

پاسخ‌های فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) در واکنش به کم‌آبیاری و کاربرد برخی کودهای پتاسیمی

Physiological and Antioxidant Responses of Rice (*Oryza sativa* L.) Plant in Reaction to Deficit Irrigation and Application of Certain Potassium Fertilizers

سیدحسین محسنی^۱، محمدعلی اسماعیلی^{۲*}، همت‌اله پیردشتی^۳، رحمت عباسی^۴ و مرتضی نصیری^۵

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۱

(مقاله پژوهشی)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری و کارایی برخی کودهای پتاسیمی روی برخی صفات فیزیولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه برنج (رقم طارم هاشمی)، پژوهشی مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۵ در دو ایستگاه آمل و سوادکوه شمالی انجام گرفت. روش‌های مختلف آبیاری در دو سطح (غرقاب دائم و غرقاب نمودن پس از کاهش ارتفاع آب به پایین‌تر از ۱۰ سانتی‌متر از سطح خاک) و کاربرد کودهای مختلف پتاسیمی شامل سولفات پتاسیم، کلریدپتاسیم و کود زیستی پتاسیمی در نه سطح بودند. براساس یافته‌ها، با اعمال کم‌آبیاری میزان محتوی نسبی آب (RWC) و پروتئین محلول برگ به‌طور معنی‌داری در هر دو ایستگاه کاهش یافت. هم‌چنین، میزان تجمع پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز و گایاکول‌پراکسیداز در گیاه برنج تحت کم‌آبی افزایش یافتند. میزان پراکسیددهیدروژن و نشانگر زیستی مالون‌دی‌آلدئید نیز تحت تأثیر تیمار کم‌آبی به‌طور معنی‌داری در ایستگاه آمل افزایش یافت، درحالی‌که این افزایش در ایستگاه سوادکوه معنی‌دار نبود. نتایج حاکی از اثر مثبت کاربرد کود پتاسیم در شرایط کم‌آبی از طریق افزایش پروتئین محلول، در هر دو ایستگاه و RWC و فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز در ایستگاه آمل بود. هم‌چنین، بیش‌ترین میزان عملکرد شلتوک از برهم‌کنش تیمارهای آبیاری غرقاب دائم و کاربرد نیمی از کود سولفات پتاسیم به‌صورت پایه و نیمی از کود کلریدپتاسیم در مرحله سرک به‌دست آمد که به‌ترتیب ۲۲/۸ و ۲۵/۱ درصد بیش‌تر از سطح عدم کاربرد کود در ایستگاه‌های آمل و سوادکوه بود. در مجموع، نتایج بیانگر اثربخشی مطلوب کاربرد کودهای سولفات پتاسیم و کلریدپتاسیم در تعدیل اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی بر عملکرد شلتوک گیاه برنج بود.

واژه‌های کلیدی: محتوی نسبی آب، پرولین، سولفات پتاسیم، کلریدپتاسیم

۱، ۲ و ۴. به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳. دانشیار، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۵. استادیار، موسسه تحقیقات برنج کشور - معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و کشاورزی، آمل، ایران
* نویسنده مسئول
Email: esmaeili33@gmail.com
این مقاله مستخرج از پایان‌نامه دکتری نویسنده اول به راهنمایی محمدعلی اسماعیلی و همت‌اله پیردشتی می‌باشد.

شیمیایی مصرف می‌کنند که درصد قابل توجهی از آن در خاک تثبیت شده و یا به‌خاطر جذب، آبشویی و تبدیل به شکل‌های آلی، غیرقابل استفاده برای گیاه می‌باشند (بخش‌شده^۵ و همکاران، 2017)، با توجه به افزایش هزینه‌های نهاده‌های مصرفی و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، استفاده از کودهای زیستی جهت رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار امری ضروری است. بنا به تعریف، کود زیستی متشکل از یک یا چند نوع ریزجاندار مفید به‌همراه مواد نگهدارنده و یا فرآورده‌های متابولیکی آنها است که به‌منظور تأمین عناصر غذایی گیاهان استفاده می‌شود (وسی^۶، 2003). از جمله‌ی این ریزجانداران، باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات هستند که جهت تهیه کودهای زیستی پتاسیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند و قادرند عناصری چون پتاسیم، فسفر، آهن، روی و سیلیسیم را آزاد کنند (پارمار و سیندهو^۷، 2013).

بر اساس مطالب پیش‌گفت و با توجه به بروز پدیده خشکسالی و کاهش نزولات جوی، ضرورت دارد علاوه بر شناخت میزان آب مصرفی گیاه برنج، تمهیدات لازم برای مقابله با کاهش اثرات کم‌آبی، حفظ سطح زیرکشت و تولید پایدار برنج انجام گیرد. از این‌رو، در پژوهش حاضر، اثر کاربرد انواع کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیمی بر برخی صفات فیزیولوژیک و فعالیت دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه برنج رقم طارم هاشمی در دو منطقه با رژیم‌های مختلف آبیاری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۵ در دو منطقه واقع در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور- معاونت مازندران (آمل) با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و در مزرعه الگویی واقع در روستای آهنگرکلای شهرستان سوادکوه شمالی با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در کرت اصلی دو سطح آبیاری شامل غرقاب دائم^۸ و آبیاری به روش خشک و مرطوب شدن متناوب^۹ در نظر گرفته شد. تیمار محدودیت آبیاری (به‌صورت خشک و مرطوب شدن متناوب) پس از استقرار کامل نشاء‌ها در مزرعه (دو هفته پس از نشاء‌کاری) اعمال گردید. برای اعمال تیمار محدودیت

برنج (*Oryza sativa* L.) پس از گندم بیش‌ترین سطح زیرکشت زمین‌های کشاورزی جهان را به خود اختصاص داده است. در ایران نیز، سطح زیرکشت این گیاه در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ در حدود ۵۳۰ هزار هکتار با میانگین عملکرد ۴۴۳۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی، ۱۳۹۴). این گیاه با مصرف بیش از ۸۰ درصد کل منابع آب در آسیا، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب بین همه محصولات کشاورزی است (محدزین و اسماعیل^۱، 2016). از این‌رو، روش‌های مختلف کشت برنج با کارایی بالاتر مصرف آب اهمیت خاصی پیدا می‌کنند. استفاده از روش‌های کم‌آبیاری امکان قرار گرفتن گیاه در شرایط تنش کم‌آبی را افزایش داده و در پی آن موجب بروز اثرات متعددی در صفات فیزیولوژیکی برنج می‌گردد (آقاجانی دلور، ۱۳۹۵). در گیاه تحت تنش، گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (پراکسید هیدروژن، سوپراکسید و رادیکال هیدروکسیل) تجمع می‌یابند. گونه‌های اکسیژن از طریق پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب پروتئین‌ها، ایجاد تنش ثانویه اکسیداتیو کرده که منجر به خسارات جدی به ساختارهای سلولی می‌شود (شارما و دوبی^۲، 2005). گیاهان دارای یک سیستم آنتی‌اکسیدانی هستند که تولید اضافی گونه‌های فعال اکسیژن را تحت شرایط تنش کنترل می‌کند و از طرف دیگر سطح مناسبی از گونه‌های فعال اکسیژن را برای رشد و مسیر انتقال پیام حفظ می‌کند (جوبانی‌ماری^۳ و همکاران، 2010). این سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان شامل آنتی‌اکسیدان‌هایی با وزن مولکولی پایین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گلوکاتایون ردوکتاز و گایاکول پراکسیداز است (شارما و دوبی 2005).

مصرف کودهای شیمیایی برای افزایش و تولید پایدار برنج ضروری است، زیرا که از میان عوامل تولید، افزایش عملکرد ناشی از مصرف کود به‌طور متوسط حدود ۳۵ تا ۵۵ درصد است و این نشان‌دهنده اهمیت فراوان مصرف کود در افزایش تولید است (محمدیان، ۱۳۹۵). پتاسیم از گروه عناصر پرمصرف برای برنج است. تنظیم فعالیت‌های فیزیولوژیکی، فعال‌سازی آنزیم‌ها، تشکیل نشاسته و پروتئین، افزایش کارایی مصرف آب، افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها و تنش‌های محیطی (محدزین و اسماعیل^۱، 2016) و افزایش استحکام ساقه و کاهش ورس (کونگ^۴ و همکاران، 2014) از مهم‌ترین وظایف پتاسیم در برنج می‌باشند. کشاورزان به‌منظور تأمین پتاسیم موردنیاز گیاه، کود

5. Bakhshandeh

6. Vessy

7. Parmar and Sindhu

8. Flooding Irrigation (FI)

9. Alternate Wetting and Drying (AWD)

1. Mohd Zain and Ismail

2. Sharma and Dubey

3. Jubany-Mari

4. Kong

آفات و بیماری‌های برنج بر اساس دستورالعمل فنی مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام پذیرفت. ابعاد کرت‌ها دو × سه متر بوده و جهت جلوگیری از نفوذ آب بین کرت‌ها، فاصله بین کرت‌های داخلی نیم متر و فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر تعیین و با استفاده از پوشش نایلونی کلیه مرزها عایق‌بندی گردید. کودهای نیتروژن و فسفر براساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۳) و توصیه مؤسسه تحقیقات برنج کشور به صورت یکنواخت در کلیه کرت‌ها اعمال گردید. بر این اساس، ۱۲۵ و ۱۳۵ کیلوگرم کود اوره و ۸۰ و ۱۱۰ کیلوگرم کود فسفات از منبع سوپرفسفات تربیل، به ترتیب در ایستگاه‌های آمل و ایستگاه سوادکوه مورد استفاده قرار گرفتند. هم‌چنین، میزان کودهای سولفات پتاسیم و کلروپتاسیم برای ایستگاه آمل، به ترتیب ۱۱۵ و ۱۰۰ کیلوگرم و در ایستگاه سوادکوه، ۱۳۵ و ۱۲۰ کیلوگرم جهت اعمال تیمارهای کاربرد کود شیمیایی پتاسه در نظر گرفته شد.

