Plant Production and Genetics **تولید و ژنتیک گیاهی**
Vol. 5, No. 1, Spring & Summer 2024, p. 33-46 **جلد ۵، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۴۶-۳۳**
DOI: 10.22034/PLANT.2023.62942
مقاله پژوهشی

بررسی اثر کم‌آبیاری و آبیاری بخشی ناحیه ریشه بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه ماش (*Vigna radiate* L.)

نسرین رضایی[۱]، یاسرعلیزاده*[۲]، حمزه علی علیزاده[۳]، احسان اله زیدعلی[۲]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات،دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۳. استادیار، گروه علوم مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۹

چکیده

به منظور بررسی اثر کم آبیاری و آبیاری بخشی ناحیه ریشه بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه ماش، آزمایشی در سال ۱۴۰۰ به‌صورت کرت خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰ (بدون تنش)، ۷۰ (تنش متوسط) و ۵۰ (تنش شدید) درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان تیمارهای اصلی و سه روش آبیاری (معمولی، بخشی ثابت و بخشی متغیر) به‌عنوان تیمارهای فرعی بود. بالاترین میزان عملکرد دانه (۲۱۸۷/۳۷ کیلوگرم در هکتار) و کلروفیل کل ($mg.gFW^{-1}$ ۲/۲۸) در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد و روش آبیاری معمولی و کمترین میزان عملکرد (۵۷۰/۷۰ کیلوگرم در هکتار) و کلروفیل کل ($mg.gFW^{-1}$ ۱/۱) در تیمار تنش شدید و روش آبیاری معمولی بدست آمد. تنش آبی باعث افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید (۳۲ درصد)، کاتالاز (۶۹ درصد) و پراکسیداز آسکوربات (۶۳ درصد) نسبت به تیمار بدون تنش شد. در تیمار آبیاری ۵۰ و ۷۰ درصد، استفاده از روش آبیاری بخشی متغیر نسبت به آبیاری معمولی، سبب افزایش عملکرد، محتوای رطوبت نسبی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنتی اکسیدانی در گیاه ماش شد. اما این اثرات در روش آبیاری بخشی ناحیه ریشه ثابت مشاهده نشد. در تنش متوسط، اعمال روش آبیاری بخشی متغیر با صرفه‌جویی در مقدار آب، عملکردی نزدیک به عملکرد شاهد از خود نشان داد. نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط کم آبیاری، استفاده از آبیاری بخشی متغیر، در کاهش اثرات خشکی در گیاه ماش موثر بود.

کلیدواژگان: آنتی اکسیدان، پرولین، تنش خشک، کلروفیل

*ایمیل نویسنده مسئول: y.alizadeh@ilam.ac.ir

مقدمه

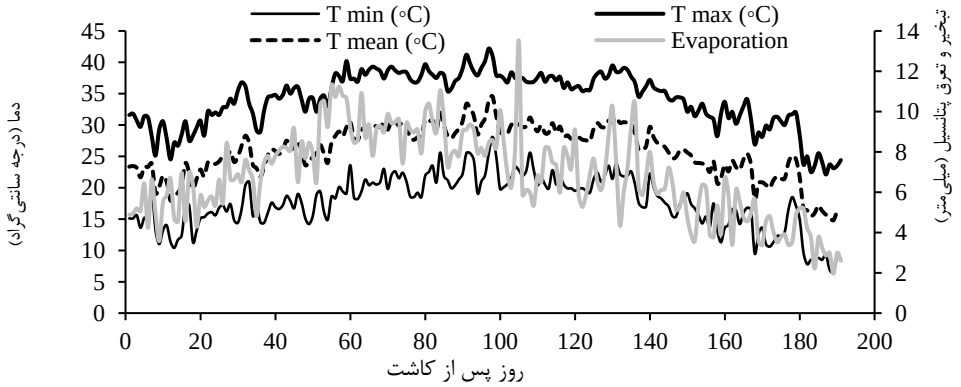
برای تامین غذای جمعیت ۹/۱ میلیارد نفری جهان تا سال ۲۰۵۰ میزان جهانی تولید غذا باید تا ۷۰٪ افزایش یابد (FAO, 2009). در سه دهه گذشته یکی از اصلی‌ترین دلایل افزایش عملکرد و کاهش قیمت محصولات کشاورزی، استفاده از آبیاری در نظام‌های تولید بوده است (Rosegrant *et al.*, 2009). کشاورزی فاریاب ۲۰ درصد از زمین‌های زیر کشت در دنیا را تشکیل داده و ۴۰ درصد از غذای جهان را تولید می‌کند، از طرفی کشاورزی دیم که ۸۰ درصد از زمین‌های زیر کشت در جهان را پوشش می‌دهد، تنها ۶۰ درصد از محصولات گیاهی را تولید می‌کند (Slamini *et al.*, 2022). عملکردهای بالا در نظام‌های کشاورزی فاریاب از طریق استفاده از نهاده‌های شیمیایی کشاورزی (کودها، آفت کش ها و غیره) و آبیاری بوده که اگرچه مصرف این نهاده‌ها در این نظام‌های تولید ضروری است (Singh & Craswell, 2021)، اما اگر مدیریت درستی بر مصرف این نهاده‌ها وجود نداشته باشد منجر به هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی قابل توجهی می‌گردد (FAO, 2017). بین افزایش جهانی تقاضای غذا و کاهش منابع آب در جهان تضادی وجود دارد که باید حل شود و برای حفظ امنیت غذایی بشر با منابع آبی محدود، اتخاذ یک راه حل فوری برای مدیریت آب کشاورزی ضروری است (Sepaskhah & Ahmadi, 2010). روش‌های سنتی آبیاری و استفاده از آبیاری کامل در بسیاری مواقع منجر به تامین بیش از حد آب شده که علاوه بر افزایش هدر رفت آب، باعث شستشوی عناصر غذایی از ناحیه ریشه و افزایش خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی هم می‌گردد (Siyal *et al.*, 2012; Kambou *et al.*, 2014). علاوه بر این، روش‌های آبیاری سنتی بسیار ناکارآمد و با بهره‌وری پایین بوده که عملا نمی‌توانند امنیت غذایی پایدار در درازمدت را تضمین کنند (Sidhu *et al.*, 2021). مدیریت بهینه مصرف آب در مزرعه به این معنی است که آبیاری فقط در صورتی انجام گیرد که گیاه جهت تولید محصول به آن نیاز دارد و از آبیاری‌هایی که نقش چندانی در تولید گیاه ندارد پرهیز شود. بنابراین استفاده از سیستم‌های آبیاری مناسب و روش‌های مدیریتی که هم در مصرف آب صرفه‌جویی گردد و هم با کاهش میزان نفوذ عمقی، آب‌شویی را کاهش دهد، حائز اهمیت است (Salmini *et al.*, 2022). کم آبیارییک روش صرفه‌جویی در مصرف آب است که در سال های اخیر در بسیاری از نقاط جهان و به ویژه در مناطقی که تامین آب محدود است، استفاده شده و منجر به بهبود بهره‌وری آب و راندمان مصرف آب شده است (Asry *et al.*, 2018, Sidho *et al.*, 2021). همچنین آبیاری بخشی ناحیه ریشه شکل جدیدی از سیستم‌های کم آبیاری بوده که در مقایسه با آبیاری معمولی، به طور قابل توجهی باعث افزایش عملکرد در واحد آب مصرفی می‌گردد (Ahmadi *et al.*, 2010). از طرفی افزایش کارایی مصرف آب در این روش آبیاری بدون کاهش قابل توجه عملکرد حاصل می‌شود (Ben nona *et al.*, 2016). آبیاری بخشی ناحیه ریشه یک استراتژی آبیاری سازگار با محیط زیست محسوب می‌شود که می‌تواند شست‌وشوی آلاینده‌ها را به محیط دریافت کننده کاهش دهد (Barzegari *et al.*, 2017). در روش آبیاری بخشی ناحیه ریشه نیمی از منطقه ریشه آبیاری می‌شود و نیمه دیگر خشک باقی می‌ماند سپس قسمتی از سیستم ریشه‌ای که آبیاری شده خشک نگه‌داشته می‌شود درحالی که قسمت خشک قبلی آبیاری می‌شود (Sepaskhah & Ahmadi, 2010). علاوه بر این روش کم‌آبیاری بخشی ناحیه ریشه بر این فرض استوار است که بخشی از ریشه که تحت تنش واقع شده است، ریشه‌های نابجا تولید نموده و با خشک و تر نمودن متناوب، سیستم ریشه‌ای خود را توسعه می‌بخشد، لذا گیاهان در روش کم‌آبیاری بخشی ریشه می‌توانند سیستم ریشه‌ای متفاوتی در مقایسه با گیاهانی که تحت آبیاری کامل و یا کم‌آبیاری تنظیم شده قرار دارند، داشته باشند (Dry & Loveys, 1998). ریشه‌ها با تولید تنظیم‌کننده‌های رشد مانند سیتوکینین و اسید آبسیزیک (ABA) بر بسیاری از عملکردهای فیزیولوژیکی گیاه تأثیر می‌گذارند (Bravdo, 2005). در خاک خشک، ریشه‌ها ABA بیشتری نسبت به شرایط عادی تولید می‌کنند و به عنوان یک سیگنال شیمیایی ضد تنش از ریشه به سمت اندام هوایی منتقل شده و تبادل روزنه‌ای را محدود می‌کند و بطورکلی در تنش‌های متوسط خشکی، ABA زودتر از سیگنال هیدرولیک عمل می‌کند (Sepaskhah & Ahmadi, 2010). هنگامی که آبیاری بخشی روی یک محصول اعمال می‌شود، ریشه‌ها در سمت بدون آبیاری باعث ترشح ABA می‌شوند، در حالی که ریشه‌های سمت آبیاری شده وضعیت آب مطلوبی را در قسمت هوایی گیاه حفظ می‌کنند (Dodd *et al.*, 2008). گزارش شده است که آبیاری بخشی باعث بسته شدن نسبی روزنه‌ها شده و خروج آب را

