



The Effect of Foliar Spraying of Selenium on Water Use Efficiency and Some Morphological and Physiological Characteristics of Savory (*Satureja hortensis* L.) Under Drought Stress and Partial Root Irrigation

Vahid Shamsabadi^{1*}  and Mohammad Naser Modoodi² 

1- Department of Water Sciences and Engineering, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran

2- Department of Horticulture Sciences and Engineering, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran

* Corresponding author, Email: v_shamsabadi@tjamcaas.ac.ir

(Received: 15 June 2025; Revised: 2 August 2025; Accepted: 25 August 2025)

Abstract

Background and Objective: In order to investigate the effect of foliar spraying of selenium on water use efficiency and some characteristics of savory (*Satureja hortensis* L.) under drought stress and partial root drying conditions, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with three replications and based on pot culture in 2024 in the research greenhouse at University of Torbat-e Jam.

Methods: In this experiment, the treatments consisted of three levels of irrigation (full irrigation of 100% water requirement, deficit irrigation of 50% water requirement, and 50% partial root drying of water requirement) and foliar spraying of selenium factor in three levels (0, 5 and 15 mg/lit Na_2SeO_4). In this study, plant height, shoot and root dry weights, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, essential oil percentage, water use efficiency, relative water content and proline were measured.

Results: The results showed that the deficit irrigation (DI) led to a significant reduction in the measured traits of savory, except for water use efficiency. This reduction was greater at 50% DI than at 50% partial root drying (PRD). Therefore, applying the PRD method was found to be more appropriate than the DI method in this study. The results also showed that the application of DI and PRD increased water use efficiency by 54 and 73%, respectively. The results also indicated that foliar application of selenium increased the measured traits compared to the treatment without foliar application.

Conclusion: Considering the issues related to water scarcity, applying 50% partial root drying in savory can be recommended as a superior treatment and suitable approach to cope with the water crisis, moving towards a more sustainable agricultural system.

Keywords: Deficit irrigation, Medicinal plants, Proline, Sodium selenate.

How to Cite: Shamsabadi, V., Modoodi, M.N., 2025. The effect of foliar spraying of selenium on water use efficiency and some morphological and physiological characteristics of savory (*Satureja hortensis* L.) under drought stress and partial root irrigation. J. Soil Plant Interact. 16(2), 93–104 (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jspi.16.2.21671>





تاثیر محلول پاشی سلنیوم بر کارایی مصرف آب و برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش خشکی و آبیاری بخشی ریشه

وحید شمس آبادی^{۱*} و محمد ناصر مودودی^۲

۱- گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران
۲- گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران
مستول مکاتبات، پست الکترونیکی: v_shamsabadi@tjamcaas.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۲۵؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۵/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۳)

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: به منظور بررسی تاثیر محلول پاشی سلنیوم بر کارایی مصرف آب و برخی صفات گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط تنش خشکی و آبیاری جزئی ریشه، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و بر پایه کشت گلدانی در سال ۱۴۰۳ در گلخانه پژوهشی مجتمع آموزش عالی تربت جام اجرا شد.

روش ها: در این آزمایش، تیمارها شامل سه سطح آبیاری (آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، کم آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و کم آبیاری بخشی ریشه ۵۰ درصد نیاز آبی) و سه سطح سلنیوم (۰، ۵ و ۱۵ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم) به صورت محلول پاشی بود. در این پژوهش صفات ارتفاع بوته، وزن خشک شاخساره و ریشه، کلروفیل آ، کلروفیل ب، کلروفیل کل، درصد اسانس، کارایی مصرف آب، محتوای نسبی آب برگ و پرولین اندازه گیری شد.

نتایج: نتایج نشان داد که اعمال کم آبیاری (DI) منجر به کاهش معنی دار صفات اندازه گیری شده گیاه دارویی مرزه، به جز کارایی مصرف آب، گردید. این کاهش در تیمار ۵۰ درصد DI بیشتر از ۵۰ درصد کم آبیاری بخشی ریشه (PRD) بود. بنابراین اعمال روش PRD نسبت به روش DI در این پژوهش مناسب تر تشخیص داده شد. همچنین نتایج نشان داد که با اعمال DI و PRD، کارایی مصرف آب به ترتیب ۵۴ و ۷۳ درصد افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که محلول پاشی سلنیوم موجب افزایش صفات مورد اندازه گیری نسبت به تیمار بدون محلول پاشی شد.

نتیجه گیری کلی: با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کمبود آب، می توان ۵۰ درصد کم آبیاری بخشی ریشه را در گیاه دارویی مرزه، به عنوان تیمار برتر و راهکار مناسب برای مقابله با بحران آب، برای نیل به سوی یک سامانه کشاورزی پایدار پیشنهاد نمود.

واژه های کلیدی: پرولین، سلنات سدیم، کم آبیاری، گیاهان دارویی.



مقدمه

با توجه به ارزش آب در کشاورزی و محدودیت این منبع مهم و حیاتی و وجود خشکسالی‌های متناوب در کشور، صرفه‌جویی در مصرف آب و استفاده بهینه از آب موجود امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد (Karimi et al., 2010). کم‌آبیاری، تکنیکی است که از آن برای استفاده بهینه از منابع آب و کاهش هدررفت آن در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. این تکنیک به‌ویژه در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Shamsabadi et al., 2023). آبیاری بخشی ریشه (PRD) نیز به عنوان یک روش مدیریت آبیاری، طی دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این روش منطقه ریشه به نواحی مختلف تقسیم شده و در هر بار آبیاری، یک و یا چند ناحیه آبیاری شده و نواحی دیگر آبیاری نمی‌شود. این عمل به صورت تناوبی تکرار می‌شود. به این ترتیب با وجود آبیاری کمتر و صرفه‌جویی در مصرف آب، گیاه در تمام فصل رشد خود قادر به جذب آب از ناحیه ریشه خواهد بود (Miri et al., 2014).