محتوی آب نسبی برگ (RWC) برای هر تکرار و هر سطح تیماری یک هفته قبل از گل‌دهی اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (گونزالز و گونزالز-ویلار، ۲۰۰۱):

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{RWC} = \left[\frac{\text{وزن خشک } (W_2) - \text{وزن تر } (W_1)}{\text{وزن خشک } (W_3) - \text{وزن تر در شرایط اشباع } (W_4)} \right] \times 100$$

نمونه‌گیری از آخرین برگ توسعه‌یافته از بالای بوته به منظور سنجش برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه برنج، در زمان یک هفته پیش از گل‌دهی انجام گرفت. بر این اساس، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و گایاکول پراکسیداز (GPX)، به ترتیب با استفاده از روش‌های اَبی^۴ (۱۹۸۴)، تانگ و نیوتن^۵ (۲۰۰۵) و یوشیمورا^۶ (۲۰۰۰) اندازه‌گیری گردید. میزان پروتئین موجود از نمونه‌های آنزیمی استخراج شده به روش بردفورد (۱۹۷۶) اندازه‌گیری شد. سنجش میزان پراکسید هیدروژن (H₂O₂)، اسیدآمین پراکسیداز (Pro) و نشانگر زیستی مالون‌دی‌آلدئید (MDA) نیز به ترتیب، بر اساس روش سرگیو^۷ و همکاران (۱۹۹۷) و پاکین و لچاسر^۸ (۱۹۷۹) صورت گرفت. بوته‌ها در مرحله رسیدگی کامل محصول، با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای (دو مترمربع از متن هر کرت) برداشت و خرمن‌کوبی شده و میزان عملکرد نهایی دانه آن براساس رطوبت ۱۴ درصد محاسبه و برحسب کیلوگرم بر هکتار گزارش گردید. بر این

آبیاری، پس از کاهش ارتفاع آب به پایین‌تر از ۱۰ سانتی‌متر از سطح خاک، آبیاری مجدد مزرعه انجام گرفت. بدین‌منظور از روش ابداعی ایری^۱ (۲۰۰۵) در اجرای روش آبیاری خشک و تر نمودن متناوب زمین استفاده گردید. در این روش لوله‌های پلاستیکی منفذدار به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر در خاک شالیزار در کرت‌ها قرار داده شد، به نحوی که حداقل ۱۰ سانتی‌متر آن در بالای سطح خاک قرار گرفت و سپس تمامی گل‌ولای موجود در آن تا انتهای عمق لوله در داخل زمین تخلیه گردید. ارتفاع آب در داخل هر کرت، از طریق لوله‌های نصب شده در داخل زمین اندازه‌گیری و سپس در صورت نیاز و بر اساس تیمار تعریف شده و با توجه به میزان بارندگی (جدول ۱)، آبیاری به صورت غرقاب (پنج سانتی‌متر بالای سطح خاک) انجام و بلافاصله شماره کنتور قرائت و میزان آبیاری برحسب لیتر ثبت گردید. بر این اساس، میزان مجموع آب آبیاری و بارش باران در طول فصل رشد برای آبیاری غرقاب دائم و کم‌آبیاری، به ترتیب برای ایستگاه آمل، ۱۰۵۸۷ و ۶۹۳۰ مترمکعب در هکتار و برای ایستگاه سوادکوه، ۷۹۴۰ و ۵۰۹۷ مترمکعب در هکتار بود. با توجه به اهمیت زیاد آب در مرحله گل‌دهی و به‌منظور جلوگیری از عقیم شدن سنبلچه‌ها، یک هفته قبل تا یک هفته بعد از گل‌دهی مزرعه به صورت غرقاب درآمد. کرت فرعی شامل نه سطح کاربرد مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی بود (جدول ۲). کود زیستی مورد استفاده، تولید شرکت زیست‌فناور سبز و شامل دو جدایه سودوموناس کورینسیس^۲ و سودوموناس ونکوورنسیس^۳ بود. جهت تلقیح با باکتری، گیاهچه‌های برنج پیش از نشاءکاری به مدت پنج ساعت در محلول حاوی کود زیستی قرار گرفتند (بخشنده و همکاران، ۲۰۱۷). هم‌چنین، کاربرد کود به‌عنوان سرک در مرحله پنجه زنی صورت گرفت. در این پژوهش از برنج رقم طارم هاشمی استفاده شد. این رقم جزء ارقام زودرس و پابلند بوده که در رده ارقام کیفی و با عملکرد پایین قرار می‌گیرد و بیش‌ترین سطح زیرکشت برنج را در سطح استان مازندران (حدود ۵۳ درصد) به خود اختصاص داده است (آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران، ۱۳۹۶). انتقال و کاشت نشاءها در زمین اصلی (شالیزار) برای ایستگاه آمل، در تاریخ ۲۴ اردیبهشت و برای ایستگاه سوادکوه، در تاریخ ۱۸ اردیبهشت انجام گرفت. نشاءها در مرحله سه‌الی چهاربرگی، زمانی که ارتفاع نشاءها به ۲۰ سانتی‌متر رسید، به صورت تک‌خال و با فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر به زمین اصلی انتقال داده شدند. وجین دستی و مبارزه با

4. Aebi
5. Tang and Newton
6. Yoshimura
7. Sergive
8. Paquine and Lechasseur

1. IIRI
2. *Pseudomonas koreensis*
3. *Pseudomonas Vancouverensis*

اساس، مرحله برداشت در ایستگاه‌های آمل و سوادکوه، به ترتیب مصادف با ۲۵ و ۲۸ مرداد بود. سپس کارآیی مصرف آب، از نسبت عملکرد دانه بر مجموع میزان آب آبیاری و بارندگی در طول فصل رشد، محاسبه گردید (ایبرگیمو و همکاران، ۲۰۰۷). در پایان، داده‌ها پس از آزمون نرمال بودن، با استفاده از نرم افزار MSTAT-C تجزیه و تحلیل و میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. پیش از انجام آنالیز میانگین مربعات و به منظور تعیین یکنواختی و متجانس بودن واریانس اشتباه آزمایش‌های مختلف، از آزمون بارتلت استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج آزمون همگنی واریانس آزمایش (بارتلت) دلالت بر عدم یکنواختی واریانس آزمایش برای کلیه صفات مورد مطالعه در این پژوهش در دو منطقه داشت. از این رو صفات مورد مطالعه در هر مکان به طور مجزا مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج آنالیز میانگین مربعات صفات مورد مطالعه، تیمار کم آبیاری اثر معنی‌داری بر صفات محتوای نسبی آب برگ، میزان پروتئین محلول برگ، آنزیم‌های CAT، APX و GPX، Pro و کارآیی مصرف آب، در هر دو ایستگاه و بر صفات میزان H_2O_2 ، MDA و عملکرد دانه، در ایستگاه سوادکوه داشت. تیمار کاربرد انواع کود پتاسیمی نیز اثر معنی‌داری بر میزان پروتئین محلول برگ، عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب در هر دو ایستگاه داشت. همچنین، اثرات متقابل کم آبیاری و تیمار کاربرد کود پتاسیمی بر میزان عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب در هر دو ایستگاه اثر معنی‌داری داشت.