بیش از انتشار دی‌اکسیدکربن محدود می‌کند و درنتیجه باعث کاهش تعرق بدون تاثیر بر فتوسنتز گیاه می‌گردد و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب در گیاهان را بدنبال دارد (Taize & zeiger, 2007; Romero *et al.*, 2014). در روش آبیاری کامل، روزنه‌های گیاهان بطور کامل باز می‌باشد و هر گونه کوچک شدن دهانه روزنه‌های هوایی می‌تواند باعث کاهش قابل توجه اتلاف آب با تأثیر کمی بر فتوسنتز شود (Kang & Zhang, 2004). در دو گیاه گوجه فرنگی و سیب زمینی افزایش کارایی مصرف آب و عملکرد در روش آبیاری بخشی ناحیه ریشه نسبت به روش‌های کم‌آبیاری و آبیاری کامل گزارش شده است که دلیل آن تغییر تراکم و میزان باز بودن روزنه‌های هوایی بیان شده است (Yan *et al.*, 2012; Sun *et al.*, 2014). گزارش شده است که روش آبیاری بخشی در گیاهان مختلف باعث افزایش فعالیت ریشه در جذب از مناطق عمیق‌تر خاک (Dry *et al.*, 2001; Dos Santos *et al.*, 2015)، افزایش زیست‌توده ریشه (Mingo *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2021; Qi *et al.*, 2019)، افزایش قابلیت جذب آب بخصوص در شرایط تنش متوسط (Romero *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2014)، بهبود هدایت هیدرولیکی ریشه (Thompson *et al.*, 2007; Zhenchang *et al.*, 2016) و افزایش کارایی جذب عناصر غذایی (Kang & Zhang, 2004; Jovanovic & Stikic, 2018) می‌گردد.

ماش (*Vigna radiate* L.) یک لگوم دانه‌ریز، تابستانه و با طول رشد کوتاه می‌باشد که از عمده‌ترین منابع پروتئینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Shokouhfar & Abofatilehnezhad, 2013). به دلیل محدود بودن آب در سطح جهانی، امروزه حجم زیادی از تولید حبوبات در مناطقی دیم انجام می‌گیرد و تنش خشکی یکی از اصلی‌ترین عوامل کاهش عملکرد در این گیاهان است(Haghighi & behboudian, 2011). با توجه به مطالب گفته شده هدف از انجام این آزمایش بررسی اثر سطوح آبیاری و روش آبیاری بخشی بر میزان عملکرد، خصوصیات فیزیولوژیکی و پارامترهای فتوسنتزی گیاه ماش بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری و آبیاری بخشی ناحیه ریشه بر عملکرد، خصوصیات فیزیولوژیکی و پارامترهای فتوسنتزی گیاه ماش آزمایشی در سال ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۷۴ متر انجام گردید. آب و هوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه معتدل و نیمه مرطوب می‌باشد. این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۹ تیمار انجام گرفت. تیمارهای اصلی شامل سه سطح آبیاری ۱۰۰ (بدون تنش)، ۷۰ (تنش متوسط) و ۵۰ (تنش شدید) درصد نیاز آبی گیاه و تیمارهای فرعی شامل سه روش آبیاری معمولی (آبیاری در هر دو جوی)، آبیاری بخشی ثابت (تمام فصل رشد آبیاری از یک جوی) و آبیاری بخشی متغیر (آبیاری در هر نوبت از یک جوی به صورت متناوب) بود. در طول فصل رشد مجموع تبخیر و تعرق پتانسیل (۱۳۰۰ میلی‌متر)، میانگین دمای حداقل و حداکثر در طول دوره رشد، به‌ترتیب ۱۷/۷ و ۳۴/۱ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۱).



شکل ۱- دمای حداقل، حداکثر، متوسط و میزان تبخیر در طول دوره رشد ماش در سال ۱۴۰۰ در ایلام

قبل از پیاده سازی نقشه طرح، نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری بصورت مرکب انجام شده و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)	ماده آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)
لومی رسی شنی	۷/۲۵	۲/۵۶	۱/۱	۰/۰۱۷	۳۹۳	۱۰

آماده‌سازی زمین شامل شخم با گاوآهن نیمه برگرداندار و عملیات تکمیلی تهیه زمین با دیسک و فاروئر انجام شد. کاشت بذور در تاریخ ۱۰ خرداد در کرت‌های به ابعاد ۲ × ۲ مترمربع به‌صورت ردیفی انجام گرفت. کشت ماش از رقم پرتو با تراکم ۲۰ بوته در متر مربع (فاصله ردیف‌ها و بوته‌های روی ردیف به ترتیب ۵۰ و ۱۰ سانتیمتر) بود. با توجه به اینکه کشت گیاه ماش در منطقه بصورت نظام‌های کم نهاده می‌باشد در کشت این گیاه از هیچ نوع کود و سم شیمیایی استفاده نگردید. آبیاری مزرعه بصورت نشتی انجام شد و میزان آب مصرفی توسط کنتور اندازه‌گیری شد. تا زمان استقرار کامل گیاهان، همه کرت‌ها به‌میزان یکسان آبیاری شدند و پس از آن اعمال سطوح مختلف آبیاری آغاز شد. در هر مرحله از آبیاری به‌منظور تعیین میزان آب مصرفی، پیش از آبیاری از عمق ۳۰ سانتی‌متر نسبت به نمونه‌گیری مرکب از خاک اقدام شد. سپس نمونه‌های خاک در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و حجم آب آبیاری برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی هر یک از تیمارها از رابطه (۱) محاسبه شد (Benami & Ofen, 1984). برای سایر سطوح حجم آب آبیاری از حاصل‌ضرب ضریب تنش آبی در رابطه (۱) محاسبه شد.

$$V = \frac{(\theta_{FC} - \theta_W) \times \rho_b \times D_r \times A}{Ei} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه V: حجم آب ورودی بر حسب مترمکعب، FC: درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه، θw: درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری، ρ_b: وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب، Dr: عمق توسعه ریشه بر حسب متر، A: مساحت آبیاری شده بر حسب مترمربع و Ei: راندمان آبیاری (درصد) است. نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری خصوصیات فیزیولوژیکی، در مرحله گلدهی (۵۰٪ گلدهی مزرعه) انجام شد. به‌منظور حذف اثر حاشیه در فرآیند نمونه‌برداری، دو ردیف کناری و همچنین ۰/۵ متر ابتدا و انتهای ردیف‌های کشت حذف و از بوته‌های ردیف‌های وسط هرکرت ۵ برگ جوان و کاملاً رشد یافته انتخاب و برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیولوژیکی بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردید. اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ ماش از روش آرنون (Arnon, 1975)، محتوای نسبی آب برگ با استفاده از روش سانچز (Sanchez, 1998)، پرولین برگ از روش بیتس و همکاران (Bates *et al.*, 1973)، میزان مالون‌دی‌آلدئید، به عنوان محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء از روش هیتث و پاکر (Heath & Packer, 1968)، اندازه‌گیری مقدار پروتئین‌های محلول از روش برادفورد (Bradford, 1976)، فعالیت آنزیم کاتالاز از روش دینداسا و همکاران (Dhindasa *et al.*, 1981) و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از روش ناکانو و آسادا (Nakano & Asada,1981) اندازه‌گیری شد. در مرحله رسیدگی، اندازه-گیری صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی با برداشت بوته‌های یک متر مربع از هر واحد آزمایشی انجام شد. و در پایان شاخص برداشت از طریق رابطه (۲) تعیین گردید.

رابطه (۲)

$$HI(\%) = \frac{sy}{by} \times 100$$

در این رابطه، *HI*، *sy* و *by* به ترتیب نشان دهنده شاخص برداشت عملکرد دانه و عملکرد زیستی می باشد.

