Advanced Technologies in Water Efficiency
homepage:https://atwe.razi.ac.ir
Online ISSN:2783-4964
Razi University

Improving water use efficiency, estimating economic benefits and increasing potato tuber quality by the combined application of super absorbent polymer and mycorrhizal biofertilizer

Khosro Parvizi [1]✉, Ali Ghadami firoozabadi [2]

[1] *Corresponding author*, Department of horticulture Crops Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.. E-mail: kparvizi@yahoo.com
[2] Department of agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran. E-mail: aghadami@gmail.com

ABSTRACT

This research was conducted in order to investigate the effects of moisture absorbent polymers and mycorrhizal biofertilizer on water use efficiency, potato yield, as well as the quality of produced tubers in terms of secondary growth and contamination with scab disease for two years in Hamedan. This experiment was carried out by Agria potato cultivar in the form of a splited strip design with a basic random complete block design. The amount of irrigation water was set at three levels of 100, 75 and 50% of potato water requirement in the main strips (main plot). The seprate use of the superabsorbent material, the mycorrhizal biofertilizer and their combination was also considered as a sub-plot in three differing levels. The amount of superabsorbent material usage was 80 kilogerams per hectar, and the use of mycorrhizal biofertilizer was in the form of coating th tubers. At the harvesting time, the total yield, water efficiency and the quality of produced tubers determined in terms of dry matter content, appearance and marketability of tubers in terms of deformity, and scab disease contamination. The results showed that under normal irrigation conditions (supplying 100% of water requirement), the use of superabsorbent and mycorrhizal biofertilizer had no significant effect on the yield and quality of the produced tubers in terms of dry matter, deformity, secondary growth and the level of infection with scab disease. However, in the condition of low irrigation, especially with irrigation at the rate of 50% of the water requirement of potatoes, a significant difference was created in the yield and quality of potato tubers as well as the efficiency of water in potatoes. The infection index of the important bacterial scab disease decreased significantly by using mycorrhizal biofertilizer and the combination of mycorrhizal and superabsorbent. This decrease was more significant in the condition of low irrigation.

Keywords: water consumption, tuber deformation, total yield, symbiotic fungus, tuber dry matter

Article Type: Research Article
Article history: Received: 07 June 2024 **Revised:** 01 September 2024 **Accepted:** 01 October 2024 **ePublished:** 21 December 2024

1.Introduction

Potato is a sensitive crop to drought stress, especially in the stage of tuber formation. Correct management of irrigation in the field has an important role in increasing the water use efficiency; and by preventing yield reduction, the amount of disease contamination is reduced and the quality of the tuber production is also improved (Wilson et al., 2001; Johansen et al., 2015). Given the limited annual rainfall in Hamedan province (averaging 310 mm) and its poor distribution, combined with the potato's high water requirements, agronomic methods are essential for preserving and sustaining production. In this regard, uagae of superabsorbent materials and inoculation with mycorrhizal biofertilizers are suitable tools for water management, as these materials increase the competitive power of the potato crop by creating the desired growth power. They can lead to a quantitative and qualitative increase of the product by creating more favorable growth and avoiding stress during the critical stages of growth. Limited research has been done on the effect of superabsorbent materials and mycorrhiza, especially in deficit irrigation of potatoes. There are very few reports on the effect of combined application of superabsorbent and mycorrhiza in potato crop. Therefore, this experiment investigated the effects of separate and combined applications of superabsorbent materials and mycorrhizal biofertilizers on water use efficiency, potato yield, and tuber appearance quality (deformity and scab infection index) under low irrigation conditions.

2. Methodology

2.1. Experimental model

The experiment employed a Strip Factorial design nested within a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications. Irrigation levels were manipulated in horizontal plots, with treatments including 100%, 75%, and 50% of optimal water requirements based on the Penman-Mantith evapotranspiration formula. The second factor involved four levels: control, superabsorbent and mycorrhiza seperately, and a combination of both, arranged as sub-plots. The Agria potato cultivar was used for the study.

2.2. Verification of the physical model

Superabsorbent material named Trawat200A was applied at 80 kg per hectare directly to the tubers at planting time. The tubers were also inoculated with mycorrhizal inoculum containing 120 CFU/g of active propagules. Irrigation commenced at the beginning of the growing season, immediately following planting. Irrigation amounts were determined using the modified Penman-Mantith formula, adjusted for 90% irrigation efficiency. Yield was assessed at harvest by randomly selecting two 1-square-meter plots within each replication and treatment.

2.3. Dimensional analysis

the harvested tubers were divided according to their size into three sizes groups (smaller than 35, 35 to 55 mm, and larger than 55 mm), weighed and counted. The number of deformed and malformed tubers with secondary growth as well as decayed tubers were counted and weighed in different treatments. The effect of treatments on the percentage of tubers infected with common scab disease was investigated using Hao et al.'s method (Hao et al., 2009).

3. Results and discussion

Variance analysis of the data demonstrated that irrigation levels, mycorrhizal biofertilizer, and their interactive effect were significantly influential ($p \leq 0.01$) on the number of tubers categorized by size (seed, edible, and small), the scab disease infection index, tuber dry matter percentage, and water use efficiency.Secondary growth in potato tuber influenced by the simple effect of irrigation treatment at the probability level of 5% ($p \leq 0.05$). Irrigation treatment had a significant effect ($p \leq 0.01$) on the amount of tuber dry matter and total yield. Using of superabsorbent and mycorrhiza affected the performance at the level of 1% ($p \leq 0.01$). The number of large tubers increased at different irrigation levels and with separate and combined application of mycorrhiza and superabsorbent compared to the control treatment. Using of mycorrhizae and superabsorbent and also their combination increased the yield compared to the control treatment in all three irrigation levels. Nevertheless, only in combination treatment a significant difference was created. Phosphorus is a critical element for plant metabolism, particularly in carbohydrate processes. Moreover, mycorrhizal fungi excel at phosphorus absorption, especially under water-stressed conditions. This can be a convincing reason for increasing the dry matter of the plant and as a result the dry matter of the tubers under the conditions of using mycorrhizal biofertilizer. Based on other published data from this research (Parvizi et al., 2022), it was determined that the separate application of mycorrhiza and the combined application of mycorrhiza and superabsorbent had a significant effect on phosphorus uptake in potatoes compared to the superabsorbent and control treatments in all three irrigation levels. These positive effects of mycorrhiza on phosphorus uptake and its increase in the foliage and ultimately the potato tuber were directly related to the severity of water stress and were highest in the 50% irrigation requirement treatment. The amount of secondary growth in the tubers was directly related to the reduction of irrigation. So the control treatments had the highest amount of secondary growth in the tuber at two irrigation levels of 50 and 75%. However, with the use of mycorrhizal and superabsorbent biofertilizers, the amount of secondary growth in these irrigation treatments was greatly reduced. In two irrigation levels of 75 and 50%, separate application of superabsorbent and mycorrhizal biofertilizer, and their combination were able to significantly reduce the intensity of scab contamination index. Of course, these reduction effects were more significant in their combined application. In total, in all three irrigation treatments, the combined effects of superabsorbent and mycorrhizal biofertilizer were more effective in reducing scab than their separate application.

4. Conclusions

The positive effects of mycorrhizae and superabsorbent were more evident in increasing tuber dry matter, reducing secondary growth and tuber deformity, as well as reducing the rate of infection with scab disease in conditions of severe lack of irrigation. In total, the water use efficiency with the use of mycorrhiza and superabsorbent in both low irrigation conditions (Irrigation treatments at 50% and 75% of potato water requirements) increased significantly compared to the control treatment.

5. References

Hao, J.J., Meng, Q.X., Yin, J.F., & Kirk, W.W. (2009). Characterization of a new Streptomyces strain, DS3024 that causes potato common scab. Plant Diseases Journal. 93, 1329–1334. https://doi.org/10.1094/PDIS-93-12-1329

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

7. Acknowledgments

The authors would like to thank Mr Dr. Mohammad Reza Bakhtiari deputy researcher of Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Hamedan for providing the facilities to carry out the laboratory experiments of this paper. Also, the project managers appreciate the efforts of Mr. Engineer Abdolreza Moradi in conducting the experiment in the farm.