بر اساس یافته‌ها، میزان پروتئین محلول در گیاهان تحت تیمار کم آبیاری در مقایسه با تیمار شاهد در روش غرقاب دائم در هر دو ایستگاه به طور معنی‌داری کاهش یافت. به طوری که میزان پروتئین محلول در روش کم آبیاری کاهش ۴/۹ و ۴/۴ درصدی، به ترتیب در ایستگاه‌های آمل و سوادکوه داشت (جدول ۴). همچنین، با کاهش میزان آبیاری میزان فعالیت CAT به طور معنی‌داری افزایش یافت. به عبارت دیگر، پس از قرار گرفتن گیاه در وضعیت کم آبی، میزان فعالیت این آنتی‌اکسیدان در ایستگاه آمل، ۱۲/۷ درصد و در ایستگاه سوادکوه، ۱۳/۴ درصد افزایش یافت. به نظر می‌رسد به نظر می‌رسد افزایش فعالیت این آنتی‌اکسیدان، به ویژه در ایستگاه آمل، به دلیل افزایش میزان H_2O_2 در شرایط کم آبی باشد. به طوری که میزان پراکسید هیدروژن در شرایط کم آبیاری در این ایستگاه، معادل ۱/۶۳ میکرومول بر گرم وزن خشک بود که ۱۱/۴ درصد بیش‌تر از تیمار آبیاری غرقاب بود. در همین راستا،

میزان فعالیت APX نیز تحت تأثیر تیمار کم آبی به طور معنی‌داری در هر دو ایستگاه افزایش یافت. بر این اساس، میزان این فعالیت این آنزیم، به ترتیب از ۲۹/۱۳ و ۲۵/۹۳ در ایستگاه‌های آمل و سوادکوه در روش غرقاب دائم، به ۳۳/۶۰ و ۳۰/۲۱ واحد جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در روش کم-آبیاری افزایش یافت که حاکی از افزایش ۱۵/۳ و ۱۶/۵ درصدی فعالیت آن است. همچنین، نتایج حاکی از افزایش معنی‌دار فعالیت GPX تحت تیمار کم آبیاری بود. میزان فعالیت این آنزیم نیز در ایستگاه آمل، ۱۰/۵ درصد و در ایستگاه سوادکوه، ۱۱/۶ درصد بیش‌تر از تیمار غرقاب دائم بود (جدول ۴).

مطابق نتایج، میزان MDA نیز تحت تأثیر تیمار کم آبی به طور معنی‌داری در ایستگاه آمل افزایش یافت، در حالی که این افزایش در ایستگاه سوادکوه معنی‌دار نبود. میزان صفت یاد شده در تیمار کم آبیاری در ایستگاه آمل، افزایش ۸/۴ درصدی در مقایسه با روش آبیاری غرقابی داشت. همچنین، محتوی Pro نیز تحت تأثیر تیمار کم آبیاری قرار گرفت. به طوری که میزان آن در ایستگاه آمل، از ۰/۷۸ در تیمار غرقاب دائم به ۰/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار کم آبیاری افزایش یافت. همچنین، میزان این صفت در روش کم آبیاری در ایستگاه سوادکوه، ۱۱/۷ درصد بیش‌تر از روش غرقاب بود. همچنین، اعمال تیمار کم آبیاری باعث کاهش معنی‌دار RWC در هر دو ایستگاه گردید. بر این اساس، میزان RWC در روش کم آبیاری در ایستگاه‌های آمل و سوادکوه، به ترتیب ۴/۹ و ۵/۳ درصد کم‌تر از روش غرقاب دائم بود (جدول ۴).

جدول ۱: شرایط آب و هوایی در طول دوره رشد برنج (بازه زمانی اول اردیبهشت تا سی و یکم مرداد ۱۳۹۵)

Table 1: Climatic conditions during the rice growth cycle (from 21 April to 22 August, 2016)

متوسط درجه حرارت (سانتی گراد) Mean temperature (C°)	متوسط رطوبت نسبی (درصد) Average relative humidity (%)	مجموع بارندگی (میلی متر) Total precipitation (mm)	مجموع ساعات آفتابی Total hours of sunshine	ایستگاه Station
24.66	78.3	117.0	809.2	موسسه تحقیقات برنج کشور - آمل Rice Research Institute of Iran- Amol
21.22	80.3	440.6	506.7	شهرستان سوادکوه Savadkouh

جدول ۲: سطوح مختلف تیمار کاربرد کود پتاسیمی اعمال شده در پژوهش

Table 2: Different levels of potassium fertilizer applied in the research

کود زیستی Biofertilizer	کود کلرور پتاسیم Potassium chloride fertilizer	کود سولفات پتاسیم Potassium sulfate fertilizer	سطح Level
-	-	-	F1
-	-	100 درصد به صورت پایه 100% as basal	F2
-	-	50 درصد به صورت پایه و 50 درصد به صورت سرک 50% as basal and 50% as top dressing	F3
-	100 درصد به صورت پایه 100% as top dressing	-	F4
-	50 درصد به صورت پایه و 50 درصد به صورت سرک 50% as basal and 50% as top dressing	-	F5
100%	-	-	F6
100%	-	50 درصد به صورت پایه 50% as basal	F7
100%	50 درصد به صورت پایه 50% as basal	-	F8
-	50 درصد به صورت سرک 50% as top dressing	50 درصد به صورت پایه 50% as basal	F9

جدول ۳: برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دو منطقه آمل و سوادکوه

Table 3: Some physicochemical characteristics of soil in the Amol and Savadkouh stations

ایستگاه	بافت خاک	کربن آلی (درصد)	اسیدیته کل اشباع	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Station
	Soil texture	Organic carbon (%)	pH	Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	Total nitrogen (%)	Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	Available potassium (mg kg ⁻¹)	
آمل	سیلتی لومی	3.3	6.97	1.94	0.23	6.5	140	Amol
سوادکوه	سیلتی لومی رسی	2.87	7.28	1.24	0.17	6.0	139	Savadkouh
	Sily- loam- clay							

جدول ۴: مقایسه میانگین برخی صفات مورد مطالعه در برنج در پاسخ به تیمارهای آبیاری و کاربرد کودهای پتاسیمی در دو ایستگاه آمل و سوادکوه

Table 4: Mean comparison of the some traits studied in rice in response to the irrigation and potassium fertilizers application treatments at Amol and Savadkouh stations

کاربرد کود پتاسیمی									آبیاری (ارتفاع آب بر حسب سانتی‌متر)		ایستگاه	واحد	صفت
Potassium fertilizers application									Irrigation (water height in cm)				
F9	F8	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	-10	+5			
84.91 ^a	83.48 ^{ab}	82.98 ^{ab}	83.73 ^{ab}	84.52 ^a	82.99 ^{ab}	84.16 ^a	81.81 ^{ab}	81.02 ^b	81.52 ^b	85.51 ^a	1	درصد	محتوی آب برگ
85.41 ^a	84.52 ^a	84.15 ^a	84.73 ^a	85.56 ^a	84.15 ^a	84.54 ^a	84.18 ^a	84.14 ^a	84.41 ^b	86.78 ^a	2	Percentage	RWC
56.51 ^a	52.47 ^{bc}	55.54 ^{ab}	55.38 ^{ab}	55.34 ^{ab}	55.87 ^{ab}	55.95 ^{ab}	53.27 ^{a-c}	50.33 ^c	53.21 ^b	55.83 ^a	1	میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ	پروتئین محلول
59.07 ^{ab}	55.03 ^{cd}	57.50 ^{a-c}	57.04 ^{a-c}	58.96 ^{ab}	59.88 ^a	59.50 ^{ab}	55.94 ^{b-d}	52.45 ^d	56.02 ^b	58.51 ^a	2	mg g ⁻¹ fresh weight	Soluble proteins
0.80 ^a	0.81 ^a	0.82 ^a	0.83 ^a	0.81 ^a	0.83 ^a	0.83 ^a	0.82 ^a	0.84 ^a	0.86 ^a	0.78 ^b	1		پرولین
0.69 ^a	0.72 ^a	0.73 ^a	0.74 ^a	0.73 ^a	0.73 ^a	0.73 ^a	0.73 ^a	0.75 ^a	0.77 ^a	0.69 ^b	2		Proline
0.60 ^a	0.58 ^a	0.58 ^a	0.57 ^a	0.58 ^a	0.58 ^a	0.56 ^a	0.60 ^a	0.58 ^a	0.62 ^a	0.55 ^b	1		آنزیم کاتالاز
0.57 ^a	0.55 ^a	0.56 ^a	0.56 ^a	0.56 ^a	0.56 ^a	0.54 ^a	0.55 ^a	0.54 ^a	0.59 ^a	0.52 ^b	2		CAT
30.42 ^b	31.60 ^{ab}	30.25 ^b	32.44 ^{ab}	31.00 ^{ab}	33.13 ^a	31.89 ^{ab}	31.58 ^{ab}	29.98 ^b	33.60 ^a	29.13 ^b	1	واحد جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم	آنزیم آسکوربات پراکسیداز
26.30 ^a	27.84 ^a	27.08 ^a	29.88 ^a	27.78 ^a	28.99 ^a	28.27 ^a	29.36 ^a	27.11 ^a	30.21 ^a	25.93 ^b	2	پروتئین	APX
73.52 ^a	73.17 ^a	75.12 ^a	75.69 ^a	75.54 ^a	75.52 ^a	73.64 ^a	73.91 ^a	74.52 ^a	78.25 ^a	70.77 ^b	1	Units mg ⁻¹ protein in one minute	آنزیم گاباکول
63.59 ^a	63.66 ^a	66.46 ^a	67.45 ^a	67.30 ^a	68.34 ^a	67.27 ^a	67.61 ^a	67.18 ^a	70.20 ^a	62.88 ^b	2		GPX
1.54 ^a	1.52 ^a	1.53 ^a	1.59 ^a	1.68 ^a	1.54 ^a	1.56 ^a	1.56 ^a	1.54 ^a	1.63 ^a	1.49 ^b	1	میکرومول بر گرم وزن خشک برگ	پراکسید هیدروژن
1.34 ^a	1.35 ^a	1.37 ^a	1.42 ^a	1.54 ^a	1.40 ^a	1.36 ^a	1.33 ^a	1.37 ^a	1.46 ^a	1.31 ^a	2	μmol g ⁻¹ dry weight	H ₂ O ₂
152.9 ^a	152.9 ^a	146.4 ^a	149.1 ^a	149.8 ^a	150.3 ^a	149.0 ^a	149.4 ^a	147.0 ^a	155.7 ^a	143.6 ^b	1	میکرومول به ازای گرم وزن تر برگ	مالون دی‌آلدئید
166.8 ^a	167.1 ^a	161.3 ^a	165.1 ^a	164.6 ^a	163.2 ^a	163.2 ^a	165.4 ^a	164.0 ^a	170.5 ^a	158.6 ^a	2	μmol g ⁻¹ fresh weight	MDA

