برهمکنش کود پتاسیم و تنش آبی بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه دارویی چای ترش

پریا راشکی، حلیمه پیری[۱] *و عیسی خمری

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران.

Paria.rashki@gmail.com

استادیار گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران.

H_piri2880@uoz.ac.ir

استادیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران.

Ikhammari@uoz.ac.ir

چکیده

در این تحقیق، اثر مقادیر مختلف آب آبیاری و کود پتاسیم بر چای ترش مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح کرت‌های یک‌بارخرد شده به صورت بلوک کامل تصادفی در سه تکرار با چهار تیمار آب آبیاری (I1 ، I2 ، I3 و I4 به ترتیب معادل ۴۰٪، ۶۰٪، ۸۰٪ و ۱۰۰٪ نیازآبی‌گیاه) سه سطح پتاسیم (K1، K2 و K3 به ترتیب معادل ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیازکودی پتاسیم) به‌عنوان کرت فرعی انجام شد. در پایان آزمایش، پارامترهای کمی شامل ارتفاع گیاه، وزن و تعداد کپسول، عملکرد خشک و کارآیی مصرف آب آبیاری اندازه‌گیری شد. همچنین، پارامترهای کیفی شامل مقدار آنتوسیانین، پروتئین و کربوهیدرات برای بررسی اثرات تنش آبی و کودی بر کیفیت چای ترش اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش نشان داد که اثرات ساده آب آبیاری و کود پتاسیم بر تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار گردید. بیشترین عملکرد از تیمارهای ۱۰۰ ٪ مصرف کود پتاسیم و ۸۰ ٪ نیاز آبی به‌دست آمد. بیشترین بهره‌وری آب آبیاری در تیمار ۶۰ ٪ نیاز آبی ۱۰۰٪ مصرف کود پتاسیم به‌دست آمد اما از این نظر بین تیمارهای ۶۰٪ و ۸۰٪ نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار حاصل نشد. از نظر کیفی، با کاهش مقدار آب آبیاری تا ۶۰٪ نیاز آبی گیاه و کاهش مصرف کود پتاسیم، مقدار آنتوسیانین، درصد پروتئین و کربوهیدرات افزایش یافت. اما از این نظر بین تیمار ۵۰٪ و ۷۵٪ مصرف کود پتاسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. بنابراین با توجه به وضعیت آب منطقه و کاهش منابع آبی، به‌کار بردن ۸۰٪ نیاز آبی باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و مصرف ۷۵٪ کود پتاسیم باعث افزایش کیفیت و تعدیل خسارات ناشی از تنش خشکی در چای ترش می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: کم آبیاری،آنتوسیانین، کربوهیدرات، پروتئین

---

[۱] .آدرس نویسنده مسئول: زابل، گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل.

* – دریافت: بهمن ۱۳۹۸ و پذیرش: خرداد ۱۳۹۹

مقدمه

بیشترین کاهش عملکرد در گیاهان به‌واسطه تنش‌های غیرزنده مانند خشکی، شوری، درجه حرارت، کمبود عناصر غذایی و اسیدیته خاک گزارش شده است. تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که ٤٠ تا ٦٠ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به این موضوع که بخش کشاورزی با این واقعیت روبرو است که در آینده نزدیک بایستی ضمن مصرف آب کمتر، تولید بیشتری را عرضه نماید، بنابراین، تحقیق و مطالعه در مورد راهبردهای افزایش بهره‌وری آب، نقش حیاتی در توسعه کشاورزی خواهد داشت (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۹). مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش مصرف منابع آب داشته باشد (لی و همکاران، ۲۰۱٦).

اعمال مدیریت صحیح آبیاری و کاشت گیاهان مقاوم به خشکی، به‌منظور حفظ ذخیره رطوبتی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک ازجمله اقدامات مؤثر برای افزایش بازدهی مصرف آبیاری و در نتیجه بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب کشور می‌باشد. چای ترش یکی از گیاهان کم‌نیاز و مقاوم به خشکی است (اکبری نیا و همکاران، ۱۳۸۲). چای ترش با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* متعلق به خانواده *Malvaceae* و بومی آفریقا بوده در تمام مناطق استوایی و گرم کشت می‌شود و به‌عنوان گیاهی دارویی مورد توجه است (عزیز و همکاران، ۲۰۰۷). این گیاه دو منظوره است که به‌منظور استفاده خوراکی (کاسبرگ) و با استفاده از الیاف یا چوب، یا هر دو نوع مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (عبید عسکری و سولانگ، ۱۹۹۵). از برگ آن به‌عنوان سبزی خوراکی، از دانه‌های آن به‌عنوان یک منبع غنی از پروتئین و از کاسبرگ‌های آن برای تهیه نوشیدنی‌های مختلف، بستنی، شکلات و کیک استفاده می‌شود (دلگادو و همکاران، ۲۰۰۲). کاسبرگ چای ترش به‌عنوان دارو قابلیت استفاده دارد. کاسبرگ‌های چای ترش دارای اسیدهای آلی اگزالیک، مالتیک، سیتریک، تارتاریک و همچنین، ویتامین C، پروتیئن، مواد معدنی و آنتوسیانین می‌باشد (احمد و همکاران، ۲۰۱۱). رنگ قرمز چای ترش به‌عنوان رنگ طبیعی در مواد غذایی، محتوای تغذیه‌ای برگ و خواص درمانی آن در کاهش فشار خون باعث افزایش روزافزون این گیاه دارویی در اروپا شده است (مکلینتوک و التحیر، ۲۰۰٤). با توجه به اثرات سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی در سال‌های اخیر صنایع داروسازی، پزشکان و گروه‌های تحقیقاتی بسیاری از کشورها توجه خود را به منابع‌طبیعی و گیاهان دارویی معطوف ساخته‌اند. به‌طوری که هم اکنون مزارع وسیع آزمایشی و تولیدی گیاهان دارویی وجود دارد که با افزایش مصرف آن‌ها نیاز به توسعه کشت، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح، ضروری می‌باشد (هانسون و اسمکینز، ۲۰۰۹). با توجه به افزایش جمعیت دنیا و نیاز روزافزونی که صنایع داروسازی به گیاهان دارویی به‌عنوان مواد اولیه دارو دارند، تحقیق بیشتر پیرامون این دسته از گیاهان ضروری و بررسی راهکارهای مختلف جهت افزایش عملکردکمی و کیفی این گیاهان از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرف دیگر برای صرفه-جویی بیشتردر آب مصرفی و افزایش عملکرد در واحد سطح، می‌توان با اصلاح الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی و با مدیریت صحیح آب در مزرعه، کمبود و محدودیت منابع آبی کشور را تا حدودی جبران کرد. تنش خشکی عامل اصلی برای کاهش عملکرد ٥٠ درصد از محصولات زراعی می‌باشند (والی و انگوین، ۲۰۰٦). تحقیقات نشان داده است که ضمن اعمال کم آبیاری با مصرف صحیح کودهای شیمیایی، می‌توان مقاومت گیاهان به خشکی و نیز بازده تولید محصولات کشاورزی را افزایش داد (فرجی و همکاران، ۲۰۰۰). باباتند و موفرکی (۲۰۰٦) در آزمایشی بر روی چای ترش با پنج دور آبیاری به فاصله ٥، ۷، ۹ و ۱۱ روز یک بار گزارش کردند با افزایش عمق آب آبیاری، عملکرد افزایش پیدا کرد و بالاترین عملکرد از آبیاری هر هفته یک بار به‌دست آمد. ال بورای و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که بالاترین عملکرد چای ترش در شرایط آبیاری با عمق‌های

