روابط خاک و گیاه / سال سیزدهم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۱ / صفحات ۴۶-۳۳ مقاله پژوهشی

اثر کاربرد سولفات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک نهال‌های خرما رقم زاهدی (*Phoenix dactylifera* cv. Zahdei) تحت تنش آبی

رحمان یوسفی*[1]، مجید علی‌حوری[2] و حجت دیالمی[1]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۴)

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر کود سولفات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک نهال‌های کشت بافتی خرما رقم زاهدی تحت تنش آبی انجام شد. این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. پس از استقرار کامل نهال‌ها در خاک، تیمار سولفات پتاسیم در پنج سطح (صفر، محلول‌پاشی برگی ۲ گرم در لیتر، محلول‌پاشی برگی ۴ گرم در لیتر، کاربرد خاکی ۵۰ گرم برای هر نهال، و کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم برای هر نهال) و سپس تنش آبی در سه سطح (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A) اعمال شد. نتایج نشان داد که با کاربرد کود سولفات پتاسیم در سطوح زیاد تنش آبی شاخص کلروفیل افزایش یافته و درصد نشت یونی کاهش پیدا کرد. در سطح سوم تنش آبی بدون کاربرد پتاسیم، شاخص کلروفیل برابر ۴۲/۶۱ ثبت شد، اما با کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم سولفات پتاسیم در همین سطح تنش، شاخص کلروفیل با افزایش معنی‌دار به مقدار ۵۸/۷۸ رسید. نشت یونی نیز در سطح سوم تنش آبی بدون کاربرد سولفات پتاسیم به مقدار ۳۴/۷۵ درصد مشاهده شد، درصورتی‌که در همین سطح تنش با کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم سولفات پتاسیم، نشت یونی به طور معنی‌دار به ۲۵/۴۲ درصد کاهش یافت. غلظت پتاسیم برگ در تیمار بدون کاربرد پتاسیم، برابر ۱/۶۱ درصد بود درحالی‌که در تیمار کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم سولفات پتاسیم با افزایش معنی‌دار مقدار ۱/۸۸ ثبت شد. در مجموع، کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم سولفات پتاسیم محلول در آب برای هر نهال تحت تنش آبی بهترین نتیجه را از نظر پاسخ‌های فیزیولوژیک نهال خرما در مقابله با شرایط تنش آبی داشت.

واژه‌های کلیدی: شاخص کلروفیل، نشت یونی، کاربرد خاکی، محلول‌پاشی برگی.

مقدمه

ایران با آن‌که بیش از ۱/۲ درصد از سطح خشکی‌های کره زمین را داراست، تنها سهمی برابر ۰/۳۶ درصد از کل بارش-های آسمانی را دارا است که این میزان حدود یک سوم میانگین جهانی و نصف قاره آسیا است (۲۱). در شرایط کنونی یکی از مهم‌ترین چالش‌های بخش کشاورزی و از عوامل محدودکننده بهره‌وری آب در کشاورزی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک برای رشد و عملکرد بهینه گیاهان و درختان، تنش آبی است (۱۹ و ۲۰). نخل خرما (*Phoenix dactylifera*) یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران در

۱- پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
۲- پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: r.yousefi66@areeo.ac.ir

مناطق خشک و نیمه‌خشک است و بیش‌ترین میزان تولید آن در کشور (۶۳/۳ درصد از کل تولید خرمای کشور) مربوط به چهار استان سیستان و بلوچستان، فارس، جنوب استان کرمان و خوزستان است (۲). ایران از نظر تولید خرما در دنیا پس از کشور مصر و عربستان در رتبه سوم و از نظر سطح برداشت در رتبه اول جهان قرار دارد (۱۸).

تنش آبی می‌تواند سبب کاهش رشد رویشی، تعداد برگ و وزن خشک ریشه نهال‌های خرما شده (۱۰) و بروز هر گونه تنش آبی در طی ماه‌های اولیه پس از کاشت خرما می‌تواند منجر به خشک شدن نخل‌های جوان شود (۷). بر اساس پژوهش انجام شده در فلوریدای آمریکا، آبیاری نقش مهمی در گیرایی نهال‌های خرما و رشد رویشی آنان دارد؛ بدین‌صورت که افزایش معنی‌داری در میزان گیرایی نهال، وزن خشک ریشه و تعداد برگ بین نهال‌های آبیاری‌شده با دور آبیاری روزانه و دو هفته یک‌بار وجود داشت (۱۰). آبیاری درختان خرمای رقم کبکاب، زاهدی و شهابی به میزان ۳۵، ۵۰ و ۶۵ درصد تبخیر تجمعی از تشت کلاس A در استان بوشهر نشان داد که در تیمار ۶۵ درصد مقدار آب مورد نیاز، بیش‌ترین عملکرد به‌دست آمد و در شرایط کمبود آب، آبیاری به میزان ۵۰ درصد تبخیر تجمعی از تشت نسبت به آبیاری به مقدار ۶۵ درصد تبخیر تجمعی از تشت، نتایج بهتری داشت (۲۵). بنابراین یکی از دشواری‌های توسعه و تولید خرما در کشور با توجه به نیاز آبی زیاد آن، محدودیت ناشی از کمبود منابع آب و تنش آبی است و استفاده از راهکارهایی که بتواند سبب ایجاد تحمل به تنش آبی در نهال‌های خرمای تازه کشت شده شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پتاسیم به‌عنوان یک عنصر غذایی پرمصرف، با نقشی که در حفظ و نگه‌داری آب در گیاهان دارد، می‌تواند در سال‌های ابتدایی پس از کاشت سبب حفظ ذخیره آب در گیاهان و صرفه‌جویی در مصرف آب شود (۴۲). این عنصر غذایی در ایجاد فشار آماس و باز و بسته شدن روزنه‌ها و نیز در تجمع و انتقال هیدروکربن‌های تولید شده نقش داشته و تعادل آبی و یونی را در گیاهان کنترل می‌کند (۴۳ و ۴۶). بارا و همکاران (۱۴) اثر محلول‌پاشی برگی پتاسیم را برای بهبود ویژگی‌های کیفی و عملکردی هلو در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده[1] مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که کاربرد پتاسیم در شرایط کم‌آبیاری منجر به بهبود ویژگی‌های رشدی، عملکردی و کیفی هلو شده است. صدرزاده و همکاران (۴۲) تأثیر تنش آبی و کاربرد پتاسیم را بر ویژگی‌های رویشی نهال‌های زیتون مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در نهال‌هایی که تحت تنش آبی قرار داشتند استفاده از کود سولفات پتاسیم سبب افزایش رشد رویشی نهال، افزایش سطح برگ و وزن تازه و خشک برگ در گیاه شد. کیان‌فرد (۲۹) گزارش داد که محلول‌پاشی برگی پتاسیم و کلسیم به‌ویژه با غلظت یک درصد در دانهال‌های انار تحت تنش خشکی سبب حفظ محتوای رطوبت نسبی، و افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و رشد نهال‌ها شد. ناجیحان و همکاران (۳۴) طی پژوهشی گزارش کردند که تنش آبی سبب کاهش رشد دانهال‌های نخل روغنی شد، درحالی‌که کاربرد کود کلرید پتاسیم آثار منفی تنش آبی بر رشد دانهال‌ها را کاهش داد و صفات رشدی و فیزیولوژیک را بهبود بخشید (۳۴). نتایج شافی و همکاران (۴۵) نیز نشان داد که کاربرد سولفات پتاسیم به تنهایی و یا همراه با اوره نه تنها ریزش میوه خرما رقم داکی (Dhakki) را کاهش داد، بلکه ویژگی‌های کیفی میوه را نیز بهبود بخشید که غلظت ۲ درصد سولفات پتاسیم همراه با اوره بهترین تیمار در این باره بود.