سلنیوم عنصر غذایی ضروری برای گیاهان نیست، ولی می‌تواند نقش یک عنصر مفید را برای گیاهان ایفا نماید (Pilon and Quinn, 2010). در اکثر نقاط دنیا غلظت سلنیوم در خاک نسبتاً کم بوده و در بیشتر گیاهان غلظت سلنیوم کمتر از ۱/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه است (Baker and Pibeam, 2007). سلنیوم عمدتاً به صورت سلنات سدیم توسط گیاهان جذب می‌شود. نمک‌های سلنات بسیار محلول بوده و به آسانی جذب گیاه می‌شوند. اگرچه سمیت سلنیوم در غلظت‌های زیاد بر گیاهان شناخته شده است و نوعی تنش محسوب می‌شود، با این وجود آثار سودمند غلظت‌های کم آن در حفاظت از گیاهان در برابر تنش‌های غیرزنده از راه سازوکارهای تقریباً پیچیده، مشخص شده است. اکثر ویژگی‌های رشدی و رویشی گیاهان با توجه به غلظت سلنیوم افزایش می‌یابد (Jafari and Moghadam, 2022).

مرزه گیاهی علفی و یک‌ساله و متعلق به خانواده نعنائیان است که منشأ آن شرق مدیترانه و جنوب اروپا است. گیاه مرزه

یکی از گیاهان مهم به شمار می‌آید که از دیرباز به دلیل دارا بودن خواص مفید دارویی، مورد استفاده بشر بوده است (Sefidkon et al., 2006). نتایج پژوهشی حاکی از این است که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته، وزن تازه و خشک گیاه و تعداد شاخه‌های فرعی گیاه دارویی مرزه شد. به طوری‌که بیشترین آن مربوط به تیمار بدون تنش (دور آبیاری ۵ روز) و کمترین آن مربوط به تیمار دور آبیاری ۹ روز بود (Mokhtari and Baradaran, 2011). در پژوهش دیگری که به منظور بررسی تاثیر تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرزه انجام شد، نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای تنش خشکی (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد گنجایش مزرعه) موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع، سطح و حجم تاج پوشش، سطح برگ، وزن خشک شاخساره و ریشه و قندهای محلول شد (Sodaeizadeh et al., 2016). نتایج پژوهش دیگری در مورد اثر تنش خشکی بر برخی شاخص‌های فتوسنتزی و رشدی گیاه مرزه، نشان داد تنش خشکی موجب کاهش معنی‌داری در هدایت روزنه‌ای، شدت تعرق، شدت فتوستتزی، غلظت دی‌اکسید کربن درون‌سلولی، و کارایی مصرف آب فتوستتزی شد (Hosseini et al., 2020). در پژوهش دیگری نتایج نشان داد که آبیاری بخشی ریشه به طور متغیر (PRD) در ذرت علوفه‌ای در مقایسه با روش کم-آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری بخشی ریشه به طور ثابت در جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه از کارایی بهتری برخوردار است (Naderi et al., 2021). در پژوهشی اثر کم‌آبیاری بخشی ریشه بر رشد ریشه و شاخساره ذرت در چین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با اعمال روش آبیاری PRD، زیست‌توده ریشه افزایش یافت (Wang et al., 2012). در پژوهشی دیگر نتایج نشان داد که محلول پاشی برگی سلنیوم به میزان پنج میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم موجب افزایش وزن تازه و خشک، بهره‌وری آب، درصد اسانس، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و تعداد گیاه گیاه نعناع فلفلی گردید (Shamsabadi et al., 2023).

بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در راستای مدیریت مصرف آب نشان داد که استفاده از راهبردهای جدید آبیاری مانند آبیاری

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Some physical and chemical properties of the soil used in the study

pH	رسانایی الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	نیترژن N (%)	نقطه پژمردگی دائم Permanent wilting point (%v/v)	گنجایش مزرعه Field capacity (%v/v)	چگالی ظاهری Bulk density (g cm ⁻³)	بافت خاک Soil texture
7.55	1.35	0.13	10.75	24.2	1.46	لوم شنی Sandy loam

مورد نیاز از تشت تبخیر کلاس A استفاده شد و تیمارهای آبی بر اساس آن اعمال شدند. همانند (Yuan et al. 2001)، نیاز آبی براساس مقدار تجمعی آب تبخیرشده از تشت تبخیر، پس از اعمال ضریب تشت محاسبه شده و از روش پیشنهادی در نشریه فائو ۵۶ با توجه به موقعیت استقرار آن در مکان آزمایش (به‌طور میانگین ۷/۰) تعیین شد. مقدار نیاز آبی از رابطه (۱) به دست آمد:

$$ETa = Kc \times Kp \times (Epan) \quad (1)$$

ETa تبخیر تعرق روزانه (میلی‌متر بر روز)، Kp ضریب تشت، Epan تبخیر از سطح تشت (میلی‌متر در روز)، و Kc ضریب گیاهی است.

