



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۶ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۳۹۳
صفحه‌های ۸۸۵-۸۷۱

تأثیر کاربرد نیتروپروساید سدیم بر سطح برگ، رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش کم‌آبی

فرخ امید^۱ و علی سپهری^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۸/۲۶

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۰۷/۰۹

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد نیتروپروساید سدیم بر شاخص‌های رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش کم‌آبی، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا همدان در سال ۱۳۹۱ انجام گرفت. تیمارها شامل تنش در مرحله رویشی، تنش در مرحله زایشی، تنش در مرحله زایشی و تنش در مرحله رویشی و زایشی، بدون تنش، محلول‌پاشی در سه غلظت (صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم) و رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' بود. تنش زایشی سطح برگ، سرعت رشد محصول و تجمع ماده خشک در هر دو رقم بررسی شده را کاهش داد. محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم در تنش زایشی، شاخص‌های مذکور را در رقم 'اختر' به ترتیب ۲۸، ۲۶ و ۲۰ و در رقم 'درخشان' ۲۸، ۲۰ و ۲۰ درصد نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی افزایش داد. کارایی مصرف آب دانه و زیست‌توده در تنش رویشی نسبت به شرایط آبیاری کامل بیشتر بود. بیشترین کارایی مصرف آب برای رقم 'اختر' با محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم به ترتیب ۰/۷۲ و ۲/۹ درصد برای دانه و زیست‌توده بود. محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم موجب تعدیل آثار منفی تنش رویشی و تنش زایشی شد. محلول‌پاشی با غلظت ۳۰۰ میکرومولار ترکیب مذکور در رژیم‌های مختلف آبی، تأثیر بیشتری بر بهبود وضعیت رشد و عملکرد داشت. از این رو مصرف ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم برای محلول‌پاشی لوبیا قرمز تحت شرایط تنش کم‌آبی مطلوب به نظر می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: تنش کم‌آبی، خشکی، شاخص‌های رشد، عملکرد دانه، لوبیا.

۱. مقدمه

حبوبات با ارزش غذایی زیاد و قابلیت نگهداری مناسب پس از غلات، دومین منبع غذایی بشر محسوب می‌شوند. لوبیا قرمز در بین حبوبات، دارای اهمیت خاصی است. در ایران، انواع لوبیا با تولید حدود ۱۸۱ هزار تن، رتبه دوم را پس از نخود^۱ به خود اختصاص داده است [۱۹].

در میان متغیرهای محیطی مؤثر بر رشد و نمو گیاهان، تنش کم‌آبی مهم‌ترین عامل است. تنش رطوبتی در گیاهان، تابعی از میزان حساسیت آنها در مراحل مختلف رشد است. به‌طور کلی، تجمع ماده خشک در لوبیا با افزایش شدت تنش رطوبتی، کاهش می‌یابد و بین ماده خشک تولیدی و تبخیر و تعرق گیاه رابطه خطی وجود دارد [۳]. گلدهی حساس‌ترین مرحله رشد و نمو لوبیا قرمز نسبت به تنش خشکی است و با کاهش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی سبب کاهش انتقال مواد به دانه و درنهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود [۸]. همچنین زمانی که کمبود آب در مرحله گلدهی و غلاف‌بندی رخ می‌دهد، عملکرد بیشتر از مراحل دیگر کاهش می‌یابد [۲]. تنش کم‌آبی در زمان گلدهی، به‌سرعت عملکرد سویا^۲ را کاهش داد که علت آن تشکیل کمتر غلاف در بوته و کاهش تعداد دانه در غلاف ذکر شده است [۲۴]. کم‌آبی در اوایل رشد رویشی ذرت^۳، به‌طور آهسته شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه، سرعت رشد محصول، جذب نیتروژن و تولید زیست‌توده را کاهش می‌دهد، ولی کم‌آبی در اواخر دوره رشد و در مرحله رشد زایشی این گیاه ممکن است پارامترهای رشد را با شدت بیشتری کاهش دهد [۳۱]. قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی برخلاف مراحل گلدهی و تشکیل دانه، تأثیر کمتری بر عملکرد نهایی گیاهان زراعی

دارد [۲۷]. تنش خشکی در آفتابگردان^۴ با کاهش شاخص سطح برگ، موجب کاهش سرعت رشد محصول و سرانجام کاهش تجمع ماده خشک می‌شود [۵]. همچنین، تنش خشکی در مراحل زایشی به‌طور معناداری موجب کاهش تجمع ماده خشک، سرعت رشد گیاه زراعی، سرعت رشد نسبی و عملکرد دانه ارقام لوبیا چیتی شد [۴]. در میان ترکیباتی که سبب بهبود روابط آبی گیاه و تحمل به خشکی در گیاهان زراعی می‌شود، نیتروپروساید سدیم^۵ کمتر بررسی شده است. نیتروپروساید سدیم، ماده تولیدکننده اکسید نیتریک^۶ به‌شمار می‌رود. اکسید نیتریک مولکول گازی کوچک و قابل انتشاری است که به‌صورت درون‌زا در بسیاری از سیستم‌های زیستی نظیر جانوران، گیاهان و باکتری‌ها تولید می‌شود و دارای وظایف فیزیولوژیکی متعدد است [۱۶]. اکسید نیتریک در انتقال پیام و همچنین پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی دخالت دارد. اکسید نیتریک موجب افزایش سنتز آبسسیک اسید^۷ تحت تنش خشکی می‌شود [۳۹]. کاربرد نیتروپروساید سدیم سبب کاهش تلفات آب در ذرت تحت تنش خشکی شد [۲۱]. همچنین محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم روی گیاهچه‌های برنج^۸، به بهبود روابط آبی گیاه و افزایش تحمل گیاه به خشکی انجامید [۱۷].

یک شاخص مهم جهانی برای تبدیل انرژی گیاهی، کارایی مصرف آب^۹ یعنی نسبت تولید بر واحد آب مصرفی بوده است [۳۸]. افزایش کارایی مصرف آب از طریق کاهش تبخیر و تعرق و افزایش عملکرد دانه، مسئله مهمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، ازاین‌رو مهم‌ترین مسئله برای کشاورزان، توسعه

4. *Helianthus nnus* L.
5. Sodium NitroPrusside
6. Nitric Oxide
7. Abscisic acid
8. *Oryza sativa* L.
9. Water Use Efficiency

1. *Cicer arietinum* L.
2. *Glycine max* L.
3. *Zea mays* L.

تأثیر کاربرد نیتروپروساید سدیم بر سطح برگ، رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris L.*) تحت تنش کم آبی

فاصله بوته‌ها روی ردیف ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در تاریخ ۱۳۹۱/۳/۱ با دست بر روی ردیف‌های کاشت انجام گرفت. محلول پاشی نیتروپروساید سدیم در مراحل V₄ و R₆ در ساعات اولیه صبح اجرا شد (۱۷،۱۶). تعیین مرحله گلدھی براساس ۵۰ درصد گلدھی بوته‌ها در هر تیمار بود. قبل از کاشت، براساس آزمون خاک کودهای اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به ترتیب ۱۰۰، ۱۵۰ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه شد. مبارزه با علف‌های هرز در چند نوبت و به صورت دستی انجام گرفت. در هر مرحله آبیاری حجم آب ورودی به کرت‌ها توسط کنتور تا رسیدن به ظرفیت زراعی کنترل شد. حجم آب مصرفی در هر کرت در هر بار آبیاری برحسب حجمی از رابطه زیر محاسبه شد:

$$Vw = [(Fc - Sm) (Bd \times D \times A)] \quad (1)$$

در این رابطه، Fc: درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی؛ Sm: درصد وزنی رطوبت خاک هنگام نمونه‌برداری؛ Bd: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛ D: عمق توسعه ریشه؛ و A: مساحت هر کرت است.