مختلف، در آبیاری با ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه می‌باشد. گنجعلی و همکاران (۱۳۹٦) عملکرد چای ترش را در سطوح مختلف کود پتاسیم به‌عنوان فاکتور اصلی و کود فسفر و نیتروژن به‌عنوان فاکتور فرعی در منطقه سراوان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کود فسفر و پتاسیم می‌تواند نقش مؤثری در جلوگیری از کاهش عملکرد چای ترش در شرایط آب و هوایی سراوان واقع در استان سیستان و بلوچستان داشته باشد. اکنبی و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و فسفر و پتاس ۱۰-۱۰-۲۰ به همراه ۵ تن در هکتار کمپوست باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی چای ترش می‌گردد. بررسی‌های اخیر نشان می‌دهد که در ٦۰ درصد خاک‌های زراعی محدودیت رشد به‌دلیل کمبود عناصر غذایی معدنی می‌باشد. همچنین، گزارش شده است که افزایش کارایی مصرف آب در گیاه به میزان ۲۵ تا ٤۰ درصد از طریق مدیریت خاک‌ورزی و ۱۵ تا ۲۵ درصد از طریق مدیریت تغذیه امکان پذیر می‌باشد (هات فیلد و همکاران، ۲۰۰۱). کود پتاسیم با وجود این‌که در ساختمان بافت‌ها شرکت ندارد اما نقش‌های مهمی را در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک از قبیل فتوسنتز، انتقال مواد پرورده به مخازن، حفظ آماس، هدایت روزنه‌ای، تنظیم اسمزی، فعالیت آنزیمی، توسعه سلولی، خنثی‌سازی یون‌های دارای بار منفی غیرقابل انتشار و قطبی نمودن غشاء، ایفا می‌کند. پتاسیم نقش ویژه‌ای در حیات و بقاء گیاهان تحت شرایط تنش محیطی دارد. در شرایط کمبود پتاسیم، حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد. در شرایط تنش تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن در گیاهان به‌شدت تحریک می‌شود و این مربوط به نقش بازدارندگی پتاسیم در مقابل تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن در طی فتوسنتز است (منگل و کیکبری، ۲۰۰۰). منطقه سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان یکی از مناطق مهم استان در تولید چای ترش می‌باشد. کمبود آب در دشت سیستان، یک مسئله جدی و دارای اهمیت است. تنها منبع آب منطقه، رودخانه هیرمند است که از کوه‌های بابا یغمای افغانستان سرچشمه می‌گیرد و بحران آب منطقه، ناشی از کمبود آب در این رودخانه است به‌گونه‌ای که عدم تأمین آب هیرمند منجر به نابودی کشاورزی منطقه گردیده است. لذا با توجه به کمبود آب در منطقه، کشت گیاهان مقاوم به تنش آبی و مدیریت آبیاری آن به‌گونه‌ای که تأثیری در عملکرد کمی و کیفی گیاه نداشته باشد از مهمترین مسائل می‌باشد. هدف از این تحقیق، تعیین اثر سطوح مختلف کود پتاسیم در شرایط تنش آبی به منظور افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه چای ترش در منطقه سیستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ۱۸ اردیبهشت ماه سال زراعی ۱۳۹۸ در مجتمع تحقیقاتی چاه‌نیمه واقع در شهر زهک در منطقه سیستان در استان سیستان و بلوچستان در ٦۱ درجه و ٦۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۸۹ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ٤۸۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. منطقه مطالعاتی دارای اقلیم گرم و خشک بوده، میزان بارندگی آن در سال کمتر از ٦۰ میلی‌متر می‌باشد. به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از مراحل آماده-سازی زمین، نمونه‌های مرکب خاک از اعماق ۳۰-۰ سانتی-متر و ٦۰-۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها تعیین شد (جدول ۱). همچنین، کیفیت آب مورد استفاده نیز قبل از انجام کاشت مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

عمق نمونه برداری	درصد سیلت	درصد شن	درصد رس	بافت خاک	pH	EC (dSm^{-})	پتاسیم قابل جذب (ppm)	کربن آلی (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)
۰-۳۰	۴۲	۴۹	۹	شن لوم	۷/۶	۲/۱	۲۸۰	۰/۷۲	۴/۶
۳۰-۶۰	۴۰	۴۸	۱۲	شن لوم	۷/۸	۲/۵	۲۳۱	۰/۶۸	۵/۷

جدول ۲- مقادیر خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

نمونه آب	pH	EC (dSm^{-1})	SAR	کاتیون‌ها ($meqlit^{-1}$)				آنیون‌ها ($meqlit^{-1}$)		
				Ca	Mg	Na	K	$HCo3^-$	Cl	$So4^-$
S1	۷/۶	۰/۷	۲/۱	۱/۸	۱/۲	۲/۶	۰/۰۶	۴/۱	۰/۶	۱/۶

تحقیق حاضر در قالب طرح کرت‌های یک‌بارخرد شده به صورت بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل چهار سطح عمق آب آبیاری (I1، I2، I3 و I4) به ترتیب معادل ٤٠، ٦٠، ٨٠ و ١٠٠ درصد و سه سطح کود پتاسیم (K1، K2 و K3 به ترتیب معادل ٥٠، ٧٥ و ١٠٠ درصد نیازکودی پتاسیم) به‌عنوان کرت فرعی انجام شد. ابعاد کرت‌ها ٤ ×٣ (متر در متر) و فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد. در هر کرت تعداد پنج جوی و پشته احداث و بذرها در عمق سه سانتی‌متری از خاک و به فاصله ٢٥ سانتی‌متر از یکدیگر روی ردیف‌ها کشت شدند. فاصله بین ردیف‌های گیاهی ٧٥ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کود نیتروژن از منبع اوره به مقدار ٢٠٠ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک در سه مرحله یک‌سوم همزمان با کاشت، یک‌سوم مرحله رویشی (شاخه دهی) و یک‌سوم زمان گلدهی (٥٠ درصد گلدهی گیاه)، کود پتاسیم از نوع سولفات پتاسیم همزمان با کاشت در سه سطح ٧٥، ١١٢/٥ و ١٥٠ کیلوگرم در هکتار به ترتیب معادل ٥٠، ٧٥ و ١٠٠ درصد نیازکودی پتاسیم و کود فسفر از نوع سوپرفسفات تریپل به مقدار ١٠٠ کیلوگرم در هکتار همزمان با کاشت به خاک اضافه شد. مقادیر کودها بر اساس عرف منطقه درنظر گرفته شد.

محاسبات آبیاری

حجم آب آبیاری قبل از هر نوبت آبیاری با استفاده از رابطه ١ تعیین شد (لیو و همکاران، ٢٠٠٦).

$$d = \sum_{i=1}^{n}(\theta_{Fci} - \theta_i)\,\Delta z \qquad (۱)$$

در این معادله:

d عمق آبیاری (متر)، θ_{Fci} و θ_i به‌ترتیب رطوبت حجمی خاک در حالت ظرفیت زراعی و قبل از آبیاری در لایه i=1، Δz ضخامت لایه (متر) و n شماره لایه خاک می‌باشد. با به‌دست آوردن عمق آب آبیاری در هر نوبت با استفاده از رابطه (١)، حجم آب مورد نیاز برای هر کرت از ضرب کردن عمق به‌دست آمده در مساحت کرت محاسبه شد و با استفاده از کنتورهای نصب شده بر روی هر یک از لوله-های آبرسان اندازه‌گیری و در اختیار گیاه قرار گرفت. حجم آب سایر تیمارها بر اساس این حجم تعیین و اعمال گردید. جدول ٣ حجم آب مورد استفاده در هر تیمار را نشان می-دهد.