Cite this article: Parvizi, Kh., & Ghadami firoozabadi, A. (2024). Improving water use efficiency, estimating economic benefits and increasing potato tuber quality by the combined application of super absorbent polymer and mycorrhizal biofertilizer, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(4), 35-50. https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10836.1130

Publisher: Razi University

© The Author(s)

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب
وبگاه نشریه: https://atwe.razi.ac.ir شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴

بهبود کارایی مصرف آب، برآورد سود اقتصادی و افزایش کیفیت غده سیب‌زمینی با کاربرد ترکیبی پلیمر جاذب رطوبت و کود زیستی میکوریز

خسرو پرویزی [۱]، علی قدمی فیروز آبادی [۲]✉

[۱] نویسنده مسئول، بخش تحقیقات گیاهان زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. رایانامه: kparvizi@yahoo.com

[۲] بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. رایانامه: aghadami@gmail.com

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر مواد فوق جاذب رطوبتی و کود زیستی میکوریز بر بهره‌وری مصرف آب، عملکرد سیب‌زمینی و همچنین کیفیت غده‌های تولیدی از نظر رشد ثانویه و آلودگی به بیماری اسکب، پژوهشی به مدت دو سال در همدان انجام شد. این آزمایش با رقم آگریا سیب‌زمینی و در قالب طرح خرد شده نواری بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا درآمد. تیمار مقدار آب آبیاری در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی در نوارهای اصلی (پلات اصلی) و استفاده جداگانه از ماده سوپر جاذب رطوبتی و کود زیستی میکوریز و نیز ترکیب آن‌ها در سه سطح به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. مقدار مصرف ماده سوپر جاذب رطوبتی ۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. استفاده از کود زیستی میکوریز به‌صورت بذر مال کردن غده‌ها انجام شد. در هنگام برداشت عملکرد کل، بهره‌وری مصرف آب و کیفیت غده‌های تولیدی از نظر میزان ماده خشک، شکل ظاهری و درجه بازارپسندی غده‌ها از نظر بدشکلی و آلودگی به بیماری اسکب، مشخص گردید. نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، استفاده از سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز اثر قابل‌توجهی بر عملکرد و کیفیت غده‌های تولیدی از نظر ماده خشک، بدشکلی، رشد ثانویه و میزان آلودگی به بیماری اسکب نداشت. اما در شرایط کم آبیاری و به‌ویژه با آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی، تفاوت قابل‌توجهی در میزان عملکرد و نیز کیفیت غده‌های سیب‌زمینی و همچنین بهره‌وری مصرف آب در سیب‌زمینی ایجاد شد. در تیمارهایی که کود زیستی میکوریز و نیز ترکیب میکوریز و سوپر جاذب مورداستفاده قرار گرفته بود، شاخص آلودگی به بیماری مهم اسکب باکتریایی کاهش معنی‌دار پیدا کرد. این میزان کاهش در شرایط کم آبیاری چشمگیرتر بود. در مجموع با احتساب قیمت واقعی آب و هزینه سوپر جاذب رطوبتی و کود زیستی میکوریز، استفاده ترکیبی از این دو ماده در شرایط کم آبیاری می‌تواند به طور متوسط ۵۲ میلیون تومان در هکتار درآمد کشاورز سیب‌زمینی‌کار را در همدان افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: آب مصرفی، بدشکلی غده، عملکرد کل، قارچ هم‌زیست، ماده خشک غده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۸ خرداد ۱۴۰۳ **اصلاح:** ۱۱ شهریور ۱۴۰۳ **پذیرش:** ۱۰ مهر ۱۴۰۳ **چاپ الکترونیکی:** ۰۱ دی ۱۴۰۳

استناد: پرویزی، خ.، و قدمی فیروزآبادی، علی. (۱۴۰۳). بهبود کارایی مصرف آب، برآورد سود اقتصادی و افزایش کیفیت غده سیب‌زمینی با کاربرد ترکیبی پلیمر جاذب رطوبت و کود زیستی میکوریز، *فناوری های پیشرفته در بهره وری آب*، ۴(۴)، ۵۰-۳۵. https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10836.1130

ناشر: دانشگاه رازی © نویسندگان

مقدمه

سیب‌زمینی از مهم‌ترین محصولات زراعی استان همدان است. اگرچه در این استان میزان بارندگی کم (متوسط بارندگی سالیانه ۳۱۳ میلی‌متر) و توزیع و پراکنش زمانی آن نامناسب است؛ ولی قابلیت‌های بالایی از نظر آب‌وهوا، نهاده‌ها، سامانه‌های مناسب آبیاری تحت‌فشار، ماشین‌آلات و ادوات مکانیزاسیون، نیروی فنی و کارشناسی خبره، زارعین پیشرو و آگاه به فنون کشت و کار و تولید سیب‌زمینی و... در استان وجود دارد. سیب‌زمینی محصولی حساس به تنش خشکی به‌ویژه در مرحله غده‌زایی است. مدیریت صحیح آبیاری در مزرعه نقش مهمی در افزایش کارایی مصرف آب داشته و همچنین با جلوگیری از کاهش عملکرد از میزان آلودگی به بیماری کاسته و کیفیت غده‌های تولیدی نیز ارتقا می‌یابد (ویلسون و همکاران[۱]، ۲۰۰۱، جانسن و همکاران[۲]، ۲۰۱۵).

با محدودیت ریزش‌های جوی استان همدان و نیز نامناسب‌بودن توزیع و پراکنش زمانی آن و همچنین نیاز بالای آبی محصول سیب‌زمینی، ناگزیر به استفاده از روش‌های به‌زراعی در جهت حفظ و پایداری تولید و کشت و کار سیب‌زمینی در این استان هستیم. در این راستا استفاده از سوپر جاذب‌های رطوبتی و تلقیح با کود زیستی مایکوریزا از ابزارهای مناسب مدیریت آب است. این مواد با ایجاد قدرت رشد مطلوب، قدرت رقابتی محصول سیب‌زمینی را افزایش داده و می‌توانند با ایجاد رشد مطلوب‌تر و اجتناب از برخورد با تنش در مراحل بحرانی رشد، منجر به افزایش کمی و کیفی محصول بشوند.

تحقیقات محدودی در ارتباط با اثر مواد سوپر جاذب و میکوریز و به‌ویژه در شرایط کم آبیاری در سیب‌زمینی انجام شده است. مهم‌تر اینکه گزارش‌های بسیار کمی از اثر ترکیبی سوپر جاذب و میکوریز در محصول سیب‌زمینی ارائه شده است؛ لذا در این آزمایش اثرات کاربرد جداگانه و همچنین توأم آن‌ها بر بهره‌وری مصرف آب، عملکرد سیب‌زمینی و نیز کیفیت ظاهری غده‌های تولیدی (بدشکلی و شاخص آلودگی به بیماری اسکب) در شرایط کم آبیاری مورد بررسی قرار گرفت.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مواد سوپر جاذب از نظر ساختمانی شبکه‌ای از مواد پلیمری هیدروکربن و آب‌دوست هستند. ضریب جذب آب در این مواد بسیار بالا بوده و بیش از ۵۰۰ برابر وزن خود آب جذب می‌کنند. همچنین تخلیه آب در این مواد تدریجی بوده و در اثر خشک شدن خاک به تدریجی صورت می‌گیرد؛ بنابراین رطوبت محیط خاک و ریشه به مدت طولانی در حد مناسب برای جذب باقیمانده و بدون نیاز به آبیاری مجدد آب لازم را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (رشیدی و همکاران، ۱۳۹۲، بانج شفیعی و رهبر، ۱۳۸۲). همچنین قارچ‌های میکوریزا که به‌عنوان کود زیستی مورداستفاده قرار می‌گیرند، با استفاده از اندام‌های ریشه مانندی به نام ریسه سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی از خاک می‌شوند. ضمن اینکه در رابطه هم‌زیستی با گیاه، در تولید هورمون‌های رشد نیز دخالت دارند (بومسما و همکاران[۳]، ۲۰۰۸، گوواراو و همکاران[۴]، ۲۰۱۰). استفاده از هر دو این مواد از طرفی موجب افزایش رطوبت خاک شده و از طرفی نیز به جذب آب و مواد غذایی خاک به‌ویژه در شرایط کم آبیاری و تنش توسط ریشه سیب‌زمینی کمک می‌کند (مائو و همکاران[۵]، ۲۰۱۱).

جهان و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی اثر مواد سوپر جاذب رطوبتی در کاهش اثر تنش خشکی در ذرت با ۲ دور آبیاری هفت و چهارده روزه، نتیجه گرفتند که ارتفاع بوته، درصد ماده خشک و عملکرد به‌صورت معنی‌داری تحت‌تأثیر تیمارهای سوپر جاذب قرار گرفت و با مصرف هر دو سطح ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، صفات رشد به شکل معنی‌داری در دور آبیاری ۱۴ روزه افزایش پیدا کرد. قارچ‌های میکوریز با افزایش در جذب آب و عناصر غذایی از یک سو و تغییر در مواد شیمیایی بافت‌های گیاهی، رقابت با عوامل بیماری‌زا برای محل استقرار در ریشه، تغییر ساختار ریشه و کاستن از اثر تنش‌های محیطی، به رشد و نمو گیاه زراعی کمک می‌کنند. قارچ‌های میکوریزا به‌وسیله افزایش هدایت هیدرولیکی آب در خاک، افزایش نسبت تعرق و سرعت انتقال آب از ریشه به آوندهای چوبی، کاهش مقاومت روزنه‌ای به‌وسیله تغییر در تعادل هورمون‌های گیاه، روابط آبی گیاه را افزایش می‌دهند (فنگ و همکاران[۶]، ۲۰۰۲).

به‌طورکلی پذیرفته شده است که از اثرات هم‌زیستی قارچ میکوریزا، افزایش جذب فسفر در اولویت اول است و دراین‌خصوص تمامی پژوهشگران اتفاق‌نظر دارند. میکوریزا این عمل را به شیوه‌های مختلف از طریق توسعه سطح جذب با گسترش بیشتر ریسه‌های قارچ،

---

[۱] Wilson et al
[۲] Johansen et al
[۳] Boomsma et al
[۴] Gaurav et al
[۵] Mao et al
[۶] Feng et al

انتشار رطوبت بیشتر در خاک، افزایش هدایت هیدرولیکی و کمک به انتقال توده‌ای فسفر و انحلال بیشتر فسفر از منابع غیرمحلول از طریق ترشح آنزیم فسفاتاز انجام می‌دهد (ریان و همکاران[۱]، ۲۰۰۱).