در مجموع نتایج پژوهش‌ها در گیاهان مختلف نشان داد که کاربرد منابع مختلف پتاسیمی سبب کاهش آثار منفی ناشی از تنش آبی بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیک و عملکرد گیاهان می‌شود، اما تاکنون پژوهشی در مورد آثار کاربرد کود سولفات پتاسیم بر رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیک نهال‌های خرما تحت تنش آبی انجام نگرفته است. بنابراین هدف این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد محلول‌پاشی برگی و کاربرد خاکی کود سولفات پتاسیم در سطوح مختلف تنش آبی بر برخی ویژگی‌های

1. Regulated deficit irrigation

شکل ۱. نمایی از نهال‌های خرما در اواسط دوره آزمایشی.
Fig. 1. A view of date plants in the middle of the experimental period.

فیزیولوژیک نهال‌های کشت بافتی خرما رقم زاهدی پس از کاشت است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور تنش آبی [در سه سطح آبیاری به‌مقدار ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A (به‌ترتیب I1، I2 و I3)] و فاکتور دوم کاربرد کود سولفات پتاسیم [در پنج سطح شامل عدم کاربرد کود سولفات پتاسیم (S1)، محلول‌پاشی ۲ گرم در لیتر (S2)، محلول‌پاشی ۴ گرم در لیتر (S3)، کاربرد خاکی ۵۰ گرم برای هر نهال (S4) و کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم برای هر نهال (S5)] انجام شد. در مجموع ۱۵ ترکیب تیماری با ۳ تکرار (۴۵ اصله نهال) بررسی شد. این پژوهش بر روی نهال‌های یک‌ساله کشت بافتی خرما رقم زاهدی در شرایط گلدانی، در مکان پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری اهواز به طول جغرافیایی ′۴۸ °۳۳ شرقی و عرض جغرافیایی′۱۵ °۳۱ شمالی و با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا انجام شد. میانگین بارندگی سالانه در شهرستان اهواز برای یک دوره آماری ۵۰ ساله، برابر ۲۱۳/۳ میلی‌متر بوده و اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن و اقلیم نمای آمبرژه به‌ترتیب خشک و بیابانی گرم میانه است.

در آبان‌ماه ۱۳۹۸ تعداد ۴۵ اصله نهال کشت بافتی خرمای رقم زاهدی با رعایت اصول کاشت در مکان اجرای پژوهش کشت شدند (شکل ۱). بهترین عمق توصیه شده برای کشت نهال خرما بدین صورت است که هنگام کاشت با بررسی قطر طوقه نهال، بخشی از طوقه که دارای بیش‌ترین قطر است بایستی هم‌سطح با سطح خاک گلدان و یا زمین کشت شود و نباید بیش‌تر از آن در زمین فرو رود. باید دقت شود تا به دلیل کشت عمیق، جوانه انتهایی یا همان مریستم رأسی نهال که به قلب نهال معروف است غرقاب نشود چون باعث از بین رفتن نهال خواهد شد. خاک مورد استفاده در این پژوهش مخلوطی از ماسه، خاک زراعی و کود حیوانی (۵۰ درصد حجمی ماسه شسته شده کف رودخانه، ۳۰ درصد حجمی خاک زراعی و ۲۰ درصد حجمی کود دامی پوسیده الک شده) در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۳۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۲ سانتی‌متر بود. برای زهکشی آب اضافی گلدان‌ها، در کف هر گلدان یک لایه سنگ‌ریزه حدود ۴ سانتی‌متر ریخته شد و در مرحله بعد با خاک ترکیبی تهیه شده پر شد. در جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها ارائه شده است. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی خاک، pH خاک در گل اشباع با pH متر (۳۸)، رسانایی الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع توسط EC متر (۴۰)، کربن آلی به روش اکسایش تر واکلی–بلک (۴۷)، فسفر قابل قابل دسترس به روش اولسن و همکاران (۳۵) و پتاسیم قابل دسترس به روش استات آمونیم ۱ مولار با pH=۷ (۳۰) اندازه‌گیری شدند.

در مرحله استقرار نهال‌های خرما که حدود پنج ماه بود، آبیاری تمام نهال‌ها بر اساس تأمین کامل نیاز آبی آنان انجام گرفت. دور آبیاری براساس یافته‌های پژوهشی، در ماه اول، دوم و بقیه ایام سال به‌ترتیب پس از ۴۵، ۶۰ و ۷۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A در نظر گرفته شد (۵ و ۳) که از سه روز در فصل تابستان تا حدود یک ماه در فصل زمستان

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این پژوهش.

Table 1. Physical and chemical properties of the soil used in this research.

درصد اشباع (٪) Saturation percentage (%)	رسانایی الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity ($dS\ m^{-1}$)	pH	کربن آلی (٪) Organic carbon (%)	فسفر قابل دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم) Available phosphorous ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم) Available potassium ($mg\ kg^{-1}$)
32.0	5.12	7.2	1.62	50	130

در نوسان بود. مقدار آب آبیاری بر اساس روش تشت تبخیر فائو با استفاده از روابط (۱) و (۲) برآورد شد (۸):