جدول ۳- حجم آب مورد استفاده در هر تیمار

	تیمار I1	تیمار I2	تیمار I3	تیمار I4
حجم آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	۷۲۸۰	۱۰۹۲۰	۱۴۵۶۰	۱۸۲۰۰

بهره‌وری مصرف آب آبیاری (IWUE[۲])

بهره‌وری مصرف آب آبیاری عبارت است از: نسبت محصول تولید شده به آب آبیاری و از رابطه (٢) به دست آمد (پیرو و همکاران، ٢٠٠٩).

$$IWUE = \frac{Y}{IR} \qquad (۲)$$

که در آن:

IWUE: بهره‌وری مصرف‌آب‌آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب بر هکتار)، Y : وزن خشک برداشت شده (کیلوگرم در هکتار)، IR: مقدار آب‌آبیاری (مترمکعب در هکتار)

[2] .Irrigation Water Use Efficiency

نمونه‌برداری گیاهی

پس از پایان دوره رشد گیاه (۷ آذر ۱۳۹۸)، سه ردیف گیاه از وسط هر کرت با حذف اثر حاشیه برداشت و اندازه‌گیری پارامترها بر روی این نمونه‌ها انجام شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: ارتفاع گیاه، وزن و تعداد کپسول، عملکرد خشک، بهره‌وری مصرف آب آبیاری، مقدار آنتوسیانین، کربوهیدرات و درصد پروتئین. جهت اندازه‌گیری عملکرد کپسول‌های گیاهی از بوته‌ها جدا و در هوای آزاد خشک شد. مقدار آنتوسیانین کاسبرگ از روش واگنر (۱۹۷۹)، مقدار پروتئین از روش استون و گیفورد (۱۹۹۷) و مقدار کربوهیدرات از روش فنل – اسیدسولفوریک محاسبه شد (دوبویس و همکاران، ۱۹۵٦). در پایان داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل و میانگین‌ها با آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در جدول ٤ آورده شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر مقدار آب آبیاری و کود پتاسیم بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نیز در سطح احتمال یک و پنج درصد بر پارامترهای اندازه-گیری شده معنی‌دار بود. اثر تکرار بر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده شرایط یکنواخت آزمایش برای همه تکرارها بوده است (جدول ٤).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات و درجه آزادی) صفات اندازه‌گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	آنتوسیانین	کربوهیدرات	پروتئین	ارتفاع	تعداد کپسول در بوته	وزن کپسول	عملکرد خشک کاسبرگ	بهره‌وری آب آبیاری
تکرار	۲	۱/۷ ns	۰/۰۵۵ ns	۱/۳۴ ns	۰/۸۱ ns	۰/۸۳	۰/۷۶ ns	۷۵/۷۴ ns	۱/۰۷ ns
مقدار آب آبیاری	۳	۰/۴۵ **	۶۱/۶ **	۰/۹۷ **	۷۷۸۵/۵۸ **	۶۶۳۵/۵۹ **	۳۱۰۰۹/۶ **	۲۳۲۳۴۹ **	۴/۴۹ *
خطای a	۶	۱/۲	۱/۵	۱/۳۲	۱/۱۹	۲/۲۱	۰/۶۵	۷۳/۹۵	۱/۰۵
مقدار کود پتاسیم	۲	۰/۲۸ **	۹/۷۸ **	۰/۵۴ **	۲۳۶۷/۰۴ **	۱۵۹۶/۴۱ *	۱۱۰۴۶/۴ **	۷۵۴۷۸ **	۰/۳۴ ns
مقدار آب آبیاری× مقدار کود پتاسیم	۶	۰/۱۹ *	۱/۹ *	۰/۳۲ *	۱۳/۲۱ **	۱۲۳/۰۳ **	۱۱۷/۰۱ **	۲۴۰۱/۱ **	۱/۳ *
خطای b	۴	۰/۰۴۵	۰/۰۴	۰/۱۶	۲/۱۷	۳/۶۲	۱/۰۳	۹۶/۴	۱/۰۲
ضریب تغییرات(٪)		۳/۶۵	۴/۵	۳/۲۱	۳/۹۶	۲/۸۷	۳/۹۵	۲/۹۷	۱۰/۸۵

*و **معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns عدم معنی‌داری

ارتفاع: مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با کاهش عمق آب آبیاری ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد و از این نظر بین تیمارهای مختلف آب آبیاری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بیشترین مقدار ارتفاع از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی (۱٦۷/٦٦ سانتی‌متر) و کمترین آن از تیمار ٤۰ درصد نیاز آبی (۹۹/۳۳ سانتی‌متر) به‌دست آمد؛ اما از این نظر بین تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌دار مشاهده نگردید. کاهش عملکرد گیاه در شرایط خشکی می‌تواند به دلیل کاهش سطح فتوسنتز کننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت بالا بردن غلظت شیره سلولی و تغییر در مسیرهای تنفسی و فعال شدن مسیر پنتوز فسفات و یا افزایش حجم ریشه و غیره باشد. تأثیر خشکی بر هر یک از اجزای عملکرد می‌تواند در نهایت منجر به تغییر در عملکرد کاسبرگ تولیدی در چای ترش شود (سروالی و همکاران، ۲۰۰۱). کاهش مقدار کود پتاسیم از ۱۰۰ درصد نیاز کودی به ۵۰ درصد آن نیز باعث کاهش ارتفاع گیاه شد و از این نظر بین تیمارهای مختلف در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت. بیشترین مقدار آن در تیمار ۱۰۰ درصد کود پتاسیم (۱٤۹/۲۵ سانتی‌متر) و کمترین آن در تیمار ۵۰ درصد کود پتاسیم (۱۲٦/۳۳ سانتی‌متر)

حاصل گردید. از مهم‌ترین فرآیندهایی که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، کاهش سرعت نمو، کاهش رشد طولی ساقه و همچنین کاهش رشد برگ‌ها است. علت این پدیده اثر منفی تنش کم‌آبی بر فرایندهای فتوسنتز، تغذیه و روابط هورمونی و آبی گیاه می‌باشد. رشد گیاه نه تنها به تجمع مواد خام از طریق فتوسنتز و جذب عناصر بستگی دارد بلکه به حفظ پتانسیل فشاری آب در گیاه جهت طویل شدن سلول‌ها نیز وابسته می‌باشد. پتاسیم در گیاهان با اثر بر حفظ پتانسیل آب سلول و کمک به جذب آب توسط گیاه در شرایط تنش بر رشد سلول‌ها اثر می‌گذارد (حیدری و اصغری‌پور، ۱۳۹۱). اثرات متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نشان داد با کاهش مقدار آب آبیاری و کود پتاسیم ارتفاع کاهش یافت (جدول ٦). افزایش مقدار پتاسیم در سطوح مختلف آبی باعث افزایش ارتفاع می‌گردد. در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی و استفاده ۱۰۰ درصدی از کود پتاسیم نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و استفاده ۷۵ درصدی از کود پتاسیم، می‌توان مشاهده کرد که ارتفاع بیشتر افزایش داشته است و این نشان می‌دهد استفاده از سطوح بیشتر کود پتاسیم در شرایط تنش خشکی می‌تواند اثرات تنش را کاهش دهد و در شرایط تنش خشکی کاهش مقدار کود پتاسیم باعث کاهش بیشتر ارتفاع می‌گردد. پور عزیزی و همکاران (۱۳۸۹) و موسوی‌فضل و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیق خود راجع به بررسی اثرات کود پتاسیم بر اندام هوایی سورگوم علوفه‌ای در شرایط تنش آبی به نتایج مشابه دست یافتند و بیان داشتند مصرف کود پتاسیم در شرایط تنش آبی باعث افزایش اندام هوایی گیاه سورگوم علوفه‌ای شد.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات کمی اندازه‌گیری شده

تیمارهای آزمایشی		ارتفاع (سانتی‌متر)	تعداد کپسول در بوته	وزن کپسول (گرم در گیاه)	عملکرد خشک کاسبرگ (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار)
مقدار آب آبیاری	٪۱۰۰ نیازآبی	۱۶۷/۶۶ a	۷۵/۳۳a	۱۸۶/۱۵a	۵۶۸/۱۱a	۰/۰۳۷b
	٪۸۰ نیازآبی	۱۵۶/۴۴ab	۸۴/۳۳a	۲۰۱/۰۷a	۵۸۴/۱۸a	۰/۰۴۱a
	٪۶۰ نیازآبی	۱۳۱/۶۶ c	۵۲/۶۶b	۱۴۸/۷۷b	۴۵۶/۴۴b	۰/۰۴۶a
	٪۴۰ نیازآبی	۹۹/۳۳ d	۴۵/۰۱c	۱۲۱/۵۱c	۳۷۸/۷۷c	۰/۰۳۴b
مقدار کود پتاسیم	٪۱۰۰	۱۴۹/۲۵ a	۶۷/۱۶a	۱۹۴/۱۲a	۵۱۹/۳۳a	۰/۰۴۳a
	٪۷۵	۱۳۹/۰۱ ab	۵۸/۱۶b	۱۸۶/۳۵ab	۴۸۰/۵ab	۰/۰۴۲a
	٪۵۰	۱۲۶/۳۳ c	۵۲/۶۶c	۱۵۶/۴c	۴۳۶/۱c	۰/۰۳۹b