در هر ردیف میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند. ایستگاه ۱: ایستگاه آمل، ایستگاه ۲: ایستگاه سوادکوه. F1: شاهد، F2: 100 درصد کود سولفات پتاسیم به‌صورت پایه، F3: 50 درصد به‌صورت پایه و 50 درصد به‌صورت سرک از کود سولفات پتاسیم، F4: 100 درصد کود کلرورپتاسیم به‌صورت پایه، F5: 50 درصد به‌صورت پایه و 50 درصد به‌صورت سرک از کود کلرورپتاسیم، F6: کود زیستی، F7: 50 درصد کود سولفات پتاسیم به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F8: 50 درصد کود کلرورپتاسیم به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F9: 50 درصد کود سولفات پتاسیم به‌صورت پایه و 50 درصد کود کلرورپتاسیم به‌صورت سرک

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level. F1= Control, F2= 100% of potassium sulfate as basal application, F3= Potassium sulfate application as basal (50%) and top dressing (50%), F4= 100% of potassium chloride as basal application, F5= Potassium chloride application as basal (50%) and top dressing (50%), F6= biofertilizer, F7= 50% of potassium sulfate as basal application plus biofertilizer, F8= 50% of potassium chloride as basal application plus biofertilizer, F9=50% of potassium sulfate as basal and 50% of potassium chloride as top dressing

جدول ۵: مقایسه میانگین عملکرد شلتوک و کارایی مصرف آب برنج در پاسخ به برهمکنش تیمارهای آبیاری و کاربرد کودهای پتاسیمی در دو ایستگاه آمل و سوادکوه

Table 5: Mean comparison of the grain yield and water use efficiency of rice in response to interaction of irrigation and potassium fertilizers application treatments at Amol and Savadkouh stations

ایستگاه سوادکوه Savadkouh station				ایستگاه آمل Amol station			تیمارهای آزمایش Experimental treatments		
میزان تغییر (درصد) Change (%)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) WUE (kg m ⁻³)	میزان تغییر (درصد) Change (%)	عملکرد شلتوک (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)	میزان تغییر (درصد) Change (%)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) WUE (kg m ⁻³)	میزان تغییر (درصد) Change (%)	عملکرد شلتوک (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg ha ⁻¹)	کاربرد کود پتاسیم Potassium fertilizers application	ارتفاع آب (سانتی متر) Water height (cm)
-	0.480 ^j	-	3813 ^{gh}	-	0.380 ^h	-	4025 ^{gh}	F1	
+12.71	0.541 ^{f-g}	+12.82	4302 ^{c-f}	+11.84	0.425 ^{e-g}	+11.95	4506 ^{b-f}	F2	
+20.62	0.579 ^{ef}	20.69+	4602 ^{a-c}	+18.68	0.451 ^{ef}	+18.70	4778 ^{a-c}	F3	
+22.91	0.590 ^{ef}	22.97+	4689 ^{ab}	+20.26	0.457 ^{ef}	+20.37	4845 ^{ab}	F4	
+18.12	0.567 ^{e-g}	18.25+	4509 ^{a-d}	+17.36	0.446 ^{e-g}	+17.44	4727 ^{a-d}	F5	+5
+4.58	0.502 ^{hi}	4.43+	3982 ^{fh}	+4.21	0.396 ^{gh}	+4.34	4200 ^{fh}	F6	
+9.16	0.524 ^{g-i}	9.20+	4164 ^{d-g}	+7.10	0.407 ^{f-h}	+7.13	4312 ^{e-g}	F7	
+16.87	0.561 ^{e-g}	16.96+	4460 ^{a-e}	+14.47	0.435 ^{e-g}	+14.48	4608 ^{a-e}	F8	
+25.21	0.601 ^e	25.09+	4770 ^a	+22.89	0.467 ^e	+22.85	4945 ^a	F9	
+46.66	0.704 ^d	4.04-	3659 ^h	+46.84	0.558 ^d	-7.81	3711 ^h	F1	
+59.16	0.764 ^{bc}	4.19+	3973 ^{fh}	+57.89	0.600 ^{b-d}	+3.33	4159 ^{f-h}	F2	
+72.71	0.829 ^a	13.11+	4313 ^{b-f}	+69.47	0.644 ^{ab}	+11.03	4469 ^{b-f}	F3	
+69.16	0.812 ^{ab}	10.75+	4223 ^{c-f}	+67.89	0.638 ^{ab}	+9.83	4421 ^{c-f}	F4	
+65.41	0.794 ^{ab}	8.25+	4127 ^{e-g}	+65.00	0.627 ^{a-c}	+7.95	4345 ^{d-g}	F5	-10
+51.66	0.728 ^{cd}	0.69-	3787 ^{gh}	+52.36	0.579 ^{cd}	-0.50	4005 ^{gh}	F6	
+61.66	0.776 ^{bc}	5.79+	4034 ^{fh}	+58.68	0.603 ^{b-d}	+3.90	4182 ^{f-g}	F7	
+69.79	0.815 ^{ab}	11.01+	4233 ^{c-f}	+67.36	0.636 ^{ab}	+9.51	4408 ^{c-f}	F8	
+73.12	0.831 ^a	13.35+	4322 ^{b-f}	+75.79	0.668 ^a	+15.03	4630 ^{a-e}	F9	

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند. F1: شاهد، F2: 100 درصد کود سولفات پتاسیم به‌صورت پایه، F3: 50 درصد به‌صورت پایه و 50 درصد به‌صورت سرک از کود سولفات پتاسیم، F4: 100 درصد کود کلرورپتاسیم به‌صورت پایه، F5: 50 درصد به‌صورت پایه و 50 درصد به‌صورت سرک از کود کلرورپتاسیم، F6: کود زیستی، F7: 50 درصد کود سولفات پتاسیم به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F8: 50 درصد کود کلرورپتاسیم به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F9: 50 درصد کود سولفات پتاسیم به‌صورت پایه و 50 درصد کود کلرورپتاسیم به‌صورت سرک

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level. F1= Control, F2= 100% of potassium sulfate as basal application, F3= Potassium sulfate application as basal (50%) and top dressing (50%), F4= 100% of potassium chloride as basal application, F5= Potassium chloride application as basal (50%) and top dressing (50%), F6= biofertilizer, F7= 50% of potassium sulfate as basal application plus biofertilizer, F8= 50% of potassium chloride as basal application plus biofertilizer, F9=50% of potassium sulfate as basal and 50% of potassium chloride as top dressing

جدول ۶: همبستگی عملکرد شلتوک و صفات مورد مطالعه در پاسخ به تیمار کاربرد کودهای پتاسیمی در سطوح آبیاری غرقابی و کم آبیاری (n=9)

Table 6: Correlation between grain yield and studied traits in response to potassium fertilizer application at flooding and deficit irrigation (n=9)