روش پژوهش

این پژوهش به‌صورت طرح استریپ – پلات (خردشده شده نواری) فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان به اجرا درآمد که در شکل (۱) نشان‌داده‌شده است. تیمار مقدار آب آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی) در کرت‌های اصلی و فاکتور استفاده از سوپر جاذب Trawat200A و میکوریز با ۴ سطح (عدم کاربرد سوپر جاذب رطوبتی و میکوریز با استفاده جداگانه و توأم آن‌ها) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. جهت آماده‌سازی زمین، ابتدا زمین موردنظر شخم زده شده و سپس با روتوشیپر کلوخه‌ها خرد شده و تسطیح با لولر و ماله صورت پذیرفت در مرحله بعد به‌منظور عملیات کاشت غده‌ها با فاروئر اقدام به تهیه جوی و پشته و ایجاد ردیف‌های کاشت بافاصله ۷۵ سانتی‌متر کاشت شد. سپس پشته‌ها با شیار بازکن به عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر باز شده و غده‌ها به فاصله ۲۵ سانتی‌متر در کف شیار و در عمق شیارها قرار گرفتند. ماده سوپر جاذب رطوبتی در هنگام کاشت غده‌ها، به مقدار ۸۰ کیلوگرم در هکتار و در مجاور غده و در شیارهای کشت و در تیمارهای مرتبط توزیع شد. کود زیستی میکوریز به‌صورت بسته‌های یک‌کیلوگرمی شامل مخلوط خاکی پیت ماس در تلقیح با زادمایه[۲] (مایه تلقیح) قارچ میکوریز گونه *Glomus etunicatum* با جمعیت فعال[۳] قارچ به تعداد ۱۲۰ عدد در هر گرم بود که توسط شرکت دانش‌بنیان زیست فناور پیشتاز واریان تهیه و در اختیار مجریان پروژه قرار گرفت. استفاده از کود زیستی میکوریز به‌صورت بذر مال و در هنگام کاشت غده‌ها با آن‌ها آغشته شد. جهت انجام بذر مال نمودن غده‌ها با کود زیستی میکوریز، ابتدا با آب مقطر بر روی غده‌ها محلول‌پاشی انجام شده و سپس مخلوط کود زیستی بر روی غده‌ها پاشیده شد، به‌طوری که سطح غده‌ها به لایه‌نازکی از مخلوط محیط کشت (پیت ماس و قارچ هم‌زیست) آغشته گردید.

لازم به ذکر اینکه در این تحقیق هیچ نوع ضدعفونی شیمیائی در هنگام کاشت غده‌های بذری مورداستفاده قرار نگرفت. کودهای پتاسیم، فسفر و نیتروژن نیز بر اساس آزمون تجزیه خاک مورد مصرف قرار گرفت. عناصر غذایی پایه شامل نیتروژن (N)، فسفر (P_2O_5) و پتاسیم (K_2O) به ترتیب به میزان ۱۱۵، ۹۲ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار و از منابع کودهای پایه به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل، ۱۸۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۲۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار تأمین شده و در هنگام کاشت مورداستفاده قرار گرفت. یک‌سوم کود نیتروژنی در هنگام کاشت و بقیه در دو نوبت به‌صورت سرک در مرحله خاک‌دهی و در زمان گل‌دهی به کار گرفته شد.

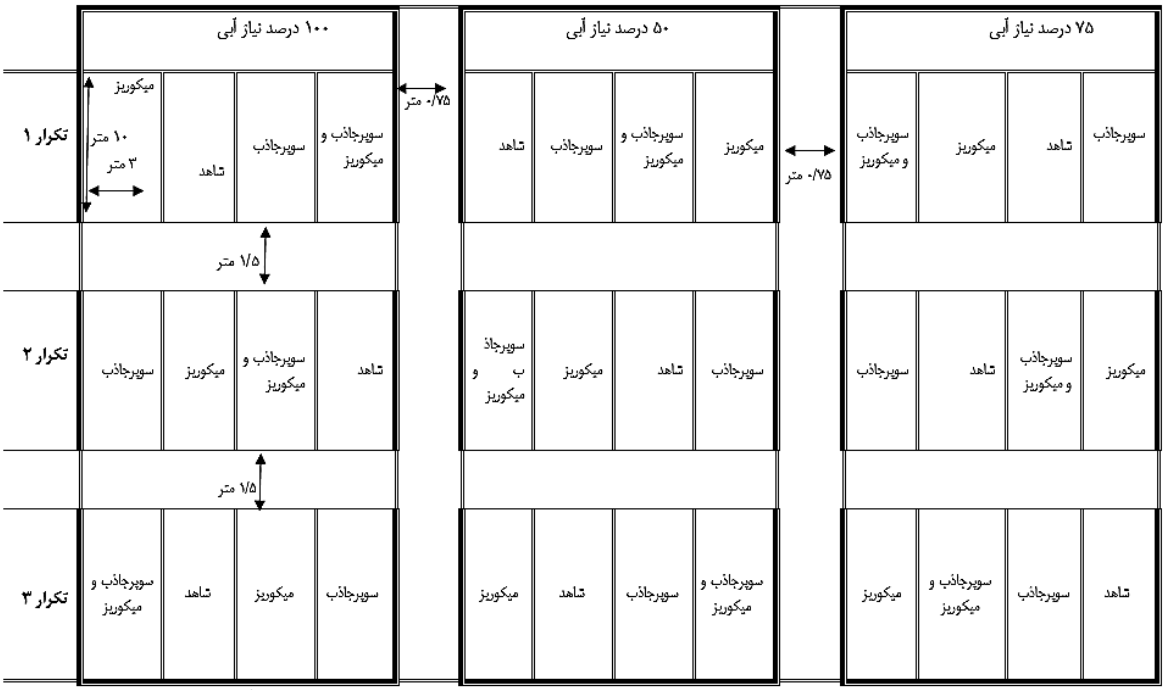
در تیمارهای آبیاری، آبیاری از ابتدای فصل رشد و بلافاصله بعد از کاشت و بر اساس محاسبه نیاز آبی از فرمول پنمن مانتیث اصلاح شده و با احتساب راندمان ۹۰ درصد انجام پذیرفت.

---

۱ Ryan et al

2 Inoculum

۳ Propagules



شکل ۱. نقشه شماتیک اجرای پروژه تحقیقاتی به تفکیک نوارهای اصلی و فرعی و فواصل بلوک و تیمارهای آزمایش.

جهت محاسبه نیاز آبیاری، ابتدا با استفاده از رابطه پنمن مانتیث اصلاح شده، تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) محاسبه گردید. تبخیر و تعرق گیاه تحت‌تأثیر شرایط آب‌وهوایی و مراحل رشد گیاه قرار دارد و نشان‌دهنده آب موردنیاز یک گیاه سالم در یک مزرعه بدون محدودیت آب است. با استخراج میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ضریب گیاهی، میزان تبخیر و تعرق گیاهی زراعی (سیب‌زمینی) مشخص می‌گردد. سپس با درنظرگرفتن میزان تبخیر و تعرق گیاه در مراحل مختلف رشد و راندمان آبیاری (۹۰ درصد در آبیاری قطره‌ای)، نیاز آبیاری سیب‌زمینی با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد (آلن و همکاران[۱]، ۲۰۰۵).

$$ETc=Kc\times ETo \quad (۱)$$

$$Di=\left(\frac{ETc-Pe}{Ei}\right) \quad (۲)$$

در روابط فوق ETc: تبخیر و تعرق گیاه زراعی (میلی‌متر)، Kc: ضریب گیاهی، ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع، Di میزان نیاز ناخالص آبیاری (میلی‌متر)، Ei راندمان آبیاری و Pe: میزان بارندگی مؤثر (میلی‌متر) است. آبیاری به‌صورت قطره‌ای نواری (تیپ) با لوله‌های به قطر ۱۶ میلی‌متر بافاصله قطره‌چکان‌های ۳۳ سانتی‌متر و دبی ۱/۶ لیتر بر ساعت در فشار ۱/۲ بار بر روی پشته‌ها انجام شد. مقدار آب مصرفی توسط کنتورهای کالیبره شده اندازه‌گیری و به‌منظور محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری از رابطه (۳) استفاده شد.

$$WUE=\frac{Yield}{I} \quad (۳)$$

که در آن WUE، شاخص کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی، Yield عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم و I حجم آب آبیاری به مترمکعب است.