نمونه‌برداری گیاهان از مرحله سه‌برگچه‌ای از خطوط مورد نظر در کرت‌های آزمایشی به تعداد پنج بوته شروع شد و در دوران رشد به فواصل ۱۴ روز یکبار انجام گرفت. در هر بار نمونه‌برداری سطح برگ و وزن خشک اندام‌های مختلف بوته اندازه‌گیری شد. سطح برگ به روش دستی و با استفاده از کاغذ شطرنجی اندازه‌گیری شد. برداشت نهایی در اواسط شهریور و براساس قهوه‌ای شدن ۷۵ درصد غلاف‌ها انجام گرفت. محاسبه کارایی مصرف آب برای دانه، از نسبت عملکرد دانه (کیلوگرم) بر مقدار آب مصرفی (متر مکعب) و مقدار کارایی مصرف آب برای زیست‌توده کل، از نسبت زیست‌توده کل تولید شده (کیلوگرم) بر مقدار آب مصرفی (متر مکعب) تعیین شد [۶].

راهکارهای زراعی و فناوری برای بهبود کارایی مصرف آب است [۳۶،۲۲].

هدف از اجرای پژوهش حاضر، بررسی اثر محلول پاشی نیتروپروساید سدیم بر شاخص‌های رشد و کارایی مصرف آب لوبیا قرمز تحت تنش کم آبی در شرایط همدان بود.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه آموزشی - پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینای همدان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عوامل بررسی شده شامل تنش کم آبی، محلول پاشی نیتروپروساید سدیم (تولیدکننده اکسید نیتریک) و دو رقم لوبیا قرمز بود. انتخاب ارقام لوبیا قرمز براساس توصیه مرکز تحقیقات ملی لوبیای کشور (خمین) و با توجه به فرم ایستاده بوته و عملکرد زیاد این ارقام و همچنین مناسب بودن آنها برای کاشت در مناطق معتدله نظیر همدان صورت گرفت. ارقام استفاده شده از لحاظ عملکرد، طول دوره رشد و درصد پروتئین متفاوت بودند. تنش کم آبی به صورت قطع آبیاری بعد از ظهور سومین سه‌برگچه (V₄) تا قبل از گلدھی به عنوان تنش رویشی، بعد از گلدھی تا قبل از ظهور غلاف (R₆) به عنوان تنش زایشی، قبل و بعد از گلدھی (تنش رویشی + زایشی) و آبیاری کامل (بدون تنش) در کرت‌های اصلی؛ و فاکتورهای محلول پاشی با نیتروپروساید سدیم در سه سطح (صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم) و رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در هر کرت فرعی شش ردیف کاشت به طول ۶ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ و

حدود ۲۰ و ۲۵ درصد بود. تنش رویشی + زایشی موجب ۳۹ درصد کاهش حداکثر شاخص سطح برگ در ارقام بررسی شده در مقایسه با شاهد شد (جدول ۲).

محلول پاشی نیتروپروساید سدیم سبب بهبود اثر تنش شد. غلظت ۳۰۰ میکرومولار ماده مذکور اثر بیشتری نسبت به غلظت ۱۵۰ میکرومولار داشت. به طور کلی، محلول پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم حداکثر شاخص سطح برگ را در تنش رویشی حدود ۲۱ درصد نسبت به حالت بدون محلول پاشی افزایش داد. این افزایش در تنش زایشی حدود ۲۸ درصد بود، در حالی که غلظت ۱۵۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم در تنش های رویشی و زایشی به ترتیب موجب ۱۰ و ۱۱/۵ درصد بهبود حداکثر شاخص سطح برگ در مقایسه با شرایط بدون محلول پاشی در هر دو رقم شد (جدول ۲).

برگ های توسعه یافته در شرایط کمبود آب معمولاً کوچک ترند [۱۰]. همچنین تنش خشکی بر شاخص سطح برگ و سرعت رشد ذرت و سورگوم^۲ اثر داشت و سبب کاهش ۲۵ درصدی شاخص سطح برگ در ذرت و ۲۰ درصدی در سورگوم شد [۳۳]. تنش خشکی از طریق کاهش تولید و رشد برگها [۱۳] و افزایش پیری آنها [۳۷] شاخص سطح برگ را کاهش می دهد. اثر حفاظتی اکسید نیتریک بر حفظ و افزایش کلروفیل و سبزیگی برگ و تأثیر آن بر دسترس بودن آهن [۱۷]، بر اثر مثبت آن بر تولید بیشتر برگ به خصوص در شرایط تنش دلالت دارد [۳۶].

۲.۳. دوام شاخص سطح برگ

تأثیرات اصلی عوامل تحت بررسی و برهمکنش تنش و محلول پاشی در خصوص دوام شاخص سطح برگ در سطح ۱ درصد و برهمکنش رقم و محلول پاشی و برهمکنش سه گانه عوامل بررسی شده در سطح ۵ درصد معنادار بود (جدول ۱).

محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار آماری SAS و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح احتمال $P < 0.05$ و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل^۱ انجام گرفت.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. حداکثر شاخص سطح برگ

بررسی تجزیه واریانس حداکثر شاخص سطح برگ نشان داد که تنش کم آبی و محلول پاشی تأثیر معناداری بر حداکثر شاخص سطح برگ در سطح ۱ درصد داشتند، ولی بین دو رقم تفاوت آماری در این زمینه مشاهده نشد. اثر متقابل رقم و محلول پاشی، اثر متقابل تنش و محلول پاشی و اثر متقابل سه گانه نیز معنادار بود (جدول ۱).

بررسی عوامل سه گانه نشان داد که با آبیاری کامل، بین سطوح مختلف محلول پاشی نیتروپروساید سدیم در هر دو رقم تفاوت معنادار وجود داشت، در حالی که بین ارقام اختلاف معناداری از این لحاظ مشاهده نشد. حداکثر شاخص سطح برگ، در شرایط آبیاری کامل و با محلول پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم و کمترین شاخص سطح برگ نیز در تنش رویشی + زایشی و عدم محلول پاشی نیتروپروساید سدیم در هر دو رقم تحت بررسی حاصل شد (جدول ۲). در سطوح دیگر تنش کم آبی نیز تفاوت معناداری بین ارقام بررسی شده مشاهده نشد (جدول ۲). در هر یک از ارقام مورد آزمایش، محلول پاشی نیتروپروساید سدیم سبب افزایش معناداری در حداکثر شاخص سطح برگ نسبت به شرایط بدون محلول پاشی شد و اثر سطوح مختلف محلول پاشی برای هر دو رقم یکسان بود. تنش زایشی اثر منفی بیشتری نسبت به تنش رویشی بر حداکثر شاخص سطح برگ گذاشت، به طوری که کاهش صفت مذکور در هر دو رقم در تنش های رویشی و زایشی نسبت به آبیاری کامل به ترتیب

2. *Sorghum vulgare* L.