تجزیه آماری داده‌های حاصل از آزمایش توسط نرم‌افزار Minitab (V.16) و رسم جداول و نمودارها با نرم‌افزار اکسل و مقایسه میانگین‌ها به روش توکی در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزاء عملکرد ماش

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، عملکرد کل و شاخص برداشت در سطح ۱ درصد و بر وزن هزاردانه در سطح ۵ درصد معنی دار بود. اثر روش آبیاری نیز بر تعداد غلاف در بوته در سطح ۱ درصد و بر تعداد دانه در غلاف و عملکرد کل در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی × روش آبیاری، بر عملکرد دانه و عملکرد کل در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود

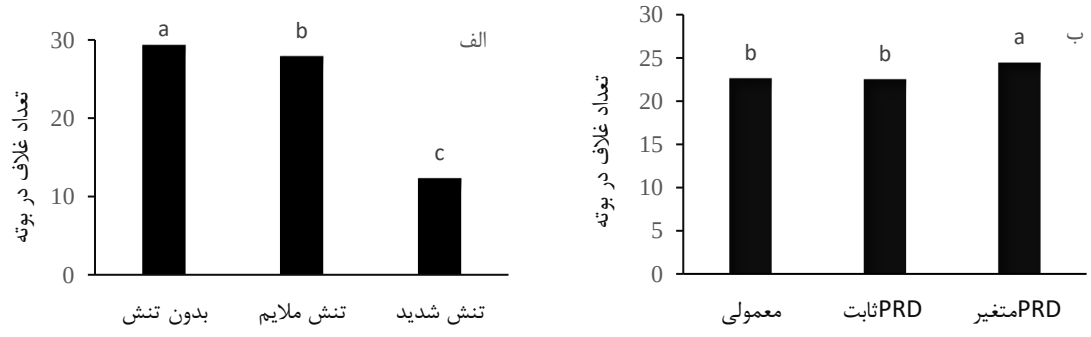
تعداد غلاف در بوته

بر اساس نتایج آزمایش، تنش خشکی شدید سبب کاهش ۵۸ درصدی تعداد غلاف در بوته شد (شکل ۲- الف). همچنین بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۴/۴۴) در روش آبیاری بخشی متغیر و کمترین تعداد آن (۲۲/۵۰) در روش آبیاری بخشی ثابت مشاهده شد (شکل ۲- ب).

جدول۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش خشکی و روش آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد ماش تحت تاثیر تیمارهای مختلف کم آبیاری و آبیاری بخشی ناحیه ریشه

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعدادغلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت
تکرار	۲	۰/۵۹^{ns}	۱/۱۴^{ns}	۰/۶۷^{ns}	۹۲۵۹^{ns}	۳۳۰۵۲^{ns}	۱/۸۳۴^{ns}
تنش خشکی	۲	۷۹۹/۵۹**	۳۱/۵۹**	۱۰/۱۲*	۴۵۰۷۸۹۷**	۳۰۳۳۳۵۳۸**	۱۹۷/۴۶۴**
خطای آزمایشی a	۴	۱/۱۸	۰/۱۴	۱/۶۶	۹۶۶۷	۱۳۹۲۵۴	۹/۸۸۰
روش آبیاری	۲	۱۰/۷۳**	۱/۱۴*	۰/۴۲^{ns}	۳۵۹۱۱^{ns}	۱۳۶۳۵۶*	۴/۸۶۴^{ns}
تنش‌خشکی×روش آبیاری	۴	۰/۷۳^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۱/۱۳^{ns}	۶۱۳۵۷*	۱۷۰۰۵۹*	۲/۳۶۸^{ns}
خطای آزمایشی b	۱۲	۰/۴۳	۰/۳۱	۱/۴۷	۱۰۸۹۱	۳۳۱۴۴	۷/۶۴۰
ضریب تغییرات (٪)	-	۲/۸۱	۶/۱۳	۳/۶۰	۷/۷۵	۳/۸۶	۱۰/۰۸

*و** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪، ns عدم معنی‌دار بودن را نشان می‌دهد.

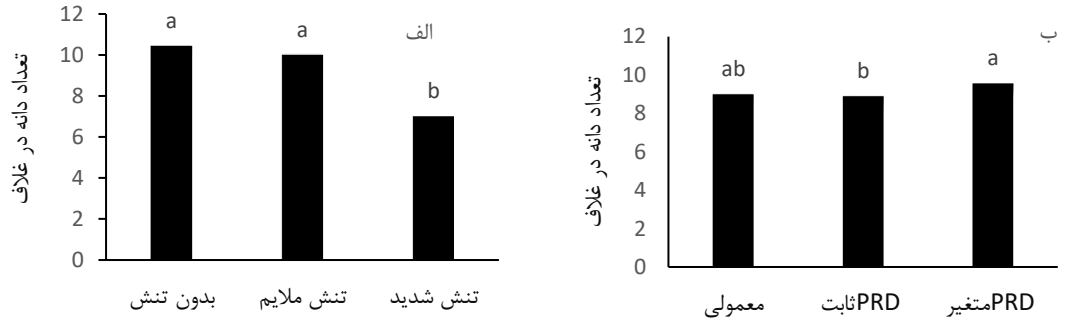


شکل۲- اثر تنش خشکی (الف) و نوع آبیاری (ب) بر تعداد غلاف در بوته ماش

تنش خشکی باعث کاهش تعداد شاخه در بوته، افزایش ریزش و سقط گل‌ها میشود که نتیجه آن کاهش تعداد غلاف در بوته می‌باشد (Kamalvand & mirshekar, 2012). آبیاری بخشی ناحیه ریشه در شرایط کم‌آبیاری، بدلیل بهبود وضعیت محتوای رطوبت در گیاهان باعث طولانی‌تر شدن رشد رویشی و کاهش اثرات مخرب تنش خشکی شده و اجزای عملکرد در گیاهان را بهبود می‌بخشد (Salmini *et al.*, 2022) بهبود تعداد دانه در بوته گیاه ذرت در استفاده از آبیاری بخشی ناحیه ریشه گزارش شده است (cheng *et al.*, 2021)

تعداد دانه در غلاف

تنش خشکی شدید سبب کاهش ۳۳ درصدی تعداد دانه در غلاف شد بطوریکه بیشترین (۱۰/۴۴) و کمترین (۷) میزان تعداد دانه در غلاف به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (شکل۳-الف). همچنین صفت تعداد دانه در غلاف تحت تاثیر روش آبیاری نیز قرار گرفت بطوریکه بیشترین تعداد دانه در غلاف (۹/۵۶) در روش آبیاری بخشی متغیر و کمترین تعداد آن (۸/۸۹) در روش آبیاری بخشی ثابت مشاهده شد (شکل۳-ب).

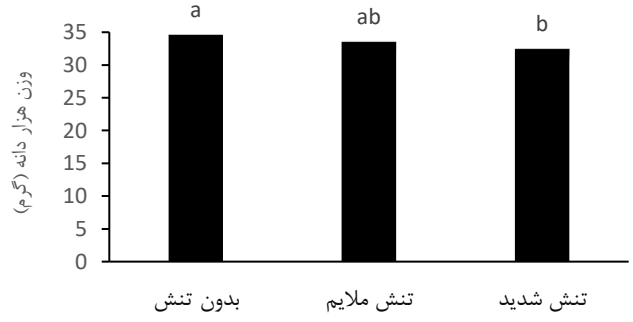


شکل۳- اثر تنش خشکی (الف) و نوع آبیاری (ب) بر تعداد دانه در غلاف

تنش خشکی سبب کاهش لقاح و باروری می‌گردد، زیرا خشکی باعث پسابیدگی دانه گرده، پژمردگی کلاله و مانع رشد لوله گرده می‌شود و از این طریق کاهش تعداد دانه در غلاف را موجب می‌شود (Dos-santos *et al.*, 2015). همچنین نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج آزمایش برخی از محققان دیگر که اظهار داشته اند که تنش خشکی بر ماش موجب کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود مطابقت داشت (kamalvand & Mirshekar, 2012; Heidari *et al.*,2019)

وزن هزاردانه

با کاهش میزان آبیاری وزن هزار دانه ماش کاهش یافت بطوریکه در تنش خشکی شدید وزن هزار دانه ۶ درصد کمتر از شرایط بدون تنش بود (شکل۴).



شکل۴- اثر تنش خشکی بر وزن هزاردانه گیاه ماش

تنش خشکی موجب کاهش دوره رشد رویشی و زایشی گیاه می‌گردد که این امر سبب کوتاه شدن زمان دوره پر شدن دانه و همچنین کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌های در حال رشد می‌شود و درنتیجه کاهش وزن هزاردانه را موجب می‌گردد (Shokouhfar & Abofatilehnezhad, 2013).