$$ET_c = K_c \times K_p \times E_p \quad (۱)$$

$$I_n = ET_c - P_e \quad (۲)$$

که در این روابط، ET_c مقدار تبخیرتعرق گیاه، E_p مقدار تبخیر از تشت (میلی‌متر)، K_p و K_c به‌ترتیب ضریب تشت و ضریب گیاهی، P_e بارندگی مؤثر و I_n نیاز خالص آبیاری هستند. مقادیر ضرایب تشت و گیاهی مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۲) ارائه شده است. میزان ضریب تشت (K_p) با توجه به وضعیت استقرار تشت و میانگین رطوبت نسبی و سرعت باد در ایستگاه هواشناسی مستقر در جنب مکان اجرای پژوهش و با استفاده از مقادیر ارائه شده در نشریه شماره ۵۶ فائو (۸) تعیین شد. مقادیر ماهانه ضریب گیاهی نهال خرما (در سال اول رشد) نیز بر اساس مقادیر ارائه شده در گزارش علی‌حوری (۳) مشخص شد. برای اعمال تیمارهای کودی، از کود سولفات پتاسیم پودری (کی‌لیف، بازارگان کالا) با ۵۲ درصد پتاسیم محلول در آب (K_2O) و ۱۸ درصد گوگرد محلول (S) استفاده شد. اعمال تیمارهای محلول‌پاشی کود سولفات پتاسیم ۴۵ روز پس از کاشت نهال‌ها شروع شده و در ۴ مرتبه با فاصله دو هفته تکرار شد (در مجموع برای هر تیمار ۴ بار محلول‌پاشی برگی صورت گرفت). تیمارهای کاربرد خاکی نیز همزمان با شروع تیمارهای محلول‌پاشی شروع شد، بدین صورت که مقادیر ۵۰ و ۱۰۰ گرم کاربرد خاکی برای هر نهال به دو قسمت مساوی تقسیم شد (برای تیمار S4 به دو قسمت ۲۵ گرمی و برای تیمار S5 به دو قسمت ۵۰ گرمی) و هر قسمت آن با فاصله دو هفته یک‌بار در آب حل شد و به‌صورت محلول به خاک افزوده شد (در مجموع برای هر تیمار کاربرد خاکی، ۲ بار کود سولفات پتاسیم به‌صورت محلول به خاک افزوده شد).

جدول ۲. مقادیر ضریب تشت (K_p) و ضریب گیاهی (K_c) مورد استفاده در این پژوهش.

Table 2. Values of pan coefficient (K_p) and crop coefficient (K_c) used in this research.

ماه (Month)	ضریب تشت (K_p) Pan coefficient	ضریب گیاهی (K_c) Crop coefficient
فروردین (Mar-Apr)	0.6	0.12
اردیبهشت (Apr-May)	0.5	0.12
خرداد (May-Jun)	0.5	0.13
تیر (Jun-Jul)	0.5	0.13
مرداد (Jul-Aug)	0.5	0.14
شهریور (Aug-Sep)	0.5	0.13
مهر (Sep-Oct)	0.5	0.18
آبان (Oct-Nov)	0.5	0.15
آذر (Nov-Dec)	0.65	0.15
دی (Dec-Jan)	0.6	0.18
بهمن (Jan-Feb)	0.6	0.15
اسفند (Feb-Mar)	0.6	0.08

پس از مرحله استقرار نهال‌ها و اعمال تیمارهای کود سولفات پتاسیم (آبان تا اسفند ۱۳۹۸)، اعمال تیمارهای تنش آبی از ابتدای فروردین ۱۳۹۹ شروع شد و به مدت یک سال تا فروردین ۱۴۰۰ ادامه پیدا کرد. بدین منظور نیاز آبی هر گلدان بر اساس تیمارهای آزمایشی مشخص شده و با استفاده از آب‌پاش مدرج به هر گلدان افزوده شد. برای گیاهان شاهد (I1) ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه شد و در اختیار آنان قرار گرفت.

جدول ۳. ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در این پژوهش.

Table 3. Chemical properties of irrigation water used in this research.

رسانایی الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	نسبت جذب سدیم SAR	کاتیون‌های محلول (میلی‌اکی‌والان در لیتر) Soluble cations ($meq\ L^{-1}$)		
			Na^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
1.9	7.6	4.5	11.7	5.6	7.9

برای گیاهان تحت تنش آبی، مقادیر آب آبیاری در سطوح I2 و I3 به ترتیب برابر ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی شاهد محاسبه شده و به گیاهان داده شد. در واقع گیاهان دچار تنش آبی به‌ترتیب۲۰ و ۴۰ درصد آب کم‌تر نسبت به نیاز آبی واقعی خود دریافت کردند. برخی ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در آزمایش، در جدول (۳) ارائه شده است. عملیات داشت و مراقبت‌های باغی لازم برای تمامی نهال‌های مورد استفاده در آزمایش به‌طور یکسان انجام گرفت.

در پایان دوره آزمایشی (فروردین ۱۴۰۰)، ویژگی‌های فیزیولوژیک شامل شاخص کلروفیل (شاخص سبزینگی)، محتوای نسبی آب برگ (RWC)، درصد نشت یونی، غلظت پتاسیم برگ، و وزن تازه و خشک ریشه برای هر تیمار اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری شاخص کلروفیل (شاخص سبزینگی) با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (MINOLTA مدل SPAD-502) انجام شد. برای اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ از روش یاماساکی و دیلنبرگ (۴۹) استفاده شد. از هر نهال خرما تعداد چهار برگ در جهات مختلف جغرافیایی انتخاب شده و از هر برگ تعداد ۳ برگچه از برگچه‌های میانی جدا شد. در مجموع برای هر نهال ۱۲ برگچه گرفته شد. پس از تمیز کردن سطح برگچه‌ها تعداد ۵ قطعه یک سانتی‌متر مربعی به‌طور تصادفی تهیه شده و برای سنجش محتوای نسبی آب برگ استفاده شد. محتوای نسبی آب برگ (RWC) از طریق رابطه (۳) محاسبه شد:

$$RWC\ (\%) = [(FW-DW)/(TW-DW)]\times 100 \qquad (۳)$$

در رابطه فوق FW وزن تازه نمونه، TW وزن آماس نمونه و DW وزن خشک نمونه، هر سه بر حسب گرم است.

برای اندازه گیری درصد نشت یونی از روش لیندن و پالونن (۳۲) استفاده شد. بدین منظور صبح زود از هر نهال خرما تعداد چهار برگ در جهات مختلف جغرافیایی انتخاب شده و از هر برگ تعداد ۳ برگچه از برگچه‌های میانی جدا شد. در مجموع برای هر نهال ۱۲ برگچه گرفته شد و برای تعیین درصد نشت یونی مورد استفاده قرار گرفت.

برای تعیین پتاسیم نمونه‌های برگ، ۱۲ برگچه تصادفی از تمامی برگ‌های خشک شده نهال انتخاب شده و سپس آسیاب شدند. در مرحله بعد عصاره‌گیری توسط هضم به روش اکسیداسیون خشک و ترکیب با اسید هیدروکلریک انجام شده و غلظت پتاسیم برگ با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مورد سنجش قرار گرفت (۳۱). برای اندازه‌گیری وزن تازه و خشک ریشه نیز تمامی ریشه گیاه از خاک استخراج شده و با استفاده از ترازوی آزمایشگاهی و آون تهویه‌دار با رعایت روش کار علمی (۵۰) اندازه‌گیری شد.

تمام داده‌ها و صفات اندازه‌گیری‌شده پس از آزمون نرمالیته و بررسی نرمال بودن داده‌ها با توجه به طرح آزمایشی (فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹,۱) تجزیه واریانس شدند و میانگین تیمارهای مورد آزمایش با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

غلظت پتاسیم برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴)، اثر اصلی کاربرد کود سولفات پتاسیم بر غلظت پتاسیم برگ در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. اثر اصلی تنش آبی و نیز برهم‌کنش تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم بر این صفت معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین سطوح مختلف کاربرد سولفات پتاسیم نشان داد که با افزایش سطوح کاربرد سولفات پتاسیم، غلظت پتاسیم برگ روند افزایشی داشته است، به گونه‌ای که بیش‌ترین

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک نهال‌های خرما.