سطوح ثابت تغذیه‌ای برای تمامی تیمارهای آبیاری اعمال شد. در این پژوهش، میزان نیاز تغذیه‌ای گیاهان در ابتدای آزمایش بر اساس منابع علمی معتبر برآورد شده و به همان میزان در اختیار گیاهان قرار داده شد به طوری که هر گیاه در پایان دوره رشد عناصر غذایی مورد نیاز خود را دریافت نمود. به عبارت دیگر، مقدار عناصر دریافتی گیاهان یکسان بود. fvhd انجام این کار از محلول غذایی هوگلند استفاده شد. به‌منظور محاسبه نیاز آبی، ضرایب گیاهی مرزه از نتایج Saeidinia et al. (2019) استفاده گردید. ضرایب گیاهی مرزه برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه و میانی به‌ترتیب برابر ۰/۴۵، ۰/۷۸ و ۱/۳ در نظر گرفته شدند. همچنین از کارت زرد نیز در گلخانه برای مقابله با آفات استفاده شد. همچنین برای مقابله با علف‌های هرز، طی یک مرحله و به‌صورت دستی علف‌های هرز برداشت شد. تاریخ کاشت و برداشت این گیاه به‌ترتیب ۲۰ فروردین و ۲۵ تیر ۱۴۰۲ بود.

بخشی ریشه در مورد گیاهان دارویی استفاده نشده یا کمتر استفاده است. سطح زیر کشت گیاهان دارویی در استان خراسان رضوی در سال ۱۴۰۳، ۲۶۰۰۰ هکتار و میزان تولید آن ۴۸۰۰۰ تن است. بنابراین با توجه به اهمیت گیاهان دارویی از جمله گیاه مرزه و پژوهش‌های اندکی که در زمینه اثر سلینیوم بر کاهش آثار تنش خشکی و آبیاری بخشی ریشه بر گیاه مرزه انجام‌شده، هدف از این پژوهش بررسی تاثیر محلول‌پاشی سلینیوم بر کارایی مصرف آب و برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه مرزه در شرایط تنش خشکی و آبیاری بخشی ریشه بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر محلول‌پاشی سلینیوم بر کارایی مصرف آب و برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه مرزه در شرایط تنش خشکی و آبیاری بخشی ریشه، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار هرکدام در سه سطح و سه تکرار در سال ۱۴۰۳ در گلخانه پژوهشی مجتمع آموزش عالی تربت جام با طول و عرض جغرافیایی ۶۴/۶۰ و ۲۳/۳۵ و ارتفاع ۹۸۲ متر از سطح دریا واقع در استان خراسان رضوی انجام شد. این پژوهش دارای شش تیمار شامل تنش خشکی در سه سطح (آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، کم‌آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و کم‌آبیاری بخشی ریشه ۵۰ درصد نیاز آبی) و سه سطح سلینیوم (۰، ۵ و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر سلات سدیم) بود و در سه تکرار انجام گردید. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است.

آب آبیاری مورد استفاده دارای رسانایی الکتریکی ۱/۴۱ دسی‌زیمنس بر متر و pH برابر با ۷/۹ بود. برای تعیین مقدار آب

۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت قرار گرفت. در مرحله بعد لوله‌ها در حمام یخ به مدت نیم ساعت قرار گرفتند. پس از گذشت این مدت، به هر لوله آزمایش چهار میلی‌لیتر تولوئن افزوده گردید و لوله‌ها خوب تکان داده شدند. سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان جذب لایه رنگی فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. میزان پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه به دست آمد. برای استخراج اسانس نیز از دستگاه کلونجر به روش تقطیر با آب، استفاده شد.

برای محاسبه محتوی نسبی آب برگ (RWC) از رابطه (۲) استفاده شد (Ritche et al., 1990):

$$RWC\% = \{ (وزن خشک - وزن تازه) /$$

$$(۲) \quad \{ (وزن خشک - وزن تورژسانس کامل) \} \times ۱۰۰$$

برای محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری (WUE) از رابطه (۳) استفاده شد که در آن Y عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم و WU مقدار آب مصرفی در طول دوره رشد بر حسب متر مکعب است:

$$WUE = Y/WU \quad (۳)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها (تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش LSD) با استفاده از نسخه ۹/۴ نرم افزار SAS و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس جدول (۲)، اثر ساده محلول پاشی سلیوم بر صفات ارتفاع بوته، وزن خشک شاخساره، وزن خشک ریشه، کارایی مصرف آب، محتوی نسبی آب، کلروفیل کل، درصد اسانس و پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. اثر ساده سطوح مختلف آبیاری (آبیاری کامل، کم آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی و کم آبیاری بخشی ریشه به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی) نیز بر صفات گفته شده در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. همچنین، اثر برهمکنش محلول پاشی سلیوم و سطوح مختلف آبیاری بر صفات کارایی مصرف آب، محتوی نسبی آب و درصد اسانس در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد.