عملکرد دانه و زیستی

بر اساس نتایج آزمایش، بیشترین عملکرد دانه (۲۱۸۷/۳۷ کیلوگرم در هکتار) و زیستی (۶۵۱۹/۱۱ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش و روش آبیاری معمولی و کمترین عملکرد دانه (۵۷۰/۷۰ کیلوگرم در هکتار) و زیستی (۲۴۲۶/۴۴ کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش شدید و روش آبیاری معمولی به دست آمد (جدول ۳). در بدون تنش، بیشترین میزان عملکرد دانه و عملکرد زیستی در روش آبیاری معمولی حاصل شد. در تنش متوسط، کمترین میزان عملکرد دانه (۱۳۱۹ کیلوگرم در هکتار) در روش آبیاری بخشی ثابت حاصل شد و در بین عملکرد زیستی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط تنش خشکی شدید، بیشترین میزان عملکرد دانه (۶۴۴ کیلوگرم در هکتار) و زیستی (۲۹۶۵ کیلوگرم در هکتار) در روش بخشی متغیر حاصل شد که نشاندهنده اثر مثبت این روش در شرایط تنش بر عملکرد دانه و زیستی ماش بود. در بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و زیستی ماش گزارش گردید که تنش خشکی تا ۳۵٪ عملکرد دانه و تا ۶۰٪ عملکرد زیستی در ماش را کاهش داد (Heidari *et al.*, 2019). تر و خشک شدن متناوب سیستم ریشه گیاه، برای ترشح مداوم ABA از ریشه به اندام هوایی ضروری است. از آنجایی که در شرایط خاک خشک، ریشه نمی‌تواند برای مدت طولانی به تولید آبسزیک اسید ادامه دهد، بنابراین تر و خشک شدن متناوب خاک می‌تواند به ریشه برای تولید این هورمون کمک کند. خشکی طولانی مدت ریزوسفر، باعث تغییرات ساختاری ریشه مثل چوب‌پنبه‌ای شدن اپیدرم (روپوست)، متلاشی شدن کورتکس (پوست) و از دست دادن طراوت ریشه‌های فرعی می‌شود Slamini *et al.*, 2022). و درنتیجه توانایی ریشه‌ها در درک خشکی خاک را کاهش می دهد. همچنین روند خشک و تر شدن متناوب خاک، می‌تواند تولید و توزیع ریشه‌های ثانویه را گسترش دهد و هدایت هیدرولیکی سلول به سلول ریشه را افزایش دهد (Zhenchang *et al.*, 2016). چنین ریشه‌های جدیدی برای درک بهتر خشکی خاک، به اندازه کافی مناسب هستند. این ریشه‌های ثانویه، جذب مواد مغذی از خاک را افزایش می‌دهند (Kang *et al.*, 2004). با توجه به مطالب عنوان شده، بیشتر بودن عملکرد در روش آبیاری بخشی متغیر قابل توجیه است. در تحقیقات مختلفی افزایش عملکرد دانه و زیستی در گیاهان زراعی در شرایط استفاده از آبیاری بخشی گزارش شده است (Wang *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2007; Dos-santos *et al.*, 2015).

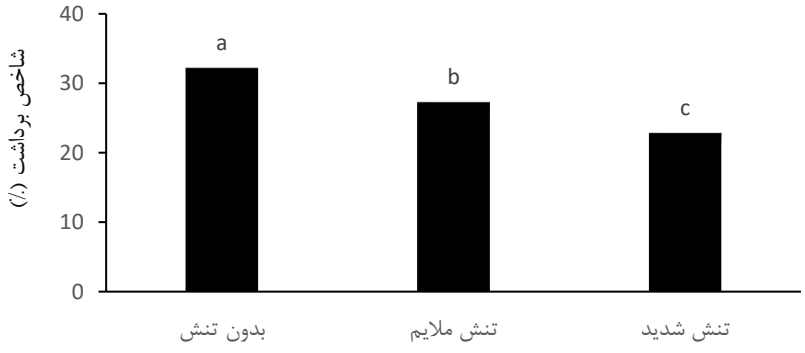
جدول۳- اثر تنش خشکی و روش آبیاری بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی ماش تحت تاثیر تیمارهای مختلف کم آبیاری و آبیاری بخشی (بر اساس روش برش‌دهی اثر متقابل)

سطوح تنش	روش آبیاری	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)
بدون تنش	معمولی	۲۱۸۷a	۶۵۱۹a
	بخشی ثابت	۱۹۱۴b	۶۰۷۶b
	بخشی متغیر	۱۹۳۶b	۶۱۵۵b
تنش متوسط	معمولی	۱۴۴۱a	۵۲۰۸a
	بخشی ثابت	۱۳۱۹b	۵۰۴۰a
	بخشی متغیر	۱۴۹۹a	۵۳۸۴a
تنش شدید	معمولی	۵۷۰b	۲۴۲۶c
	بخشی ثابت	۵۸۳b	۲۶۵۰b
	بخشی متغیر	۶۴۴a	۲۹۶۵a

در هر سطح تنش و هر صفت، مقادیر دارای حروف مشابه در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند.

شاخص برداشت

تنش خشکی شدید سبب کاهش ۲۹ درصدی شاخص برداشت نسبت به تیمار بدون تنش شد (شکل۵). بطوریکه بالاترین شاخص برداشت (۳۲/۱۸ درصد) در شرایط آبیاری کامل و کمترین میزان شاخص یرداشت (۲۲/۸۲ درصد) در تنش شدید مشاهده شد. تنش خشکی سبب کاهش وزن دانه می‌گردد، از آن جا که شاخص برداشت تحت تأثیر مستقیم وزن دانه قرار می‌گیرد لذا کاهش وزن دانه موجب کاهش شاخص برداشت می‌گردد (Kamalvand & mirshekar, 2012).



شکل ۵- اثر تنش خشکی بر شاخص برداشت گیاه ماش

صفات محتوای نسبی آب و رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ گیاه ماش

تنش خشکی سبب کاهش وزن دانه می‌گردد، از آن جا که شاخص برداشت تحت تأثیر مستقیم وزن دانه قرار می‌گیرد لذا کاهش وزن دانه موجب کاهش شاخص برداشت می‌گردد

داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی بر محتوی نسبی آب، کلروفیل a، b و کل و کارتنوئید در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل تنش در روش آبیاری بر کلروفیل b و کارتنویید در سطح ۱ درصد و بر بقیه صفات در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر روش آبیاری نیز فقط بر محتوی نسبی آب در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش خشکی و روش آبیاری بر محتوای رطوبت نسبی و رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ ماش تحت تاثیر تیمارهای مختلف کم آبیاری و آبیاری بخشی ناحیه ریشه

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوی نسبی آب	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید
تکرار	۲	۹/۵۸^{ns}	۰/۰۴۵۹۶*	۰/۰۰۱۲۲۶^{ns}	۰/۰۵۱۳۱^{ns}	۰/۰۰۰۳۷۰۲^{ns}
تنش خشکی	۲	۹۸/۳۲**	۱/۱۱۶۱۱**	۰/۱۲۹۳۳۵**	۱/۹۹۷۸۶**	۰/۰۱۲۴۷۵۹**
خطای آزمایشی a	۴	۳/۸۴	۰/۰۲۴۱۷	۰/۰۰۳۹۵۰	۰/۰۲۸۱۶	۰/۰۰۰۱۲۵۷
روش آبیاری	۲	۲۴/۴۵*	۰/۰۰۷۶۱^{ns}	۰/۰۰۲۷۱۱^{ns}	۰/۰۱۹۳۹^{ns}	۰/۰۰۰۶۳۷۴^{ns}
تنش‌خشکی×روش آبیاری	۴	۲۶/۷۴*	۰/۱۰۰۱۰*	۰/۰۰۹۹۴۰**	۰/۰۵۶۹۳*	۰/۰۰۱۹۲۲۶**
خطای آزمایشی b	۱۲	۱۳/۲۴	۰/۰۰۸۷۴	۰/۰۰۱۶۶۸	۰/۰۱۳۶۶	۰/۰۰۰۲۷۶۴
ضریب تغییرات	-	۶/۳۰	۶/۹۳	۹/۹۸	۴/۶۴	۹/۲۰

*و** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪، ns عدم معنی‌دار بودن را نشان می‌دهد.

رنگدانه‌های فتوسنتزی

بیشترین میزان کلروفیل a (۱/۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b (۰/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۲/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار بدون تنش و روش آبیاری معمولی مشاهده شد و کمترین میزان کلروفیلa (۰/۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) کلروفیل b (۰/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۱/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط تنش شدید و روش آبیاری معمولی به‌دست آمد (جدول ۵). بیشترین میزان کارتنوئید (۰/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار تنش شدید و روش آبیاری معمولی و کمترین میزان آن (۰/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار بدون تنش و روش آبیاری معمولی بود (جدول ۵). در شرایط بدون تنش خشکی، بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل در روش آبیاری معمولی به‌دست آمد. در شرایط تنش خشکی ملایم، اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف آبیاری در میزان کلروفیل‌ها مشاهده نشد. تحت شرایط تنش خشکی شدید، بیشترین میزان کلروفیل‌ها در روش آبیاری بخشی متغیر حاصل شد (جدول ۵). تحت شرایط بدون تنش خشکی، کمترین میزان کارتنوئید در روش آبیاری معمولی حاصل شد. در شرایط تنش خشکی ملایم، اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف آبیاری در میزان کارتنوئید مشاهده نشد و در شرایط تنش خشکی شدید، بیشترین میزان کارتنوئید در روش آبیاری معمولی به‌دست آمد.