ارتفاع آب (سانتی‌متر) Water height (cm)		ارتفاع آب (سانتی‌متر) Water height (cm)		صفات Traits
-10	+5	-10	+5	
عملکرد شلتوک در ایستگاه سوادکوه Grain yield at Savadkouh station		عملکرد شلتوک در ایستگاه آمل Grain yield at Amol station		
-0.200 ^{ns}	0.033 ^{ns}	0.653 ^{ns}	0.581 ^{ns}	RWC
-0.073 ^{ns}	-0.080 ^{ns}	-0.348 ^{ns}	0.267 ^{ns}	CAT
0.739*	0.759*	0.749*	0.338 ^{ns}	Soluble proteins
-0.076 ^{ns}	0.646 ^{ns}	-0.389 ^{ns}	0.690*	APX
-0.162 ^{ns}	0.219 ^{ns}	-0.446 ^{ns}	-0.123 ^{ns}	GPX
-0.785*	-0.055 ^{ns}	-0.681*	-0.387 ^{ns}	Proline
0.384 ^{ns}	0.394 ^{ns}	0.121 ^{ns}	0.104 ^{ns}	H ₂ O ₂
0.504 ^{ns}	-0.054 ^{ns}	0.797**	0.460 ^{ns}	MDA

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

** and *: Significant at the levels of 1% and 5%, respectively and ns: not Significant

روش آبیاری غرقاب دائم بود. هم‌چنین، کم‌ترین میزان کارایی مصرف آب، معادل ۰/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب از تیمار F1 در روش غرقاب دائم به‌دست آمد (جدول ۴). در همین راستا، بیش‌ترین میزان عملکرد شلتوک در ایستگاه سوادکوه، به میزان ۴۷۷۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به ترکیب تیماری آبیاری غرقاب دائم و تیمار F9 به‌دست آمد که در مقایسه با تیمار F1 در روش‌های آبیاری غرقاب دائم و کم‌آبیاری، به‌ترتیب ۲۵/۱ و ۳۰/۳ درصد بیش‌تر بوده است. از سوی دیگر، بیش‌ترین میزان کارایی مصرف آب نیز از برهم‌کنش تیمارهای F9 در روش کم آبیاری، معادل ۰/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر سطوح کاربرد کود در آبیاری غرقاب بود. کم‌ترین میزان کارایی مصرف آب نیز، معادل ۰/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب از تیمار F1 در روش غرقاب دائم حاصل شد (جدول ۵).

نتایج همبستگی صفات مورد بررسی حاکی از رابطه مثبت و معنی‌دار عملکرد شلتوک با میزان فعالیت APX، در ایستگاه آمل و میزان پروتئین محلول در ایستگاه سوادکوه در تیمار آبیاری غرقاب دائم بود. هم‌چنین، عملکرد شلتوک در تیمار کم‌آبیاری رابطه منفی و معنی‌داری با میزان Pro در هر دو ایستگاه نشان داد. رابطه میزان پروتئین محلول و عملکرد شلتوک نیز در هر دو ایستگاه در شرایط کم‌آبیاری مثبت و معنی‌دار بود. از سوی دیگر، تنها در ایستگاه آمل همبستگی معنی‌داری بین عملکرد شلتوک و میزان MDA در شرایط کم آبیاری وجود داشت (جدول ۶). بر اساس یافته‌های پژوهش

سطوح مختلف تیمار کاربرد کود پتاسیمی اثر معنی‌داری بر میزان صفات CAT و GPX، H₂O₂، Pro و MDA، در هر دو ایستگاه و صفات میزان RWC و فعالیت APX، در ایستگاه سوادکوه نداشت. اما در ایستگاه آمل، میزان فعالیت APX و RWC تحت تأثیر کاربرد کود پتاسیمی قرار گرفتند. بر این اساس، بیش‌ترین میزان APX، معادل ۳۳/۱۳ واحد جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین از تیمار F4 حاصل شد که ۱۰/۵ درصد بیش‌تر از تیمار F1 بود. هم‌چنین، بیش‌ترین میزان RWC معادل ۸۴/۹ درصد مربوط به تیمار F9 بود که میزان این صفت را در مقایسه با تیمار F1، ۴/۸ درصد افزایش داد. از سوی دیگر، میزان پروتئین محلول با کاربرد کودهای پتاسیمی در هر دو ایستگاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان آن معادل ۵۶/۵ و ۵۹/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، به‌ترتیب از تیمار F9، در ایستگاه آمل و تیمار F4، در ایستگاه سوادکوه حاصل شد که به‌ترتیب ۱۲/۲ و ۱۴/۱ درصد بیش‌تر از تیمار F1 بود (جدول ۴).

بر اساس یافته‌ها، بیش‌ترین میزان عملکرد شلتوک در ایستگاه آمل، معادل ۴۹۴۵ کیلوگرم در هکتار از برهم‌کنش تیمارهای آبیاری غرقاب دائم و تیمار F9 به‌دست آمد که در مقایسه با تیمار F1 در روش‌های آبیاری غرقاب دائم و کم‌آبیاری، به‌ترتیب ۲۲/۸ و ۲۷/۷ درصد بیش‌تر بوده است. از سوی دیگر، بیش‌ترین میزان کارایی مصرف آب نیز از تیمار F9 در روش کم‌آبیاری، معادل ۰/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر سطوح کاربرد کود در

سازگاری و مقاومت گیاهان به تنش آبی بسیار مؤثر باشد (مانیوانان^۶ و همکاران، ۲۰۰۷). در حقیقت گیاه از طریق تجمع ترکیبات اسمزی نظیر Pro و کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش، پتانسیل اسمزی خود را جهت ادامه جذب آب کاهش می‌دهد (ترحمی و همکاران، ۱۳۸۹). تجمع پرولین به دلیل تنش خشکی می‌تواند ناشی از تحریک سنتز آن یا جلوگیری از تجزیه آن و یا تجزیه پروتئین‌ها باشد (مانیوانان و همکاران، ۲۰۰۷).

بر اساس یافته‌ها، اگرچه میزان H₂O₂ تحت تأثیر کم‌آبی در هر دو ایستگاه افزایش یافت اما این افزایش در ایستگاه سوادکوه معنی‌دار نبود. عدم افزایش معنی‌دار میزان H₂O₂ در ایستگاه سوادکوه را شاید بتوان به کم‌تر بودن میانگین درجه حرارت و مجموع ساعات آفتابی در این ایستگاه مرتبط دانست (جدول ۱) که می‌تواند موجب تعرق کمتر گیاه و کاهش تبخیر از سطح خاک و کاهش اثرات زیان‌بار تنش کم‌آبی گردد. در پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد تیمار کاربرد کودهای پتاسیمی نتوانسته است موجب کاهش تولید این گونه‌ی اکسیژن فعال گردد. با این وجود در ایستگاه آمل، میزان این صفت تحت تأثیر کاربرد کودهای پتاسیمی به‌طور غیرمعنی‌داری کاهش یافت. تنش خشکی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم سبب تولید رادیکال‌های اکسیژن و تنش اکسیداتیو در گیاه می‌گردد (سلیمان‌زاده^۷ و همکاران، ۲۰۱۰). بر اساس گزارشات، H₂O₂ به‌صورت مستقیم در بیان بسیاری از ژن‌ها دخالت داشته و سبب فعالیت بیش‌تر سیستم آنتی‌اکسیدانی نظیر افزایش بیش‌تر فعالیت CAT و APX (گیل و توتجا^۸، ۲۰۱۰) در شرایط تنش کم‌آبی می‌شود. در همین راستا، شارما و دویی (۲۰۰۵) و محدزین و اسماعیل (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که با اعمال تنش ملایم خشکی بر گیاه برنج، فعالیت APX و CAT افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی توسط ژانگ^۹ و همکاران (۲۰۰۶) گزارش گردید که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. چنین به‌نظر می‌رسد که در شرایط تنش کم‌آبی، افزایش غلظت H₂O₂ سبب افزایش فعالیت CAT، APX و GPX برای تجزیه‌ی H₂O₂ گردید. چرا که نقش اصلی این آنزیم‌ها جاروب کردن H₂O₂ تولید شده از تنفس نوری می‌باشد (آسادا^{۱۰}، ۲۰۰۰). به‌عبارتی، H₂O₂ تولید شده توسط CAT (مولر^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۷) و یا APX (آسادا، ۲۰۰۰) تبدیل به آب و اکسیژن می‌شود. در پژوهشی دیگر گزارش شده است که H₂O₂ در چرخه گلوکاتایون-آسکوربات، که APX آنزیم کلیدی

حاضر، میزان اثربخشی کود زیستی بر صفات فیزیولوژیک موردبررسی، عملکرد شلتوک و کارایی مصرف آب، کم‌تر از سطوح کاربرد کودهای شیمیایی پتاسه بود. به‌طوری‌که میزان عملکرد شلتوک در برهم‌کنش کاربرد تیمار کود زیستی و سطوح آبیاری غرقاب دائم و کم‌آبیاری در ایستگاه آمل، به ترتیب ۴۲۰۰ و ۴۰۰۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که ۴/۳ و ۷/۹ درصد، بیش‌تر از سطح F1 و ۱۷/۷ و ۱۵/۶ درصد، کم‌تر از سطح F9 بود (جداول ۴ و ۵).