گلدان‌های مورد استفاده در این پژوهش دارای قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر بود. پس از استقرار گیاه (۳۰ روز پس از کاشت)، گلدان‌ها تحت تیمار سلنات سدیم (Na_2SeO_4) با غلظت‌های ۵ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر به صورت محلول پاشی برگی قرار گرفتند، محلول پاشی سه بار به صورت یک روز در میان انجام گردید و سپس، گیاهان تحت تیمارهای تنش خشکی قرار گرفتند. برای اعمال تیمار آبیاری بخشی ریشه، در قطر گلدان یک صفحه کارتن پلاست قرار گرفت و آبیاری به میزان تعیین شده و البته به صورت متناوب در ۵۰ درصد گلدان صورت گرفت. به این صورت که ابتدا ۵۰ درصد سمت راست کارتن پلاست آبیاری شد و سپس در نوبت بعدی ۵۰ درصد سمت چپ، آبیاری گردید. در این پژوهش صفات ارتفاع بوته، وزن خشک شاخساره و ریشه، کلروفیل آ، کلروفیل ب، کلروفیل کل، درصد اسانس، کارایی مصرف آب، محتوی نسبی آب برگ و پرولین اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته از خط‌کش استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها، ابتدا بوته‌ها جدا شده و وزن تازه آن‌ها اندازه‌گیری گردید. سپس برای تعیین وزن خشک، بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شده و سپس توزین شدند. برای سنجش محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی، مقدار ۰/۵ گرم از بافت برگ تازه در هاون چینی ریخته و با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد ساییده و له شد، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. عصاره جدا شده رویی به فالکون منتقل شده و مقداری از نمونه در کووت اسپکتروفتومتر ریخته شد. سپس به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل آ و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل ب، مقدار جذب توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد (Arnon, 1967). برای اندازه‌گیری پرولین مقدار ۰/۵ گرم از شاخساره را توزین کرده، در ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد اسید سولفوسالیسیلیک ساییده و سپس نمونه‌ها صاف شد (Bates et al., 1973). دو میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک خالص به نمونه‌ها در لوله آزمایش افزوده شد. سپس لوله‌ها در بن ماری با دمای

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محلولپاشی سلینیوم بر برخی صفات گیاه مرزه در شرایط تنش خشکی و آبیاری بخشی ریشه

Table 2. Variance analysis of effect of foliar spraying of selenium on some characteristics of savory under drought stress and partial root drying conditions

پرویلین Proline	درصد اسانس Essential oil	کلروفیل کل Total chlorophyll	نسبی آب Relative water content	محتوی آب Water use efficiency	کارایی مصرف آب Root dry weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	ارتفاع بوته Plant height	درجه آزادی df	منابع تغییرات (S.O.V)
83.027**	64.481**	0.714**	31.023**	1.362**	25.62**	83.027**	64.48**	2	سلینیوم Selenium
240.019**	209.925**	1.473**	283.173**	15.894**	148.268**	240.19**	209.925**	2	آبیاری Irrigation
1.388 ^{ns}	4.925*	0.003 ^{ns}	1.395*	0.036*	1.714 ^{ns}	1.38 ^{ns}	4.92 ^{ns}	4	آبیاری × سلینیوم Irrigation × Selenium
1.287	1.518	0.012	1.471	0.026	0.397	1.278	1.518	18	خطا Error
2.929	3.859	1.238	1.672	3.258	2.929	2.929	3.859		ضریب تغییرات (درصد) CV

ns و *. به ترتیب بیانگر اثر غیر معنی دار، و اثر معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ns and * indicate non-significant effect and significant effects at 1 and 5% probability levels, respectively.

بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳)، بیشترین ارتفاع بوته، وزن خشک شاخساره، وزن خشک ریشه، محتوی نسبی آب، کلروفیل کل، درصد اسانس و پرولین در آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) و بیشترین کارایی مصرف آب در ۵۰ درصد کم آبیاری بخشی ریشه رخ داد. همچنین نتایج نشان داد که با اعمال کم آبیاری (DI) و آبیاری بخشی ریشه (PRD) به میزان ۵۰ درصد به ترتیب ارتفاع بوته ۲۵/۷۶ و ۱۶/۱۶ درصد، وزن خشک شاخساره ۲۳/۲۷ و ۱۳/۷۰ درصد، وزن خشک ریشه ۲۳/۲۴ و ۹/۶۲ درصد، محتوی نسبی آب ۱۴/۲۸ و ۸/۰۴ درصد، کلروفیل کل ۸/۴۳ و ۴/۸۹ درصد، درصد اسانس ۲۲/۳۶ و ۱۱/۱۸ درصد و پرولین ۵۸/۲۲ و ۳۷/۹۷ درصد کاهش یافت و کارایی مصرف آب به ترتیب ۵۳/۵۴ و ۷۲/۶۶ درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد که محلول پاشی سلنات سدیم به میزان ۵ میلی گرم بر لیتر به ترتیب موجب افزایش ۱۴/۱۵، ۱۳/۶۱، ۱۳/۶۲، ۱۳/۵۷، ۵/۰۰، ۴/۶۳، ۱۱/۸۴ و ۷/۵۴ درصدی ارتفاع بوته، وزن خشک شاخساره، وزن خشک ریشه، کارایی مصرف آب، محتوی نسبی آب، کلروفیل کل، درصد اسانس و پرولین نسبت به بدون محلول پاشی شد. همچنین محلول پاشی سلنات سدیم به میزان ۱۵ میلی گرم بر لیتر به ترتیب موجب افزایش ۱۵/۹۸، ۱۷/۷۹، ۱۵/۵۰، ۱۹/۹۵، ۵/۴۶، ۷/۹، ۱۲/۶۹ و ۹/۴۳ درصدی صفات فوق نسبت به بدون محلول پاشی شد. افزایش سه برابری محلول پاشی سلنیوم از ۵ به ۱۵ میلی گرم بر لیتر سلنات سدیم موجب افزایش معنی داری در صفات مورد بررسی نشد. همچنین نتایج حاکی از آن بود که با اعمال کم آبیاری، صفات اندازه گیری شده، به جز کارایی مصرف آب، کاهش یافت. اعمال تنش خشکی منجر به پیری زودرس و همچنین ریزش برگ‌ها می شود که این مهم می تواند کاهش وزن تازه و خشک شاخساره گیاه را به دنبال داشته باشد (Faisal et al., 2000). عدم تأمین آب کافی و اعمال تنش بر گیاه، منجر به کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها می شود که با تأثیر بر تقسیم سلولی و طول سلول‌ها، رشد رویشی گیاه کاهش می یابد (Montazernejad, 2006). افزایش شدت تنش آبی منجر به افزایش آسزیک اسید در گیاه می شود که در نهایت کاهش رشد و نمو گیاه را به دنبال دارد (Bahrapour