در شرایط تنش خشکی، کاهش فعالیت فتوسیستم II، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و جلوگیری از سنتز ATP سبب افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال در کلروپلاست می‌گردد. گونه‌های اکسیژن فعال با تخریب کلروفیل موجب کاهش میزان کلروفیل می‌گردند. همچنین تغییر متابولیسم نیتروژن به سوی سنتز ترکیباتی ازجمله پرولین در شرایط تنش نیز از دلایل کاهش کلروفیل در این شرایط می‌باشد (Movahhedi Dehnavi *et al.*, 2017). تحت شرایط تنش خشکی، کارتنوئیدها به عنوان یک آنتی اکسیدان غیر آنزیمی در مقابله با رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند، به‌همین دلیل افزایش معنی‌دار میزان کارتنوئیدها طی تنش خشکی توجیه‌پذیر است (Fifaei *et al.*, 2015). آبیاری بخشی در

مقایسه با آبیاری معمولی در شرایط بدون تنش تا حدودی کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی را بدنبال داشت ولی در شرایط تنش، نسبت به آبیاری معمولی سطوح بالاتری از رنگدانه‌های فتوسنتزی را دارا بود که این نتایج توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (Aboud *et al.*, 2021; Thai *et al.*, 2007).

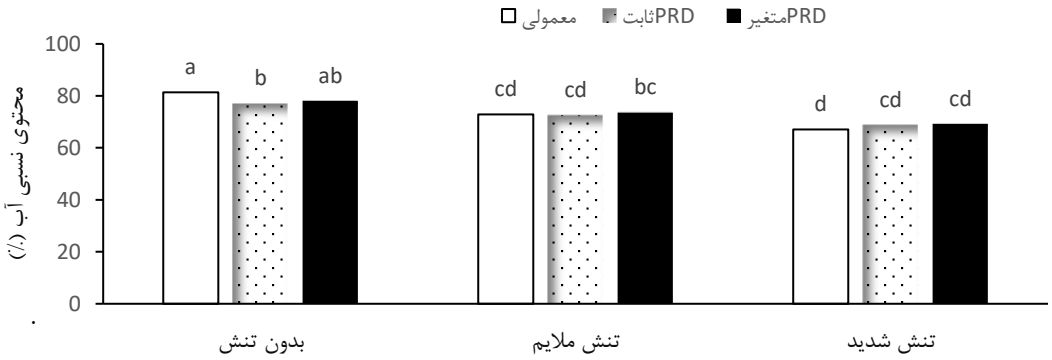
محتوای نسبی آب برگ (RWC)

بر اساس نتایج آزمایش، بیشترین محتوی نسبی آب (۸۱/۳۴ درصد) در شرایط بدون تنش و روش آبیاری معمولی و کمترین محتوی آن (۶۷/۰۲ درصد) در تیمار تنش شدید و روش آبیاری معمولی به‌دست آمد (شکل ۶). کاهش رطوبت نسبی برگ در روش آبیاری معمولی در شرایط تنش ملایم و شدید نسبت به شرایط بدون تنش به ترتیب ۱۰ و ۱۷ درصد بود اما کاهش رطوبت نسبی برگ در روش آبیاری بخشی متغیر در شرایط تنش ملایم و شدید نسبت به شرایط بدون تنش به ترتیب ۸ و ۱۳ درصد بود که نشان‌دهنده بهبود وضعیت رطوبتی برگ گیاه تحت روش آبیاری بخشی متغیر نسبت به دیگر روش‌های آبیاری در شرایط تنش بود. در شرایط بدون تنش خشکی، بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل در روش آبیاری معمولی به‌دست آمد. در شرایط تنش خشکی ملایم، اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف آبیاری در میزان کلروفیل‌ها مشاهده نشد. تحت شرایط تنش خشکی شدید، بیشترین میزان کلروفیل‌ها در روش آبیاری بخشی متغیر حاصل شد (جدول ۵). تحت شرایط بدون تنش خشکی، کمترین میزان کارتنوئید در روش آبیاری معمولی حاصل شد. در شرایط تنش خشکی ملایم، اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف آبیاری در میزان کارتنوئید مشاهده نشد و در شرایط تنش خشکی شدید، بیشترین میزان کارتنوئید در روش آبیاری معمولی به‌دست آمد.. در شرایط تنش خشکی، کاهش فعالیت فتوسیستم II، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و جلوگیری از سنتز ATP سبب افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال در کلروپلاست می‌گردد. گونه‌های اکسیژن فعال با تخریب کلروفیل موجب کاهش میزان کلروفیل می‌گردند. همچنین تغییر متابولیسم نیتروژن به سوی سنتز ترکیباتی ازجمله پرولین در شرایط تنش نیز از دلایل کاهش کلروفیل در این شرایط می‌باشد (Movahhedi Dehnavi *et al.*, 2017). تحت شرایط تنش خشکی، کارتنوئیدها به عنوان یک آنتی اکسیدان غیر آنزیمی در مقابله با رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند، به‌همین دلیل افزایش معنی‌دار میزان کارتنوئیدها طی تنش خشکی توجیه‌پذیر است (Fifaei *et al.*, 2015). آبیاری بخشی در مقایسه با آبیاری معمولی در شرایط بدون تنش تا حدودی کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی را بدنبال داشت ولی در شرایط تنش، نسبت به آبیاری معمولی سطوح بالاتری از رنگدانه‌های فتوسنتزی را دارا بود که این نتایج توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (Aboud *et al.*, 2021).

جدول۵- اثر تنش خشکی و روش آبیاری بر رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ ماش تحت تاثیر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری و آبیاری بخشی ناحیه ریشه (بر اساس روش برش‌دهی اثر متقابل)

سطوح تنش	روش آبیاری	کلروفیل a $mg.gFW^{-1}$	کلروفیل b $mg.gFW^{-1}$	کلروفیل کل $mg.gFW^{-1}$	کارتنوئید $mg.gFW^{-1}$
بدون تنش	معمولی	۱/۶۹a	۰/۵۹a	۲/۲۸a	۰/۱۲b
	بخشی ثابت	۱/۵۱b	۰/۴۵b	۱/۹۶b	۰/۱۸a
	بخشی متغیر	۱/۵۳b	۰/۴۷b	۲/۰۰b	۰/۱۶a
تنش متوسط	معمولی	۱/۵۳a	۰/۴۶a	۱/۹۸a	۰/۱۶a
	بخشی ثابت	۱/۵۲a	۰/۴۵a	۱/۹۶a	۰/۱۷a
	بخشی متغیر	۱/۵۲a	۰/۴۵a	۱/۹۷a	۰/۱۶a
تنش شدید	معمولی	۰/۸۸b	۰/۲۲b	۱/۱۱b	۰/۲۵a
	بخشی ثابت	۰/۹۱b	۰/۲۸ab	۱/۱۹b	۰/۲۲ab
	بخشی متغیر	۱/۱a	۰/۳۲a	۱/۳۵a	۰/۲۰b

در هر سطح تنش و هر صفت، مقادیر دارای حروف مشابه در هر ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.



شکل۶- اثر تنش خشکی و روش آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ ماش

پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر روش آبیاری بر میزان پرولین، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده و اثر متقابل روش آبیاری در سطوح تنش بر میزان پرولین (در سطح ۱ درصد) و آسکوربات پراکسیداز (در سطح ۵ درصد) معنی‌دار شد (جدول ۶).