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقدارآب آبیاری و کود پتاسیم (A×B)

مقدار آب آبیاری	مقدار کود پتاسیم	ارتفاع (سانتی‌متر)	تعداد کپسول در بوته	وزن کپسول (گرم در گیاه)	عملکرد خشک کاسبرگ (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم‌برمترمکعب در هکتار)
٪۱۰۰ نیازآبی	٪۱۰۰	۱۶۷/۶۱b	۶۴/۰۱d	۱۹۶/۱d	۵۲۳/۶۶d	۰/۰۳۷b
	٪۷۵	۱۶۲/۳۳c	۵۳/۰۲f	۱۶۸/۰۶e	۵۱۱/۱e	۰/۰۳۵b
	٪۵۰	۱۵۶/۶۶d	۴۹/۰۱h	۱۴۶/۴h	۴۶۷/۶۶g	۰/۰۳۴ab
٪۸۰ نیازآبی	٪۱۰۰	۱۷۹/۰۶a	۹۸/۰۱a	۲۹۱/۰۶a	۶۰۱/۳۳a	۰/۰۴۵ab
	٪۷۵	۱۵۹/۰۱c	۸۱/۶۶ab	۲۶۸/۶۶ab	۵۷۹/۶۶ab	۰/۰۴۲ab
	٪۵۰	۱۳۶/۶۶f	۷۳/۳۳c	۲۳۶/۵c	۵۵۴/۳۳c	۰/۰۳۷b
٪۶۰ نیازآبی	٪۱۰۰	۱۴۲/۰۱e	۵۷/۳۳e	۱۶۳/۷۳f	۴۹۵/۱f	۰/۰۵۸a
	٪۷۵	۱۳۰/۶۶g	۵۲/۳۳eg	۱۵۹/۵gf	۴۷۳/۶۶fh	۰/۰۵۵a
	٪۵۰	۱۲۲/۳۳h	۴۹/۳۳h	۱۲۵/۱i	۴۱۰/۶۶j	۰/۰۴۶ab
٪۴۰ نیازآبی	٪۱۰۰	۱۱۳/۳۳i	۴۹/۳۳h	۱۲۵/۷i	۴۲۶/۳۳i	۰/۰۳۳b
	٪۷۵	۹۹/۰۱j	۴۷/۶۶ih	۱۲۱/۲j	۳۶۷/۶۶k	۰/۰۳۲b
	٪۵۰	۸۵/۶۶k	۳۹/۰۲j	۱۱۷/۶۳k	۳۴۲/۳۳l	۰/۰۳۱b

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند

تعداد کپسول در بوته: منظور از کپسول همان گل‌های قرمز رنگی می باشد که گیاه تولید می‌کند و بعد از خشک شدن به‌عنوان چای ترش مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده نشان داد اثر مقدار آب آبیاری و کود پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد کپسول در هر بوته معنی‌دار بود (جدول ۵). با کاهش مقدار آب آبیاری تا ۸۰ درصد نیاز آبی تعداد کپسول در هر بوته افزایش یافت. سپس با کاهش بیشتر عمق آب آبیاری تعداد کپسول‌ها در هر بوته کاهش یافت. محدود شدن تبادل هوای خاک بر اثر آبیاری کامل، با کُند شدن جذب آب و مواد غذایی، تنفس ریشه را آسیب‌پذیر کرده و رشد ریشه را محدود و باعث تحریک مواد سمی و تخریب متابولیسم هورمون شده و کاهش رشد گیاه و درنهایت کاهش میزان گلدهی در بوته را به‌همراه دارد. همچنین در این شرایط برگ‌ها و گل‌ها ریزش می‌کنند (حسن‌زاده قورت‌تپه و قیاسی، ۱۳۸۷). به‌همین علت تعداد کپسول‌ها در هر گیاه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی کمتر از تیمار ۸۰ درصد نیازآبی بود. مقدار کود پتاسیم مصرفی نیز بر تعداد کپسول‌ها در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۵). به‌طوری که با کاهش مصرف پتاسیم تعداد کپسول‌ها کاهش یافت. بیشترین آن در سطح ۱۰۰ درصد مصرف کود پتاسیم (٦٧/١٦ عدد) و کمترین در سطح ۵۰ درصد مصرف کود پتاسیم (۵۲/٦٦ عدد) به‌دست آمد. تحقیقات نشان داده است پتاسیم نقش حیاتی در فتوسنتز دارد چون باعث افزایش مستقیم رشد و شاخص سطح برگ می‌شود و لذا جذب دی‌اکسیدکربن و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به خارج از برگ می‌شود (هیکال و مویداش، ۱۹۹۰). کمبود پتاسیم در گیاه با کاهش فتوسنتز و افزایش تنفس گیاه همراه است. کم شدن مواد هیدروکربنی گیاه در اثر تغییرات فتوسنتز و تنفس سبب کاهش تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود (طباطبایی، ۱۳۸۸). اثر متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نشان داد در سطوح مختلف تنش آبی به‌کار بردن ۱۰۰ درصدی کود پتاسیم باعث افزایش تعداد کپسول‌ها در هر بوته شد و با کاهش مقدار پتاسیم تعداد کپسول‌ها کاهش یافت؛ اما از این نظر بین تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد کود پتاسیم تفاوت معنی‌دار حاصل نشد. همچنین در سطح تنش آبی ۸۰ درصد نیاز آبی تعداد کپسول‌های هر بوته در هر سه سطح کود پتاسیم بیشتر از تعداد کپسول‌ها در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بودند. با افزایش سطوح تنش به ٦٠ و ٤٠ درصد نیاز آبی، تعداد کپسول‌های هر بوته کاهش یافت.

وزن کپسول گیاه: مقایسه میانگین صفات اندازه-گیری شده نشان داد اثر مقدار آب آبیاری و کود پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد بر وزن کپسول گیاه معنی‌دار می-باشد (جدول ۵). با کاهش مقدار آب آبیاری تا سطح ۸۰ درصد نیاز آبی وزن کپسول گیاه افزایش یافت اما از این نظر بین تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. سپس با کاهش بیشتر عمق آب آبیاری تا سطوح ٦٠ و ٤٠ درصد وزن کپسول کاهش یافت. در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیازآبی می توان گفت که احتمالاً اکسیژن کم و دی‌اکسیدکربن زیاد باعث کاهش تبادل گازی بین ریشه و اتمسفر شده و بر اثر کاهش تراوایی سلول‌های ریشه جذب مواد غذایی و آب متوقف می‌شود. از طرفی تجمع دی‌اکسیدکربن، اتیلن و آمونیوم باعث مسمومیت سلولی در گیاه می‌شود. اتیلن به‌عنوان بازدارنده رشد، باعث پیچیده‌تر شدن اثر کمبود اکسیژن بر روی رشد و نمو گیاه می‌شود که این امر کاهش وزن کپسول را به همراه دارد (حسن‌زاده قورت‌تپه و قیاسی، ۱۳۸۷). ثقه-الاسلام و همکاران (۱۳۹۲) نیز در تحقیق خود راجع به تأثیر سطوح آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد و بازدهی مصرف آب چای ترش به نتایج مشابه دست یافتند. با کاهش مقدار کود پتاسیم نیز وزن کپسول گیاه کاهش یافت. اثر متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نشان داد با کاهش مقدار کود مصرفی اثرات تنش آبی در گیاه افزایش یافت و باعث کاهش وزن کپسول گیاه شد (جدول ٦)؛ اما در تیمارهای با ۸۰ و ٦٠ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کودی ۷۵ و ۵۰ درصد مشاهده نشد؛ اما با مصرف

کمتر آب (تیمار ٤٠ درصد نیاز آبی گیاه) اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای کودی وجود داشت.