Table 4. Analysis of variance (ANOVA) of the effect of water stress and application of potassium sulfate on physiological traits of date palm plants.

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات (Means of squares)					
		غلظت پتاسیم برگ Leaf potassium concentration	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	نشت یونی Ion leakage	محتوای نسبی آب برگ Leaf relative water content	وزن تازه ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
بلوک Block	2	0.082^{ns}	33.868^{ns}	5.583^{ns}	0.156^{ns}	12560.00^{ns}	168.88^{ns}
تنش آبی Water stress	2	0.066^{ns}	73.005*	30.130**	135.771**	25806.66*	2562.22**
پتاسیم Potassium	4	0.120*	101.058**	31.493**	110.821**	16581.11*	592.22*
تنش آبی × پتاسیم Water stress × Potassium	8	0.048^{ns}	49.508*	21.959**	27.308^{ns}	7709.44^{ns}	203.88^{ns}
خطا Error	28	0.056	20.431	2.703	21.112	5790.95	149.84
کل Total	44	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات CV	-	13.48	8.22	5.56	6.74	19.64	12.72

**، * و ns به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵٪ و غیرمعنی‌دار است.

**, * and ns stand for significant effect at the levels of 1 and 5%, and non-significant effect, respectively.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد کود سولفات پتاسیم بر صفات رشدی و فیزیولوژیک نهال‌های خرما.

Table 5. Mean comparisons of the main effect of potassium sulfate application on growth and physiological traits of date palm plants.

تیمار Treatment	پتاسیم برگ (٪) Leaf potassium (%)	محتوای نسبی آب (٪) Relative water content (%)	وزن تازه ریشه (گرم در نهال) Root fresh weight (g/plant)	وزن خشک ریشه (گرم در نهال) Root dry weight (g/plant)
S1	1.61^{b}	64.8^{c}	385.5^{ab}	95.5^{abc}
S2	1.67^{ab}	66.4^{bc}	346.6^{b}	85.5^{c}
S3	1.80^{ab}	72.9^{a}	351.1^{b}	93.3^{bc}
S4	1.84^{ab}	65.8^{c}	401.1^{ab}	98.8^{ab}
S5	1.88^{a}	70.8^{ab}	452.2^{a}	107.7^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different (Duncan test, p<0.05).

غلظت پتاسیم برگ در بیش‌ترین سطح کاربرد کود سولفات پتاسیم یعنی تیمار S5 (کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم پتاسیم) برابر ۱/۸۸ درصد و کم‌ترین غلظت پتاسیم برگ در تیمار S1 (شاهد) برابر ۱/۶۱ درصد مشاهده شد که اختلاف بین بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر به لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۵).

در این پژوهش کاربرد کود سولفات پتاسیم اثر معنی‌داری بر

غلظت پتاسیم برگ داشت و سبب افزایش غلظت پتاسیم برگ نسبت به تیمار عدم کاربرد کود سولفات پتاسیم شد، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین غلظت پتاسیم برگ در کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم سولفات پتاسیم مشاهده شد. در این باره اهمیت پتاسیم به‌عنوان یک عنصر کلیدی در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی و تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش آبی کاملاً نمایان می‌شود. در پژوهش‌های مشابهی نیز کاربرد سولفات پتاسیم با چنین مکانیسمی سبب کاهش میزان خشکیدگی میوه‌های خرمای رقم مضافتی در زمان افزایش دما و کاهش درصد رطوبت نسبی هوا شد (۴۱) که نقش پتاسیم در مقاومت گیاه نسبت به تنش‌های محیطی را نشان می‌دهد. گیاهان برای مقابله با تنش خشکی نیاز زیادی به پتاسیم دارند چون در شرایط تنش خشکی کلروپلاست‌ها مقدار زیادی پتاسیم برای حفظ تثبیت CO_2 فتوسنتزی و پیشبرد فرایند فتوسنز نیاز دارند (۱۲ و ۲۳). گزارش شده است که کاربرد کود پتاسیم نیترات ۲٪ به‌عنوان یک راهکار مؤثر می‌تواند آثار منفی ناشی از تنش خشکی را بر صفات رشدی و فیزیولوژیک دانهال‌های *Citrus macrophylla* (از پایه‌های مرکبات) کاهش دهد (۲۱). علی‌حوری و حقایقی مقدم (۵) نیز گزارش کردند که با افزایش دور آبیاری غلظت پتاسیم در میوه اندکی افزایش یافته است. این روند تغییرات پتاسیم در ارتباط با نقش این عنصر در تنظیم فعالیت‌های متابولیکی و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی دانسته شد. نتایج پژوهش‌ها در گیاهان مختلف نشان داده است که کاربرد کود سولفات پتاسیم می‌تواند آثار منفی ناشی از تنش آبی را بر رشد گیاه با جلوگیری از آسیب غشای سلولی و افزایش تنظیم اسمزی کاهش دهد (۹، ۱۳ و ۲۷). نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی دارد (۹، ۱۳ و ۲۷).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم بر میزان شاخص کلروفیل و درصد نشت یونی برگ نهال‌های خرما.

Table 6. Mean comparisons of the interaction effect of water stress and potassium sulfate application on chlorophyll index and ion leakage percentage of leaf in date palm plants.

تیمار Treattment	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	نشت یونی (٪) Ion leakage (%)
I1S1	58.63^{abc}	28.00^{cde}
I1S2	52.51^{bc}	27.43^{cde}
I1S3	53.58^{bc}	28.39^{cde}
I1S4	59.95^{ab}	28.87^{cd}
I1S5	62.61^{a}	28.92^{cd}
I2S1	50.40^{c}	33.25^{ab}
I2S2	51.81^{bc}	29.44^{cd}
I2S3	54.88^{abc}	26.74^{de}
I2S4	53.14^{bc}	28.46^{cde}
I2S5	56.70^{abc}	28.01^{cde}
I3S1	42.61^{d}	34.75^{a}
I3S2	54.90^{abc}	35.92^{a}
I3S3	56.98^{abc}	30.59^{bc}
I3S4	56.46^{abc}	28.79^{cd}
I3S5	58.78^{abc}	25.42^{e}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different (Duncan test, $p<0.05$).

شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که آثار اصلی تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم بر شاخص کلروفیل برگ به‌ترتیب در سطوح احتمال ۵ و ۱٪ معنی‌دار شدند. اثر برهم‌کنش تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم نیز بر این صفت در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد. بیش‌ترین میزان شاخص کلروفیل برگ در بین تمامی تیمارها، به‌ترتیب در تیمار I1S5 (کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم پتاسیم در سطح اول تنش آبی یا شاهد) برابر ۶۲/۶۱ و در تیمار I1S4 برابر ۵۹/۹۵ مشاهده شد که این دو تیمار با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند. کم‌ترین میزان کلروفیل در تیمار I3S1 برابر ۴۲/۶۱ مشاهده شد که بین بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر مشاهده شده اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۶). تیمار I3S5 در بین تیمارهای سطح سوم تنش آبی دارای بیش‌ترین مقدار این صفت (۵۸/۷۸) و تیمار I2S5 نیز در بین تیمارهای سطح دوم تنش آبی دارای بیش‌ترین مقدار آن (۵۶/۷۰) بودند که این مقادیر با عدم کاربرد کود

سولفات پتاسیم در همان سطوح تنشی دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۶). در مجموع کاربرد کود سولفات پتاسیم توانسته است در تمامی سطوح تنش آبی باعث افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ نسبت به شرایط عدم کاربرد کود سولفات پتاسیم شود و در این میان کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم پتاسیم در سطوح مختلف تنشی اثرگذاری بهتر و با اختلاف معنی‌دار داشته است. کاربرد پتاسیم توانسته است در تمامی سطوح تنش آبی باعث افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ نسبت به عدم کاربرد پتاسیم شود و در این میان کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم پتاسیم بهترین اثر را داشته است. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در شرایط تنش آبی میزان کلروفیل گیاهان کاهش پیدا می‌کند. در این پژوهش نیز کاهش شاخص کلروفیل در شرایط تنش آبی دیده شد. در واقع تنش آبی با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن[1] در کلروپلاست‌ها، سبب می‌شود که غشای کلروپلاستی صدمه دیده و فعالیت زیستی خود را از دست دهد زیرا که کلروفیل یکی از هدف‌های مورد حمله گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) است (۲۶). آنزیم NADPH اکسیداز از آنزیم‌هایی است که در اثر تنش‌های محیطی مانند شوری و خشکی فعال می‌شود و در واقع یکی از منابع مهم تولید گونه‌های فعال اکسیژن است. در شرایط تنشی عناصر پتاسیم و روی این آنزیم را مهار کرده و در نتیجه موجب کاهش اثر تنش می‌شوند (۱۱). به‌نظر می‌رسد پتاسیم می‌تواند از فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش آبی جلوگیری کند و به‌دنبال آن با جلوگیری از تخریب غشای کلروپلاستی، محتوای کلروفیل گیاه را حفظ کند. نتایج این پژوهش با نتایج کیان فرد (۲۹) در انار، رنجبر کبوترخانی و همکاران (۳۹) در پسته، مهرگان و همکاران (۳۳) در آلترنانترا، شفیک و همکاران (۴۴) در فلفل و التوهامی و همکاران (۱۶) در نخود فرنگی همخوانی دارد که گزارش کردند کاربرد کود سولفات پتاسیم سبب افزایش شاخص سبزینگی شده است.

نشت یونی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴)، آثار اصلی تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم و نیز برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ بر میزان نشت یونی برگ معنی‌دار شد. بیش‌ترین میزان نشت یونی در تیمارهای I3S2 و I3S1 به‌ترتیب با مقادیر ۳۵/۹۲ و ۳۴/۷۵ درصد مشاهده شد. کم‌ترین میزان نشت یونی نیز در تیمار I3S5 به مقدار ۲۵/۴۲ ثبت شد که بین بیش‌ترین مقادیر مشاهده شده و کم‌ترین مقدار آن تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۶). افزایش میزان تنش آبی به‌ویژه در سطح سوم تنش آبی سبب افزایش میزان نشت یونی شد و کاربرد کود سولفات پتاسیم توانست میزان نشت یونی را در مقایسه با عدم کاربرد آن به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم پتاسیم در بین سطوح مختلف کاربرد کود سولفات پتاسیم و تنش‌های آبی، مؤثرترین مقدار در کاهش میزان نشت یونی بوده است. گزارش‌ها نشان می‌دهد که آسیب به غشای سلولی گیاهان تحت تنش آبی با افزایش در تولید گونه‌های فعال اکسیژن در ارتباط است. تجمع این مواد در شرایط تنش آبی سبب اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع در غشای پلاسمایی می‌شود؛ بنابراین پایداری غشاهای زیستی بیانگر مقاومت در برابر تنش آبی است (۴۸) در این پژوهش، سولفات پتاسیم توانست درصد نشت یونی را کاهش دهد. در این باره گزارش شده است کاربرد کود سولفات پتاسیم با مهار گونه‌های فعال اکسیژن مانع تخریب غشا و کاهش میزان نشت یونی می‌شود (۳۶).

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که آثار اصلی تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند، اما برهم‌کنش تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم بر این صفت معنی‌دار نشد. افزایش سطوح تنش آبی نسبت به شاهد سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ شد به‌گونه‌ای که بیش‌ترین محتوای نسبی آب

1. Reactive oxygen species

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر اصلی تنش آبی بر محتوای نسبی آب برگ و وزن تازه و خشک ریشه نهال‌های خرما.

Table 7. Mean comparisons of the main effect of water stress on leaf relative water content and fresh and dry weights of root in date palm plants.

تیمار Treattment	محتوای نسبی آب برگ (٪) Leaf Relative Water Content (%)	وزن تازه ریشه (گرم در نهال) Root Fresh Weight (g/plant)	وزن خشک ریشه (گرم در نهال) Root Dry Weight (g/plant)
I1	71.51[a]	426.6[a]	110[a]
I2	65.74[b]	391.3[ab]	94.6[b]
I3	67.13[b]	344[b]	84[c]

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different (Duncan test, $p<0.05$).

برگ در تیمار I1 (شاهد) برابر ۷۱/۵ درصد مشاهده شد و در سطوح I2 و I3 به ترتیب مقادیر ۶۵/۷ و ۶۷/۱ درصد برای آن ثبت شد. اختلاف بین مقدار RWC در تیمار I1 با مقادیر آن در تیمارهای I2 و I3 معنی‌دار شد اما بین دو تیمار I2 و I3 اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد کود سولفات پتاسیم نیز نشان داد که کاربرد کود سولفات پتاسیم نسبت به عدم کاربرد آن سبب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ شد به‌گونه‌ای که بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ در سطوح S3 و S5 به‌ترتیب با مقادیر ۷۲/۹ و ۷۰/۸ درصد مشاهده شد که با سطح شاهد (یعنی S1) و سایر سطوح دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهد که تأمین آب گیاه به مقدار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه سبب حفظ محتوای رطوبت در منطقه ریشه شده و جذب آب و عناصر غذایی کافی را در طول دوره رشد گیاه تضمین می‌کند. در دسترس بودن کافی آب در خاک سبب ایجاد شرایطی مناسب برای افزایش تحرک عناصر غذایی در خاک و به‌دنبال آن بهبود جذب مواد معدنی و تولید کربوهیدرات‌ها می‌شود که در نهایت سبب افزایش رشد رویشی می‌شود (۱۷). در این پژوهش با افزایش سطح تنش آبی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. کاهش محتوای نسبی آب برگ نشان‌دهنده کاهش آماس سلولی در نتیجه کاهش دسترسی به آب برای فرآیند رشد و نمو سلولی است. در اثر تنش آبی میزان آب مصرفی گیاه کاهش می‌یابد که می‌تواند مربوط به کاهش پتانسیل آب محیط ریشه و کاهش توان گیاه در جذب آب، افزایش مقاومت در مسیر جریان آب در گیاه و یا افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش تعرق باشد (۳۷). کاربرد کود سولفات پتاسیم سبب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ شد. به‌نظر می‌رسد افزایش محتوای نسبی آب برگ در نتیجه کاربرد کود سولفات پتاسیم می‌تواند ناشی از افزایش تولید اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین و در نتیجه افزایش جذب آب در گیاه باشد (۳۳). افزایش محتوای نسبی آب برگ با کاربرد کود سولفات پتاسیم در شرایط تنش خشکی در گیاهانی همچون انار (۲۹)، پسته (۲۴)، ختمی چینی (۱۵)، طالبی (۲۸) و آلترناترا (۳۳) مشاهده شد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