با رسیدن فیزیولوژیکی گیاه سیب‌زمینی که به‌صورت زردشدن شاخ‌وبرگ بوته‌های سیب‌زمینی به نسبت بیش از ۵۰ درصد آن‌ها مشخص می‌گردد، سرزنی به‌منظور پوست‌گیری غده انجام شد. به فاصله ۷ تا ۱۰ روز پس از سرزنی برداشت امکان‌پذیر شده و نمونه‌گیری به‌صورت انتخاب واحدهای ۱ متر مربعی و به‌صورت تصادفی در ۲ نقطه از هر تیمار و تکرار مربوطه انجام شد. در محصول برداشتی غده‌ها بر اساس اندازه آن‌ها در گروه‌هایی با اندازه کوچک‌تر از ۳۵ (غده ریز) ۵۵-۳۵ (غده بذری) و بزرگ‌تر از ۵۵ (غده خوراکی و درشت) میلی‌متر تقسیم بندی شده و توزین و شمارش شدند. تعداد غده‌های دفرمه و بد شکل و دارای رشد ثانویه و نیز غده‌های پوسیده شمارش و در

[۱] Allen et al

تیمارهای مختلف توزین و درصد هریک تعیین گردید. اثر تیمارها روی درصد غده‌های آلوده به بیماری اسکب معمولی با استفاده از روش هاوو و همکاران[۱] (۲۰۰۹) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور پس از برداشت همه غده‌های هر پلات آزمایشی مورد بررسی و میزان پوشش سطح غده‌ها با زخم‌های اسکب در پنج سطح مطابق جدول (۱) مورد ارزیابی کیفی قرار گرفتند.

جدول ۱. رتبه بندی بیماری اسکب معمولی بر اساس میزان پوشش سطح غده‌ها با زخم‌های اسکب.

ردیف	کلاس	درصد پوشش زخم اسکب بر سطح غده
۱	۰	۰
۲	۱	۱-۱۰
۳	۲	۱۱-۲۵
۴	۳	۲۶-۵۰
۵	۴	۵۰-۷۵
۶	۵	۷۵ <

جهت تعیین درصد ماده خشک غده، برش‌های نازک از ۴ غده متوسط (۸۰-۴۰ میلی‌متر) از هر تکرار و تیمار مرتبط تهیه و به‌صورت جداگانه در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و از طریق رابطه (۴) محاسبه شد.

$$TDWP=\frac{TDW}{TFW}\times 100 \quad (۴)$$

که در آن TDWP درصد ماده خشک غده، TDW وزن خشک غده و TFW وزن تر غده است.

در نهایت تجزیه مرکب داده‌ها با ادغام داده‌های حاصل از دو سال مختلف پس از انجام آزمون بارتلت و تأیید یکنواختی واریانس سال‌های مختلف، با نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون مقایسه چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت.

یافته‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات سطوح آبیاری، کود زیستی میکوریز و سوپر جاذب و نیز اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر تعداد غده در اندازه‌های مختلف (بذری، خوراکی و ریز)، شاخص آلودگی به بیماری اسکب، درصد ماده خشک غده و بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بوده است که در جدول (۲) ارائه شده است. رشد ثانویه در غده سیب‌زمینی تحت‌تأثیر اثر ساده تیمار آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد ($p\leq 0.05$) قرار گرفت. سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز و همچنین اثرات متقابل تیمار آبیاری × سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز تأثیر معنی‌داری ($p\leq 0.01$) بر میزان رشد ثانویه در غده‌های تولیدی داشتند. تیمار آبیاری تأثیر بسیار زیادی (سطح معنی‌داری ۱ درصد) بر میزان ماده خشک غده و نیز بر عملکرد کل داشت. مطابق جدول (۲) استفاده از سوپر جاذب و میکوریز عملکرد را در سطح یک درصد تحت‌تأثیر قرارداد؛ اما تفاوت معنی‌داری در اثر متقابل تیمار آبیاری و میکوریز و سوپر جاذب بر عملکرد کل، در سطح پنج درصد مشاهده نشد.

[۱] Hao et al

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب اثر میکوریز و سوپر جاذب رطوبتی بر عملکرد، اندازه و کیفیت غده‌های تولیدی، درصد ماده خشک غده و بهره وری آب در سیب‌زمینی

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)							
		تعداد غده بذری	تعداد غده خوراکی	تعداد غده ریز	عملکرد کل (تن در هکتار)	درصد ماده خشک غده	بهره‌وری مصرف آب	درصد رشد ثانویه	شاخص بیماری اسکب
سال	۱	۰/۲۲ ns	۴/۱۲ ns	۰/۳۴ ns	۰/۰۰۹ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۹ *	۰/۱۲۵ ns	۵۸/۶۸ ns
تکرار × سال	۴	۴/۹۵ ns	۳/۳۰ ns	۰/۳۶ ns	۲۸/۱۳ ns	۰/۵۵ ns	۰/۰۵ ns	۲/۲۶	۷/۲۷ ns
تیمار آبیاری	۲	۱۹۵/۷۹ **	۷۴/۱۸ **	۷۰/۲۶ **	۶۴۷/۹۵ **	۲/۲۸ **	۱۶۹/۹۱ **	۲/۱۸ *	۲۳/۱۶ **
سال × تیمار آبیاری	۲	۰/۲۶ ns	۰/۵۱ ns	۶/۳۴ ns	۱۴/۰۱ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۶ ns	۰/۵۴ ns	۴/۳۸ ns
سوپرجاذب و میکوریز	۳	۷۰/۷۵ **	۳۸/۶۱ **	۴۸/۱۶ **	۵۴/۹۱ *	۲/۲۳ **	۸/۷۶ **	۵۳/۱۲ **	۱۵۰/۹۷ **
سال × سوپرجاذب و میکوریز	۳	۱/۵۹ ns	۰/۳۸ ns	۰/۸۶ ns	۹/۳۳ ns	۰/۰۸ ns	۰/۰۴ ns	۱/۱۲ ns	۰/۳۴ *
تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریز	۶	۲۰/۳۲ **	۴/۱۲ *	۲۴/۰۲ **	۱۶/۱۳ ns	۱/۱۶ **	۲/۰۵ **	۷/۶۲ **	۱۴/۵۷ *
سال× تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریز	۶	۱/۲۴ ns	۰/۳۴ ns	۰/۸۱ ns	۱۱/۸۳ ns	۰/۱۱ ns	۰/۰۱ ns	۰/۷۶ ns	۲/۸۳ ns
خطا	۴۲	۲/۰۱	۱/۴۱	۱/۰۴	۱۶/۹۹	۰/۳۳	۰/۰۲۱	۱/۶۰	۳/۲۲
کل	۷۱								
ضریب تغییرات C.V		۴/۳۵	۱۱/۲۸	۱۶/۴۱	۱۰/۶۳	۲/۸۵	۱/۰۸	۱۹/۴۷	۱۱/۱۸

متوسط تعداد غده بذری در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و با کاربرد توأم میکوریز و سوپر جاذب، ۳۷ عدد در مترمربع بود که با دو سطح دیگر از این تیمار آبیاری و نیز سایر سطوح آبیاری و ترکیب میکوریز و سوپر جاذب مربوطه تفاوت معنی‌داری نشان داد. کمترین تعداد غده در اندازه بذری در واحد سطح در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و عدم کاربرد سوپر جاذب و میکوریز تولید شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت. در هر سه تیمار آبیاری استفاده از میکوریز و سوپر جاذب سبب افزایش تعداد غده بذری در واحد سطح شد. این اثرات در کاربرد تلفیقی آن‌ها بیشتر بود. لازم به ذکر است که اثر میکوریز و سوپر جاذب و همچنین تلفیق آن‌ها بر تولید غده در اندازه بذری در تیمار آبیاری ۵۰ در صد نیاز آبی در مقایسه با دو سطح دیگر آبیاری چشمگیرتر بود. نتایج در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

تعداد غده در شت در سطوح مختلف آبیاری و با کاربرد جداگانه و تلفیقی میکوریز و سوپر جاذب نسبت به تیمار عدم کاربرد آن‌ها افزایش یافت. اما این افزایش در تیمار آبیاری با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی بیشتر بود. تعداد غده ریز با استفاده از میکوریز و سوپر جاذب و نیز تلفیق آن‌ها در دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به طور معنی‌داری کاهش یافت. شایان‌ذکر است که این اثر مثبت در استفاده ترکیبی آن‌ها بارزتر بود. اما در تیمار آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی، استفاده از میکوریز و سوپر جاذب اثر معنی‌داری بر کاهش غده ریز نداشت. نتایج در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار آبیاری و استفاده از سوپر جاذب و میکوریز بر عملکرد، اندازه غده، درصد ماده خشک و کارایی مصرف آب

تیمارها	تعداد غده بذری	تعداد غده خوراکی	تعداد غده ریز	عملکرد کل (تن در هکتار)	درصد ماده خشک غده	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
۱۰۰٪ نیاز آبی	۳۵/۳۷ a	۱۲/۳۷ a	٤/٥٨ c	٤٤/٤٠ a	۲۰/٤۹ a	۱۱/۳٦ c
۷۵٪ نیاز آبی	۳۲/۷۰ b	۱۰/۳۳ b	٦/۱۲ b	۳۷/۷۲ b	۲۰/٤۱ a	۱۲/۹۸ b
۵۰٪ نیاز آبی	۲۹/٦٦ c	۸/۸۷ c	۸/۰۰ a	۳٤/۱٦ b	۱۹/۹۲ a	۱٦/٥٦ a
شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریز)	۲۹/۸۸ c	۸/۳۸ b	۸/٦٦ a	۳٦/۷۲ b	۱۹/۸۲ c	۱۲/۸۲ d
استفاده از سوپرجاذب	۳۲/۸۳ b	۱۰/۷۷ a	٥/٦۱	٤۰/۸۷ a	۲۰/٦٤ a	۱۳/۸٥ b
استفاده از میکوریز	۳۲/۹٤ b	۱۱/٥٥ a	٥/٥٥ b	۳۸/۲۱ ab	۲۰/۲۰ bc	۱۳/۳۹ c
استفاده توأم از میکوریز و سوپرجاذب	۳٤/٦٦ a	۱۱/۳۸ a	٥/۱۱	۳۹/۲٤ ab	۲۰/٤۳ ab	۱٤/٤۷ a

*میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از اثرات اصلی مربوطه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار آبیاری و استفاده از سوپر جاذب و میکوریز بر عملکرد، اندازه غده، درصد ماده خشک غده و کارایی مصرف آب

تیمارها	تعداد غده بذری در متر مربع	تعداد غده خوراکی در متر مربع	تعداد غده ریز در متر مربع	عملکرد کل (تن در هکتار)	درصد ماده خشک غده	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
۱۰۰٪ نیاز آبی × شاهد	۳٤/٦٦ bc	۱۱/۱٦ cde	٤/۰۰ d	٤۲/۷۰ b	۲۰/٤٤ a	۱۱/۲۰ j
۱۰۰٪ نیاز آبی × سوپرجاذب	۳٥/۳۳ b	۱۲/٦٦ ab	٤/٥۰ d	٤۳/۹۱ b	۲۰/٦۸ a	۱۱/۳۸ ij
۱۰۰٪ نیاز آبی × میکوریز	۳٤/٥۰ bc	۱۲/٦٦ ab	٤/٤۸ d	٤۳/۱۰ b	۲۰/۲۷ a	۱۱/٤٥ i
۱۰۰٪ نیاز آبی × سوپرجاذب و میکوریز	۳۷/۰۰ a	۱۳/۰۰ a	٥/۳۳ d	٤٦/۸۸ a	۲۰/٥۹ a	۱۱/٤۱ i
۷۵٪ نیاز آبی × شاهد	۳۰/٦٦ d	۷/٥۰ g	۹/۱٦ b	۳٥/۷۰ cd	۲۰/۳۱ a	۱۲/۱۳ h
۷۵٪ نیاز آبی × سوپرجاذب	۳۳/٥۰ c	۱۰/۰۰ def	٥/۰۰ d	۳۸/۷۹ bc	۲۰/۷٤ a	۱۳/۲۱ f
۷۵٪ نیاز آبی × میکوریز	۳۳/۳۳ c	۱۲/٥۰ abc	٥/۱٦ d	۳٤/٥۷ cd	۲۰/۲۷ a	۱۲/٦۱ g
۷۵٪ نیاز آبی × سوپرجاذب و میکوریز	۳۳/٦٦ bc	۱۱/۳۳ bcd	٥/۱۲ d	۳۹/٤٥ bc	۲۰/۳۳ a	۱۳/۹۸ e
۵۰٪ نیاز آبی × شاهد	۲٤/۳۳ e	٦/٥۰ g	۱۲/۸۳ a	۳۱/۷۷ d	۱۸/۷۲ b	۱٥/۱٤ d
۵۰٪ نیاز آبی × سوپرجاذب	۲۹/٦٦ d	۹/٦٦ f	۷/۳۳ c	۳٤/۹٥ cd	۲۰/٥۲ a	۱٦/۹۷ b
۵۰٪ نیاز آبی × میکوریز	۳۱/۰۰ d	۹/٥۰ f	۷/۰۰ c	۳٤/٥۷ cd	۲۰/۰۷ a	۱٦/۱۲ c
۵۰٪ نیاز آبی × سوپرجاذب و میکوریز	۳۳/٦٦ bc	۹/۸۳ f	٤/۸۳ d	۳٦/۱۲ c	۲۰/۳۹ a	۱۸/۰۱ a

*میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن نداشته‌اند

جدول ۵. مقایسه میزان درآمد و سود اقتصادی کشاورز در نتیجه بکارگیری سوپر جاذب و میکوریز با اضافه‌شدن قیمت واقعی آب آبیاری و کسر هزینه‌های سوپر جاذب و میکوریز مصرفی

تیمارها	عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار)	درآمد حاصل از فروش غده سیب زمینی (هزار ریال)	مقدار مصرف آب در هکتار (مترمکعب)	هزینه آب مصرفی در هکتار (هزار ریال)	هزینه سوپرجاذب و میکوریز مصرفی در هکتار (هزارریال)	درآمد خالص کشاورز در هر هکتار با کسر هزینه‌های مصرف آب، مواد سوپرجاذب و میکوریز (هزار ریال)	*میزان افزایش/کاهش درآمد کشاورز در هکتار در مقایسه با شاهد (هزار ریال)	درصد افزایش/کاهش درآمد کشاورز در هکتار در مقایسه با شاهد
٪۱۰۰ نیاز آبی × شاهد	٤٢٧٠٠	٦٤٠٥٠٠٠	٤١٠٨	-٣٦٩٧٢٠٠	۰	٢٧٠٧٨٠٠	۰	۰
٪۱۰۰ نیاز آبی × سوپرجاذب	٤٣٩١٠	٦٥٨٦٥٠٠	٤١٠٨	-٣٦٩٧٢٠٠	-١٦٠٠٠٠	٢٧٢٩٣٠٠	+٢١٥٠٠	۰/۷۹
٪۱۰۰ نیاز آبی × میکوریز	٤٣١٠٠	٦٤٦٥٠٠٠	٤١٠٨	-٣٦٩٧٢٠٠	-١٠٠٠٠	٢٧٥٧٨٠٠	+٥٠٠٠٠	١/٨٤
٪۱۰۰ نیاز آبی × سوپرجاذب و میکوریز	٤٦٨٠٠	٧٠٢٠٠٠٠	٤١٠٨	-٣٦٩٧٢٠٠	-١٧٠٠٠٠	٣١٥٢٨٠٠	+٤٤٥٠٠٠	١٦/٤٣
٪۷۵ نیاز آبی × شاهد	٣٥٧٠٠	٥٣٥٥٠٠٠	٢٩٣٦	-٢٦٤٢٤٠٠	۰	٢٧١٢٦٠٠	+٤٨٠٠	۰/۱۷
٪۷۵ نیاز آبی × سوپرجاذب	٣٨٧٩٠	٥٨١٨٥٠٠	٢٩٣٦	-٢٦٤٢٤٠٠	-١٦٠٠٠٠	٣٠١٦١٠٠	+٣٠٨٣٠٠	١١/٣٨
٪۷۵ نیاز آبی × میکوریز	٣٤٥٧٠	٥١٨٥٥٠٠	٢٩٣٦	-٢٦٤٢٤٠٠	-١٠٠٠٠	٢٥٣٣١٠٠	-١٧٤٧٠٠	-٦/٤٥
٪۷۵ نیاز آبی × سوپرجاذب و میکوریز	٣٩٤٥٠	٥٩١٧٥٠٠	٢٩٣٦	-٢٦٤٢٤٠٠	-١٧٠٠٠٠	٣١٠٥١٠٠	+٣٩٧٣٠٠	١٤/٦٧
٪۵۰ نیاز آبی × شاهد	٣١٧٠٠	٤٧٥٥٠٠٠	٢٠٩٨	-١٨٨٨٢٠٠	۰	٢٨٦٦٨٠٠	+١٥٩٠٠٠	۵/۸۷
٪۵۰ نیاز آبی × سوپرجاذب	٣٤٩٥٠	٥٢٤٢٥٠٠	٢٠٩٨	-١٨٨٨٢٠٠	-١٦٠٠٠٠	٣١٩٤٣٠٠	+٤٨٦٥٠٠	۱۷/۹۶
٪۵۰ نیاز آبی × میکوریز	٣٤٥٧٠	٥١٨٥٥٠٠	٢٠٩٨	-١٨٨٨٢٠٠	-١٠٠٠٠	٣٢٨٧٣٠٠	+٥٧٩٥٠٠	۲۱/٤۰
٪۵۰ نیاز آبی × سوپرجاذب و میکوریز	٣٦١٢٠	٥٤١٨٠٠٠	٢٠٩٨	-١٨٨٨٢٠٠	-١٧٠٠٠٠	٣٣٥٩٨٠٠	+٦٥٢٠٠٠	۲۴/۰۷

* برآورد سود و زیان کلیه تیمارها در مقایسه با شاهد آزمایش با احتساب قیمت واقعی آب مصرفی (۹۰۰،۰۰۰ ریال به ازاء هر مترمکعب) و همچنین قیمت فروش سیب‌زمینی از قرار کیلویی ۱۵۰ هزار ریال صورت پذیرفته است.