عملکرد خشک کاسبرگ: مقایسه میانگین عملکرد خشک نشان داد در تیمارهای مختلف در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۵). با کاهش عمق آب آبیاری تا ۸۰ درصد نیاز آبی عملکرد خشک افزایش یافت اما از این نظر بین تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. با افزایش شدت تنش، وزن خشک کاسبرگ نسبت به شاهد کاهش نشان داد. برای به‌وجود آمدن کپسول به‌تبع آن افزایش وزن کاسبرگ، گیاه نیاز به رشد رویشی مناسب و تولید اندام‌های تشکیل‌دهنده آن در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی دارد. تأثیر خشکی بر هر یک از اجزای عملکرد می‌تواند در نهایت منجر به تغییر در عملکرد کاسبرگ تولیدی در چای ترش شود. کاهش میزان عملکرد بر اثر افزایش خشکی مربوط به کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه است (سروالی و همکاران، ۲۰۰۱). با کاهش مقادیرکود مصرفی پتاسیم نیز مقدار عملکرد کاهش یافت و مشخص گردید بیشترین مقدار عملکرد در تیمارهای ۱۰۰ درصد نیاز کودی به‌دست می‌آید. اثرات متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نیز نشان داد با کاهش آب آبیاری و کود پتاسیم مقدار عملکرد خشک کاسبرگ کاهش یافت و مصرف بیشترکود پتاسیم در سطوح تنش آبی تا حدودی می‌تواند اثرات تنش آبی را کاهش دهد (جدول ٦). در شرایط آبیاری مطلوب با افزایش میزان پتاسیم عملکرد خشک کاسبرگ افزایش یافت؛ اما در شرایط تنش ملایم و شدید رطوبتی افزایش کاربرد کود پتاسیم تا حدودی باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تأثیر منفی کمبود آب بر عملکرد گیاه می‌شود، به‌عبارتی کاربرد مقادیر مناسب کود پتاسیم می‌تواند مقابله با تنش آبی را در گیاه افزایش دهد. این نتایج با نتایج و همکاران (میگست و همکاران، ۲۰۰٤) مطابقت دارد. فنایی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیق خود راجع به اثرات کود پتاسیم و تنش آبی بر گیاه کلزا در منطقه سیستان نشان دادند که مصرف کود پتاسیم در شرایط تنش می‌تواند، اثرات مثبت بیشتری بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب نسبت به شرایط رطوبتی بالا داشته باشد. پتاسیم از عناصر پر مصرف است که نقش‌های متعدد ساختاری در سلول و عملکرد کاتالیتیک آنزیم‌های دخیل در متابولیسم دارد (اختر و سیدیکویی، ۲۰۰۹). پتاسیم تحمل گیاه را نسبت به تنش‌های محیطی بیشتر و تولید نشاسته و کربوهیدرات و همچنین استحکام گیاه افزایش داده و برای رشد بهینه مقدار مطلوب آن مورد نیاز است (پهلوان و همکاران، ۲۰۰٦)؛ بنابراین کاربرد کود مصرفی پتاسیم توانست تا اندازه‌ای اثرات زیان-بار تنش آبی را کاهش دهد. در صورتی‌که تنش آبی شدید باشد، نقش کود پتاسیم کاهش می‌یابد. با افزایش سطح تنش‌های آبی، جبران عملکرد توسط کود پتاسیم کاهش یافت. این نتایج با یافته‌های محمد و آشوک (۲۰۱٤) و فاروکی و بسرامو (۲۰۰٤) که معتقدند کاربرد کودها خصوصا پتاسیم می‌تواند بخشی از تنش آبی را جبران نماید، همخوانی دارد.

بهره‌وری آب آبیاری: مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده نشان داد بین بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت. با کاهش عمق آب آبیاری مقدار بهره‌وری آب آبیاری افزایش یافت. بیشترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری در تیمار ٦۰ درصد نیاز آبی (۰/۰٤٦ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار) و کمترین آن در تیمار ٤۰ درصد نیازآبی (۰/۰۳٤ کیلوگرم بر متر مکعب درهکتار) به‌دست آمد. از این نظر بین تیمار ٦۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد کاهش آب آبیاری از تیمار ٦۰ درصد به تیمار ٤۰ درصد نیازآبی باعث افزایش بهره‌وری نگردید که علت آن را می‌توان کاهش بیشتر عملکرد در این تیمار نسبت به تیمار ٦۰ درصد نیاز-آبی دانست. کاهش بازدهی مصرف آب بر اثر آبیاری زیاد (تیمار آبیاری کامل)، هم به‌دلیل مصرف آب زیاد و هم به-دلیل کاهش عملکرد در این تیمار می‌باشد. کاهش مقادیر مصرفی کود پتاسیم نیز باعث کاهش بهره‌وری آب آبیاری

گردید اما از این نظر بین تیمار ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز پتاسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نگردید (جدول ٤). اثرات متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نشان داد با کاهش عمق آب آبیاری و افزایش مقدار پتاسیم بهره‌وری آب آبیاری افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری در سطح آبیاری ٦۰ درصد و سطح کودی ۱۰۰ درصد پتاسیم (۰/۰۵۸ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار) و کمترین آن در ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۵۰ درصد کود پتاسیم (۰/۰۳۱ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار) حاصل شد (جدول ٦).

پارامترهای کیفی: جهت تعیین اثرات کود پتاسیم و تنش آبی بر کیفیت چای ترش، پارامترهای کیفی آنتوسیانین، پروتئین و کربوهیدرات اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز داده‌ها و مقایسه میانگین آن‌ها در جدول ۵ و ۷ نشان داده شده است. همچنین شکل ۱ اثرات متقابل کود پتاسیم و تنش آبی را برای این سه پارامتر کیفی نشان می‌دهد.

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات کیفی اندازه‌گیری شده

تیمارهای آزمایشی		آنتوسیانین (میکرومول بر گرم)	کربوهیدرات (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	پروتئین (درصد)
مقدار آب آبیاری	٪۱۰۰ نیازآبی	۰/۶۷ c	۹/۳۶ c	۱۸/۷b
	٪۸۰ نیازآبی	۰/۷۸ ab	۱۰/۷۸ ab	۲۰/۲a
	٪۶۰ نیازآبی	۰/۸۵a	۱۱/۳۱ a	۲۱/۶a
	٪۴۰ نیازآبی	۰/۵۲ d	۷/۴۲d	۱۶/۲c
مقدار کود پتاسیم	٪۱۰۰	۰/۳۳b	۸/۷۶ b	۱۷/۶۸b
	٪۷۵	۰/۴۶ a	۹/۵۱ a	۱۹/۲۴a
	٪۵۰	۰/۵۱a	۹/۸۵ a	۱۹/۶۲a