وزن تازه ریشه نهال

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که آثار اصلی تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم بر وزن تازه ریشه در نهال در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند، اما اثر برهم‌کنش تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم بر این صفت معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش آبی نشان داد که با افزایش سطوح تنش آبی وزن تازه ریشه کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد یافت (جدول ۷). مقایسه میانگین سطوح مختلف پتاسیم نیز نشان داد که بیش‌ترین و کمترین میزان وزن تازه ریشه به ترتیب در سطوح S5 (کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم پتاسیم) و S2 با مقادیر ۴۵۲/۲ و ۳۴۶/۶ گرم در نهال مشاهده شد که تفاوت بین بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر به لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۵). بهبود رشد ریشه گیاه در نتیجه کاربرد کود سولفات پتاسیم

می‌تواند ناشی از نقش پتاسیم در تغذیه گیاه و افزایش نقل و انتقال مواد تولیدی و سنتز پروتئین باشد (۱).

وزن خشک ریشه نهال

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴)، آثار اصلی تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم بر وزن خشک ریشه در نهال به‌ترتیب در سطوح احتمال ۱ و ۵٪ معنی‌دار شدند، اما اثر برهم‌کنش تنش آبی و کاربرد کود سولفات پتاسیم بر این صفت معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش آبی نشان داد که با تشدید تنش آبی وزن خشک ریشه کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا کرده است به‌گونه‌ای که بیش‌ترین وزن خشک ریشه در سطح I1 (شاهد) برابر ۱۱۰ گرم در نهال و کم-ترین مقدار آن در سطح تنش آبی I3 برابر ۸۴ گرم در نهال مشاهده شد (جدول ۷). مقایسه میانگین سطوح مختلف پتاسیم نیز نشان داد که بیش‌ترین و کمترین مقادیر وزن خشک ریشه به ترتیب در سطوح S5 (کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم پتاسیم) و S2 با مقادیر ۱۰۷/۷ و ۸۵/۵ گرم در نهال ثبت شد که دارای تفاوت آماری معنی‌دار بود (جدول ۵).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش آبی دارای آثار منفی بر وزن تازه و خشک ریشه و صفات فیزیولوژیک نهال‌های خرما مانند محتوای نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل و درصد نشت یونی است. از طرفی کاربرد کود سولفات پتاسیم سبب بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک نهال‌های کشت بافتی خرما در سطوح مختلف تنش آبی شد. با کاربرد کود سولفات پتاسیم در شرایط تنش آبی شدید، مقدار کلروفیل نسبت به بدون کاربرد پتاسیم افزایش یافت و درصد نشت یونی نیز نسبت به بدون کاربرد پتاسیم کاهش پیدا کرد. در مجموع کاربرد خاکی ۱۰۰ گرم سولفات پتاسیم (سولوپتاس محلول در آب) برای هر نهال به‌عنوان کود مؤثر در مقابله با تنش‌های آبی در زمان کاشت نهال و احداث نخلستان‌های جدید پیشنهاد می‌شود. با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود که آثار کاربرد کودهای پتاسیمی بر رشد و عملکرد میوه ارقام تجاری خرما در شرایط تنش‌های آبی بررسی شود.

منابع مورد استفاده

1. Abd El-Gawad, H.G., Abu El-Azm, N.A.I., Hikal, M.S., 2017. Effect of potassium silicate on tuber yield and biochemical constituents of potato plants grown under drought stress conditions. *Middle East Journal of Agriculture Research* 6: 718–731.
2. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Mohammadnia Afroozi, Sh., Abbas Taqani, R., Yari, Sh., Kalantari, M., 2021. Agricultural Statistics of 2020 year. Volume 3: Horticultural Products. Tehran, Ministry of Jihad Agriculture, Deputy of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center. (in Persian)
3. Alihouri, M., 2017. Lysimertic determination of water requirement and crop coefficient of date palm in vegetative growth phase. *Journal of Water Research in Agriculture* 31(3): 329–340. (in Persian with English abstract)
4. Alihouri, M., 2017. Appropriate distance and depth of irrigation in the vegetative growth stage of date palm Barhi cultivar. *Water Management in Agriculture* 4(1): 21–28. (in Persian with English abstract)
5. Alihouri, M., Haghayeghi Moghaddam, S.A., 2011. Effects of distance and amount of irrigation on quantitative and qualitative characteristics of fruit in date palm of Barhi cultivar. *Journal of Soil and Water Conservation Research* 18(3): 101–116. (in Persian with English abstract)
6. Alihouri, M., Torahi, A., 2011. Effects of distance and irrigation rate on the establishment and vegetative growth of date palm rootstocks. In: Third National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management, Ahvaz, Iran, March 1–3, pp.123–131. (in Persian)
7. Alihouri, M., Torahi, A., Moazed, H., 2013. The effect of irrigation cycle on the establishment and vegetative growth of date palm rootstocks of Estamaran cultivar. *Journal of Water Engineering* 1(1): 48–57. (in Persian with English abstract)
8. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.