1. Excel

تأثیر کاربرد نیتروپرو ساید سدیم بر سطح برگ، رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا فرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش کم آبی

جدول ۱. تجزیه واریانس تنش کم آبی و نیتروپرو ساید سدیم در دو رقم لوبیا

میانگین مربعیات		میانگین مربعیات		میانگین مربعیات		میانگین مربعیات		میانگین مربعیات		میانگین مربعیات		میانگین مربعیات		میانگین مربعیات		میانگین مربعیات		میانگین مربعیات		میانگین مربعیات	
میانگین	د.ف	میانگین	د.ف	میانگین	د.ف	میانگین	د.ف	میانگین	د.ف	میانگین	د.ف	میانگین	د.ف	میانگین	د.ف	میانگین	د.ف	میانگین	د.ف	میانگین	د.ف
۱/۶**	۲۴۴/۸**	۷۳/۴**	۷۸۹۳۸۷/۴**	۲۲۴/۴**	۲۰۷۵۷/۶**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۸۳**
۱۲/۹**	۲۷۴۸۸/۵**	۹۰/۱/۶**	۱۵۴۴۲۰/۱/۲**	۸۳۳۵۶۱/۴**	۱۰۳۵۲۹۴۰/۲/۱**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**	۳/۲**
۰/۱	۱۸۳	۵/۵	۷۲۰/۱/۹	۵۸۴/۳	۴۳۵/۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷
۰/۰۰۱ ^{ns}	۱۵۱/۶**	۳/۴*	۳۰۸۷۲/۲**	۳۰۹۱۴۵/۶**	۱۰۴۳۰۱۵/۶**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۲**
۰/۵**	۳۱۵/۷**	۴۸/۵**	۵۴۸۴۱/۶**	۷۸۲۶۵/۸**	۵۵۲۶۹۰/۸۳**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**	۰/۲**
۰/۰۱**	۶/۱*	۰/۳ ^{ns}	۷۷۴۴/۹*	۳۲۵۶/۸**	۲۰۲۱۷/۲**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**
۰/۰۰۱ ^{ns}	۵/۷ ^{ns}	۰/۵ ^{ns}	۱۰/۴ ^{ns}	۱۹۳۵/۰۰۱*	۱۴۳۱۷/۲**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**	۰/۰۷**
۰/۰۱**	۲۰/۹**	۴/۰/۴*	۷۶۲۳/۷*	۸۴۲۵/۲*	۹۴۷۰۹۵/۴**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**	۰/۳**
۰/۰۱**	۷/۷*	۴/۱*	۱۰۰۲۱/۵ ^{ns}	۲۴۸۵/۶**	۹۲۹۱/۰۵**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**
۰/۰۰۲	۲/۰/۴	۱/۲	۱۷۱۱/۵	۴۸۵/۷	۳۸۹۶/۹	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۱
۵/۲	۴/۶	۷/۸	۳/۶	۱۱/۲	۱۳/۷	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۹

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

خطای فرعی
خطای اصلی
خطای پاشی (S)
محلول پاشی (S)
رقم (V)
خطای اصلی
تنش (D)
تکرار

فنج امیدی و علی سپهری

جدول ۲. مقایسه میانگین تأثیرات متقابل تنش کم آبی، رقم و محلول پاشی نیتروپروسیلید سدیم در لوبیا قرمز

زیست توده (kg/m ³)	کارایی مصرف آب (kg/m ³)	کارایی مصرف آب (kg/ha)	عملکرد زیست توده (kg/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد تجمع ماده خشک (g/m ²)	حداکثر سرعت رشد (g/m ² /d)	محصول (g/m ² /d)	سطح برگ	دوام شاخص	حداکثر شاخص سطح برگ	تیمار
۲/۳ ^{bc}	۰/۶۴ ^c	۱۳۱۹۶ ^e	۳۴۲۵ ^e	۱۴۲۷/۳ ^{bc}	۳۱/۶ ^e	۲۲۸/۱ ^a	۲۲۸/۱ ^a	۲/۱ ^c	۲۲۸/۱ ^a	۲/۱ ^c	آبیاری کامل
۲/۵ ^c	۰/۶۸ ^b	۱۳۳۰۶ ^d	۳۴۹۱ ^c	۱۴۶۶/۱ ^{ab}	۳۲/۶ ^d	۳۳۲/۸ ^a	۳۳۲/۸ ^a	۲/۶ ^b	۳۳۲/۸ ^a	۲/۶ ^b	اختیار بدون محلول پاشی
۲/۷ ^a	۰/۷۱ ^a	۱۳۵۷/۸ ^b	۳۵۹۳ ^a	۱۵۲۱/۶ ^a	۳۳/۶ ^a	۳۳۳/۱ ^a	۳۳۳/۱ ^a	۲/۹ ^a	۳۳۳/۱ ^a	۲/۹ ^a	اختیار + SNP ۱۵۰
۲/۳ ^f	۰/۶۰ ^c	۱۳۰۳۲ ^f	۳۲۸۸ ^f	۱۴۱۷/۲ ^b	۳۱/۴ ^f	۲۱۶/۰ ^d	۲۱۶/۰ ^d	۲/۲ ^c	۲۱۶/۰ ^d	۲/۲ ^c	اختیار + SNP ۳۰۰
۲/۴ ^d	۰/۶۳ ^d	۱۳۳۲۴ ^c	۳۴۴۷ ^d	۱۴۰۲/۲ ^b	۳۲/۰ ^d	۳۳۱/۴ ^a	۳۳۱/۴ ^a	۲/۶ ^b	۳۳۱/۴ ^a	۲/۶ ^b	درخشان بدون محلول پاشی
۲/۷ ^b	۰/۶۸ ^b	۱۳۴۶۳ ^b	۳۵۱۶ ^b	۱۴۴۶/۹ ^b	۳۳/۲ ^b	۲۳۳/۰ ^a	۲۳۳/۰ ^a	۲/۸ ^a	۲۳۳/۰ ^a	۲/۸ ^a	درخشان + SNP ۱۵۰
۲/۴ ^e	۰/۶۵ ^d	۱۲۰۹۳ ^e	۳۱۹۰ ^d	۱۲۲۷/۹ ^{abc}	۲۴/۳ ^e	۱۸۸/۲ ^{ab}	۱۸۸/۲ ^{ab}	۳/۴ ^c	۱۸۸/۲ ^{ab}	۳/۴ ^c	درخشان + SNP ۳۰۰
۲/۶ ^c	۰/۶۹ ^c	۱۲۴۴۸ ^c	۳۲۹۵ ^c	۱۲۶۷/۴ ^{ab}	۲۵/۶ ^c	۱۹۱/۶ ^{ab}	۱۹۱/۶ ^{ab}	۳/۷ ^c	۱۹۱/۶ ^{ab}	۳/۷ ^c	تنش رویشی
۲/۹ ^a	۰/۷۳ ^a	۱۲۹۶۶ ^a	۳۴۸۴ ^a	۱۲۷۵/۸ ^a	۲۷/۴ ^a	۱۹۹/۸ ^a	۱۹۹/۸ ^a	۲/۱ ^a	۱۹۹/۸ ^a	۲/۱ ^a	اختیار بدون محلول پاشی
۲/۳ ^f	۰/۶۲ ^d	۱۱۷۰۴ ^f	۲۹۶۸ ^f	۱۱۹۳/۷ ^{bc}	۲۳/۳ ^f	۱۸۳/۶ ^b	۱۸۳/۶ ^b	۲/۳ ^c	۱۸۳/۶ ^b	۲/۳ ^c	اختیار + SNP ۱۵۰ + SNP ۳۰۰
۲/۵ ^d	۰/۶۷ ^d	۱۲۲۰۶ ^d	۳۱۸۳ ^c	۱۲۰۱/۶ ^{abc}	۲۴/۸ ^d	۱۸۷/۶ ^{ab}	۱۸۷/۶ ^{ab}	۲/۷ ^b	۱۸۷/۶ ^{ab}	۲/۷ ^b	درخشان بدون محلول پاشی
۲/۸ ^b	۰/۷۰ ^b	۱۲۶۲۹ ^b	۳۳۰۶ ^b	۱۲۴۷/۰ ^{abc}	۲۶/۸ ^b	۱۹۵/۶ ^{ab}	۱۹۵/۶ ^{ab}	۲/۱ ^a	۱۹۵/۶ ^{ab}	۲/۱ ^a	درخشان + SNP ۱۵۰ + SNP ۳۰۰
۱/۸ ^e	۰/۴۸ ^d	۹۳۸۲ ^e	۲۲۸۶ ^e	۹۵۲/۹ ^e	۲۰/۹ ^e	۱۸۵/۷ ^{ab}	۱۸۵/۷ ^{ab}	۳/۱ ^c	۱۸۵/۷ ^{ab}	۳/۱ ^c	تنش زایشی
۲/۰ ^c	۰/۵۰ ^c	۱۰۳۱۵ ^c	۲۵۸۴ ^c	۱۰۶۶/۳ ^{cd}	۲۳/۷ ^c	۱۸۹/۱ ^{ab}	۱۸۹/۱ ^{ab}	۳/۵ ^b	۱۸۹/۱ ^{ab}	۳/۵ ^b	اختیار بدون محلول پاشی
۲/۳ ^a	۰/۶۰ ^a	۱۱۵۶۷ ^a	۲۹۹۸ ^a	۱۱۷۴/۹ ^{ab}	۲۶/۳ ^a	۱۹۰/۳ ^{ab}	۱۹۰/۳ ^{ab}	۲/۰ ^a	۱۹۰/۳ ^{ab}	۲/۰ ^a	اختیار + SNP ۱۵۰ + SNP ۳۰۰
۱/۷ ^f	۰/۴۴ ^f	۸۹۵۶ ^f	۲۱۱۰ ^f	۹۴۷/۶ ^e	۲۱/۳ ^f	۱۸۳/۲ ^b	۱۸۳/۲ ^b	۳/۱ ^c	۱۸۳/۲ ^b	۳/۱ ^c	اختیار + SNP ۳۰۰ + SNP ۱۵۰
۱/۹ ^d	۰/۴۶ ^d	۹۹۷۸ ^d	۳۳۷۸ ^d	۹۹۹/۲ ^{de}	۲۲/۸ ^d	۱۸۶/۸ ^{ab}	۱۸۶/۸ ^{ab}	۳/۵ ^b	۱۸۶/۸ ^{ab}	۳/۵ ^b	درخشان بدون محلول پاشی
۲/۱ ^b	۰/۵۴ ^b	۱۰۹۷۸ ^b	۲۷۷۶ ^b	۱۱۱۱/۶ ^{bc}	۲۵/۵ ^b	۱۸۸/۸ ^{ab}	۱۸۸/۸ ^{ab}	۲/۰ ^a	۱۸۸/۸ ^{ab}	۲/۰ ^a	درخشان + SNP ۱۵۰ + SNP ۳۰۰
۱/۴ ^b	۰/۳۸ ^b	۷۹۷۰ ^{ab}	۱۹۹۳ ^{ab}	۷۱۰/۰ ^c	۱۴/۸ ^b	۱۳۳/۱ ^a	۱۳۳/۱ ^a	۲/۵ ^{ab}	۱۳۳/۱ ^a	۲/۵ ^{ab}	رویشی + زایشی
۱/۴ ^{ab}	۰/۳۹ ^{ab}	۸۰۹۸ ^a	۲۰۷۲ ^a	۷۷۲/۳ ^{abc}	۱۵/۳ ^{ab}	۱۳۸/۲ ^a	۱۳۸/۲ ^a	۲/۶ ^a	۱۳۸/۲ ^a	۲/۶ ^a	اختیار بدون محلول پاشی
۱/۵ ^a	۰/۴۱ ^a	۸۱۷۹ ^a	۲۱۰۱ ^a	۸۳۱/۰ ^a	۱۶/۰ ^a	۱۳۹/۴ ^a	۱۳۹/۴ ^a	۲/۶ ^a	۱۳۹/۴ ^a	۲/۶ ^a	اختیار + SNP ۱۵۰ + SNP ۳۰۰
۱/۴ ^b	۰/۳۸ ^b	۷۹۴۴ ^{ab}	۱۹۷۷ ^{ab}	۷۰۳/۸ ^c	۱۴/۷ ^b	۱۳۱/۸ ^a	۱۳۱/۸ ^a	۲/۵ ^{ab}	۱۳۱/۸ ^a	۲/۵ ^{ab}	درخشان بدون محلول پاشی
۱/۴ ^{ab}	۰/۳۹ ^{ab}	۸۰۶۲ ^a	۲۰۵۶ ^a	۷۳۱/۳ ^{bc}	۱۵/۱ ^{ab}	۱۳۳/۰ ^a	۱۳۳/۰ ^a	۲/۶ ^a	۱۳۳/۰ ^a	۲/۶ ^a	درخشان + SNP ۱۵۰ + SNP ۳۰۰
۱/۴ ^a	۰/۴۰ ^a	۸۱۰۸ ^a	۲۰۹۷ ^a	۷۹۷/۱ ^{ab}	۱۵/۸ ^a	۱۳۷/۸ ^a	۱۳۷/۸ ^a	۲/۶ ^a	۱۳۷/۸ ^a	۲/۶ ^a	درخشان + SNP ۳۰۰ + SNP ۱۵۰