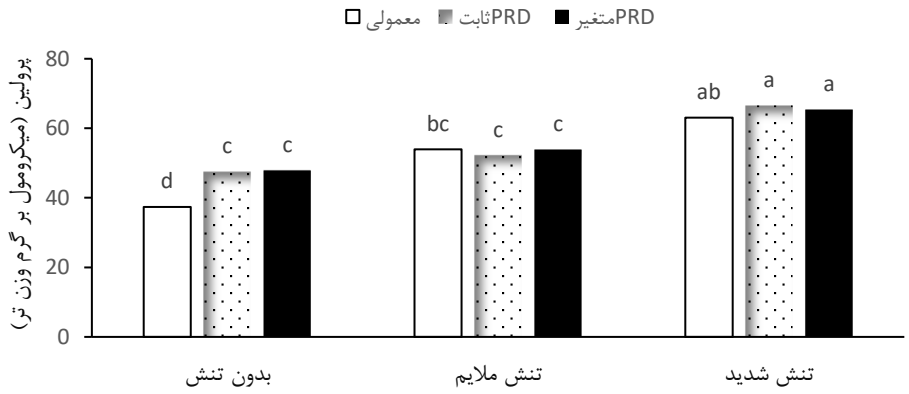
جدول۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش خشکی و روش آبیاری بر محتوای پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز تحت تاثیر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری و آبیاری بخشی ناحیه ریشه

منابع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	مالون‌دی آلدئید	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز
تکرار	۲	۵/۶۹^{ns}	۰/۰۵۶۱۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۳۴^{ns}	۰/۰۰۰۹^{ns}
تنش خشکی	۲	۹۶۸/۹۰**	۱/۳۶۱۷۲**	۰/۰۰۰۱۸**	۰/۱۶۹۲**
خطای آزمایشی a	۴	۲/۷۰	۰/۰۵۵۶۴	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۱۳
روش آبیاری	۲	۵۱/۳۵*	۰/۰۱۲۱۸^{ns}	۰/۰۰۰۸*	۰/۰۱۳۷*
تنش‌خشکی×روش آبیاری	۴	۳۳/۶۱*	۰/۰۲۳۱۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۱۸۳۷**
خطای آزمایشی b	۱۲	۹/۰۵	۰/۰۵۲۵۲	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۲۲
ضریب تغییرات	-	۱۷/۳۷	۱۹/۲۲	۱۶/۵۵	۲۰/۶۱

*و** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪، ns عدم معنی‌دار بودن را نشان می‌دهد.

پرولین

بر اساس نتایج آزمایش، بیشترین میزان پرولین (۶۶/۵۷ میکرومول بر گرم وزن تر) در شرایط تنش شدید و روش آبیاری بخشی ثابت و کمترین میزان آن (۳۷/۴۱ میکرومول بر گرم وزن تر) در شرایط بدون تنش و روش آبیاری معمولی به دست آمد (شکل۷).

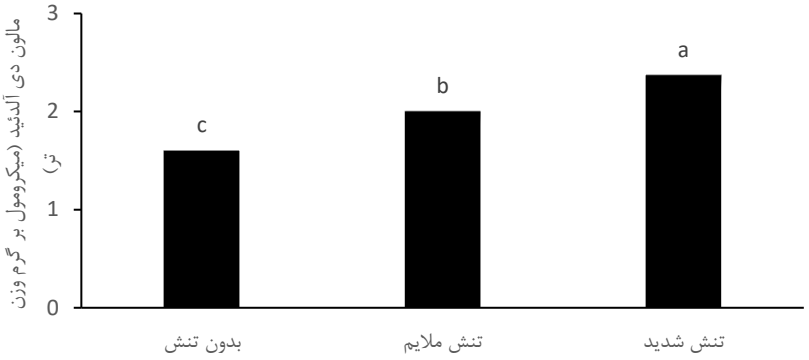


شکل۷- اثر تنش خشکی و روش آبیاری بر محتوای پرولین در برگ ماش

هنگامی که گیاهان در شرایط تنش‌های آبی قرار می‌گیرند غلظت اسمولیت‌های خود را افزایش می‌دهند تا در شرایط تنش، جذب آب ادامه یابد که به این فرآیند تنظیم اسمزی گفته می‌شود. از بین اسمولیت‌های آلی، پرولین از فراوان‌ترین ماده‌های حل شده سازگار است که تجمع می‌یابد (Aboud *et al.*, 2021). تجمع پرولین در گیاهان به عنوان یک شاخص تحمل به خشکی در نظر گرفته می‌شود و پرولین با تنظیم پتانسیل اسمزی در گیاهان از تنش کم آبی در سلولی جلوگیری می‌کند (Ashraf and Foolad, 2007). همچنین به دلیل نقش پرولین به عنوان یک آنتی اکسیدان، تعادل ردوکس سلولی را حفظ می کند و به عنوان مهار کننده رادیکال‌های آزاد عمل کرده و باعث کاهش آسیب به غشاء سلولی و حفظ آن می‌گردد (Aboud *et al.*, 2021; Ashraf & Foolad, 2007). گزارش شده است که تجمع پرولین در برگ‌های گیاه گوجه فرنگی آبیاری شده با بخشی در مقایسه با برگ‌های گیاهان کاملاً آبیاری شده به طور قابل توجهی بیشتر بود (Stickic *et al.*, 2003).

مالون‌دی‌آلدئید (MDA)

بر اساس نتایج آزمایش، تنش خشکی شدید سبب افزایش ۴۸/۱۳ درصدی محتوی مالون‌دی‌آلدئید شد (شکل۸). به طوریکه بیشترین میزان (۲/۳۷ میکرومول برگرم وزن تر) و کمترین میزان (۱/۶ میکرومول برگرم وزن تر) مالون‌دی-آلدئید به ترتیب بدر شرایط تنش شدید و بدون تنش مشاهده گردید.

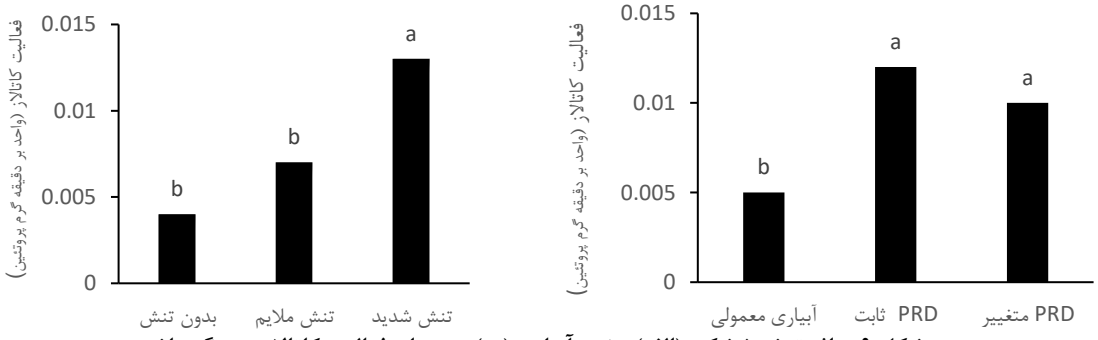


شکل۸- اثر تنش خشکی بر محتوای مالون‌دی‌آلدئید در برگ ماش

تنش آب باعث تولید ROS می‌شود که می تواند باعث آسیب اکسیداتیو در گیاهان شود. این عدم تعادل متابولیک را می توان با سطوح MDA تخمین زد (Aboud *et al.*, 2021). تحت شرایط تنش خشکی، غشای سلولی گیاهان آسیب جدی می‌بینند. زیرا رادیکال‌های سوپراکسید که با تنش خشکی تولید می‌شوند سبب پراکسیداسیون لیپیدها می‌گردند. مالون‌دی‌آلدئید محصول عمل پراکسیداسیون لیپیدهای غشا می‌باشد که شاخصی برای سنجش میزان آسیب تنش اکسیداتیو است (Movahhedi Dehnavi *et al.*, 2017).

کاتالاز

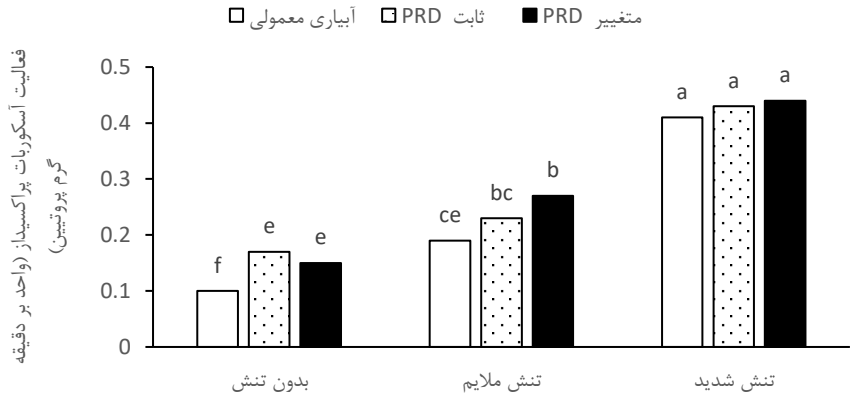
بر اساس نتایج آزمایش، بیشترین میزان کاتالاز (۰/۰۱۳ واحد بر دقیقه گرم پروتئین) در شرایط تنش شدید وکمترین میزان آن (۰/۰۰۴ واحد بر دقیقه گرم پروتئین) در شرایط بدون تنش به‌دست آمد (شکل ۹-الف). همچنین روش آبیاری بخشی باعث افزایش میزان کاتالاز در گیاه ماش شد و بالاترین میزان کاتالاز با ۰/۰۱۲ واحد بر دقیقه گرم پروتئین در تیمار بخشی ثابت مشاهده شد (شکل ۹-ب). تحت شرایط تنش خشکی، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به منظور مقابله با اثرات مضر اکسیژن‌های فعال و جلوگیری از تولید آن‌ها افزایش می‌یابد (Movahhedi Dehnavi *et al.*, 2017).