9. Aown, M., Raza, S., Saleem, M.F., Anjum, S.A., Khaliq, T., Wahid, M.A., 2012. Foliar application of potassium under water deficit conditions improved the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *The Journal of Animal and Plant Sciences* 22(2): 431–437.
10. Broschat, T.K., 1994. The effects of leaf removal, leaf tying and overhead irrigation on transplanted pygmy date palm. *Journal of Arboriculture* 20(4): 210–214.
11. Cakmak, I., 2002. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. In: International Potash Institute (IPI) Golden Jubilee Congress, Basel, Switzerland, October 8–10, pp. 1952–2002.
12. Cakmak, I., 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168: 521–530.
13. Clavijo-Sanchez, N., Florez-Velasco, N., Restrepo-Diaz, H., 2015. Potassium nutritional status affects physiological response of tamarillo plants (*Cyphomandra betacea* Cav.) to drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17: 1839–1849.
14. Dbara, S., Gader, T., Ben mimoun, M., 2016. Improving yield and fruit quality of peach cv. 'Flordastar' by potassium foliar spray associated to regulated deficit irrigation. *Journal of New Sciences* 28(10): 1631–1637.
15. Egilla, J.N., Davies, F.T., Boutton, T.W., 2005. Drought stress influences leaf water content, photosynthesis and water use efficiency of *Hibiscus rosa-sinensis* at three potassium concentrations. *Photosynthetica* 43(1): 135–140.
16. El-Tohamy, W.A., Ghoname, A.A., Abou-Hussein, S.D., 2006. Improvement of pepper growth and productivity in sandy soil by different fertilization treatments under protected cultivation. *Journal of Applied Sciences Research* 2(1): 8–12.
17. Ezzo, M.I., Glala, A.A., Habib, H.A.M., Helaly, A.A., 2010. Response of sweet pepper grown in sandy and clay soil lysimeters to water regimes. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 8: 18–26.
18. FAO. 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available online at: https://www.fao.org
19. Farahani, H., Valadabadi, A., Daneshian, J., Khalvati, M., 2009. Medicinal and aromatic plants farming under drought conditions. *Journal of Horticulture and Forestry* 1(6): 86–92.
20. Fernandez, J.A., Balenzategui, L., Ban, S., Franco, J.A., 2006. Induction of drought tolerance by paclobutrazol and irrigation deficit in (*Phillyrea angustifolia*) during the nursery period. *Scientia Horticulturae* 107 (3): 277–283.
21. Gimeno, V., Diaz-Lopez, L., Simon-Grao, S., Martinez, V., Martinez-Nicolas, J.J., Garcia-Sanchez, F., 2014. Foliar potassium nitrate application improves the tolerance of *Citrus macrophylla L.* seedlings to drought conditions. *Plant Physiology and Biochemistry* 83: 308–315.
22. Goodarzi, S., ShabanAli Fami, H., Movahed Mohammadi, H., Jalalzadeh, M., 2011. Investigating the problems and limitations of agricultural water management from the perspective of farmers in Karaj city. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research* 2-42 (2): 243–253. (in Persian with English abstract)
23. Gupta, S.A., Berkowitz, G.A., 1987. Osmotic adjustment, symplast volume, and nonstomatally mediated water stress inhibition of photosynthesis in wheat. *Plant Physiology* 85: 1040–1047.
24. Habibi, G., Hajiboland, R., 2013. Alleviation of drought stress by silicon supplementation in pistachio (*Pistacia vera* L.) plants. *Folia Horticulturae* 25(1): 21–29.
25. Izadi, M., Pouzesh Shirazi, M., 2013. Study the response of three date palm cultivars of Kabkab, Zahidi and Shahabi to deficit irrigation in Bushehr, Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management* 5(1): 59–66. (in Persian with English abstract)
26. Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R., Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology* 11: 100–105.
27. Khanna-Chopra, R., Yasudev, S., Maheswari, M., Srivastava, A., Bahukhandi, D., 1994. K^+, osmoregulation and drought tolerance-An overview. *Proceeding of Indian National Science Academy* 61(1): 51–56.
28. Khosravi, M., Arvin, M.J., Sarcheshmehpour, M., 2012. The effect of foliar application of calcium and potassium on increasing drought resistance of cantaloupe plant in field conditions. In: 11th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction. Kerman, Iran, February 7–9. (in Persian)
29. Kianfard, H., 2016. Effect of Foliar Application of Potassium Nitrate and Calcium Nitrate on Drought Tolerance of Pomegranate Cultivar Malas Saveh. MSc Thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (in Persian with English abstract)
30. Knudsen, D., Peterson, G.A., Preatt, P.E., 1982. Lithium, sodium and potassium. In: Page, A.L., Keeney, D.R., Baker, D.E., Miller, R.H., Ellis, R.J., Rhoades, J.D. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, Second Edition, ASA/SSSA, Madison, WI, pp. 225–247.
31. Lester, J., Birkett, J., 1999. Microbiology and Chemistry for Environmental Scientists and Engineers. CRC Press, London.
32. Linden, L., Palonen, P., 2000. Relating freeze-induced electrolyte leakage measurements to lethal temperature in red raspberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 125(4): 429–435.

33. Mehregan, B., Mousavi-Fard, S., Rezaei Nejad, A., 2018. Effect of foliar application of potassium silicate on some morphological, physiological and biochemical characteristics of *Alternanthera repens* L. under drought stress. *Crops Improvement (Journal of Agricultural Crops Production)* 20(1): 299–314. (in Persian with English abstract)
34. Najihah, T.S., Ibrahim, M.H., Mohd Zain, N.A., Nulit, R., Wahab, P.E.M., 2020. Activity of the oil palm seedlings exposed to a different rate of potassium fertilizer under water stress condition. *AIMS Environmental Science* 7(1): 46–68.
35. Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. Phosphorous. In: Page, A.L., Keeney, D.R., Baker, D.E., Miller, R.H., Ellis, R.J., Rhoades, J.D. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, Second Edition, ASA/SSSA, Madison, WI, pp. 403–431.
36. Ouzounidou, G., Giannakoula, A., Ilias, I., Zamanidis, P., 2016. Alleviation of drought and salinity stresses on growth, physiology, biochemistry and quality of two *Cucumis sativus* L. cultivars by Si application. *Brazilian Journal of Botany* 39(2): 531–539.
37. Pascal, S.D., Barbieri, G., Sifola, M.I., Ruggiro, C., DePascal, S., 1995. Gas exchange, water relation and growth of eggplant (*Solanum melongena* L.) as affected by salinity of irrigation water. *Acta Horticulturae* 412: 388–395.
38. Peech, M., 1965. Hydrogen ion activity. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, ASA, Madison, WI, pp. 914–926.
39. Ranjbar Kabutarkhani, M., Ismailizadeh, M., Karimi, H., Shamshiri, M.H., 2014. Study of the effect of foliar application of silicon and potassium elements on seedling vegetative growth of pistachio cultivar Badami Riz. In: 1st Iran's Pistachio Conference, Kerman. Iran. August-September 31–1. (in Persian with English abstract)
40. Rhoades, J.D., 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, R.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Sumner, M.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, ASA/SSSA, Madison, 417–435.
41. Rusta, M.J., 2003. The effect of foliar application of potassium sulfate and calcium chloride on the wilting and drying of date clusters of Mazafati cultivar. *Soil and Water Sciences* 17 (2): 123–131. (in Persian with English abstract)
42. Sadrzadeh, M., Moalemi, N., 2006. Effect of water stress and potassium on growth characteristics of young olive plants cvs. Baghmalek and Zard. *Agricultural Research: Water, Soil and Plants in Agriculture* 6 (4): 1–10. (in Persian with English abstract)
43. Salardini, A., 2005. Soil Fertility. University of Tehran Press, Tehran. (in Persian)
44. Shafeek, M.R., El-Zeiny, A.H., Ahmed, M.E., 2005. Effect of natural phosphate and potassium fertilizer on growth, yield and seed composition of pea plants in new reclaimed soil. *Asian Journal of Plant Science* 4: 608–612.
45. Shafi, U.K., Atiq, A.A., Nazeer, A., Samy, S., Muhammad, J., Mehwish, K., Saeed, A., Ahmad, I.A., Khalid, H.A., Esmat, F.A., 2022. Investigating the role of potassium and urea to control fruit drop and to improve fruit quality of ''Dhakki" date palm. *Saudi Journal of Biological Sciences* 29: 3806–3814.
46. Tabatabai, S.J., 2013. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Tabriz University Press, Tabriz. (in Persian)
47. Walkley, A., Black, I.A., 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29–37.
48. Wen, X., Gu, C., Zhu, D., Liu, P., Lai, Y., Zeng, Q., 2017. Water stress effects on cell membrane lipid oxidation and calcification of chestnut (*Castanea mollissima* Bl.). *Postharvest Biology and Technology* 126: 34–39.
49. Yamasaki, S., Dillenburg, L.R., 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasilleira de Fisiologia Vegetal* 11(2): 69–75.
50. Yousefi, R., 2016. The Effect of Micro- and Nanoparticles of Silicon Dioxide on Some Morphological, Physiological and Biochemical Characteristics of Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). PhD Thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (in Persian with English abstract)