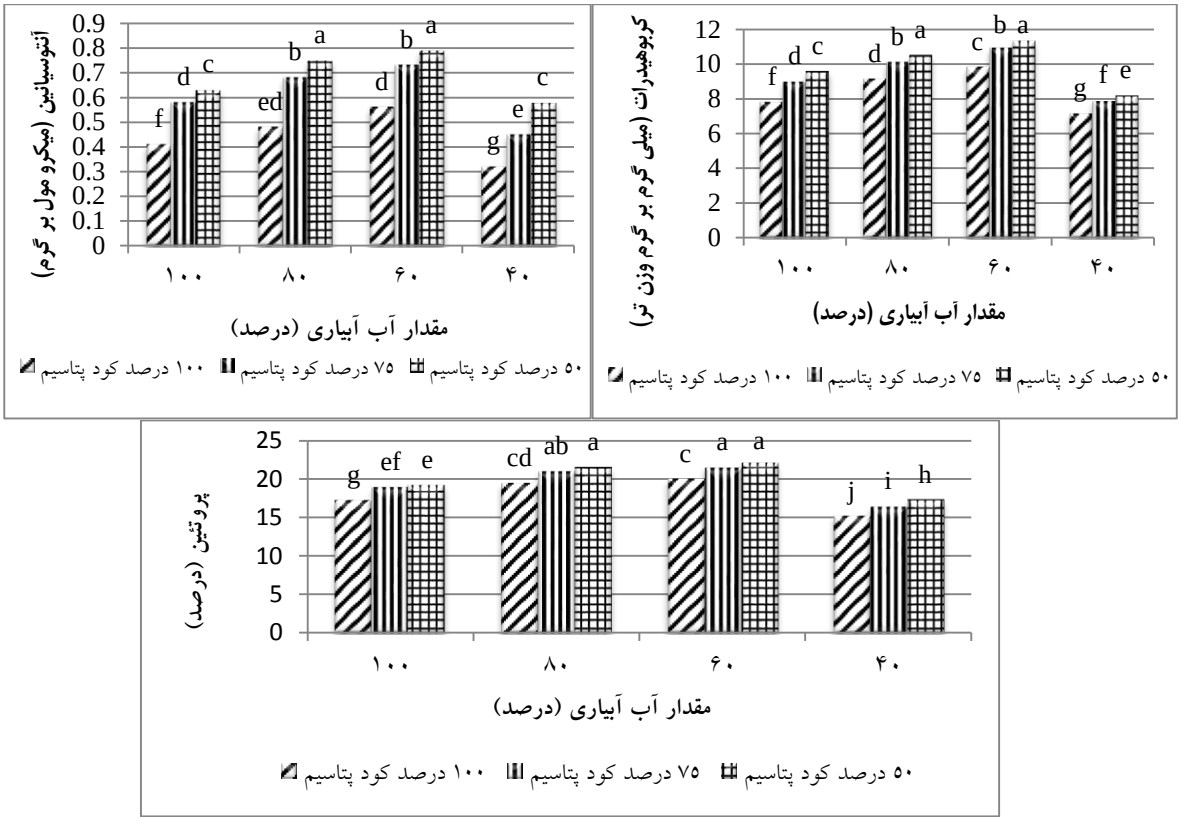
میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند

کربوهیدرات: کربوهیدرات‌ها به‌خاطر داشتن رابطه‌ی مستقیم با فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، انتقال مواد و تنفس، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. مطابق جدول (۷) با کاهش عمق آب آبیاری تا ٦۰ درصد نیاز آبی گیاه، مقدار کربوهیدرات ۲۰/۸۳ درصد افزایش داشته است. کاهش بیشتر آب آبیاری باعث کاهش مقدار کربوهیدرات شد. رابطه‌ی مثبتی بین تجمع کربوهیدرات و تحمل خشکی در برنج، ذرت و سورگوم گزارش شده است (محمدخانی و حیدری، ۲۰۰۷). افزایش کربوهیدراتها ممکن است ناشی از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش رشد و سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی باشد (اهدایی و همکاران، ۲۰۰٦). کربوهیدرات‌ها به‌عنوان مولکول‌های سیگنال عمل می‌کنند. تنش خشکی با تجزیه و کاهش نشاسته در اثر افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز باعث افزایش غلظت قند های محلول می‌شود که افزایش غلظت کربوهیدرات‌ها را در پی دارد (اندرسون و خرم، ۲۰۰۱). افزایش کربوهیدراتها باعث حفظ تورژسانس سلول‌های برگ، حفاظت غشای سلولی و بازداری از تخریب پروتئین‌ها می‌شود، همچنین از طریق تأمین انرژی مورد نیاز گیاه از مرگ حتمی آن جلوگیری می‌کند (اکسیو و همکاران، ۲۰۰۸). اثرات کود پتاسیم نشان داد با کاهش مصرف کود پتاسیم مقدار کربوهیدرات افزایش می‌یابد؛ اما از این نظر بین تیمار ۵۰ درصد و ۷۵ درصد مصرف کود پتاسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. اثرات متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم (شکل ۱) نشان داد با کاهش عمق آب آبیاری تا ٦۰ درصد نیاز آبی گیاه و کاهش مصرف کود پتاسیم تا ۵۰ درصد مقدار کربوهیدرات افزایش می‌یابد.

آنتوسیانین: آنتوسیانین یک ترکیب فلاونوئید است که به مقدار زیاد در کاسبرگ‌های چای ترش وجود دارد (تسایی و همکاران، ۲۰۰۲). مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده نشان داد مقدار آب آبیاری و کود پتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر مقدار آنتوسیانین داشت (جدول ۷). با کاهش مقدار آب آبیاری تا ٦۰ درصد نیاز آبی گیاه مقدار آنتوسیانین افزایش یافت. سپس با کاهش بیشتر آب آبیاری به‌دلیل کاهش رشد و عملکرد مقدار آنتوسیانین کاهش یافت. بیشترین مقدار آن

در تنش ٦٠ درصد نیاز آبی گیاه ۰/۸۵ میکرومول بر گرم بود که از این نظر بین تیمار ٦٠ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. پارسال مطلق و همکاران (۱۳۹٦) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار آنتوسیانین در تیمار ٦٠ درصد آب آبیاری به‌دست آمد. کاهش مقدار کود پتاسیم نیز باعث افزایش مقدار آنتوسیانین گردید. بیشترین مقدار آن در تیمار ۵۰ درصد مصرف کود پتاسیم (۰/۵۹ میکرو مول بر گرم) به‌دست آمد. آنتوسیانین‌ها دارای خاصیت آنتی-اکسیدانی هستند و آنتی اکسیدان‌ها اثر محافظتی طی تنش دارند. ساخته‌شدن آنتوسیانین و تجمع آن در بافت‌های گیاهی تحت تأثیر عامل‌های مختلفی از جمله میزان هیدرات‌های کربن موجود در بافت‌ها قرار می‌گیرد (تیز و زیگر، ۲۰۰٦). به‌عبارت دیگر توسعهٔ رنگدانه‌های یاخته و ساخت آنتوسیانین با بالا رفتن میزان کربوهیدرات‌ها نسبت مستقیم داشته و هر عاملی که بتواند روی افزایش، جذب یا ساخته شدن قندها مؤثر باشد، باعث افزایش میزان آنتوسیانین کل در گیاه می‌شود، یکی از این عوامل تنش خشکی می‌باشد (ویتراک و همکاران، ۲۰۰۰). اثر متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نیز نشان داد با کاهش مقدار آب آبیاری و کود پتاسیم مقدار آنتوسیانین افزایش یافت (شکل ۱). بیشترین مقدار در تیمار ۵۰ درصد مصرف کود پتاسیم و ٦٠ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد؛ اما از این نظر بین تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۵۰ درصد مصرف پتاسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. رییسی سربیژن و همکاران (۱۳۹۵) نیز در تحقیق خود راجع به اثر محلول پاشی روی و نیتروژن بر روی گیاه چای ترش به نتایج مشابه رسیدند.

درصد پروتئین: جدول ۷ مقایسه میانگین صفات نشان داد با کاهش آب آبیاری تا ٦٠ درصد نیاز آبی گیاه مقدار پروتئین افزایش یافت. کاهش بیشترآب آبیاری باعث کاهش مقدار پروتئین شد. بیشترین مقدار آن در تیمار ٦٠ درصد نیاز آبی گیاه برابر ۲۱/٦ درصد و کمترین آن در تیمار ٤٠ درصد نیاز آبی گیاه ۱٦/۲ درصد می باشد که با نتایج تحقیق پارسا مطلق و همکاران (۱۳۹٦) و میرشکاری و همکاران (۱۳۹٦) همخوانی داشت. رابطه‌ی مثبت و معنی-داری بین تنش آبی و درصد پروتئین توسط محققان زیادی گزارش شده است. درصد پروتئین در کلزا، گندم و گیاه توت روباه در شرایط تنش آبی افزایش یافته است (تدین و نادعلی، ۱۳۹۲). کاهش کود پتاسیم مصرفی نیز باعث افزایش درصد پروتئین شد. اثرات متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم نشان داد با کاهش عمق آب آبیاری و کاهش مصرف پتاسیم، درصد پروتئین افزایش یافت. بیشترین مقدار پروتئین در تیمار ٦٠ درصد نیاز آبی گیاه و ۵۰ درصد مصرف کود پتاسیم به‌دست آمد که از این نظر با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد.