در هر ستون، (به تفکیک برای تیمارهای آبیاری کامل و تنش)، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک‌اند از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنادارند.

تأثیر کاربرد نیتروپروساید سدیم بر سطح برگ، رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش کم آبی

به ترتیب در حدود ۲ و ۳ درصد در رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' نسبت به شرایط بدون محلول پاشی بود.

۳.۳. سرعت رشد محصول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبی و محلول پاشی بر حداکثر سرعت رشد محصول در سطح ۱ درصد و اثر رقم و برهمکنش تنش و محلول پاشی و برهمکنش سه‌گانه عوامل بررسی شده در سطح ۵ درصد معنادار شدند. برهمکنش رقم و محلول پاشی و برهمکنش تنش و رقم تفاوت معناداری در خصوص این شاخص نداشت (جدول ۱).

بررسی برهمکنش عوامل سه‌گانه نشان داد که محلول پاشی نیتروپروساید سدیم حتی در شرایط آبیاری کامل نیز به افزایش سرعت رشد محصول در ارقام بررسی شده انجامیده است (جدول ۲). بیشترین مقدار شاخص مذکور در رقم 'اختر' در شرایط آبیاری کامل و با محلول پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم حاصل شد. تنش کم آبی سبب کاهش سرعت رشد محصول شد. کمترین سرعت رشد محصول در تنش رویشی + زایشی ملاحظه شد. تأثیر تنش رویشی بر کاهش شاخص مذکور در هر دو رقم بررسی شده، کمتر از تأثیر تنش زایشی بود. تنش رویشی در شرایط بدون محلول پاشی در رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' در مقایسه با آبیاری کامل، حداکثر سرعت رشد محصول را به ترتیب حدود ۲۳ و ۲۵ درصد کاهش داد، در حالی که کاهش این شاخص در تنش زایشی در ارقام مذکور به ترتیب ۳۴ و ۳۲ درصد بود (جدول ۲).

محلول پاشی نیتروپروساید سدیم، سبب افزایش حداکثر سرعت رشد محصول در شرایط تنش کم آبی نسبت به شرایط بدون محلول پاشی در هر دو رقم شد. در تمامی سطوح تنش کم آبی، غلظت ۳۰۰ میکرومولار ماده مذکور تأثیر بیشتری نسبت به غلظت ۱۵۰ میکرومولار در کاهش

در بررسی تأثیرات عوامل سه‌گانه ملاحظه شد که بیشترین دوام شاخص سطح برگ در دو رقم در آبیاری کامل حاصل شد و اختلاف معناداری بین ارقام و همچنین بین سطوح مختلف محلول پاشی نیتروپروساید سدیم در شرایط آبی مذکور مشاهده نشد (جدول ۲). تنش کم آبی به‌طور معناداری سبب کاهش دوام شاخص سطح برگ شد. کمترین مقادیر شاخص مذکور در تنش رویشی + زایشی مشاهده شد. همچنین تنش زایشی اثر کاهشی بیشتری در مقایسه با تنش رویشی بر دوام شاخص سطح برگ ارقام بررسی شده داشت. تنش رویشی به ترتیب سبب کاهش ۱۷ و ۱۹ درصدی در رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' نسبت به شرایط آبیاری کامل شد. این کاهش در تنش زایشی به‌طور تقریبی معادل ۱۸ و ۲۰ درصد بود (جدول ۲). تنش خشکی بر دوام شاخص سطح برگ ذرت تأثیرگذار است [۷]. همبستگی قوی و مثبتی بین وزن خشک دانه و دوام شاخص سطح برگ از گرده‌افشانی تا رسیدگی دانه ذرت گزارش شد و تأکید شد که پیری برگ به اندازه تولید برگ در تعیین عملکرد دانه اهمیت دارد [۳۷]. دوام شاخص سطح برگ ویژگی‌ای است که از شاخص سطح برگ نشأت می‌گیرد. تنش، شاخص سطح برگ را از طریق کاهش رشد و توسعه و افزایش پیری برگ‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد و از این رو انتظار می‌رود که دوام سطح برگ نیز به‌واسطه تنش کاهش یابد.