شکل ۹ - اثر تنش خشکی (الف) و نوع آبیاری (ب) بر میزان فعالیت کاتالاز در برگ ماش

آسکوربات پراکسیداز

بر اساس نتایج آزمایش، بیشترین میزان آسکوربات پراکسیداز (۰/۴۴ واحد بر دقیقه گرم پروتئین) در شرایط تنش شدید و آبیاری بخشی متغیر و کمترین میزان آن (۰/۱ واحد بر دقیقه گرم پروتئین) در شرایط بدون تنش و آبیاری معمولی حاصل شد (شکل۱۰).



شکل۱۰- اثر تنش خشکی و نوع آبیاری بر میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز در برگ ماش

نتایج آزمایش نشان داد که تنش خشک باعث افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز در برگ گیاه ماش گردید و همچنین در تمامی سطوح تنش، آبیاری بخشی افزایش فعالیت این آنزیم را باعث شد (شکل ۱۰). تحت شرایط تنش خشکی، میزان آسکوربات پراکسیداز به دلیل افزایش گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد، زیرا آسکوربات پراکسیداز یک نقش کلیدی در پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) به ویژه پراکسید هیدروژن دارد. به طور کلی گزارش شده است که تنش آب باعث افزایش یا حفظ فعالیت کاتالاز در سطح متوسط شده و فعالیت پراکسیداز را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد (Li *et al.*, 2010). پراکسیداز علاوه بر اینکه یک آنزیم دفاعی آنتی اکسیدانی است، در تنظیم رشد گیاه نیز نقش دارد (Zhou *et al.*, 2007). بسیاری از پاسخ‌های گیاهان به افزایش غلظت ROS ، حتی آن‌هایی که ظاهراً مضر هستند، ناشی از آسیب فیزیکی و شیمیایی ساده نیستند، بلکه منعکس کننده تغییرات سازگاری در بیان ژن و متابولیسم هستند (Li *et al.*, 2010). در این آزمایش تأیید شد، که با استفاده از آبیاری بخشی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه ماش افزایش یافت، در حالی که تولید زیست توده گیاه ماش تا حدود زیادی در آبیاری بخشی متغیر حفظ شد. به نظر می‌رسد مطالعات فیزیولوژیکی دقیق‌تری برای درک بهتر مکانیسم کنترل اثرات آبیاری بخشی بر آنتی اکسیداسیون گیاه مورد نیاز است. ROS همیشه در سلول‌های گیاهی وجود دارد و میزان کم آن برای سیگنال‌دهی، رشد و توسعه در گیاه مورد نیاز است بطورکلی تجمع ROS در حد یک آستانه معین، تغییراتی را در بیان ژن و متابولیسم ایجاد می کند، اما مقادیر بالای ROS برای سلول مضر است و می تواند به ماکرومولکول‌های مختلف آسیب برساند (Jiang & zhang, 2002). یکی از پاسخ‌های سازگاری به ROS، فعال کردن سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی است که شامل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی است (Li *et al.*, 2010). مشخص شده است که تنش آب باعث افزایش تولید ROS می‌شود که به دنبال آن افزایش قابل توجهی در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی ایجاد می‌شود (Zhou *et al.*, 2007). در بخشی متغیر، سیستم‌های ریشه در هر دو طرف جوی برای درک کمبود آب و حفظ سیستم پیام‌رسانی مبتنی بر ABA به منظور شروع تغییرات فیزیولوژیکی و شیمیایی مختلف، برای سازگاری موثر با تغییر رطوبت خاک، کار می‌کنند. اما در بخشی ثابت نیمی از ریشه‌ها به طور دائم در خاک خشک قرار داشته و ممکن است آسیب شدیدی به آن وارد گردد و نتوانند تولید سیگنال تنش و عملکرد تنظیم آن را حفظ کنند (Loveys *et al.*, 2000). تجمع ABA ناشی از تنش آب باعث تولید ROS توسط NADPH-اکسیداز متصل به غشاء شده و در نتیجه باعث القای سیستم‌های دفاعی آنتی اکسیدانی در برابر آسیب اکسیداتیو در گیاهان می‌شود (Jiang and zhang, 2002).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی و روش آبیاری بخشی ناحیه ریشه اثر معنی‌داری بر صفات عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی در گیاه ماش داشتند. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که استفاده از آبیاری بخشی متغیر در شرایط کم آبیاری و تنش خشکی می‌تواند تا حدود زیادی باعث کاهش خسارت کم‌آبی بر عملکرد گیاه ماش گردد. استفاده از این شیوه آبیاری با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی، تا حدود زیادی از کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی جلوگیری کرد. بیشترین اثرات مثبت آبیاری بخشی متغیر، در تنش متوسط مشاهده گردید به‌طوریکه تحت شرایط تنش خشکی متوسط (آبیاری ۷۰ درصد نیاز آبی)، اعمال روش آبیاری بخشی متغیر، عملکردی نزدیک به عملکرد شاهد از خود نشان داد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت آموزش و تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهش دانشگاه ایلام در جهت پیشبرد پایان‌نامه کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی که مقاله حاضر حاصل آنست، قدردانی می‌شود.

منابع

Abboud, S., Vives-Peris, V., Dbara, S., G´omez-Cadenas, A., P´erez-Clemente, M., Abidi, W., & Braham, M. (2021). Water status, biochemical and hormonal changes involved in the response of *Olea europaea* L. to water deficit induced by partial root-zone drying irrigation (PRD). *Scientia Horticulturae*, *276*, 109737.

Ahmadi, S.H., Andersen, M.N., Plauborg, F., Poulsen, R.T., Jensen, C.R., Sepaskhah, A.R., & Hansen, S. (2010). Effects of irrigation strategies and soils on field-grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA]. *Agricultural Water Management*, *97* (10), 1486–1494.

Asrey, R., Kumar, S., & Meena, N.K. (2018). Influence of water quality on postharvest fruit and vegetable quality. In Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality. Academic press, 187p.

Arnon, I., 1975. Physiological principles of dryland crop production. Physiological Aspects of Dryland Farming. Oxford press, 14p.

Barzegari, M., Sepaskhah, A.R., & Ahmadi, S.H. (2017). Irrigation and nitrogen managements affect nitrogen leaching and root yield of sugar beet. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *108* (2), 211–230.

Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, *39*, 205-207.

Benami, A., & Ofen, A. (1984). Irrigation Engineering- Sprinkler, Trickle and Surface Irrigation: Principles, Design and Agricultural Practices. Irrigation Engineering Scientific Publications, 257p.

Ben Nouna, B., Rezig, M., Bahrouni, H., & Ammar, H.B. (2016). Effect of Partial Root-zone Drying irrigation technique (PRD) on the total dry matter, yield and water use efficiency of potato under tunisian semi-arid conditions. *Journal of Agricultural of Science*, *8* (7), 129–141.

Bravdo, B.A. (2005). Physiological mechanisms involved in the production of non- hydraulic root signals by partial rootzone drying-A review. *In VII International Symposium on Grapevine. Physiology and Biotechnology*, *689*, 267–276.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical biochemistry, *72*(2), 248-254.

Cheng, M., Wang, H., Fan, J., Zhang, F., & Wang, X. (2021). Effects of soil water deficit at different growth stages on maize growth, yield, and water use efficiency under alternate partial root-zone irrigation. *Water 13* (2), 148.

Dodd, I.C., Egea, G., & Davies, W.J. (2008). Abscisic acid signaling when soil moisture is heterogeneous: decreased photoperiod sap flow from drying roots limits abscisic acid export to the shoots. *Plant Cell Environ*, *31* (9), 1263–1274.

Dos Santos, M.R., Neves, B.R., da Silva, B.L., & Donato, S.L.R. (2015). Yield, water use efficiency and physiological characteristic of "Tommy Atkins" mango under partial root zone drying irrigation system. *Journal of Water Resource and Production*, *7* (13), 1029.

Dry, P.R., Loveys, B.R., McCarthy, M.G., & Stoll, M. (2001). Strategic irrigation management in Australian vineyards. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, *35* (3), 129–139.

Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P.A., & Thorpe, T. A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, *32*(1), 93-101.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2009). Global agriculture towards 2050. In Proceedings of the High Level Expert Forum - How to Feed the World, 1–4. https://www.fao.org/home/en.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2017). Water for sustainable food and agriculture a report produced for the G20 presidency of Germany. https://www.fao.org/home/en.

Fifaei, R., Fotouhi Ghazvini, R., Golein, B., & Hamidoghli, Y. (2015). Effect of drought stress on proline, soluble sugars, malondialdehyde and pigments content in northern commercial Citrus rootstocks. *Journal of Crops Improvement*, *17*(4), 939-952. (In Persian).