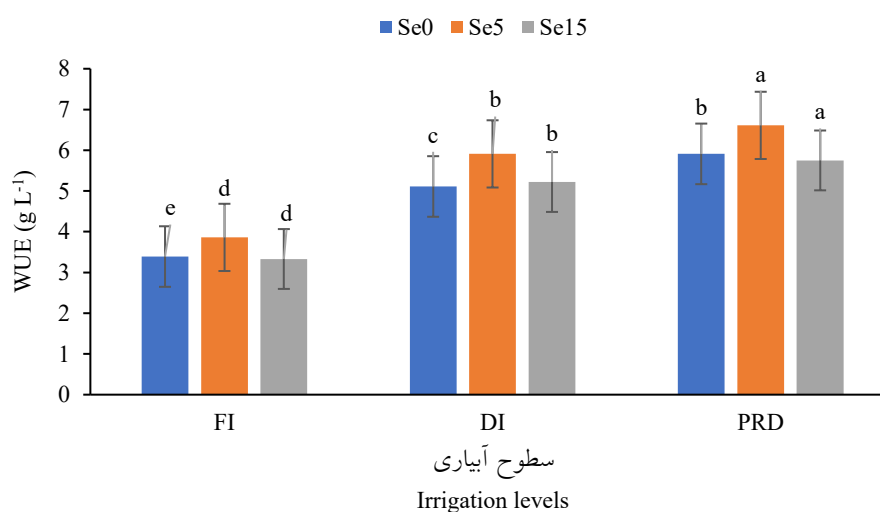
et al., 2019). تنش خشکی موجب کاهش رشد شاخساره گیاه می شود. بر اساس نتایج پژوهش‌های پیشین، اعمال تیمارهای کم آبیاری موجب کاهش رشد شاخساره گیاه می شود. هماهنگ با نتایج این پژوهش، یافته‌های (Akbari et al., 2017)، (Jamali et al., 2023)، (Shamsabadi et al., 2024) و (Naderian et al., 2015) نشان داد که کم آبیاری سبب کاهش وزن تازه و عملکرد گیاه می شود. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج (Shamsabadi et al., 2023) مبنی بر اینکه محلول پاشی سلنیوم به میزان ۵ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش وزن تازه، وزن خشک و عملکرد گیاه نعنای فلفلی شده است، همخوانی داشت. نتایج اثر برهمکنش محلول پاشی سلنیوم و سطوح مختلف آبیاری نشان داد که در تمام سطوح مختلف آبیاری، محلول پاشی سلنات سدیم موجب افزایش کارایی مصرف آب، محتوی نسبی آب و درصد اسانس در گیاه مرزه گردید (شکل‌های ۱ تا ۳). به طوری که بیشترین میزان کارایی مصرف آب در ۵۰ درصد کم آبیاری بخشی ریشه و محلول پاشی سلنات سدیم به میزان ۵ میلی گرم بر لیتر و به میزان ۶/۶۱ گرم بر لیتر مشاهده شد (شکل ۱). دلیل این یافته آن است که محلول پاشی سلنیوم نسبت به بدون محلول پاشی در شرایط تنش، موجب افزایش صفات رویشی گیاه شد. بیشترین میزان محتوی نسبی آب در گیاه مرزه (۸۰/۳۳ درصد) در آبیاری کامل و محلول پاشی سلنات سدیم به میزان ۵ میلی گرم بر لیتر مشاهده شد (شکل ۲). بیشترین درصد اسانس (۱/۶۱ درصد) در آبیاری کامل و محلول پاشی سلنات سدیم به میزان ۵ میلی گرم بر لیتر اندازه گیری شد (شکل ۳). همچنین نتایج آثار برهمکنش محلول پاشی سلنیوم و سطوح مختلف آبیاری در گیاه مرزه حاکی از آن بود که ۵۰ درصد کم آبیاری بخشی ریشه نسبت به ۵۰ درصد کم آبیاری دارای کارایی مصرف آب، محتوی نسبی آب و درصد اسانس بیشتری بود. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، یافته‌های (Naderi et al., 2021) و (Asadi et al., 2019) نشان داد که اعمال روش PRD به دلیل صرفه جویی در مصرف آب نسبت به DI مناسب تر بوده و راه کار مناسبی برای مقابله با بحران آب و حرکت به سمت کشاورزی پایدار است.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر ساده محلول پاشی سلنیوم بر برخی صفات گیاه مرزه در شرایط تنش خشکی و آبیاری بخشی ریشه