محلول پاشی نیتروپروساید سدیم در کاهش اثر تنش بر دوام شاخص سطح برگ تأثیر چندانی نداشت، به طوری که در تمام سطوح تنش کم آبی، بین غلظت ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم و غلظت ۱۵۰ میکرومولار، تفاوت آماری ملاحظه نشد. در تنش رویشی، محلول پاشی ۳۰۰ میکرومولار، دوام شاخص سطح برگ هر دو رقم بررسی شده را در مقایسه با شرایط بدون محلول پاشی حدود ۶ درصد افزایش داد. این افزایش در تنش زایشی،

این خصوص در سطح ۵ درصد معنادار شدند، اما برهمکنش تنش و رقم و برهمکنش سه‌گانه عوامل بررسی شده اثر معناداری در حداکثر تجمع ماده خشک نشان ندادند. بیشترین تجمع ماده خشک در رقم 'اختر' و با محلول پاشی نیتروپروساید سدیم در غلظت ۳۰۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۱). در هر دو رقم، غلظت ۳۰۰ میکرومولار محلول پاشی نیتروپروساید سدیم بیشترین مقدار تجمع ماده خشک را داشت. در رقم 'اختر' غلظت‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار محلول پاشی نیتروپروساید سدیم به ترتیب به ۸ و ۱۱ درصد افزایش حداکثر تجمع ماده خشک در مقایسه با شرایط بدون محلول پاشی منجر شد، در حالی که در رقم 'درخشان'، غلظت ۱۵۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم افزایش معناداری را در پی نداشت و غلظت ۳۰۰ میکرومولار آن سبب افزایش ۶ درصدی صفت مذکور شد.

محلول پاشی نیتروپروساید سدیم با غلظت ۳۰۰ میکرومولار در شرایط آبیاری کامل به افزایش معنادار حداکثر تجمع ماده خشک منجر شد (شکل ۲)، ولی غلظت ۱۵۰ میکرومولار ترکیب مذکور تأثیر چندانی نداشت. در تنش رویشی محلول پاشی نیتروپروساید سدیم در هیچ کدام از سطوح محلول پاشی، تأثیر معناداری در تجمع ماده خشک نداشت، اما در تنش زایشی، محلول پاشی موجب افزایش معنادار حداکثر تجمع ماده خشک شد، به طوری که غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم به ترتیب به ۸ و ۲۰ درصد افزایش حداکثر تجمع ماده خشک در مقایسه با شرایط بدون محلول پاشی انجامید. در تنش توأم رویشی + زایشی نیز محلول پاشی نیتروپروساید سدیم تأثیر معناداری در افزایش مقدار تجمع ماده خشک در مقایسه با شرایط بدون محلول پاشی داشت.

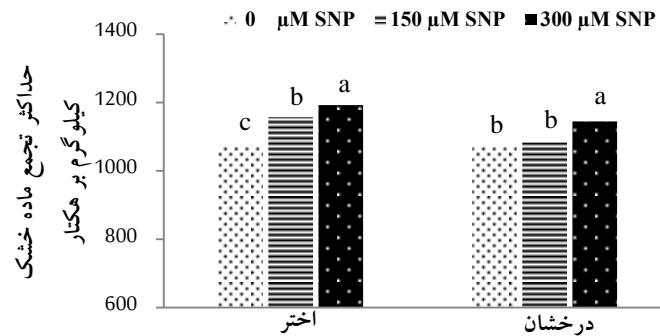
اثر تنش داشت. در تنش رویشی محلول پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم در رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' به ترتیب موجب ۱۳ و ۱۵ درصد افزایش حداکثر سرعت رشد محصول نسبت به شرایط بدون محلول پاشی شد. میزان افزایش در تنش زایشی ۲۶ و ۲۰ درصد بود. در تنش رویشی + زایشی نیز محلول پاشی نیتروپروساید سدیم با غلظت ۳۰۰ میکرومولار به افزایش معنادار حداکثر سرعت رشد محصول ارقام بررسی شده در مقایسه با شرایط بدون محلول پاشی منجر شد (جدول ۲). سرعت رشد محصول تحت تأثیر تنش کم آبی قرار می‌گیرد و به شدت کاهش نیز می‌یابد، به طوری که در ذرت در یک دوره رشد، تا ۴۰ درصد کاهش مشاهده شد [۱۴]. افزایش تنش رطوبتی به تدریج سبب کاهش سرعت رشد محصول در گیاه چغندر قند^۱ می‌شود [۳۱]. حساسیت زیاد شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول به تنش رطوبتی در گیاهان دیگری نظیر پنبه^۲ [۱۸]، آفتابگردان [۳۲]، ذرت [۱۱]، سورگوم و لوبیا چشم‌بلبلی^۳ [۲۹] نیز گزارش شده است. در چنین شرایطی بهبود رشد در اثر کاربرد نیتروپروساید سدیم ممکن است ناشی از حفظ محتوای رطوبت نسبی برگ، کاهش محتوای پراکسید هیدروژن تولید شده [۳۵] و بهبود سیستم آنزیمی گیاه [۳۶] باشد.

۴.۳. تجمع ماده خشک

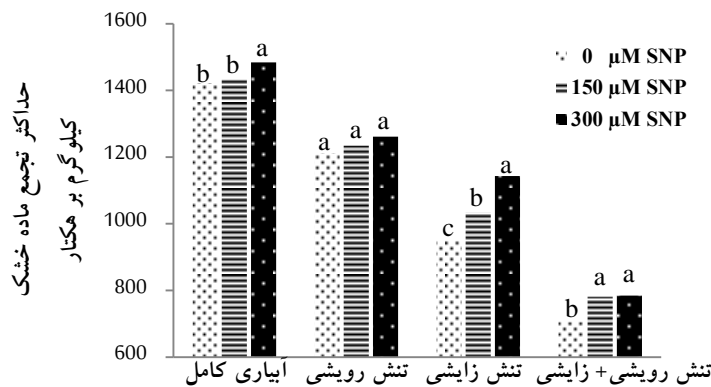
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیرات اصلی عوامل بررسی شده بر حداکثر تجمع ماده خشک در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۱). همچنین برهمکنش رقم و محلول پاشی و برهمکنش تنش کم آبی و محلول پاشی در

1. *Beta vulgaris* L.
2. *Gossypium hirsutum* L.
3. *Vigna unguiculata* L.

تأثیر کاربرد نیتروپروساید سدیم بر سطح برگ، رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش کم آبی



شکل ۱. اثر متقابل رقم و محلول پاشی بر حداکثر تجمع ماده خشک



شکل ۲. اثر متقابل تنش کم آبی و محلول پاشی بر حداکثر تجمع ماده خشک

بیشترین تأثیر را در کاهش عملکرد زیست توده ارقام بررسی شده داشته است (جدول ۲). در این سطح از تنش کم آبی، محلول پاشی تأثیری در بهبود عملکرد زیست توده نداشت. تنش رویشی کمتر از تنش زایشی، عملکرد زیست توده را کاهش داد. تنش های رویشی و زایشی، عملکرد زیست توده را در رقم 'اختر' در حدود ۹ و ۲۸ درصد کاهش دادند. این کاهش در رقم 'درخشان' حدود ۱۱ و ۳۰ درصد بود. بیشترین عملکرد زیست توده در رقم 'اختر' و شرایط آبیاری کامل و محلول پاشی نیتروپروساید سدیم با غلظت ۳۰۰ میکرومولار مشاهده شد که نسبت به رقم 'درخشان' برتری معناداری داشت. این برتری در تمام

نیتروپروساید سدیم موجب بهبود وضعیت کلروفیل سلول های گیاهی در شرایط تنش خشکی می شود [۳۶] و با افزایش فتوسنتز گیاه می تواند افزایش ماده خشک تولیدی را در پی داشته باشد و نیز با محافظت اندام های هوایی گیاه در شرایط تنش خشکی، در نهایت به افزایش تجمع ماده خشک تحت این شرایط منجر می شود [۱۷].