Haghighi, M., & Behboudian, H. (2011). Water relations of the tomato plant under partial rootzone drying (PRD). *Journal of crop improvement*, *13*(1), 1-8. (In Persian).

Heidarian, N., Barzegar, T., Ghahremani, Z., & Nikbakht, J. (2018). Effect of water deficit stress on yield, physiological and biochemical traits of some Iranian melon accessions**.** *Journal of Plant Process and Function Iranian Society of Plant Physiology*, *7*(26), 221-229. (In Persian).

Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics*, *125*(1), 189-198.

Heidari, H., Alizadeh, Y., & Fazeli, A. (2019). Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on some of physiological characteristic and yield on mung bean *(Vigna radiata* L.) under drought stress condition. *Journal of plant production*, *26*(2), 127-141.

Jiang, M., & Zhang, J. (2002). Involvement of plasma-membrane NADPH oxidase in abscisic acid- and water stress-induced antioxidant defense in leaves of maize seedlings. *Planta*, *215*, 1022–1030.

Jovanovic, Z., & Stikic, R. (2018). Partial root-zone drying technique: from water saving to the improvement of a fruit quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *1*, (1-9).

Kamalvandi, S., & Mirshekar, F. (2012). The effect of drought stress on yield and yield components of mung bean cultivars. *Journal of plant production science*, *4*(2), 14-18. (In Persian).

Kang, S., & Zhang, J. (2004). Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Journal of botany experiment, 55* (407), 2437–2446.

Loveys, B.R., Stoll, M., Dry, P.R., & McCarthy, M.G. (2000). Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta Horticulture*, *537*, 187–197.

Li, F., Liang, J., Kang, S., & Zhang, J. (2007). Benefits of alternate partial root-zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. *Plant Soil*, *295*, 279–291.

Li, F., Yu, J., Mengling, N., Kang, Sh., & Zhang, J. (2010). Partial root-zone irrigation enhanced soil enzyme activities and water use of maize under different ratios of inorganic to organic nitrogen fertilizers. *Agricultural Water Management*, *97*(2), 231-239.

Mingo, D.M., Theobald, J.C., Bacon, M.A., Davies, W.J., & Dodd, I.C. (2004). Biomass allocation in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants grown under partial rootzone drying: enhancement of root growth. *Functional Plant Biology*, *31* (10), 971–978.

Movahhedi Dehnavi, M., Niknal, N., Behzadi, Y., Mohtashami, R., & Bagheri, R. (2017). Comparison of physiological responses of linseed (*Linum usitatissimum* L.) to drought and salt stress and salicylic acid foliar application. *Iranian Journal of Plant Biology*, *9*(3), 39-62. (In Persian).

Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, *22*(5), 867-880.

Qi, D., Hu, T., Song, X., & Zhang, M. (2019). Effect of nitrogen supply method on root growth and grain yield of maize under alternate partial root-zone irrigation. *Scientific Report*, *9*, 1–10.

Romero, P., Dodd, I.C., & Martinez-Cutillas, A. (2012). Contrasting physiological effects of Partial Root-zone Drying in field-grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Monastrell) according to total soil water availability. *Journal of Experimental Botany*, *63* (11), 4071–4083.

Rosegrant, M.W., Ringler, C., & Zhu, T. (2009). Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. *Annual review of environment and resources*, *34*, 205–222.

Sanchez, S.R., (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*, *59*, 225-235.

Sepaskhah, A.R., & Ahmadi, S.H. (2010). A review on partial root-zone drying irrigation. *International Journal of Plant Production*, *4*, 241-258.

Slamini, M., Sbaa, M., Arabi, M., & Darmous, M. (2022). Review on Partial Root-zone Drying irrigation: Impact on crop yield, soil and water pollution. *Agricultural Water Management*, *271*, 107807.

Sidhu, R.K., Kumar, R., Rana, P.S., & Jat, M.L. (2021). Automation in drip irrigation for enhancing water use efficiency in cereal systems of South Asia: status and prospects. *Advance in Agronomy*, *167*, 247–300.

Shokouhfar, A., & Abofatilehnezhad, S. (2013). Effect of drought stress on some physiological traits and biological yield of different cultivars of mung (*Vigna radiate* L.) in Dezful. *Crop physiology journal*, *5*(17), 49-59. (In Persian).

Stikic, R., Popovic, S., Srdic, M., Savic, D., Jovanovic, Z., Prokic, L., & Zdravkovic, J. (2003). Partial root drying (PRD): a new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. Bulgarian *Journal of Plant Physiology*, *29*, 164–171.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). Stress physiology. Plant Physiology, fourth ed. Sinauer Associates, Inc, Sunderland, MA, USA, pp. 592–623.

Thompson, A.J., Andrews, J., Mulholland, B.J., McKee, J.M., Hilton, H.W., Horridge, J.S., Farquhar, G.D., Smeeton, R.C., Smillie, I.R.A., Black, C.R., & Taylor, I.B. (2007). Overproduction of abscisic acid in tomato increases transpiration efficiency and root hydraulic conductivity and influences leaf expansion. *Plant Physiology*, *143* (4), 1905–1917.

Wang, Y., Liu, C., Cui, P., & Su, D. (2021). Effects of Partial Root-zone Drying on alfalfa growth, yield and quality under subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 245:106608.

Yan, F., Sun, Y., Song, F., & Liu, F. (2012). Differential responses of stomatal morphology to Partial Root-zone Drying and deficit irrigation in potato leaves under varied nitrogen rates. *Science of Horticulture*, *145*, 76–83.

Zhenchang, W., Xiaofei, Y., Liang, F., & Jianbin, Z. (2016). Partial rootzone drying irrigation increase root surface area, root hydraulic conductivity and water use efficiency in maize. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, *4*, 146–153.

Zhu, J.M., Alvarez, S., Marsh, E.L., LeNoble, M.E., Cho, In-J., Sivaguru, M., Chen, S., Nguyen, H.T., Wu, Y.J., Schachtman, D.P., & Sharp, R.E. (2007). Cell wall proteome in the maize primary root elongation zone II. Region-specific changes in water soluble and lightly ionically bound proteins under water deficit. *Plant Physiology*, *145*, 1533–1548

Plant Production and Genetics **تولید و ژنتیک گیاهی**

Vol. 5 , No. 1, Spring & Summer 2024, p. 33-46 **جلد ۵، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۴۶-۳۳**

Research Article DOI: 10.22034/PLANT.2023.62942

Effects of deficit irrigation (RDI) and partial root-zone drying (PRD) on yield, yield components and physiological characteristics of mungbean (*Vigna radiate* L.)

Naserin Rezaei[1], Yaser Alizadeh[*2], Hamzeali Alizadeh[3], Ehsan Zeidali[2]

1. MSc. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam. Iran
2. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
3. Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, lam, Iran

Received: 27-01-2023
Accepted: 19-05-2023

Abstract

To study the effect of deficit irrigation (DI) and partial Root-Zone Drying (PRD) on yield and physiological characteristics of mung bean, a field experiment was conducted as a split plot experiment in a randomized complete block design with three replications and nine treatments at the research farm, Faculty of Agriculture, Ilam University during growing season in 2022. Treatments included three levels of deficit irrigation (100 (without stress), 70 (moderate stress) and 50% (severe stress) of field capacity) as main plots and three irrigation methods including; usual irrigation, fixed partial root-zone drying (FPRD) and alternative partial root-zone drying (APRD) as subplots. Results showed that the highest yield (2187.37 kg. ha^{-1}) and total chlorophyll (2.28 mg. g^{-1}fresh weigh) in the treatment without stress and usual irrigation and the lowest yield (570.70 kg. ha^{-1}) and Total chlorophyll (1.11 mg.g^{-1}fresh weigh) was obtained under severe stress conditions and usual irrigation method. Drought stress increased the content of malondialdehyde (32%), catalase (69%) and ascorbate peroxidase (63%) compared to non-stress conditions. In severe and moderate stress, the use of APRD compared to usual irrigation, increased yield, RWC, photosynthetic pigments and antioxidant activity in mung bean plants. However, these effects were not observed in the FPRD. In moderate stress, APRD with water saving showed a yield close to that of the control treatment. The results showed that in deficit irrigation, APRD was effective in reducing the effects of drought stress in the mung bean plant.

Keywords: Antioxidants, drought stress, chlorophyll, proline

Citation: Rezaei, N., Alizadeh, Y., Alizadeh, H., & Zeidali, Ehsan. (2024). Effects of deficit irrigation (RDI) and partial root-zone drying (PRD) on yield, yield components and physiological characteristics of mung bean (*Vigna radiate* L.). *Plant Production and Genetics*, 5(1), 33-46. https://doi.org/10.22034/PLANT.2023.62942.

Copyrights:
Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

[*]Corresponding Author Email: y.alizadeh@ilam.ac.ir