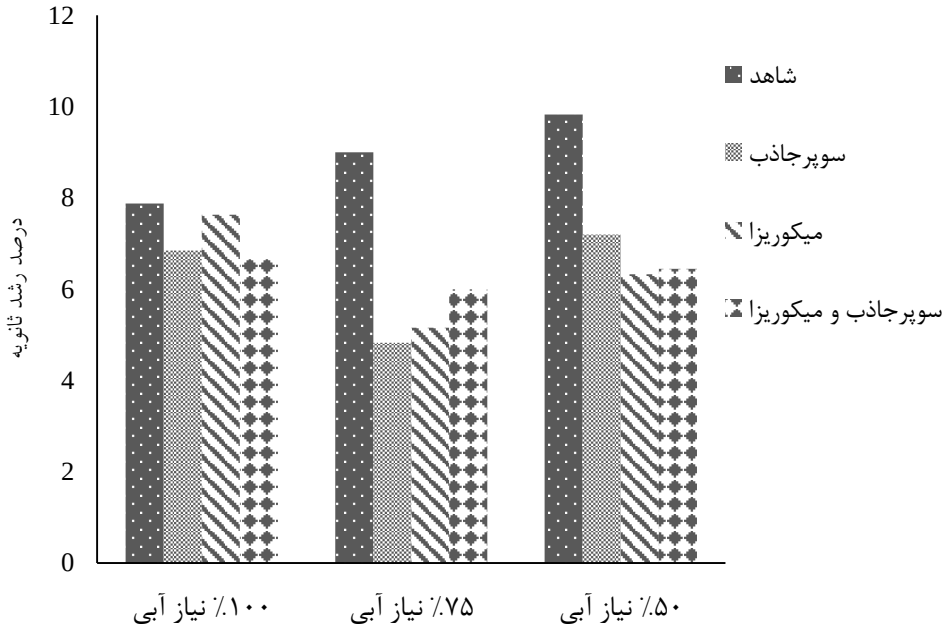
با تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی (برآورده کردن نیاز آبی کامل گیاه) سیب‌زمینی و ا ستفاده تلفیقی از سوپر جاذب و میکوریز بی شترین عملکرد کل غده حا صل گردید که با متو سط ۴۴/۴۰ تن در هکتار تفاوت معنی‌دار با سه تیمار دیگر از این سطح آبیاری و نیز سایر تیمارها دا شت. در مجموع ا ستفاده از میکوریز و سوپر جاذب و همچنین کاربرد توأم آن‌ها سبب افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد در هر سه سطح آبیاری شد. اما صرفاً در تیمار ترکیبی میکوریز و سوپر جاذب در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار ایجاد شد. استفاده از میکوریز و سوپر جاذب در دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ در صد نیاز آبی اثر معنی‌داری بر میزان ماده خ شک غده ایجاد نکرد و در هر دو سطح آبیاری تیمارهای شاهد و میکوریز و سوپر جاذب و نیز تلفیق آن‌ها، درصد ماده خشک غده بسیار به هم نزدیک بود. اما در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی (اعمال کم آبیاری شدید) افزایش قابل‌توجه و معنی‌داری در در صد ماده خ شک غده بین تیمار شاهد و تیمارهای میکوریزی و نیز سوپر جاذب ایجاد شد. باتوجه‌به جداول (۳) و (۴)، در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و در تیمارهای میکوریز، سوپر جاذب و نیز تلفیق آن‌ها ماده خشک غده به ترتیب ۲۰/۰۷، ۲۰/۵۲ و ۲۰/۳۹ در صد بود که در مقایسه با تیمار شاهد در همین سطح آبی (با متو سط ۱۸/۷۲ در صد ماده خشک غده) تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان داد.

باتوجه‌به جداول (۳) و (۴)، ا ستفاده از میکوریز و سوپر جاذب و به ویژه تلفیق آن‌ها موجب شد که بهره‌وری مصرف آب نسبت به تیمار شاهد به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد (متو سط ۲۴/۸ در صد). این افزایش در کاربرد توام میکوریز و سوپر جاذب با سطح آبیاری ۵۰ در صد نیاز آبی در مقای سه با تأمین ۱۰۰ در صد نیاز آبی و عدم کاربرد میکوریز و سوپر جاذب ب سیار چ شمگیرتر بود (متو سط ۴۴/۹۸ درصد). در مجموع بیشترین بهره‌وری مصرف آب به میزان ۱۸/۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب و در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و در استفاده توأم از میکوریز و سوپر جاذب ایجاد شد که نسبت به ۳ تیمار دیگر در این سطح آبیاری و سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ در صد نشان داد. کمترین بهره‌وری مصرف آب (با متوسط ۱۱/۰۲ کیلوگرم بر متر مکعب آب) با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بدون استفاده از میکوریز و سوپر جاذب حاصل شد که صرفاً باکاربرد سوپر جاذب در این سطح آبیاری تفاوت معنی‌دار نشان نداد؛ اما با سایر تیمارها تفاوت‌ها معنی‌دار شد.

میزان رشد ثانویه در غده‌ها با کاهش آبیاری وابستگی مستقیم داشت. به‌طوری‌که تیمارهای شاهد در دو سطح آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی بیشترین میزان رشد ثانویه در غده را داشتند که به ترتیب با متوسط ۹/۸۳ و ۹/۰۰ درصد رشد ثانویه، اختلاف معنی‌دار با شاهد آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و سایر تیمارهای میکوریز و سوپر جاذب از سه سطح آبیاری نشان دادند. استفاده از سوپر جاذب و میکوریز و همچنین تلفیق آن‌ها در کاهش رشد ثانویه در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی تأثیر معنی‌دار نداشتند. اما در دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، استفاده از کود زیستی و سوپر جاذب و نیز تلفیق آن‌ها به‌صورت قابل‌توجهی کاهش در رشد ثانویه در غده‌ها ایجاد کردند که در شکل (۱) قابل مشاهده است.

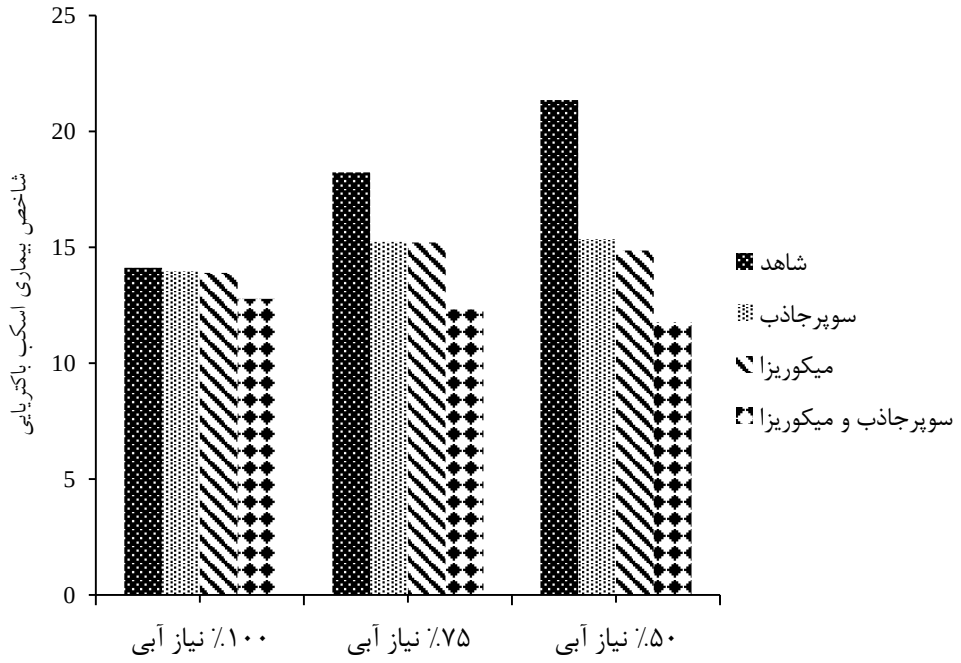
در این آزمایش هزینه‌های تمام شده تهیه زمین، آزمایش خاک، عملیات زراعی، سم، کود و سایر نهاده‌ها برای کلیه تیمارها یکسان بود، لذا سود حاصل از افزایش عملکرد صرفاً ناشی از استفاده از ماده سوپر جاذب و میکوریز و نیز صرفه‌جویی در مصرف آب و اضافه‌شدن قیمت واقعی و تمام شده آب به درآمدهای حاصل است. معمولاً قیمت واقعی آب در کشاورزی در هر منطقه تابعی از میزان نزولات جوی و توزیع زمانی آن‌ها، حجم ذخایر آب زیرزمینی، و میزان تنوع و نیاز جانداران موجود در زیست‌بوم منطقه بوده و مقدار آن بسته به وضعیت بحرانی و یا سطح هشدار کمبود آب در منطقه می‌تواند از ضریب ۳ تا ۵ برابر قیمت متعارف آب در منطقه افزایش یابد. باتوجه‌به وضعیت بحرانی آب در استان همدان و توزیع نامناسب بارش در طول فصل رشد، به نظر می‌رسد که تخصیص ضریب ۳ به قیمت متعارف آب در منطقه (هر مترمکعب ۳۰۰,۰۰۰ ریال) و تعیین قیمت واقعی آب در همدان در حد ۹۰۰ هزار ریال به ازاء هر مترمکعب عادلانه و منطقی باشد؛ بنابراین در محاسبه سود و زیان حاصله هزینه خرید سوپر جاذب و میکوریز از درآمد ایجاد شده از فروش غده سیب‌زمینی (هر کیلوگرم معادل ۱۵۰,۰۰۰ ریال) کسر گردیده و در مقابل سود حاصل از قیمت واقعی تمام شده صرفه جویی در مصرف آب (هر مترمکعب ۹۰۰,۰۰۰ ریال) به درآمد حاصله اضافه شد. باتوجه‌به اینکه مقدار مصرف سوپر جاذب ۸۰ کیلوگرم در هکتار و کود زیستی میکوریز ۳ کیلوگرم (جهت بذر مال کردن ۴ تن غده بذری) در این آزمایش توصیه گردید و در زمان اجرای پروژه قیمت تمام شده ماده سوپر جاذب به ازاء هر کیلوگرم ۲۰۰ هزار تومان و هر کیلوگرم کود زیستی میکوریز ۳۲۰ هزار تومان بوده است. بنابراین زارع سیب‌زمینی‌کار حدود ۱۷ میلیون تومان با مصرف این دو ماده در هکتار هزینه متقبل می‌گردد. با درنظرگرفتن محاسبات اقتصادی فوق مشخص شد که زارع سیب‌زمینی‌کار با کاهش میزان آب آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی در صورت عدم مصرف سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز، حداکثر به میزان ۴۸۰ هزار تومان در هکتار سود عاید خواهد نمود و آن هم ناشی از کسر هزینه قیمت واقعی آب مصرفی است. اما با مصرف توأم سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز و در همین میزان آب آبیاری (۷۵ در صد نیاز آبی سیب‌زمینی) حدود ۳۹ میلیون تومان در هکتار درآمد در مقایسه با شاهد نصیب زارع سیب‌زمینی‌کار می شود (افزایش ۱۴/۶۷ درصد درآمد در مقایسه با شاهد). با کاهش بیشتر میزان آب آبیاری و در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی نیز افزایش قابل‌توجهی در درآمد نسبت به شاهد (حدود ۱۶ میلیون تومان) به دلیل صرفه‌جویی بیشتر در مصرف آب و قیمت واقعی تمام شده آن نصیب زارع شده است. این مقدار افزایش درآمد کشاورز نسبت به شاهد حدود ۶ درصد در هکتار است. اما استفاده تلفیقی از کود زیستی میکوریز و سوپر جاذب در همین شرایط کم آبیاری شدید (با ۵۰ درصد نیاز آبی) منجر به افزایش قابل‌توجه بازدهی و سوددهی اقتصادی زارع سیب‌زمینی‌کار گردید (افزایش ۶۵ میلیون‌تومانی و ۲۴ درصدی درآمد در مقایسه با شاهد). استفاده از میکوریز به‌تنهایی و در تیمار کم آبیاری خفیف (آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی) کشاورز را با کاهش درآمد ۱۷ میلیون‌تومانی (کاهش درآمد ۶/۴ درصدی) در هکتار نسبت به شاهد مواجه خواهد کرد، اما با کاهش شدید آب آبیاری در سیب‌زمینی (۵۰ درصد نیاز آبی)، میکوریز اثر مثبت خود را نشان داده و درآمد کشاورز نسبت به شاهد به بیش از ۵۷ میلیون تومان در هکتار (افزایش ۲۱/۴۰ درصدی) رسید. در مقابل استفاده جداگانه از سوپر جاذب در هر دو شرایط کم آبیاری، به میزان قابل‌توجهی به نفع کشاورز خواهد بود، به‌طوری‌که در هر دو شرایط کم آبیاری به طور متوسط منجر به افزایش درآمد ۳۹ میلیون تومان (افزایش ۱۴ درصدی) در هکتار در مقایسه با شاهد خواهد رسید که نتایج در جدول (۵) ارائه شده است.