۵.۳. عملکرد زیست توده

تمامی عوامل آزمایش شده و اثر متقابل آنها بر عملکرد زیست توده ارقام معنادار بود (جدول ۱). بررسی توأم عوامل سه گانه آزمایش شده نشان داد تنش رویشی + زایشی

شرایط بدون محلول پاشی حاصل شد. در تنش رویشی، بیشترین عملکرد دانه در رقم 'اختر' و با غلظت ۳۰۰ میکرومولار محلول پاشی نیتروپروساید سدیم مشاهده شد، در حالی که کمترین عملکرد دانه را رقم 'درخشان' و در شرایط بدون محلول پاشی نیتروپروساید سدیم به خود اختصاص داد. تنش زایشی اثر کاهشی بیشتری نسبت به تنش رویشی بر عملکرد دانه داشت. در این سطح از تنش، رقم 'اختر' با محلول پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم، بیشترین مقدار دانه را تولید کرد. رقم 'درخشان' در همین سطح از تنش و در شرایط بدون محلول پاشی نیتروپروساید سدیم، کمترین عملکرد دانه را نشان داد (جدول ۲).

در تنش رویشی + زایشی تفاوت معناداری بین ارقام بررسی شده و همچنین سطوح مختلف محلول پاشی نیتروپروساید سدیم، از لحاظ عملکرد دانه مشاهده نشد. تنش زایشی به مقدار بیشتری در مقایسه با تنش رویشی در کاهش عملکرد دانه در هر دو رقم بررسی شده مؤثر بود. تنش رویشی در رقم های 'اختر'، 'درخشان' به ترتیب موجب ۱۷/۵ و ۱۸/۵ درصد افت عملکرد دانه نسبت به آبیاری کامل شد، در حالی که تنش زایشی در ارقام مذکور به ترتیب ۲۳ و ۲۵ درصد کاهش عملکرد دانه را نسبت به آبیاری کامل در پی داشت. در تنش زایشی، محلول پاشی با غلظت ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم عملکرد دانه در رقم های 'اختر' و 'درخشان' را به ترتیب ۱۷ و ۱۶ درصد نسبت به بدون محلول پاشی افزایش داد. تحقیقات درباره آفتابگردان، بیانگر همبستگی مثبت و قوی بین حداکثر سرعت رشد محصول، دوام سطح برگ و عملکرد دانه بود [۳۰]. ارقام مختلف به دلیل تفاوت در پتانسیل ژنتیکی، عملکردهای متفاوتی دارند. تنش خشکی در لویبا موجب کاهش طول دوره رشد زایشی می شود و تنش زایشی تأثیر منفی بیشتری بر عملکرد دارد [۱۲]. تنش

سطوح تنش و محلول پاشی نیز مشاهده شد. محلول پاشی در تنش رویشی و یا تنش زایشی سبب افزایش معنادار عملکرد زیست توده شد. غلظت ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم تأثیر بیشتری نسبت به غلظت ۱۵۰ میکرومولار در بهبود اثر منفی تنش کم آبی داشت. غلظت ۳۰۰ میکرومولار این ماده در تنش رویشی در رقم های 'اختر' و 'درخشان' عملکرد زیست توده را به ترتیب حدود ۷ و ۸ درصد نسبت به بدون محلول پاشی بهبود بخشید که این افزایش در تنش زایشی ۲۳ و ۲۲ درصد بود. در تنش رویشی + زایشی، محلول پاشی نیتروپروساید سدیم افزایش معناداری در صفت مذکور به همراه نداشت (جدول ۲). دیگر محققان نیز به تأثیر نیتروپروساید سدیم در بهبود وضعیت کلروفیل گیاه تحت شرایط تنش خشکی [۳۶] و جلوگیری از تخریب اندام های هوایی در این شرایط اشاره کرده اند که خود دلیلی بر تأثیر نیتروپروساید سدیم در افزایش عملکرد زیست توده گیاهان تحت شرایط تنش خشکی در مقایسه با گیاهان شاهد است [۱۷].

۳.۶. عملکرد دانه

در خصوص عملکرد دانه، تمامی تأثیرات اصلی و برهمکنش دوگانه و سه گانه عوامل بررسی شده در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۱). تنش کم آبی موجب کاهش معنادار عملکرد دانه در هر دو رقم تحت بررسی شد. محلول پاشی نیتروپروساید سدیم به بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش و حتی بدون تنش منجر شد. در بین سطوح مختلف تنش، بیشترین عملکرد دانه در هر دو رقم در آبیاری کامل و کمترین عملکرد دانه در تنش رویشی + زایشی مشاهده شد (جدول ۲). در شرایط آبیاری کامل، رقم 'اختر' با محلول پاشی غلظت ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم، بیشترین عملکرد دانه را نشان داد و کمترین عملکرد دانه مربوط به رقم 'درخشان' بود که در

تأثیر کاربرد نیتروپروساید سدیم بر سطح برگ، رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش کم آبی

محللول پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم و کمترین کارایی در رقم 'درخشان' در تنش رویشی + زایشی و بدون محللول پاشی حاصل شد. تنش رویشی کارایی مصرف آب زیست توده را در رقم های 'اختر' و 'درخشان' به ترتیب حدود ۲ و ۲/۵ درصد افزایش داد، در حالی که تنش زایشی شاخص فوق را حدود ۲۲ و ۲۵ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش داد (جدول ۲).

کاربرد نیتروپروساید سدیم در تمام سطوح آبیاری سبب بهبود کارایی مصرف آب زیست توده شد. در این خصوص، غلظت ۳۰۰ میکرومولار ماده مذکور بیشترین تأثیر را در بهبود صفت یادشده داشت، به طوری که در تنش رویشی غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم به ترتیب در رقم 'اختر' موجب ۸ و ۲۰ درصد افزایش کارایی مصرف آب زیست توده نسبت به وضعیت بدون محللول پاشی شد. این افزایش در رقم 'درخشان' ۸ و ۲۱ درصد بود. همچنین در تنش زایشی غلظت های ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار ماده مذکور در رقم 'اختر' به ۱۰ و ۲۴ درصد و در رقم 'درخشان' به ۱۴ و ۲۶ درصد افزایش کارایی مصرف آب زیست توده نسبت به تیمار بدون محللول پاشی نیتروپروساید سدیم منجر شد (جدول ۲).

به طور کلی، تنش کم آبی موجب کاهش مقدار زیست توده در گیاه شد. در شرایط تنش، ساقه و برگ و ارتفاع گیاه کاهش می یابد. محققان بیان داشتند که خشکی موجب کاهش زیست توده لوبیا می شود [۲۰]. در شرایط تنش رویشی، با مصرف کمتر آب، مقدار زیست توده گیاهی اندکی کاهش یافت، این شرایط موجب استفاده بهینه از آب و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب شد. در شرایط تنش زایشی افت زیست توده گیاهی در اثر کمبود آب، بیشتر بود و در نتیجه کارایی مصرف آب دچار کاهش شد. افزایش

زایشی سطوح فتوسنتزکننده گیاه را کاهش داد و با اختلال در سرعت رشد محصول و توزیع ماده خشک، سبب تولید دانه های کوچک و کم وزن شد که در نهایت، کاهش عملکرد دانه را در پی داشت، در حالی که تنش رویشی تأثیر کمتری بر عملکرد دانه داشت که با نتایج دیگر تحقیقات مطابقت دارد [۱۵].