شکل ۱- اثر متقابل کود پتاسیم و مقدار آب آبیاری بر پارامترهای کیفی چای ترش

نتیجه‌گیری

در شرایط کم آبیاری، گیاه در طی فصل رشد با شدت‌ها و مدت‌های متفاوتی دچار تنش آبی می‌شود. وجود این تنش تغییراتی را در پاسخ گیاه به مصرف کود پتاسیم به‌وجود می‌آورد که همواره یکسان نیست و در مواردی غیرقابل پیش‌بینی است. بر اساس نتایج این پژوهش رشد، عملکرد و صفات کمی چای ترش پاسخ مثبتی به افزایش سطوح کود پتاسیم نشان داد. بیشترین عملکرد در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی و تیمار کودی ۱۰۰ درصد مصرف کود پتاسیم به‌دست آمد. تیمار ٦۰ درصد نیاز آبی مناسب‌ترین تیمار از لحاظ بهره‌وری آب آبیاری بود اما از این نظر با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار نداشت. لذا با توجه به افزایش بهره‌وری آب در تنش‌های آبی، می‌توان با اعمال تنش آبی به گیاه به‌خصوص در مراحل غیرحساس و یا در طول فصل رشد مقدار بهره‌وری آب آبیاری را افزایش داد با توجه به وضعیت آب موجود در منطقه و کاهش منابع آبی به‌کار بردن ۸۰ درصد نیاز آبی توصیه می‌گردد. همچنین در بین تیمارهای کودی، تیمار کودی ۱۰۰ درصد کود پتاسیم در سطوح مختلف آبی دارای بهره‌وری بیشتری نسبت به سایر تیمارها بود که نسبت به تیمار ۷۵ درصد مصرف کود پتاسیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. از نظر کیفیت بیشترین کیفیت در تیمار کودی ۵۰ درصد به‌دست آمد که تفاوت معنی‌دار با تیمار کودی ۷۵ درصد نداشت. لذا با توجه به این‌که استفاده ۷۵ درصدی از کود پتاسیم باعث کاهش معنی‌دار عملکرد نمی‌شود و افزایش کیفیت را نیز به‌دنبال دارد، می‌توان این مقدار مصرف کود پتاسیم جهت کاشت چای ترش در منطقه سیستان را پیشنهاد نمود. همچنین از آنجایی که سیستان منطقه‌ای مناسب جهت رشد چای ترش می‌باشد و با توجه به اهمیت دارویی این گیاه، پیشنهاد می‌گردد تحقیقات بیشتری در زمینه کاشت این گیاه در شرایط آب و هوایی منطقه و بالابردن کیفیت آن با استفاده از سطوح تنش آبی و به‌کار بردن کودهای مختلف انجام گیرد.

فهرست منابع

۱. پارسامطلق، ب.، رضوانی‌مقدم، پ.، قربانی، ر. و اعظمی ساردویی, ذ.ا. ۱۳۹٦. بررسی برخی صفات فیتوشیمیایی گیاه دارویی چای ترش تحت تأثیر سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای و آب آبیاری. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۳(٦):۹٤۰-۹۲۸.

۲. پورعزیزی، م. و فلاح، س. ۱۳۸۹. تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر خصوصیات کیفی علوفه سورگوم. همایش ملی دستاوردهای نوین در زراعت، شهریور، کرج، ایران.

۳. تدین، ع. و نادعلی، ه. ۱۳۹۲. بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی اکوتیپ‌های مختلف توت‌روباه در رژیم‌های مختلف آبیاری. به‌زراعی کشاورزی، ۱۵(٤): ۹٤-۷۹.

٤. ثقه‌الاسلامی، م.، موسوی، غ. و برزگران، ط. ۱۳۹۲. تأثیر سطوح آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد و بازدهی مصرف آب چای ترش. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۹(۱): ۱۵٦-۱٤٤.

۵. حسن‌زاده قورت‌تپه، ع. و قیاسی، م. ۱۳۸۷. تنش غرقابی و آثار آن بر اکوفیزیولوژی گیاهان. جهاد دانشگاهی واحد آذربایجان غربی، ۱٤۹ صفحه.

٦. حیدری.، م. و اصغری‌پور، م.ر. ۱۳۹۱. اثر سطوح مختلف سولفات پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای. پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۰(۲): ۳۸۱-۳۷٤.

۷. رییسی‌سربیژن، ع.، برومند، ن. و ظاهرآراء. ۱۳۹۵. تاثیر محلول‌پاشی نیتروژن و روی بر صفات کمی‌چای ترش در منطقه جیرفت. علوم باغبانی، ۳۰(۱):۱۰۱-۹۳.

۸. طباطبائی، س.ج. ۱۳۸۸. اصول تغذیه گیاهان. ویرایش اول. انتشارات مؤلف تبریز.

۹. فنایی، ح.ر.، گلوی، م.، کافی، م.، قنبری، ا. و شیرانی‌راد. ا. ۱۳۸۸. اثرمصرف کود پتاسیم و میزان آب آبیاری بر عملکرد وکارایی مصرف آب دو گونه کلزا و خردل هندی. علوم زراعی ایران، ۳(۱۱):۲۹۱-۲۷۳.

۱۰. گنجعلی، ح.، کمالی‌جو، ا. و عزیزیان‌شرمه، ع. ۱۳۹٦. خصوصیات رشدی و عملکرد چای ترش در سطوح مختلف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شرایط آب و هوایی سراوان. بوم‌شناسی گیاهان زراعی، ۱۳(۱):۳۷-۲۹.

۱۱. موسوی‌فضل، س.ح.، علیزاده، ا.، انصاری، ح. و رضوانی‌مقدم، پ. ۱۳۹۵. اثر کم‌آبیاری تنظیم شده و کود پتاسیم بر دینامیک ریشه، عملکرد محصول و اجزاء آن در ارقام مختلف سورگوم علوفه‌ای. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰(۱):۳۸-۲٦.

۱۲. میرشکاری، م.، عینعلی، ع. و ولیزاده، ج. ۱۳۹٦. پاسخ چای‌ترش گیاه و بیوشیمیایی فیزیولوژیک‌های به تنش خشکی در حضور هورمون اسید سالیسیلیک. زیست‌ناسی گیاهی ایران، ۹(۳۲):۳۸-۲۱.

13. Abid-Askari, and solangi, Ms. 1995. Autecological studies of exotic plant Hibiscus sabdariffa L. (Roselle), a multipurpose plant, for is introduction and culture. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research. 38:1, 17-21; 13ref.

14. Agriculture Organization of Sistan and Baluchestan Province of Iran. 2014. *Sb-agrijahad.ir*

15. Ahmad, Y.M., Shahlaby, E.A., and Shnan, N.T. 2011. The use of organic and inorganic cultures in improving vegetative growth, yield characters and antioxidant activity of roselle plants (Hibiscus sabdariffa L.). African Journal of Biotechnology 10(11): 1988-1996.

16. Akanbi W.B., Oaniyn A.B., Togum A.O., Ilupeju A.E.O., and Olairan, O.A. 2009. The effect of organic fertilizer on growth, calyx yield and quality of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Amrican Eurasian Journal of Sustainable Agricalture, 3(4): 652-657.

17. Akbari nia, A., Ghalavand, A., Sefidkan, F., Rezaee, M. B. and Sharifi Ashoorabadi, A. 2003. Investigating the Effects of Chemical Fertilizers, Animals and Combination on the

Performance and Composition of Essential Oil Seeds. (In Persian, with English Abstract). Research and Development, 16(4):32-41.