چنانچه افزایش ارزش کیفی و بازارپسندی غده‌های تولیدی (کاهش بیماری اسکب و نیز غده‌های بدشکل به دلیل استفاده از میکوریز و سوپر جاذب) را به نتایج مثبت افزایش عملکرد و بالارفتن بهره‌وری مصرف آب اضافه نماییم، سود اقتصادی حاصل از کاربرد سوپر جاذب و میکوریز دوچندان خواهد بود.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آبیاری و استفاده از کود زیستی میکوریز و سوپر جاذب در میزان رشد ثانویه و بدشکلی غده در سیب‌زمینی

در شدت بیماری اسکب در دو سطح آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی و با عدم کاربرد سوپر جاذب و میکوریز بیشترین میزان آلودگی ایجاد شد که به ترتیب با متوسط ۲۱/۳۵ و ۱۸/۲۳ درصد آلودگی صرفاً با تیمار شاهد ۱۰۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌دار نداشت. استفاده از سوپر جاذب در مقایسه با کود زیستی میکوریز اثر قابل‌توجه بیشتری بر کاهش شدت شاخص آلودگی اسکب داشت. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی استفاده جداگانه و توام از سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز تأثیر معنی‌داری بر کاهش بیماری اسکب نداشت. اما در دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ در صد نیاز آبی کاربرد جداگانه سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز و در ترکیب با همدیگر قادر به کاهش معنی‌دار در شدت شاخص آلودگی به اسکب شدند. البته این اثرات کاهشی در کابرد توأم آن‌ها چشمگیرتر بود. در مجموع و در هر سه تیمار آبیاری اثرات تلفیق سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز در کاهش اسکب موثرتر از کاربرد جداگانه آن‌ها بود که در شکل (۲) قابل مشاهده است.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آبیاری و استفاده از کود زیستی میکوریز و سوپر جاذب در میزان شاخص بیماری اسکب باکتریایی در سیب‌زمینی

بحث

ثابت شده است که مقدار ماده خشک غده در سیب‌زمینی با فسفر برگ و میزان فسفر خاک همبستگی مثبت دارد (آندریا و همکاران[۱]، ۲۰۲۰.، سوبرامانیان و همکاران[۲]، ۲۰۰۸). باتوجه‌به اینکه فسفر عنصری ضروری برای متابولیسم‌های گیاهی به‌خصوص در متابولیسم کربوهیدرات است و از طرفی قارچ‌های میکوریز نقش بسیار مؤثری در جذب فسفر و به‌ویژه در شرایط کم‌آبی دارند (دیویس و همکاران[۳]، ۲۰۰۵)، به نظر می‌رسد که تأمین فسفر موردنیاز گیاه در شرایط هم‌زیستی سیب‌زمینی با قارچ میکوریزا موجب تقویت انجام متابولیسم‌های لازم در جهت افزایش ذخیره کربوهیدرات غده و نشاسته می‌شود. بر اساس دیگر داده‌های منتشر شده از این تحقیق (پرویزی و همکاران، ۱۴۰۲) مشخص شد که کاربرد جداگانه میکوریز و ترکیب میکوریز و سوپر جاذب در جذب فسفر در سیب‌زمینی در مقایسه با تیمارهای سوپر جاذب و شاهد در هر سه سطح آبیاری اثر قابل‌توجهی داشته است. این اثرات مثبت میکوریز در جذب فسفر و افزایش میزان آن در شاخ‌وبرگ و در نهایت غده سیب‌زمینی با شدت کم آبیاری رابطه مستقیم داشت و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در بالاترین سطح قرار گرفت؛ بنابراین این امر می‌تواند دلیل قانع‌کننده در افزایش ماده خشک گیاه و در نتیجه مادهٔ خشک غده‌ها در شرایط استفاده از کود زیستی میکوریز باشد.

با نتایج این پژوهش مشخص شد که به‌موازات کاهش میزان آبیاری استفاده توأم از کود زیستی میکوریز و سوپر جاذب سبب افزایش تعداد غده و همچنین عملکرد کل نسبت به کاربرد جداگانه سوپر جاذب و میکوریز و نیز تیمار شاهد می‌شود. به نظر می‌رسد که استفاده از سوپر جاذب در شرایط کم‌آبی به استقرار میکوریز کمک کرده و بهره‌وری آن را به‌ویژه در شرایط تنش آبی افزایش داده است. یا ممکن است در شرایط تنش سوپر جاذب با جذب و تثبیت مواد غذایی بیشتر به اندوخته مواد غذایی در فضای اطراف ریشه کمک کرده و با فراهم نمودن مواد غذایی بیشتر سبب افزایش ظرفیت جذب در ریسه‌های قارچ میکوریز بشود. در همین زمینه گزارش شده است که استفاده از سوپر جاذب سبب تشدید فعالیت قارچ‌های میکوریز می‌گردد (هادی و کلانتر، ۱۳۹۴).

