameters of three potato (*Solanum tuberosum*) cultivars. Journal of Crop Production and Processing, 4(13): 37-48.
Niemira, BA., Safir, GR., Hammerschmidt R. and George, WB. (1995). Production of prenuclear minitubers of potato with peat-based arbuscular mycorrhizal fungal inoculum. Agronomy Journal 87:942–946.
Pais, R., Ruano, L., Moreira, C., Carvalho, O. P. & Barros, H. Prevalence and incidence of cognitive impairment in an elder Portuguese population (65–85 years old). BMC Geriatr. 20, 470 (2020).
Palta, JA., Chen, X., Milroy, SP., Rebetzke, GJ., Dreccer, MF and Watt, M. (2011). Large root systems: Are they useful in adapting wheat to dry environments? Functional Plant Biology. 38: 347-354.
Poudel, S., Vennam, R.R., Shrestha, A. et al. Resilience of soybean cultivars to drought stress during flowering and early-seed setting stages. Sci Rep 13, 1277 (2023). https://doi.org/10.1038/s41598-023-28354-0
Rezaei, A. and Soltani, A. (2004). Potato cultivation (translation). Jahad Daneshgahi Publications. Ferdowsi University of Mashhad. 173 pages. (In Persian).
Sadegh-Zadeh Ahari, D. (2006). Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes promising. Crop Science, 8(1): 44-30. (In Persian).
Sadeghzadeh-Ahari, D. (2006). Evaluation for tolerance to drought stress in dryland promising durum wheat genotype. Crop Science,8(1), 30-45.
Schittenhelma, S., Sourell, H., and Lopmeierc, FJ. (2006). Drought resistance of potato cultivars with contrasting canopy architecture. European Journal Agronomy. 24: 193-202.
Shaalan, MN. (2005). Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian Journal of Agricultural Research 83:811-828.
Shafaqi Asl, SK. and Maloufi, N. (2015). The amount of dry matter and starch in different potato cultivars. 23rd National Congress of Iranian Food Science and Industry, Quchan, Islamic Azad University, Quchan Branch. (In Persian).
Shock, CC, and Feibert, EBG. (2002). Deficit irrigation on potato. In deficit irrigation practices. FAO, Rome. pp 47-56.
Sobhani, A. and Hamidi, H. (2014). Evaluation of yield and growth indices of potato under different levels of water deficit stress. Iranian Journal of Agricultural Research, 12(2): 283-295. (In Persian).
Sun, X., Xiong, H., Jiang, C. et al. 2022. Natural variation of DROT1 confers drought adaptation in upland rice. Nat Commun 13, 4265 (2022). https://doi.org/10.1038/s41467-022-31844-w
Vessey, JK. (2003) Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Biofertilizers. Plant and Soil, 255, 571-586.
Vosátka, M. and Gryndler. M. (1999). Treatment with culture fractions from Pseudomonas putida modifies the development of Glomus fistulosum mycorrhiza and the response of potato and maize plants to inoculation. Applied Soil Ecology 11:245–251.
Wang F., Kang Y., Liu S., and Hou X. (2007). Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. Agricultural Water Management. 88: 34–4 2.
Wil, VL. (2005). Process innovation and quality aspects of French fries. PhD thesis Wageningen University, The Netherlands, 2005 – with summary in Dutch

Wu, SC., Cao, ZH., Li, ZG and Cheung, KC (2005). Effect of biofertilizers containing N-fixer, Panda K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. Geoderma 125: 155-166.

Ziya Chehreh, M., Tobeh, A., Hassanpanah, D. and Jahani, Y. (2015). Investigation and selection of potato cultivars tolerant to limited irrigation stress to prevent tuber yield reduction from the economic range based on water deficit tolerance and susceptibility indices under farm conditions. Second National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment, Ardabil, University of Mohaqqeq ArdabiliA.O.A.C. 1990. Official methods of analysis association of analytical chemists. Washington D.C. USA. pp: 777. (In Persian)

The effect of growth-promoting bacteria on the quantitative and qualitative agricultural traits of various cultivars of *Solanum tuberosum* under drought stress in the greenhouse and garden conditions

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

With the continuous increase in the world's population, the need for food is increasing day by day at a tremendous speed. The World Food Organization has announced that the world's population will reach more than 9.8 billion people by 2050, which requires efforts and follow-up in the fields of agriculture and science to provide food for this population. Despite significant progress in the last three decades, the annual food consumption has only increased by about 20%. According to the available estimates, by 2050, the production of food products in developing countries should be 70% more than the current production in order to keep pace with the growing population and meet their needs. One of the strategies that helps to reduce this risk is to change food production towards the production of basic nutritious products such as potatoes, which are less sensitive to changes in international markets. Potato (Solanum tuberosum L) is one of the tuberous products that plays an important role in the nutrition of the world's people, therefore, in order to investigate the effect of growth-promoting bacteria on the agronomic and qualitative traits of different potato cultivars, an experiment was carried out.

Materials and Method:

The conducted research in 2018 examined the effect of growth-promoting bacteria on the quantitative and qualitative agricultural traits of various cultivars of Solanum tuberosum under drought stress in greenhouse and garden conditions. The amount of soil moisture to start irrigation was considered to be 21.147% based on the calculations made at the test site. The percentage of soil moisture in the test site during the potato growth period was measured using a PMS-714 portable moisture meter made in Taiwan. In order to analyze the treatments tested in this research, the data obtained from sampling and measurements were taken, and during the test period for the various studied traits, the normality test was first performed, the analysis of variance for The data obtained from the measurement of the studied traits and mean comparisons were done based on the LSD test using SAS 9.1 software, and graphs were drawn with EXCEL software.

Results and Discussion:

In the garden part, the hybrid of Enterobacter cloacae bacterium × 100% water requirements × Jelly cultivar with means of 48.53 ton/ha and 7.87 kg/m3 had the maximum tuber yield, and the hybrid of no bacteria × 60% water requirements × Milva cultivar with means of 23.40 ton/ha and 3.8 kg/ha had the minimum tuber yield and water consumption efficiency among the tested treatments. Actually, using Enterobacter cloacae bacterium in addition to 100% water requirement increased tuber yield and water consumption efficiency up to 51.78 and 51.72%, respectively, than not using growth-promotion bacterium × 60% water requirements. The indexes of tolerance (TOL) and sensitivity to the water scarcity stress in the garden showed that Jelly cultivar in mild stress condition, Agria cultivar in severe stress condition in control treatment had minimum TOL than the other conditions according to TOL index. In addition, Jelly cultivar, if Enterobacter cloacae is used as a growth-promoting bacterium, was superior to the control treatment and use of Azospirillum bacteria according to YP, MP, and GMP indexes. It showed tolerance against the made stress and had a higher tolerance than two other treatments in mild stress conditions.

Conclusion:

In general, in laboratory, greenhouse and field conditions, water deficit stress caused the reduction of the evaluated traits. The use of Interbacterculase bacteria was effective in improving the evaluated traits compared to its non-use and caused the increase of most of the evaluated traits in this research.

Keywords: Solanum tuberosum, Growth-promoting bacterium, Drought stress, Agricultural traits, Qualitative.