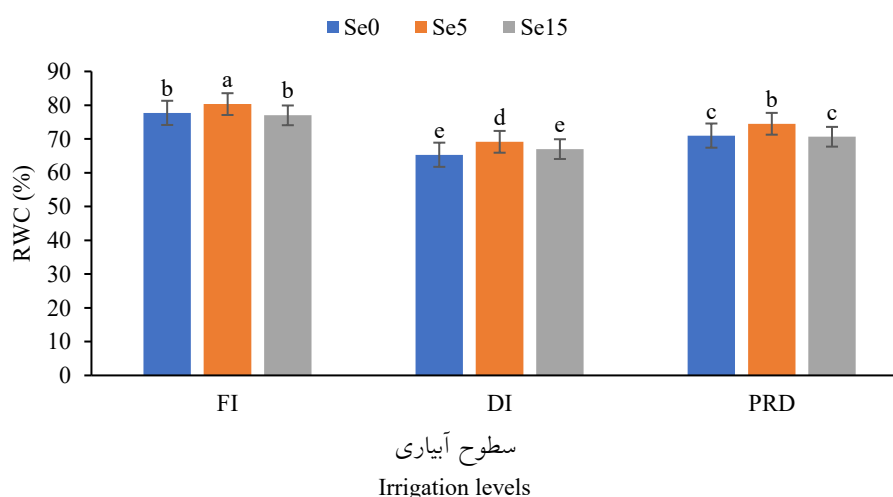
Table 3. Mean comparisons of effect of foliar spraying of selenium on some characteristics of savory under drought stress and partial root drying conditions									
پروлін (میلی گرم بر گرم) Proline (mg g ⁻¹)	اسانس (درصد) Essential oil (%)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم) Total chlorophyll (mg g ⁻¹)	محتوی نسبی آب (درصد) Relative water content (%)	کارایی مصرف آب (گرم بر لیتر) Water use efficiency (g L ⁻¹)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان) Root dry weight (g pot ⁻¹)	وزن خشک شاخساره (گرم در گلدان) Shoot dry weight (g pot ⁻¹)	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	تیمارها Treatment	سلنیوم (میلی گرم بر لیتر) Selenium (mg L ⁻¹)
0.053 ^b	1.30 ^b	9.08 ^b	71.35 ^b	4.811 ^b	20.64 ^b	37.16 ^b	30.66 ^b	0	0
0.057 ^a	1.45 ^a	9.50 ^a	74.66 ^a	5.464 ^a	23.45 ^a	42.22 ^a	35.00 ^a	5	5
0.058 ^a	1.46 ^a	9.79 ^a	75.25 ^a	5.771 ^a	23.84 ^a	43.77 ^a	35.56 ^a	15	15
0.079 ^a	1.52 ^a	9.60 ^a	78.35 ^a	3.53 ^c	24.53 ^a	44.16 ^a	37.11 ^a	100	100
0.033 ^c	1.18 ^c	8.79 ^c	67.16 ^c	5.42 ^b	18.82 ^c	33.88 ^c	27.55 ^c	(DI) 50	(DI) 50
0.049 ^b	1.35 ^b	9.13 ^b	72.05 ^b	6.095 ^a	22.17 ^b	38.11 ^b	31.11 ^b	(PRD) 50	(PRD) 50

DI: کم آبیاری، PRD: کم آبیاری بخشی ریشه. در هر ستون، اعداد با حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار است (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد).

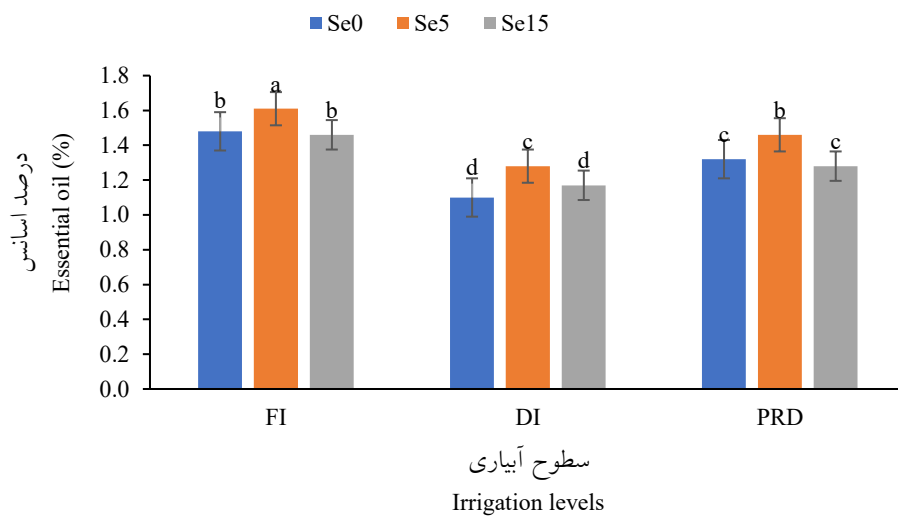
DI: Dificit irrigation, PRD: Partial root drying. In each column, the figures with dissimilar letters are significantly different (Duncan, $p < 0.05$).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر برهمکنش محلول پاشی سelenium و سطوح مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب (WUE) گیاه مرزه. FI: آبیاری کامل، DI: کم آبیاری، PRD: کم آبیاری بخشی ریشه، Se0: شاهد (بدون محلول پاشی سelenium)، Se5: محلول پاشی سelenium به میزان ۵ میلی گرم بر لیتر سلات سدیم و Se15: محلول پاشی سelenium به میزان ۱۵ میلی گرم بر لیتر سلات سدیم. ستون‌های با حروف متفاوت تفاوت معنی دار دارند (آزمون دانکن، ۵ درصد). **Fig. 1.** Mean comparisons of the interaction effect of foliar spraying of selenium and different irrigation levels on water use efficiency (WUE) in savory. FI: full irrigation, DI: deficit irrigation, PRD: partial root drying, Se0: control (no foliar spraying of selenium), Se5: foliar spraying of selenium in level 5 mg L⁻¹ Na₂SeO₄ and Se15: foliar spraying of selenium in level 15 mg L⁻¹ Na₂SeO₄. The bars with dissimilar letters are significantly different (Duncan, $p < 0.05$).