محللول پاشی نیتروپروساید سدیم سبب افزایش عملکرد دانه در ارقام بررسی شده در تمام سطوح تنش آبی شد (جدول ۲). مصرف ماده مذکور در شرایط تنش با بهبود اثر تنش کم آبی و تأثیر مثبت بر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول، در نهایت سبب حفظ عملکرد دانه شد. محققان دیگر تأثیر ترکیب مذکور را در بهبود رشد گیاهان مختلف گزارش کرده اند. تأثیرات بهبودبخش کاربرد نیتروپروساید سدیم در گندم^۱ تحت تنش اسمزی [۲۶]، در گندم تحت تنش خشکی [۳۴]، در نخود فرنگی^۲ تحت تنش شوری [۳۵]، در نخود تحت تنش کادمیوم [۲۵] و در برنج تحت تنش خشکی [۱۷] مشاهده شد. بهبود در رشد و عملکرد می تواند ناشی از حفظ محتوای رطوبت نسبی برگ و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن تولید شده [۳۴] و بهبود سیستم آنزیمی گیاه در اثر کاربرد نیتروپروساید سدیم باشد [۳۵].

۷.۳. کارایی مصرف آب زیست توده

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که تمام عوامل بررسی شده و تأثیرات متقابل آنها اثر معناداری در سطح ۱ درصد بر کارایی مصرف آب زیست توده داشتند (جدول ۱). تنش کم آبی به کاهش کارایی مصرف آب زیست توده در ارقام بررسی شده منجر شد. در این زمینه، بیشترین کارایی مصرف آب در رقم 'اختر' در تنش رویشی با

1. *Triticum aestivum* L.

2. *Pisum sativum* L.

محللول پاشی افزایش داد، درحالی که غلظت ۱۵۰ میکرومولار، شاخص مذکور را حدود ۵ و ۷ درصد افزایش داد. در تنش زایشی غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم در رقم 'اختر' کارایی مصرف آب دانه را به ترتیب ۶ و ۲۵ درصد نسبت به وضعیت بدون محللول پاشی افزایش داد؛ این افزایش در رقم 'درخشان' به ترتیب حدود ۶ و ۲۴ درصد بود. کاربرد نیتروپروساید سدیم در تنش رویشی + زایشی به افزایش معناداری در کارایی مصرف آب دانه منجر نشد. بیشترین کارایی مصرف آب دانه مربوط به رقم 'اختر' و در تنش رویشی با محللول پاشی نیتروپروساید سدیم با غلظت ۳۰۰ میکرومولار، معادل ۰/۷۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب بود. کارایی مصرف آب دانه رقم 'درخشان' در شرایط مشابه با ۵ درصد اختلاف مصرف آب دانه در تنش رویشی + زایشی و بدون محللول پاشی در رقم 'درخشان' حاصل شد (جدول ۲).

قطع یک نوبت آبیاری در مرحله رویشی بدون کاهش جدی در عملکرد دانه و زیست توده سبب افزایش کارایی مصرف آب شد. یکی از دلایل این وضعیت می تواند الگوی رشد بوته ها در شرایط تنش کم آبی باشد، به طوری که از طریق شاخص سطح برگ مناسب در شرایط بروز تنش، با سایه اندازی بر سطح زمین از تبخیر و همچنین از تعرق گیاه کاسته می شود و به این ترتیب، کارایی مصرف آب افزایش می یابد. محققان دیگر افزایش کارایی مصرف آب در شرایط تنش رویشی را گزارش کرده اند. در تنش زایشی کاهش سطح برگ و سرعت رشد محصول، عملکرد دانه را کاهش داد و موجب افت کارایی مصرف آب دانه شد [۱، ۵، ۲۳].

کاربرد نیتروپروساید سدیم به صورت محللول پاشی سبب افزایش حداکثر شاخص سطح برگ و همچنین دوام شاخص سطح برگ شد و از این طریق، کارایی مصرف آب

کارایی مصرف آب نیز در اثر کاهش آب مصرفی در کلزا^۱ گزارش شد [۹].

نیتروپروساید سدیم با افزایش سطح برگ و دوام آن و همچنین با افزایش سرعت رشد محصول، سبب افزایش ماده خشک گیاهی و در نهایت عملکرد زیست توده در شرایط تنش رویشی و زایشی شد. تأثیر افزایشی نیتروپروساید سدیم در شرایط تنش رویشی بر عملکرد زیست توده بیشتر بود (جدول ۲).

۸.۳. کارایی مصرف آب دانه

نتایج تجزیه واریانس شاخص کارایی مصرف آب برای دانه برحسب کیلوگرم دانه به ازای متر مکعب آب مصرفی نشان داد که اثر تیمارهای کم آبی، رقم، محللول پاشی و همچنین برهمکنش دوگانه و سه گانه آنها در سطح ۱ درصد معنادار شد (جدول ۱). بر این اساس بیشترین کارایی مصرف آب دانه در قطع آبیاری در مرحله رویشی، و کمترین مقدار صفت مذکور در تنش های رویشی + زایشی حاصل شد. تنش رویشی سبب افزایش کارایی مصرف آب دانه در هر دو رقم بررسی شده در مقایسه با آبیاری کامل شد، درحالی که تنش زایشی تأثیر منفی بر شاخص مذکور داشت. در میان دو رقم بررسی شده، رقم 'اختر' کارایی مصرف آب دانه بیشتری در مقایسه با رقم 'درخشان' داشت (جدول ۲). کارایی مصرف آب دانه در تنش رویشی در مقایسه با آبیاری کامل در رقم های 'اختر' و 'درخشان' به ترتیب ۲/۵ و ۳/۵ درصد افزایش نشان داد، درحالی که تنش زایشی کارایی مصرف آب دانه را ۲۵ و ۲۷ درصد کاهش داد. در تنش رویشی غلظت ۳۰۰ نیتروپروساید سدیم کارایی مصرف آب دانه را در رقم های 'اختر' و 'درخشان' به ترتیب حدود ۱۲ و ۱۳ درصد نسبت به بدون

1. *Brassica napus* L.

تأثیر کاربرد نیتروپروساید سدیم بر سطح برگ، رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش کم آبی

منابع

۱. پازوکی ع، نورمحمدی ق، شیرانی راد ا ح و حبیبی د (۱۳۸۴) بررسی اثر تنش آب بر کارایی مصرف آب دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط آب و هوایی پاکدشت و کرج. علوم کشاورزی. ۱۱(۱): ۱۳-۲۱.
۲. رضایی ع و کامگار حقیقی ع ا (۱۳۸۸) اثر تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد گیاه لوبیا چشم بلبلی. پژوهش‌های خاک (علوم آب و خاک). ۲۳(۱): ۱-۵.
۳. زعفرانی پ، راعی ی، قاسمی گل‌عدانی ک و محمدی س ا (۱۳۹۰) اثر کم آبی بر رشد و عملکرد ارقام لوبیا. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۱(۴): ۸۵-۹۵.
۴. سرمدنیا غ ح و کوچکی ع (۱۳۷۴) جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۲۴ ص.
۵. کریمی کاخکی م و سپهری ع (۱۳۸۸) اثر کم آبیاری در دوره زایشی بر کارایی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام جدید آفتابگردان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳(۵۰): ۱۶۳-۱۷۶.
۶. عبدزاد گوهری ع، امیری ا و مجد سلیمی ک (۱۳۹۰) ارزیابی عملکرد و کارایی مصرف آب در بادام زمینی تحت سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵(۵): ۹۴۴-۱۰۰۴.
۷. نوری اظهار ج و احسانزاده پ (۱۳۸۶) بررسی روابط برخی شاخص‌های رشد و عملکرد پنج هیبرید ذرت در دو رژیم آبیاری در منطقه اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱(۴۱): ۲۶۱-۲۷۳.
۸. واعظی راد س، شکاری ف، شیرانی راد ا م و زنگانی ا

را افزایش داد. از سوی دیگر، ماده مذکور موجب بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش شد که این امر نیز به افزایش کارایی مصرف آب برای دانه انجامید. همچنین در همین زمینه گزارش شده است که کاربرد نیتروپروساید سدیم با کاهش بسته شدن روزنه‌ها و تعرق تحت تنش خشکی می‌تواند از اتلاف آب گیاه جلوگیری کند و سبب افزایش کارایی مصرف آب شود [۲۸].