---

۱ Andrea et al

۲ Subramanian et al

۳ Davies et al

نقش مثبت استفاده از کود زیستی میکوریز در کاهش شاخص آلودگی به بیماری اسکب باکتریایی با اثرات مستقیم میکوریز در تولید مواد فیتوتوکسینی و یا اثرات غیرمستقیم آن در تسخیر جایگاه‌های فعال ریشه و افزایش جذب و انتقال مواد غذایی و تعدیل اثرات تنش مرتبط است (پوزو و همکاران[۱]، ۲۰۰۲، زوو و یائو[۲]، ۲۰۰۴). همچنین در این پژوهش نتایج مشابهی در استفاده از سوپر جاذب در کاهش شاخص آلودگی به بیماری اسکب به‌ویژه در تیمارهای تنش رطوبتی ایجاد شد. این موضوع می‌تواند به توانایی سوپر جاذب در فراهم‌کردن رطوبت در محلول خاک و محیط ریشه و افزایش قدرت جذب مواد غذایی و در نتیجه بالابردن قدرت رشد و نهایتاً افزایش توان مقابله گیاه با عامل بیماری اسکب در شرایط تنش مرتبط باشد. چرا که اساساً بیماری اسکب در سیب‌زمینی اگرچه تحت شرایط pH خاک و پتانسیل آلودگی آن قرار می‌گیرد، اما یک بیماری مدیریتی محسوب شده و تنظیم بهینه رطوبت خاک با پرهیز از تنش، نقش بسیار مهمی در کاهش آلودگی به بیماری اسکب در سیب‌زمینی دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثرات مثبت میکوریز و سوپر جاذب در افزایش ماده خشک غده، کاهش رشد ثانویه و بدشکلی غده و همچنین کاهش میزان آلودگی به بیماری اسکب در شرایط کم آبیاری شدید، بیشتر مشهود بود. در مجموع بهره‌وری مصرف آب با مصرف میکوریز و سوپر جاذب در هر دو شرایط کم آبیاری (تیمارهای آبی ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی) در مقایسه با تیمار شاهد به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافت. با محاسبه سود و زیان اقتصادی ناشی از مصرف سوپر جاذب و میکوریز و قیمت تمام شده آب مصرفی، مشخص شد که زارعین سیب‌زمینی‌کار با مصرف توأم سوپر جاذب و کود زیستی میکوریز در شرایط کم آبیاری می‌توانند ضمن صرفه‌جویی ۲۵ تا ۵۰ درصدی در مصرف آب استان همدان، به طور متوسط به افزایش درآمد ۵۲ میلیون تومان در هکتار نسبت به شاهد نیز رسیده و به پایداری تولید سیب‌زمینی در استان همدان کمک نمایند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از جناب آقای دکتر محمدرضا بختیاری معاون پژوهشی مرکز که تلاش لازم را برای تهیه مواد آزمایشی، تأمین تجهیزات و سیستم آبیاری و همچنین هماهنگی لازم در اجرای آزمایش در مزرعه را فراهم نمودند، سپاسگزاری می‌نمایند. همچنین مجریان پروژه از همکاری جناب آقای مهندس عبدالرضا مرادی، مسئول ایستگاه تحقیقات اکباتان جهت اجرای پروژه در مزرعه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

رشیدی، نریمان.، ارجی، عیسی.، گردکانه، محمد.، و کاشی، عبدالکریم. (۱۳۹۲). اثر مواد آلی و سوپر جاذب آب بر عملکرد و اجزا آن در سیب‌زمینی رقم مارفونا. *مجله فناوری تولیدات گیاهی*، ۱۳(۲)، ۲۲-۱۱. https://doi. 10.22084/ppt.2019.14734.177

بانج شفیعی، شهرام.، و رهبر، اسماعیل. (۱۳۸۲). بررسی کارایی نوعی پلیمر آب‌دوست در کشاورزی و منابع طبیعی الف-تأثیر پلیمر بر پدیده رویشی و موفقیت پانیکوم. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۰(۱)، ۱۲۹-۱۱۱. https://doi. rg/10.22092/ijrdr.2019.119699

پرویزی، خسرو.، یزدانپناه، علیرضا.، و مرادی عاشور، بهروز. (۱۴۰۲). بررسی اثر کاربرد سوپر جاذب رطوبتی و تلقیح با قارچ میکوریزا بر جذب عناصر غذایی، کارایی مصرف آب و عملکرد گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) در شرایط کم آبیاری. *بوم شناسی کشاورزی*، ۱۵(۲)، ۳۸۰-۳۵۹. https://doi.org 10.22067/agry.2021.71426.1057

جهان، محسن.، کمایستانی، نفیسه.، و رنجبر، فاطمه. (۱۳۹۲). امکان سنجی استفاده از سوپر جاذب رطوبت به‌منظور کاهش تنش خشکی وارده به ذرت در یک نظام زراعی کم نهاده در شرایط مشهد. *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، ۵(۳)، ۲۸۱-۲۷۲. https://doi.10.22067/jag.v5i3.28999

[۱] Pozo et al
[۲] Zhu & Yao

هادی، هاشم.، و کلانتر، عبدالقادر. (۱۳۹۴). اثر هم‌زیستی میکوریز، مصرف ژل سوپر جاذب و گلایسین بتائین و عصاره چغندرقند بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه کرچک (Ricinus. communis L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه علوم زراعی ایران، ۱۷(۳)،۲۵۰-۲۳۶. https://doi20. 001.1.15۶۲۵۵۴۰,۱۳۹۴,۱۷,۳,۵,۱

References

Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., & Wright, J.L. (2005). FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131, 2–13. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437

Andrea, A.V., Muriel, Q., Stanley, L., Juanpablo, M., & Carolina Lizana, X. (2020). Tuber yield and quality responses of potato to moderate temperature increase during Tuber bulking under two water availability scenarios. *Field Crops Research*, 251, 1071- 1086. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107786

Banedjschafiee, S., & Rahbar, E. (2003). Efficiency of a hydrophilic polymer in agriculture and natural resources. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 10(1), 111-129. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119699 [In Persian]

Boomsma, C.R., & Vyn, T.J. (2008). Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, 108, 14–31. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.002

Davies, J., Calderón, F.T., & Huainan, Z. (2005). Influence of arhuscular on growth, Yield, and leaf elemental concentration of 'Yungay' potatoes. *Hort Science*, 40, 381-385. https://doi.org/10.1080/01448765.2007.10823209

Feng, G., Zhang, F.S., Tian, C.Y., & Tang, C. (2002). Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sug-ars in roots. *Mycorrhiza*, 12,185–190. https://doi.10.1007/s00572-002-0170-0

Gaurav, S.S., Sirohi, S.P.S., Singh, B., & Sirohi, P. (2010). Effect of mycorrhiza on growth, yield and tuber deformity in Potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under water stress conditions. *Progress Agriculture*. 10, 31-40. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20113004997

Hadi, H., & Kalantar, A. (2017). Effects of mycorhizal symbiosis, application of super absorbent gel, glycine- betain and sugar beet extract on physiological traits and seed yield of castor bean (Ricinus communis L.) in drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science (IJFCS)*, 17(3), 236-250. https://doi20.1001.1.15625540.1394.17.3.5.1 [In Persian]

Hao, J.J., Meng, Q.X., Yin, J.F., & Kirk, W.W. (2009). Characterization of a new Streptomyces strain, DS3024 that causes potato common scab. *Plant Diseases Journal*, 93, 1329–1334. https://doi.org/10.1094/PDIS-93-12-1329

Jahan, M., Kamayestani, N., & Ranjbar, F. (2013). The feasibility of using superabsorbent moisture to reduce drought stress in corn in a low input system. *Journal of Agroecology*, 5(3), pp.272-281. https://doi.org/10.22067/jag.v5i3.28999 [In Persian]

Johansen, T., Dees, M., & Hermansen, A. (2015). High soil moisture reduces common scab caused by Streptomyces turgidiscabies and Streptomyces europaeiscabiei in potato. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 65(3), 37-41. https://doi.org/10.1080/09064710.2014.988641

Mao, R., Islam, S., Xue, X., Yang, X., Zhao, X., & Hu, Y. (2011). Evaluation of a water-saving superabsorbent polymer for corn (*Zea maize* L.) production in arid regions of Northern China. *African Journal of Agricultural Research*, 6 (17), 4108-4115. https://www.researchgate.net/publication/260480842

Parvizi, K., Yazdanpanah, A., & Moradi-Ashour, B. (2023). Evaluation the of the effect of application of superabsorbent and mycorrhiza inoculation on nutrient uptake, water use efficiency and yield of potato (*Solanum tuberosum*) plant in deficit irrigation conditions. *Journal of Agroecology*, 15(2), 359-380. https://doi.org/10.22067/agry.2021.71426.1057

Pozo, M.J., Cordier, C., Dumas-Gaudot, E., Gianinazzi, S., Barea, J.M., & Azcon-Aguilar, C. (2002). Localized versus systemic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on defence responses to Phytophthora infection in tomato plants. *Journal of Experimental Botany*, 53, 525-534. https://doi.org/10.1093/jexbot/53.368.525

Rashidi, N., Arji, I., Gerdekaneh, M., & Kashi, A. (2014). The Effect of Organic Manure and Water Super Absorbent on Tuber Yield and Yield Components of Potato (*Solanum tubersum*, cv. Marfona). *Plant production Technology*, 5(2), 11-22. https://doi.org/10.22084/ppt.2019.14734.177 [In Persian]

Ryan, J.R., Stefan, G., & Rashid, A. (2001). Soil and Plant Analysis Laboratory Manual (2nd edition). *ICARDA*, Aleppo, Syria. https://www.researchgate.net/publication/236984396

Subramanian, K. S., Bharathi, C.A., & Jegan, O. (2008). Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. *Biology Fertile Soil*, 45,133–144. https://doi.org/10.1038/s41598-021-97742-1

Wilson, C.R., Pemberton, B.M., & Ransom, L.M. (2001). The effect of irrigation strategies during tuber initiation on marketable yield and development of common scab disease of potato in Russet Burbank in Tasmania. *Potato Research*, 44, 243–251. https://doi.org/10.1007/BF02357902

Zhu, H.H., & Yao, Q. (2004). Localized and systemic increase of phenols in tomato roots induced by Glomus versiforme inhibits Ralstonia solanacearum. *Journal of Phytopathology*, 152, 537-542. https://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0434.2004.00892.x