کاهش میزان پروتئین محلول در اثر تنش کم‌آبی در برنج (محدزین و اسماعیل، ۲۰۱۶؛ شارما و دویی، ۲۰۰۵) پیش‌تر گزارش شده بود. همچنین، افزایش میزان پروتئین محلول تحت تأثیر کاربرد کودهای پتاسیمی در پژوهش حاضر، با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت دارد (چایتانیا^۱ و همکاران، ۲۰۰۲). مارکز^۲ و همکاران (۲۰۱۴) نیز افزایش پروتئین محلول برگ با کاربرد کودهای کلرور پتاسیم و سولفات پتاسیم را گزارش کرده بودند. در همین راستا گزارش گردید که هر گونه کاهش در غلظت پروتئین‌های محلول، نشانه کاهش غلظت آنزیم روبیسکو بوده و این موضوع می‌تواند کاهش میزان فتوسنتز جاری و در نهایت میزان عملکرد را در پی داشته باشد. زیرا که یکی از دلایل کاهش سرعت فتوسنتز در طول دوره تنش خشکی در گیاه، کاهش فعالیت روبیسکو به‌عنوان مهم‌ترین و فراوان‌ترین پروتئین برگ پرچم (لال و ادواردز^۳، ۱۹۹۶) به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین (هانسون و هیتز^۴، ۱۹۸۲) و یا تخریب به‌وسیله رادیکال‌های فعال اکسیژن به‌صورت غیرآنزیمی (پری^۵ و همکاران، ۲۰۰۲) است.

در پژوهش حاضر در هر دو ایستگاه، زمانی که گیاه تحت تنش کم‌آبی قرار گرفت، مقدار Pro به‌عنوان یکی از اسمولیت‌های سازگار در گیاهان تحت تنش، افزایش یافت. افزایش معنی‌دار میزان Pro تحت تنش کم‌آبی، پیش‌تر در پژوهش‌های دیگری روی برنج (محدزین و اسماعیل، ۲۰۱۶؛ آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵) گزارش شده بود. با توجه به نتایج، می‌توان این‌گونه اظهار نمود که تولید این تنظیم‌کننده اسمزی، یک پاسخ معمول به شرایط تنش مختصر ناشی از کم‌آبیاری می‌باشد (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵). به‌عبارتی دیگر، قابلیت گیاهان در تجمع میزان Pro در شرایط تنش رطوبتی، به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای نیتروژن و یا کاهنده پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم (بیان و همکاران، ۱۳۸۸)، بسیار مهم بوده و می‌تواند در

6. Manivannan
7. Soleimanzadeh
8. Gill and Tuteja
9. Zhang
10. Asada
11. Moller

1. Chaitanya
2. Marques
3. Lal and Edwards
4. Hanson and Hitz
5. Parry

MDA مؤثر باشد. سلیمان‌زاده و همکاران (2010) با بررسی گیاه آفتابگردان تحت تنش خشکی گزارش کردند که یک نسبت بین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و تجمع MDA در برقراری مقاومت به خشکی وجود دارد و هرچه این نسبت بیش تر باشد مقاومت بیش تر است.

همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، کاهش RWC تحت تنش کم‌آبی توسط سایر پژوهشگران در برنج (فروغ^۳ و همکاران، 2009) گزارش شده است. از سوی دیگر، در ایستگاه آمل، میزان RWC در برخی سطوح تیمار کاربرد کود به‌طور معنی داری در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود افزایش یافت. این نتایج با یافته‌های مارچنر^۴ (1995) در خصوص اثر مثبت کودهای پتاسیمی بر افزایش میزان RWC، هم‌خوانی دارد. به نظر می‌رسد گیاهان تحت تنش خشکی، فضای بین‌سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب را با نیروی بیش‌تری از خاک جذب کنند که این امر موجب کاهش میزان RWC در شرایط تنش خشکی می‌گردد (خورشیدی و همکاران، ۱۳۸۱).

یافته‌های پژوهش حاضر حاکی از کاهش عملکرد شلتوک با کاهش آبیاری بود. این نتایج توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده بود (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵). در همین راستا، نتایج حاکی از کاهش بیش‌تر عملکرد شلتوک تحت تأثیر تیمار کم آبیاری در ایستگاه آمل بود. به‌طور مثال در تیمار عدم کاربرد کود پتاسیمی، این کاهش در اثر کم‌آبی از حدود ۴/۲ درصد در ایستگاه سوادکوه به ۸/۴ درصد در ایستگاه آمل در مقایسه با روش غرقاب دائم رسید که آن را می‌توان به تفاوت‌های اقلیمی مانند کاهش حدود سه و نیم برابری میزان بارندگی و افزایش ۱۶/۲ درصدی متوسط درجه حرارت در طول فصل رشد برنج در ایستگاه آمل مربوط دانست (جدول ۱) که منجر به افزایش میزان تبخیر آب و در نهایت کاهش بیش‌تر عملکرد شد. با این وجود، میزان عملکرد شلتوک در ایستگاه آمل بیش‌تر از ایستگاه سوادکوه بود. به‌نظر می‌رسد کم‌تر بودن مجموع ساعات آفتابی در طول فصل رشد در ایستگاه سوادکوه در مقایسه با ایستگاه آمل (جدول ۱)، مانعی جهت دستیابی به عملکرد بهینه در این پژوهش در ایستگاه سوادکوه بود. از دلایل عملکرد کم‌تر گیاه در شرایط کم‌آبیاری، می‌توان به افزایش احتمال وقوع تنش سرمایی در شب به‌دلیل عدم تثبیت دمای خاک توسط آب سطحی و هم‌چنین، کاهش راندمان مصرف کود و جذب آن توسط گیاه (یوسفیان، ۱۳۸۹)، بسته شدن روزنه‌ها و افت

آن است، تجزیه می‌گردد (پاسترناک^۱ و همکاران، 2005). بر این اساس و با توجه به افزایش فعالیت CAT، APX و GPX در شرایط کم‌آبی در هر دو ایستگاه مورد مطالعه، می‌توان اظهار داشت که این آنزیم‌ها نقش موازی و مشابهی را در سیستم دفاعی گیاه جهت سم‌زدایی و تجزیه H₂O₂ تولید شده در سلول، ایفا نمودند. اگرچه، گزارش گردید که بسته به گونه گیاهی، مرحله رشد و نوع و میزان تنش، دسته خاصی از این آنتی‌اکسیدان‌ها افزایش می‌یابند (حیدری و مصری، ۱۳۸۹).

مطابق یافته‌های پژوهش حاضر، برخی سطوح تیمار کاربرد کود پتاسیمی از جمله کاربرد تیمار F4 در ایستگاه آمل، سبب افزایش معنی‌دار میزان فعالیت APX در مقایسه با تیمار F1 شد. با این وجود، این افزایش در ایستگاه سوادکوه و هم‌چنین برای CAT و GPX در هر دو ایستگاه مشاهده نشد. این یافته‌ها به نوعی می‌تواند بیانگر این باشد که فعالیت این آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مشابه مکانیسم تنظیم اسمزی تحت تأثیر کاربرد کودهای پتاسیمی قرار نگرفت. در همین راستا، مارکز و همکاران (2014) افزایش فعالیت APX را با کاربرد کودهای کلرور پتاسیم و سولفات پتاسیم در گیاه بادمجان گزارش کردند. هم‌چنین، نتایج پژوهش‌های دیگری نشان داد که کود پتاسیمی می‌تواند نقش محافظتی مهمی در کاهش اثرات مضر H₂O₂ در گیاه برنج تحت تنش کم‌آبی از طریق افزایش فعالیت CAT داشته باشد (محدزین و اسماعیل، 2016؛ تریپاتی^۲ و همکاران، 2009).