۴. نتیجه گیری

به‌طور کلی، تنش خشکی موجب کاهش سطح برگ، سرعت رشد محصول و عملکرد دانه در دو رقم لوبیای بررسی شده شد. در این خصوص، تنش بعد از گلدهی در مقایسه با تنش قبل از گلدهی تأثیر منفی بیشتری بر صفات مذکور داشت. از سوی دیگر، تنش رویشی سبب افزایش کارایی مصرف آب دانه و زیست‌توده در دو رقم لوبیا نسبت به آبیاری کامل شد، در صورتی‌که در تنش زایشی نه‌تنها چنین نتیجه‌ای حاصل نشد، بلکه کارایی مصرف آب دانه و زیست‌توده کاهش معناداری در مقایسه با آبیاری کامل داشت. تنش توأم رویشی + زایشی بیشترین تأثیر را در کاهش صفات و شاخص‌های وابسته به رشد و عملکرد در دو رقم لوبیای بررسی شده داشت. محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم موجب تعدیل و بهبود تأثیرات منفی تنش رویشی و تنش زایشی شد، در حالی‌که در تنش توأم رویشی + زایشی تأثیر چندانی نداشت. محلول‌پاشی با غلظت ۳۰۰ میکرومولار از ترکیب مذکور در هر دو رقم و در تمام سطوح تنش آبی، تأثیر بیشتری در مقایسه با غلظت ۱۵۰ میکرومولار در بهبود وضعیت رشد و عملکرد داشت. از این رو مصرف ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم برای محلول‌پاشی لوبیا تحت شرایط تنش کم آبی مطلوب به نظر می‌رسد.

17. Farooq M, Basra SMA, Wahid A and Rahman H (2009) Exogenously applied nitric oxide enhance the drought tolerance in fine grain aromatic Rice (*Oryza sativa* L.). *Agronomy and Science*. 195: 254-261.
18. Fernandez CJ, McInnes KJ and Cothren JT (1996) Water status and leaf area production in water and nitrogen-stressed cotton. *Crop Science*. 36: 1224-1233.
19. Food and Agriculture Organization (2009) Crops production report from. <http://faostat.fao.org>
20. German C and Teran H (2006) Selection for Drought Resistance in Dry Bean Landraces and Cultivars. *Crop Science*. 46: 2111-2120.
21. . Hao GP, Xing Y and Zhang JH (2008) Role of Nitric Oxide Dependence on Nitric Oxide Synthase-like Activity in the water stress signaling of maize seedling. *Integrative Plant Biology*. 50(4): 435-442.
22. Kang SZ, Zhang L, Liang YL, Hu XT, Cai HJ and Gu BJ (2002) Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China. *Agriculture Water Manage*. 55: 203-216.
23. Kimber DS and Gregor MC (1995) Brassica oilseeds: Production and Utilization. CAB international.
24. Korte LL, Williams JH, Specht JE and Sorenson RC (1983) Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny. II. Yield component responses. *Crop Science*. 23: 523-533.
25. Kumari A, Sheokand A and Kumari S (2010) Nitric oxide induced alleviation of toxic effects of short term and long term Cd stress on growth, oxidative metabolism and Cd accumulation in Chickpea. *Brazilian society of Plant physiology*. 22(4): 271-284.
- ۱۳۸۷) اثر تنش کم آبی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ارقام لوبیای قرمز. دانش نوین کشاورزی. ۴(۱۰): ۸۵-۹۴.
۹. وفابخش ج، نصیری محلاتی م، کوچکی ع و عزیزز م (۱۳۸۸) اثر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و عملکرد کلزا. پژوهش‌های زراعی ایران. ۷(۱): ۲۹۵-۳۰۳.
۱۰. ولدآبادی س ع، مظاهری د، نورمحمدی ق و هاشمی دزفولی س ا (۱۳۷۹) بررسی اثر تنش خشکی بر خواص کمی و کیفی و شاخص‌های رشد ذرت، سورگوم و ارزن. علوم زراعی ایران. ۲(۱): ۳۹-۴۷.
11. Acevedo E, Hsiao TC and Henderson DW (1971) Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to change in water status. *Plant Physiology*. 48: 631-266.
12. Acosta D, Shibata K, Acosta-Gallegos J and Alberto J (1997) Yield and it's components in bean under drought conditions. *Agricultural Tecnica en Mexico*. 23(2): 139-150.
13. Cakir R (2004) Effect of water stress at different developmental stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89: 1-16.
14. Chapman P and ME Westgate (1993) Water deficit affects receptivity of maize silk. *Crop Science*. 33: 279-82.
15. Creelman RA, Msaon HS, Bensen RJ and Mullet JE (1990) Water deficit and abscisic acid cause differential inhibition of shoot various root growth in soybean seedlings. *Plant Physiology*. 92: 205-214.
16. DelRio LA, Corpas FJ and Barroso JB (2004) Nitric oxide and nitric oxide synthase activity in plants. *Phytochem*. 65: 783-792.

26. Lei Y, Yin C, Ren J and Li C (2007) Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings. *Biologia Plantarum*. 51(2): 386-390.
27. Loveys BR, Stoll M and Davies WJ (2004) Physiological approaches to enhance water use efficiency in agriculture: exploiting plant signaling in novel irrigation practice. In: Bacon (Eds.), *Water Use Efficiency in Plant Biology*.
28. Mata GC and Lamattina L (2001) Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. *Plant Physiology*. 126: 1196-1204.
29. McCree KJ and Richardson SG (1987) Stomatal closure versus osmotic adjustment: a comparison of stress responses. *Crop Science*. 27: 539-543.
30. Miralles OB, De Juan Valero JA and De Santa Olalla FM (1997) Growth, development and yield of five sunflower hybrids. *Agronomy*. 6: 47-59.
31. Pandey RK, Maranvill JW and Chetima MM (2000) Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agriculture Water Manage*. 46: 15-27.
32. Rosenthal WD, Arkin GF, Schouse PJ and Jordan WR (1987) Water deficit effects on transportation and leaf growth. *Agronomy*. 79: 1019-1026.
33. Sayer W (1994) Tillage effect on dryland wheat and sorghum production in the southern Great Plains. *Agronomy*. 86: 310-17.
34. Sheokand S, Bhankar V and Sawhney V (2010) Ameliorative effect of exogenous nitric oxide on oxidative metabolism in NaCl treated chickpea plants. *Brazilian society of plant Physiology*. 22(2): 81-90.
35. Tian XR and Lei YB (2007) Physiological Responses of wheat Seedling to Drought and UV-B Radiation. Effect of exogenous Sodium Nitroprusside Application. *Plant Physiology*. 54(5): 763-769.
36. Turner NC (2004) Agronomic option for improving rainfall use efficiency of crops in dryland farming systems. *Experimental of Botany*. 55: 2413-2425.
37. Wolf DW, Henderson DW, Hsiao TC and Alvino A (1988) Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthesis decline and longevity of individual. *Agronomy*. 80: 865-870.
38. Zhang Y, Kendy E, Qiang Y, Changming L, Yanjun Sh and Hongyong S (2004) Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. *Agricultural Water Management*. 64: 107-122.
39. Zhao Z, Chen G and Zhang C (2001) Interaction between reactive oxygen species and nitric oxide in drought-induced Abscisic acid synthesis in root tips of wheat seedlings. *Plant Physiology*. 28: 1055-1061.