18. Akhtar, M. S. and Siddiqui, Z. A. 2009. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and Rhizobium sp. On the growth, nodulation, yield and root- rot disease complex of chickpea under field condition. African Journal of Biotechnology, 8(15), 3489-3496.
19. Anderson, C. M. and Kohorn, B. D. 2001. Inactivation of Arabidopsis SIP1 leads to reduced levels of sugars and drought tolerance. Plant Physiology 158: 1215-1219.
20. Ashok, A., Sharmr Singh, K., Srikant, S. and Rakesh, T. 2001. Preliminary obserration on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. Journal of medicinal and Aromatic plant Sci. 22; 356-358.
21. Aziz, E., Gad, N. and Badran, N.M. 2007. Effect of cobalt and nickel on plant growth, yield and flavonoids content of Hibiscus sabdariffa L. Australian Journal of Basic Applied Sciences 1(2): 73-78.
22. Babatunde, F. E. and Mofoke, A. L. E. 2006. Performance of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as Influenced by irrigation schedules, Pakistan Journal of Nutrition S (4): 363-367.
23. Delgado-vargas, F., A.R. Jimenez and O. Paredes-Lopez, 2000. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalins- characteristics, biosyntheses, processing, and stability: critical Reviews in Food Science and Nutrition, 40(3): 173- 289.
24. Dubois, D., Gilleres, K.A. and Hamilton, J.K. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 350-356.
25. EL-Boraie, FOM, A. M. Gaber and Abdel-Rahman, G. 2009. Optimizing irrigation schedule to maximize water use efficincy of Hibiscus sabdariff under shalation cond: tion, Word Journal of Agricultural science S (4): 505-514.
26. Ehdaie, B., Alloush, G.A. Madore, M.A. and Waines, J.G. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. postanthesis changes in internode dry matter. Crop Science 46: 735-748.
27. Hanson, J. and Smeekens, S. 2009. Sugar perception and signaling- an update. Current Opionion in Plant Biology 12: 562-567.
28. Hatfield, J.L., Th.J. Sauer, and J.H. Prueger. 2001. Managing soil to achieve greater water use efficiency: A review. Agron. J. 93: 271-280.
29. Heakal, L., and K. Modaish. 1990. Combined effects of leaching fraction, salinity and potassium content of water on growth and water use efficiency of wheat and barely. Plant and Soil, 125: 177-184.
30. Faraji H., Siadat A., Fathi GH, and Gilani A. 2000. Effect of split application of nitrogen fertilizer on yield and yield components of two rice varieties improved environmental conditions in Ahvaz. Proceedings of the Sixth Congress of Agronomy and Plant Breeding.University of Mazandaran, Babolsar6-13 Shahryvar.pp 344.
31. Farooqi, A. A. and Bssreeramu, Kh. 2004. Cultivation of spice crops. Universities Press (India).
32. Imam Y. 2011.Cereal Crop.Fourth Edition.Shiraz University Press. 190 pages
33. Megyes, A. Ratonyi, T. and Huzsvai, L. 2004. The effect of fertilization and irrigation on maize (Zea mays L.) production, www.date.hu/acta-agraria.
34. Li, X., Wan, S., Kang, Y., Chen, X., and Chu, L. 2016. Chinese rose growth and ion accumulation under irrigation with waters of different salt contents. Agricultural Water Management. 163: 180-189.
35. Liue,F., Savic, S., Jensen, C.R., Shahnazari, A., Jacobsen. S. and Andersen, M N. 2007.Water relations and yield of lysimeter-grown strawberries under limited irrigation. Scientia Horticulture, 111:128-132.
36. McClintock, J.N. and I.M. El-Tahir. 2004. Production of roselle. In: Plant resources of tropical Africa, PROTOA Foundation, 2 Backlnny Publication. 668 pp.
37. Mengel, K., E. A. and M. Kirkby. 2000. Principles of plant nutrition. 5th ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
38. Mohammad Khani, N., Heidari, R., 2007. Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. Pakistan Journal of Biological Science. 10(21), 3835-3840.

39. Mohamed, M. and K. Ashok. 2014. Growth, yield and water Use effeciency of forage sorghum as affected by NPK fertilizer and deficit irrigation. American Journal of Plant Sciences, 5: 2134-2140
40. Raisi Sarbizhan, AS, Boroumand, N., Zaher Aara, T. 2015. The Effect of Nitrogen and Zinc Spraying on Quantitative Traits of roselle in Jiroft Region. Horticulture, 30(1):93-101.
41. Pahlavan M, ForghaniA, Kiekha A .2006. Preparation of Sistan plain Partiality numerical map Annual. (In Persian, with English Abstract). Final project report, Agricultural and Natural Resources Research Center of Sistan: Zabol, Iran.
42. Payero J.O., Melvin S.R., Irmak S., Tarkalson D. 2009. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. Agric. Water Manage. 84:101–112.
43. Sreevalli, Y., Baskaran, K., chandra shekara, R., Kuikkarni, R., Sushil, H., Samresh, D., Kukre, J., Ashok, A., Sharmr Singh, K., Srikant, S., and Rakesh, T. 2001. Preliminary obserration on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science 22: 356358.
44. Stone, S. L. and Gifford, D. J. 1997. Structural and biochemical changes in loblolly pine (Pinus taeda L.) seeds during germination and early seedling growth: I. Storage protein reserves. International Journal of Plant Science 158: 727–737.
45. Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. Plant Physiology, (4th Edition). Sinauer Associates, Sunderland, Mass, 623p.
46. Tsai, P. J., J.McIntosh. P. Pearce. B. Camden and B. R. Jordan. 2002. Anthocyanin and antioxidant capacity in Roselle *(Hibiscus sabdariffa L.*) extract. Food Res. Int. 35: 351-356.
47. Valliy, B. and Nguyen, H. T. 2006. Under standing regulatory networks and engineering for enhanced drough tolerance in plant, corrent optintion in play Biology, 9: 1-7.
48. Vitrac, X., Larronde, F., Krisa, S., Decendit, A., Deffieux, G. & Mérillon, J. M. 2000. Sugar sensing and Ca2+ calmodulin requirement in Vitis vinifera cells producing anthocyanins. Phytochemistry, 53, 659-665.
49. Wagner, G.J. 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutralsugars, free amino acids and anthocyanins in protoplasts. Plant Physiology 64: 88-9
50. Xue, G., Lynne McIntyre, C., Glassop, D. and Shorter, R. 2008. Use of expression analysis to dissect alterations in carbohydrate metabolism in wheat leaves during drought stress. Plant Mol Biol 67: 197–214.
51. Zheng, C., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., Liu, W., Jing, Qi, and Cao, W. 2009. Exogenous nitric oxide improves seed germination in wheat against mitochondrial oxidative damage induced by high salinity. Environ. Exp. Bot. 67: 222-227.

Interaction of Potassium Fertilizer and Water Stress on the Quantitative and Qualitative Characteristics of Roselle Medicinal Plant

P. Rashki, H. Piri [1] * and E. Khammari

MSc. Student, Department of Water Engineering College of Water and Soil, Zabol University, Zabol, Iran.
Paria.rashki@gmail.com
Assistant Professor, Department of Water Engineering College of Water and Soil, Zabol University, Zabol, Iran.
H_piri2880@uoz.ac.ir
Assistant Professor, Department of Agriculture College of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
Ikhammari@uoz.ac.ir

Abstract

In this study, the effect of different levels of irrigation water and potassium fertilizer on Roselle was investigated. The experiment was conducted using split plot design with four levels of irrigation water (I1, I2, I3 and I4 equivalent to 40%, 60%, 80%, and 100% crop water requirement) and three levels of potassium (K1, K2 and K3 equivalent 50%, 75%, and 100% potassium requirement) as sub-plot. At the end of experiment, quantitative parameters of plant including height, weight and number of capsules, dry yield, and water use efficiency were measured. Also, qualitative parameters including anthocyanin, protein, and carbohydrate content were measured to investigate the effects of water stress and fertilizer on Roselle quality. The results showed that the simple effects of irrigation water and potassium fertilizer were significant ($P < 0.01$) on all measured parameters. The highest yield was obtained from 100% potassium fertilizer treatments and 80% water requirement. The highest water use efficiency was obtained in 60% water requirement plus 100% potassium fertilizer application, but no significant difference was found between 60% and 80% water requirement. The anthocyanin, protein, and carbohydrate contents increased with decreasing irrigation water depth to 60% of plant water requirement and decreasing potassium fertilizer application. However, there was no significant difference between 50% and 75% K fertilizer application. Therefore, due to the water status of the region and the reduction in water resources, application of 80% water requirement reduces water consumption and 75% potassium fertilizer increases quality and mitigates effect of drought stress in Roselle.

Keywords: Deficit irrigation, Anthocyanin, Carbohydrate, Protein

[1] . Corresponding author: Department of Water Engineering College of Water and Soil, Zabol University, Zabol, Iran.
* - Received: February 2020 and Accepted: June 2020