تجمع MDA در شرایط کم‌آبی در ایستگاه آمل، افزایش معنی‌داری نسبت به شرایط بدون تنش داشت. با این وجود، این افزایش در ایستگاه سوادکوه معنی‌دار نبود. تفاوت در نتایج به‌دست‌آمده در دو ایستگاه از لحاظ میزان تجمع MDA، ممکن است نشان از وقوع تنشی ملایم‌تر در ایستگاه سوادکوه، به‌دلیل ۱۶ درصد متوسط درجه حرارت پایین‌تر و ۵۹ درصد مجموع ساعات آفتابی کم‌تر در مقایسه با ایستگاه آمل باشد (جدول ۱). اگرچه تأثیر برخی شرایط نامناسب کشت نظیر بالا بودن هدایت الکتریکی خاک در ایستگاه آمل (جدول ۳)، بر گیاه را نمی‌توان نادیده گرفت. چرا که، اسیدیته اشباع خاک مناسب جهت کشت برنج به‌ویژه در خزانه، پنج تا شش گزارش شده است (عرفانی، ۱۳۹۵). در مجموع به‌نظر می‌رسد شرایط محیطی در ایستگاه سوادکوه، تنش اکسیداتیو را در مقایسه با ایستگاه آمل کاهش داده و میزان پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب آن‌ها را کاهش داده باشد. هم‌چنین ممکن است افزایش معنی‌دار فعالیت CAT، APX و GPX در شرایط کم‌آبی، بر میزان تجمع

3. Farooq
4. Marschner

1. Pasternak
2. Tripathi

آن‌ها با شرایط محیطی و خاک در مناطق مورد استفاده است (بخشنده و همکاران، ۲۰۱۷). در همین راستا، پیش‌تر نیز گزارش شده بود که ریزجانداران جداسازی‌شده از منطقه ریزوسفر گیاه میزبان ممکن است نسبت به ریزجانداران جداسازی‌شده از دیگر مناطق، سازگاری بهتری با گیاه میزبان داشته باشند (گوپالاکریشنان^۹ و همکاران، ۲۰۱۱).

به‌طور کلی، افزایش میزان H_2O_2 و میزان MDA و کاهش RWC و میزان پروتئین محلول، نشان‌دهنده‌ی بروز تنش کم آبی در گیاه در روش کم‌آبیاری است. هم‌چنین مشخص گردید بالا رفتن میزان فعالیت CAT، APX و GPX در گیاه برنج تحت تنش، تنها مکانیسم تحمل به کم‌آبی نیست، بلکه این مکانیسم در کنار ترکیبات سازگارکننده همانند اسیدآمینه پرولین بر میزان تحمل گیاه می‌افزاید. با این وجود، اگرچه میزان کارآبی مصرف آب در روش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از روش آبیاری غرقاب دائم بود اما عملکرد شلتوک کاهش معنی-داری نشان داد. بر این اساس، میزان کاهش مصرف آب در تیمار کم‌آبیاری در ایستگاه آمل، در حدود ۳۴ درصد و در ایستگاه سوادکوه، ۳۶ درصد کم‌تر از روش غرقاب دائم بود. از سوی دیگر، با توجه به پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه به کاربرد کود پتاسیمی، به‌ویژه تیمار کاربرد کامل کود کلرورپتاسیم به-صورت پایه و تیمار کاربرد نیمی از کود سولفات پتاسیم به-صورت پایه و نیمی از کود کلرور پتاسیم در مرحله سرک، به-نظر می‌رسد پتاسیم سبب کاهش آثار نامطلوب کم‌آبی بر عملکرد شلتوک گیاه برنج گردید.

فتوسنتز (فرخی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۰) و افزایش درصد پوکی شلتوک در خوشه (راد^۱ و همکاران، ۲۰۱۲) اشاره کرد.

افزایش عملکرد شلتوک با کاربرد کود پتاسیمی در برنج پیش‌تر گزارش شده بود (زمان^۲ و همکاران، ۲۰۱۵؛ محدزین و اسماعیل، ۲۰۱۶) که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. پرویز^۳ و همکاران (۲۰۰۴) این افزایش را در شرایط تنش کم‌آبی نیز گزارش کردند. در همین راستا، محدزین و اسماعیل (۲۰۱۶) اظهار داشتند که کاربرد هر دو کود کلرور پتاسیم و سولفات پتاسیم سبب کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی در برنج شد. با این وجود، آن‌ها گزارش کردند که کود کلرورپتاسیم اثر بیش‌تری بر نرخ فتوسنتز خالص گیاه برنج در مقایسه با کود سولفات پتاسیم داشت که دلیل آن را به جذب بیش‌تر پتاسیم در اثر کاربرد کود کلرورپتاسیم مرتبط دانستند. پژوهشگران دلایل افزایش عملکرد در پاسخ به کاربرد کود پتاسیم تحت تنش کم‌آبی را مربوط به افزایش رشد ریشه و در نتیجه جذب بیش‌تر سایر عناصر غذایی و آب توسط گیاه (کارمیس فیلهو^۴ و همکاران، ۲۰۱۷)، کاهش تعرق (محدزین و اسماعیل، ۲۰۱۶)، حفظ پتانسیل اسمزی و تورگر سلول‌ها (شین^۵، ۲۰۱۴) و تنظیم عملکرد روزنه‌ای در شرایط تنش (عمر^۶، ۲۰۰۶) دانستند که در نهایت می‌تواند منجر به افزایش عملکرد در شرایط تنش گردد. یافته‌های پژوهش حاضر در خصوص افزایش کارآبی مصرف آب با کاهش میزان آبیاری، با نتایج عباسی و سپاسخواه^۷ (۲۰۱۱) مطابقت دارد. هم‌چنین مطابق نتایج، کاربرد تیمارهای کود پتاسیمی نیز موجب افزایش معنی‌دار کارآبی مصرف آب گردید. افزایش کارآبی مصرف آب با کاربرد کود پتاسیم نیز توسط سایر پژوهشگران گزارش شده بود (محدزین و اسماعیل، ۲۰۱۶) که با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. این اثر مثبت پتاسیم بر کارآبی مصرف آب ممکن است به‌دلیل اثر آن بر افزایش رشد ریشه (بیها^۸ و همکاران، ۲۰۱۰) و افزایش جذب عناصر غذایی و آب به‌وسیله گیاه باشد (محدزین و اسماعیل، ۲۰۱۶).

بر اساس نتایج، کود زیستی تجاری مورد استفاده در پژوهش حاضر اثر معنی‌داری بر صفاتی نظیر RWC، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، عملکرد شلتوک و کارآبی مصرف آب نداشت. گزارش شده است که از دلایل مهم عدم اثرگذاری کودهای زیستی تجاری، عدم سازگاری و تطابق باکتری‌های غیربومی