شکل ۲. مقایسه مقایسه اثر برهمکنش محلول پاشی سelenium و سطوح مختلف آبیاری بر محتوی نسبی آب (RWC) گیاه مرزه. FI: آبیاری کامل، DI: کم آبیاری، PRD: کم آبیاری بخشی ریشه، Se0: شاهد (بدون محلول پاشی سelenium)، Se5: محلول پاشی سelenium به میزان ۵ میلی گرم بر لیتر سلات سدیم و Se15: محلول پاشی سelenium به میزان ۱۵ میلی گرم بر لیتر سلات سدیم. ستون‌های با حروف متفاوت تفاوت معنی دار دارند (آزمون دانکن، ۵ درصد). **Fig. 2.** Mean comparisons of the interaction effect of Foliar Spraying of Selenium and different irrigation levels on relative water content (RWC) in savory. FI: full irrigation, DI: deficit irrigation, PRD: partial root drying, Se0: control (no foliar spraying of selenium), Se5: foliar spraying of selenium in level 5 mg L⁻¹ Na₂SeO₄ and Se15: foliar spraying of selenium in level 15 mg L⁻¹ Na₂SeO₄. The bars with dissimilar letters are significantly different (Duncan, $p < 0.05$).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهمکنش محلول پاشی سلنیوم و سطوح مختلف آبیاری بر درصد اسانس در گیاه مرزه. FI: آبیاری کامل، DI: کم آبیاری، PRD: کم آبیاری بخشی ریشه، Se0: شاهد (بدون محلول پاشی سلنیوم)، Se5: محلول پاشی سلنیوم به میزان ۵ میلی گرم بر لیتر سلمات سدیم و Se15: محلول پاشی سلنیوم به میزان ۱۵ میلی گرم بر لیتر سلمات سدیم. ستون‌های با حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار دارند (آزمون دانکن، ۵ درصد).

Fig. 3. Mean comparisons of the interaction effect of Foliar Spraying of Selenium and different irrigation levels on essential oil percentage in savory. FI: full irrigation, DI: deficit irrigation, PRD: partial root drying, Se₀: control (no foliar spraying of selenium), Se₅: foliar spraying of selenium in level 5 mg L⁻¹ Na₂SeO₄ and Se₁₅: foliar spraying of selenium in level 15 mg L⁻¹ Na₂SeO₄. The bars with dissimilar letters are significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

نتیجه‌گیری

همچنین نتایج اثر برهمکنش محلول پاشی سلنیوم و سطوح مختلف آبیاری در گیاه مرزه حاکی از آن بود که ۵۰ درصد کم آبیاری بخشی ریشه نسبت به ۵۰ درصد کم آبیاری دارای کارایی مصرف آب، محتوی نسبی آب و درصد اسانس بیشتری بود. براساس نتایج فوق می‌توان گفت گیاه مرزه نسبت به تنش خشکی حساس بود و اعمال تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه شد. همچنین براساس نتایج این پژوهش، اعمال روش کم آبیاری بخشی ریشه (PRD) روش مناسب‌تری نسبت به روش کم آبیاری (DI) از لحاظ تاثیر بر صفات گیاهی و افزایش کارایی مصرف آب، تشخیص داده شد. بنابراین با در نظر گرفتن مسائل مربوط به کمبود آب، می‌توان ۵۰ درصد کم آبیاری بخشی ریشه (PRD) را در گیاه دارویی مرزه، به عنوان تیمار برتر و راه کار مناسب برای مقابله با بحران آب، برای نیل به سوی یک سامانه کشاورزی پایدار پیشنهاد نمود.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اعمال کم آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن خشک شاخساره، وزن خشک ریشه، محتوی نسبی آب، کلروفیل کل، درصد اسانس و پرولین در گیاه مرزه شد که این کاهش در ۵۰ درصد کم آبیاری (DI) بیشتر از ۵۰ درصد کم آبیاری بخشی ریشه (PRD) بود. همچنین نتایج نشان داد که با اعمال DI و PRD، کارایی مصرف آب به ترتیب ۵۳/۵۴ و ۷۲/۶۶ درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد افزایش سه برابری محلول پاشی سلنیوم از ۵ به ۱۵ میلی گرم بر لیتر سلمات سدیم موجب افزایش معنی‌داری در صفات مورد بررسی نشد. نتایج اثر برهمکنش محلول پاشی سلنیوم و سطوح مختلف آبیاری حاکی از این بود که در تمام سطوح مختلف آبیاری، محلول پاشی سلمات سدیم موجب افزایش کارایی مصرف آب، محتوی نسبی آب و درصد اسانس در گیاه مرزه شد.

تشکر و سپاسگزاری

تضاد منافع

این مقاله مستخرج از نتایج طرح پژوهشی اجرا شده از محل اعتبارات مجتمع آموزش عالی تربت جام است. بدین وسیله از حمایت مالی این مجتمع، تقدیر و تشکر می گردد.