Effect of Potassium Sulfate Application on Some Physiological Characteristics of Date Palm Plantlet of Zahedi Cultivar (*Phoenix dactylifera* cv. Zahdei) Under Water Stress

R. Yousefi[1*], M. Alihouri[2] and H. Dialami[1]

(Received: 22 July 2022; Accepted: 26 September 2022)

Abstract

This research was conducted to investigate the effect of potassium sulfate application on some physiological characteristics of tissue culture-derived date palm plants under water stress conditions. The study was conducted as factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications. After complete establishment of plants, potassium sulfate at five levels (zero, foliar application of 2 and 4 g L^{-1}, soil application of 50 and 100 g for each plant) and then water stress at three levels (100, 80 and 60% of cumulative evaporation from Class A evaporation pan) were applied. The results showed that with the application of potassium sulfate at high levels of water stress, the chlorophyll index increased and ion leakage percentage decreased. In the third level of water stress without application of potassium, the chlorophyll index was recorded at 42.61, but with the soil application of 100 g potassium sulfate, the chlorophyll index significantly increased to 58.78. The ion leakage of 34.75% was also observed at the third level of water stress without the application of potassium sulfate, while with the application of 100 g potassium sulfate, it reduced significantly to 25.42%. The potassium concentration in leaves in the treatment without potassium application was 1.61%, while in the treatment with soil application of 100 g of potassium sulfate, the value of 1.88% was recorded with a significant increase. Overall, soil application of 100 g of water-soluble potassium sulfate for each plant had the best results in terms of the physiological responses of date palm plant in dealing with water stress conditions.

Keywords: Chlorophyll index, Foliar application, Ion leakage, Soil application.

Background and Objective: Date palm (*Phoenix dactylifera*) is one of the most important horticultural products in arid and semi-arid areas of Iran**.** Considering the high water requirement of dates and the lack of sufficient water resources in the country, any water stress during the first months after date planting can lead to the drying of young palms (1). Potassium plays an essential role in alleviating water stress in plants (5). The results of many researches in different plants showed that the application of potassium can reduce the negative effects of water stress on plant growth by preventing cell membrane damage and increasing

1- Date Palm and Tropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.
2- Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
* Corresponding author, Email: r.yousefi66@areeo.ac.ir

osmotic regulation (2, 3 and 4). The purpose of this research was to investigate the effect of potassium sulfate application on some physiological characteristics of "Zahedi" cultivar of date palm plants under water stress after planting.

Methods: This research was carried out as a factorial experiment based on a randomized complete block design with 15 treatment combinations in 3 replications on 45 tissue culture-drived date plants of the "Zahedi" cultivar in Ahvaz Date Palm and Tropical Fruits Research Center. The first factor was water stress at three levels (irrigation supplied based on 100, 80 and 60% of cumulative evaporation from the class A evaporation pan) and the second factor was potassium application at five levels (no application of potassium, foliar application of 2 and 4 g L^{-1}, soil application of 50 and 100 g for each plants). At the end of experiment, physiological characteristics including chlorophyll index, leaf relative water content, ion leakage percentage, leaf potassium concentration and fresh and dry weights of roots were measured. Data were analyzed using SAS version 9.1 statistical software and means were compared with Duncan's multiple range test at 5% probability level.

Results: The application of potassium had a significant effect on leaf potassium and increased it compared to the control. The highest leaf chlorophyll index among all treatments was observed in I1S5 treatments (soil application of 100 g of potassium at the first level of water stress or control). The increase in water stress caused an increase in ion leakage, and the application of potassium could significantly reduce the ion leakage. The main effects of water stress and potassium application on root fresh weight were significant at 1% probability level. These effects on root dry weight were significant at 1 and 5% probability levels, respectively.

Conclusions: The results of this research showed that water stress has negative effects on fresh and dry weights of plant roots and physiological traits of date palm plants (e.g., relative water content of leaves, chlorophyll index, percentage of ion leakage). The application of potassium sulfate fertilizer improved the physiological characteristics of tissue culture-derived date palm plants at different levels of water stress. With the application of potassium sulfate fertilizer at high levels of water stress, compared to the treatment without potassium application, the amount of chlorophyll increased and the percentage of ion leakage decreased. The application of potassium sulfate caused a significant increase in the relative water content of the leaves. Overall, the soil application of 100 g of potassium sulfate fertilizer for each date palm plant is suggested as an effective fertilizer rate in dealing with water stress at the time of planting and building new date palm groves.

References:

1. Alihouri, M., Torahi, A., Moazed, H., 2013. The effect of irrigation cycle on the establishment and vegetative growth of date palm rootstocks of Estamaran cultivar. *Journal of Water Engineering* 1(1): 48–57. (in Persian with English abstract)
2. Clavijo-Sanchez, N., Florez-Velasco, N., Restrepo-Diaz, H., 2015. Potassium nutritional status affects physiological response of tamarillo plants (*Cyphomandra betacea* Cav.) to drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17: 1839–1849.
3. Farahani, H., Valadabadi, A., Daneshian, J., Khalvati, M., 2009. Medicinal and aromatic plants farming under drought conditions. *Journal of Horticulture and Forestry* 1(6): 86–92.
4. Khanna-Chopra, R., Yasudev, S., Maheswari, M., Srivastava, A., Bahukhandi, D., 1994. K^+, osmoregulation and drought tolerance-An overview. *Proceeding of Indian National Science Academy* 61(1): 51–56.
5. Sadrzadeh, M., Moalemi, N., 2006. Effect of water stress and potassium on growth characteristics of young olive plants cvs. Baghmalek and Zard. *Agricultural Research: Water, Soil and Plants in Agriculture* 6 (4): 1–10. (in Persian with English abstract)