1. Rad
2. Zaman
3. Pervez
4. Carmeis Filho
5. Shin
6. Umar
7. Abbasi and Sepaskhah
8. Bhiah

منابع

- آقاجانی دلور، ع. ۱۳۹۵. بررسی نقش قارچ شبه‌میکوریز *Piriformospora indica* بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد دو رقم برنج در شرایط کم‌آبیاری. پایان‌نامه دکتری زراعت. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۸۶ صفحه.
- آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی. ۱۳۹۴. آمارنامه کشاورزی، محصولات زراعی (جلد اول). وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۱۷۴ صفحه.
- آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران. ۱۳۹۶. زراعت برنج در استان مازندران. معاونت بهبود تولیدات گیاهی، سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران. ۶ صفحه.
- ترحمی، گ.، لاهوتی، م. و عباسی، ف. ۱۳۸۹. بررسی اثرات ناشی از تنش خشکی بر روی تغییرات قندهای محلول، میزان کلروفیل و پتاسیم در گیاه نوروک. مجله علوم زیستی، ۳ (۱): ۷-۱.
- حیدری، م. و مصری، ف. ۱۳۸۹. بررسی سطوح مختلف شوری بر واکنش‌های فیزیولوژیکی و جذب عناصر سدیم و پتاسیم در گندم. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۳ (۱): ۹۴-۸۳.
- خورشیدی، م.، رحیم‌زاده، ب.، میرهادی، م. و نورمحمدی، ق. ۱۳۸۱. بررسی اثرات تنش خشکی در مراحل رشد سبب‌زمینی. مجله علوم زراعی ایران، ۴ (۱): ۵۹-۴۸.
- عرفانی، ع. ۱۳۹۵. دستورالعمل تولید برنج سالم در شرایط کشاورزی پایدار. انتشارات معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور-معاونت مازندران. ۱۱۱ صفحه.
- فرخی‌نیا، م.، رشدی، م.، پاسبان اسلام، ب. و ساسان‌دوست، ر. ۱۳۹۰. بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴ (۳): ۵۵۳-۵۴۵.
- محمدیان، م. ۱۳۹۵. مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه برنج در شرایط تولید پایدار. دستورالعمل تولید برنج سالم در شرایط کشاورزی پایدار. انتشارات معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور-معاونت مازندران. ۴۲-۲۴.
- یوسفیان، م. ۱۳۸۹. مطالعه کارایی مصرف آب در کشت نشایی برنج (ارقام طارم و شیرودی). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان. ۹۷ صفحه.
- Abbasi, M. R. and Sepaskhah, A. R. 2011. Response of different rice cultivars (*Oryza sativa* L.) to watersaving irrigation in greenhouse conditions. International Journal of Plant Production, 5 (1): 37-47.
- Aebi, H. 1984. Catalase *in vitro*. Method of Enzymology, 105: 121-126.
- Asada, K. 2000. The water-water cycle as alternative photon and electron sinks. Philosophical Transactions of the Royal Society, 355 (1402): 1419-1431.
- Bakhshandeh, E., Pirdashti, H. and Shahsavarpour Lendeh, K. 2017a. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. Ecological Engineering, 103: 164-169.
- Bhiah, K., Guppy, P., Lockwood, P. and Jessop, R. 2010. Effect of potassium on rice lodging under high nitrogen. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions and Changing World, Brisbane, Australia.
- Carmeis Filho, A. C. A., Crusciol, C., Nascente, A., Mauad, M. and Garcia, R. 2017. Influence of potassium levels on root growth and nutrient uptake of upland rice cultivar. Revista Caatinga, 30 (1): 32-44.
- Chaitanya, K., Sundar, D., Masilamani, S. and Ramachandra, R. A. 2002. Variation in heat stress induced antioxidant enzyme activities among three mulberry cultivars. Plant Growth Regulation, 36: 175-180.
- Farooq, M., Wahid, A., Lee, D. J., Ito, O. and Siddique, K. H. M. 2009. Advances in drought resistance of rice. Critical Reviews in Plant Science, 28: 199-217.
- Gill, S. S. and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry, 48: 909-930.
- González, L. and González-Vilar, M. 2001. Determination of Relative Water Content. In: Reigosa Roger, M. J. (eds) Handbook of Plant Ecophysiology Techniques. Springer, Dordrecht.
- Gopalakrishnan, S., Humayun, P., Kiran, B. K., Kannan, I. G. K., Vidya, M. S., Deepthi, K. and Rupela, O. 2011. Evaluation of bacteria isolated from rice rhizosphere for biological control of charcoal rot of sorghum caused by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 27: 1313-1321.
- Hanson, A. D. and Hitz, W. D. 1982. Metabolic responses of mezophytes to plant water deficit. Annual Review of Plant Physiology, 33: 163-203.
- Ibragimov, N., Evett, S. R., Esanbekov, Y., Kamilov, B. S., Mirzaev, L. and Lamers, J. P. A. 2007. Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. Agricultural Water Management, 90: 112-120.
- IRRI, PhilRice, NIA and BASC. 2005. Aerobic Rice: A water-saving technology in development. www.irri.com.
- Jubany-Mari, T., Prinsen, E., Munne-Bosch, S. and Alegre, L. 2010. The timing of methyl jasmonate, hydrogen peroxide and ascorbate accumulation during water deficit and subsequent recovery in the Mediterranean shrub *Cistus albidus* L., Environmental and Experimental Botany, 69: 47-55.
- Kong, L., Sun, M., Wang, F., Liu, J., Feng, B., Si, J., Zhang, B., Li, S. and Li, H. 2014. Effects of high NH₄⁺ on K⁺ uptake, culm mechanical strength and grain filling in wheat. Front. Plant Science, doi: 10.3389/fpls.2014.00703.

- Lal, A. and Edwards, G. E. 1996. Analysis of inhibition of photosynthesis under water stress in the C4 species *Amaranthus cruentus* and *Zea mays*: electron transport, CO₂ fixation and carboxylation capacity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 23: 403-412.
- Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Alagu Lakshmanan, G. M. and Panneerselvam, R. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59: 141-149.
- Marques, D. J., Broetto, F., Ferriera, M. M., Klynger, A., Lobato, S., de Avila, F. W. and Pereira, F. J. 2014. Effect of potassium sources on the antioxidant activity of eggplant. *The Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38: 1836-1842.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd ed. Academic Press, California, USA.
- Mohd Zain, N. A. and Ismail, M. R. 2016. Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical changes in rice (*Oryza sativa*) planted under cyclic water stress. *Agricultural Water Management*, 164: 83-90.
- Moller, I. M., Jensen, P. E. and Hansson, A. 2007. Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 58: 459-481.
- Paquine, R. and Lechasseur, P. 1979. Observation sur une methode dosage la libre dans les de plants. *Canadian Journal of Botany*, 57: 1851-1654.
- Parmar, P. and Sindhu, S. S. 2013. Potassium solubilizing by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environment conditions. *Journal of Microbiology Research*, 3 (1): 25-31.
- Parry, M. A. J., Andralojc, P. J., Khan, S., Lea, P. J. and Keys, A. J. 2002. Rubisco activity: effects of drought stress. *Annal Botany*, 89: 833-839.
- Pasternak, T., Rudas, V., Potters, G. and Jansen, M. 2005. Morphogenic effects of abiotic stress: reorientation of growth in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 53: 299-314.
- Pervez, H., Ashraf, M. and Makhdam, M. I. 2004. Influence of potassium nutrition on gas exchange characteristics and water relations in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Photosynthetica*, 42: 251-255.
- Rad, H. E., Aref, F. and Rezaei, M. 2012. Rice growth and yield components respond to changes in water salinity stress. *World Applied Sciences Journal*, 20: 997-1007.
- Sergive, I., Alexieva, V. and Karanov, E. 1997. Effect of spermine, atrazine and combination between them on some endogenous protective systems and stress markers in plants. *Comptes Rendus de l'Académie Bulgare Des Sciences*, 51: 121-124.
- Sharma, P. and Dubey, R. S. 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, 46: 209-221.
- Shin, R. 2014. Strategies for improving K use efficiency in plants. *Molecules and Cells*, 37 (8): 575-584.
- Soleimanzadeh, H., Habibi, D., Ardakani, M. R., Paknejad, F. and Rejali, F. 2010. Effect of potassium levels on antioxidant enzymes and malondialdehyde content under drought stress in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5 (1): 56-61.
- Tang, W. and Newton, R. J. 2005. Peroxidase and Catalase activities are involved in direct adventitious shoot formation induced by thidiazuron in eastern white pine (*Pinus strobus* L.) zygotic embryos. *Plant Physiology and Biochemistry*, 43: 730-769.
- Tripathi, B. N., Bhatt, I. and Dietz, K. J. 2009. Photosynthetic organism. *Protoplas*, 235: 3-15.
- Umar, S. 2006. Alleviating adverse effects of water stress on yield of sorghum, mustard and groundnut by potassium application. *Pakistan Journal of Botany*, 38: 1373-1380.
- Vessy, K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255: 571-586.
- Zaman, U., Ahmad, Z., Farooq, M., Saeed, S., Ahmad, M. and Wakeel, A. 2015. Potassium fertilization may improve stem strength and yield of Basmati rice grown on nitrogen fertilized soils. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52: 1-7.
- Zhang, H. W., Song, Y. C. and Tan, R. X. 2006. Biology and chemistry of endophytes. *Natural Product Reports*, 23: 753-771.

Physiological and Antioxidant Responses of Rice (*Oryza sativa* L.) Plant in Reaction to Deficit Irrigation and Application of Certain Potassium Fertilizers

Mohseni¹, S. H., Esmaeli^{2*}, M. A., Pirdashti³, H., Abasi⁴, R. and Nasiri⁵, M.

Abstract

In order to evaluate the effect of deficit irrigation and certain types of potassium fertilizers on some physiological characteristics and antioxidant enzymes activity in rice (cv. Tarom Hashemi), two field experiments were conducted in the Amol and Savadkouh stations. Treatments were different irrigation methods at two levels (flooding, flooding after falling water depth under 10 cm of soil surface) and the application of different potassium fertilizers including potassium sulphate, potassium chloride and potassium biofertilizer at nine levels. Based on the results, relative water content (RWC) and soluble leaf proteins significantly decreased under deficit irrigation in both two stations as compared to flooding irrigation treatment. Also, the accumulation of proline and the activity of antioxidant enzymes such as catalase, ascorbate peroxidase (APX) and guaiacol peroxidase in both two stations, and the amount of hydrogen peroxide and malondialdehyde in the Amol station increased under deficit irrigation. Results demonstrated a positive effect of potassium fertilizer application through significant increment in soluble leaf proteins in both two stations. Also, RWC and APX activity were increased in Amol station under limited irrigation condition. The highest amounts of grain yield was obtained from the 50% of potassium sulfate (as basal) and 50% of potassium chloride (as top dressing) treatment under deficit irrigation that was around 22.8 and 21.5% higher than the control treatment in both Amol and Savadkouh stations, respectively. Generally, results showed an optimal effectiveness of potassium sulfate and potassium chloride application reducing undesirable effects of water deficit stress on rice grain yield.

Keywords: Relative water content, Potassium chloride, Potassium sulfate, Proline

1, 2 and 4. PhD Student, Associate Professor and Assistant Professor, Respectively, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3. Associate Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

5. Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran- Mazandaran Branch, Agricultural Research, Extension Organization (AREO), Amol, Iran

*: Corresponding author Email: Esmaeli33@gmail.com

This paper has been extracted from the first author's PhD thesis under the guidance of Mohammad Ali Esmaeli and Hemmatollah Pirdashti.