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ گونه تضاد منفعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

References

1. Akbari, Z., Fazeli, M., Zeya Ebrahimi, L., Naroeirad, M.R., 2017. Study some of garden cress (*Lepidium sativum* L.) physiological traits at levels of irrigation and ascorbic acid. J. Crop Eco. 11(2), 269–282. (In Persian with English abstract)
2. Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agron. J. 23, 112–121.
3. Asadi, R., Hassanpour, F., Mehrabani, M., Baghizadeh, A., Karandish, F., 2019. Effect of regulated deficit and partial root zone drying irrigation on quantitative traits of *Rosmarinus officinalis* L. J. Water Soil. 33(5), 659–670. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.70053>. (In Persian with English abstract)
4. Bahrampoor, M., Dehestani-Ardakani, M., Shirmardi, M., Gholamnezhad, J., 2019. Effect of different substrates and nano potassium fertilizer on morpho-physiological characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under drought stress. Iran. J. Horti. Sci. Technol. 20(1), 65–78. <https://doi.org/20.1001.1.16807154.1398.20.1.2.9> (In Persian with English abstract)
5. Baker, A.V., Pilbeam, D.M.J., 2007. Handbook of Plant Nutrition. Taylor and Francis Group Press, Boca Raton, FL, pp. 48–62.
6. Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water -stress studies. Plant Soil 39, 205–207.
7. Faisal, E.A., Yagoub, S.O., Elsheikh, E.A.E., 2000. Effects of mycorrhizal inoculation and phosphorus application on the nodulation, mycorrhizal infection and yield components of faba bean grown under two different watering regimes. Khartoum. UK J. Agric. Sci. 1(1), 137–151.
8. Hosseini, S.H., Saeednia, M., Beiranvand, F., 2020. Investigation of the drought stress on some photosynthetic and morphological indicators of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Environ. Stress. Crop Sci. 13(4), 1115–1124. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2394.1623>. (In Persian with English abstract)
9. Jafari, H., Moghadam, M., 2022. Effect of different levels of sodium selenate and selenite on morphological characteristics and nutrients concentration in peppermint. J. Soil Plant Interact. 13(3), 1–16. <http://doi.org/10.47176/jspi.13.3.121011>. (In Persian with English abstract)
10. Jamali, S., Banejad, H., Safarizadehsani, A., Hadi, B., 2022. Investigation the effect of irrigation levels on peppermint yield and water productivity under salinity stress. J. Soil Water 26(1), 131–146. <http://doi.org/10.47176/jwss.26.1.43421>. (In Persian with English abstract)
11. Karimi, N., Sadraddini, A., Nazemi, A., Farsadizadeh, D., Hossienzadeh Dalir, A., Dehghani, F., 2010. Effects of deficit irrigation on yield and growth of greenhouse cucumber. Water Soil Sci. 20(1), 15–25. (In Persian with English abstract)
12. Mokhtari, A., Baradaran, R., 2011. The effect drought stress on *Satureja hortensis*. In: The First Regional Conference on Crop Ecophysiology, Shoshtar. (In Persian with English abstract)
13. Mortazaeinejad, F., 2006. Study of some parameters of yield and proline in rice plants under NaCl salinity stress. Agron. J. 2(3), 93–98.
14. Miri, F. S., Shahnzari, A., Ziae Tabar Ahmadi, M.K., Zebardast Rostami, H.A., 2014. Effect of regulated deficit irrigation and partial root zone drying on quality and quantity performance of orange. J. Horti. Sci. 28(1), 80–86. (In Persian with English abstract)
15. Naderi, N., Ramin Fazloul, R., Shahnazari, A., Khavari Khorasani, S., 2021. Effect of deficit irrigation and partial root zone drying (fixed and variable) on root growth characteristics of forage maize. Iran. J. Irri. Drain. 14(6), 1964–1972. (In Persian with English abstract)
16. Naderian, M., Ansari, H., Azizi, M., Ziaei, A.N., 2015. Effect of deficit irrigation and fertilization on yield and yield components of basil in two soil textures. J. Water Res. Agric. 29(3), 353–366. (In Persian with English abstract)
17. Pilon-Smits, E.A., Quinn, C.F., 2010. Selenium metabolism in plants. In: Hell, R., Mendel, R.R. (Eds.), Cell Biology of Metals and Nutrients. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 225–241.
18. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., Holaday, A.S., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Sci. 30(1), 105–111.

<https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>.

19. Saeidinia, M., Hosseini, S.H., Beiranvand, F., Mumivand, H., 2019. Study of the essential oil, morphological parameters, and growth-stage-specific crop coefficients of summer savory (*Satureja hortensis* L.). J. Medi. Plants. 1, 1–6. (In Persian with English abstract)
20. Sefidkon, F., Abbasi, K., Khaniki, G.B., 2006. Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. Food Chem. 99(1), 19–23. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.026>.
21. Shamsabadi, V., Banejad, H., Ansari, H., Neamati, S.H., 2023. Investigating water productivity and characteristics of *Mentha piperita* L. under salinity and drought stress. J. Water Manag. Agric. 9(2): 115–130. <https://doi.org/20.1001.1.24764531.1401.9.2.9.2>. (In Persian with English abstract)
22. Shamsabadi, V., Moradi, M., Nastari Nasrabadi, H., 2024. Investigating the effect irrigation levels and soil texture on some characteristics and water productivity of *Satureja hortensis* L. Iran. Water Res. J. 18(3), 75–82. <https://doi.org/10.22034/iwrj.2024.14877.2620> (In Persian with English abstract)
23. Sodaii Zadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady Maibody, A.M., Hakim Zadeh, M.A., 2016. The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. Plant Proc. Func. 5(15), 1–12. <https://doi.org/20.1001.1.23222727.1395.5.15.9.2> (In Persian with English abstract)
24. Wang, Z., Liu, F., Kang, S., Jensen, Ch.R., 2012. Alternate partial root-zone drying irrigation improves nitrogen in maize (*Zea mays* L.) leaves. Environ. Exp. Bot. 75, 36–40. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.015>.
25. Yuan B.Z., Kang Y., Nishiyama S., 2001. Drip irrigation scheduling for tomatoes in unheated greenhouse. Irrig. Sci. 20, 149–154. <https://doi.org/10.1007/s002710100039>.