به‌زراعی 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 امیدی[۱] و علی سپهری[۲]*

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

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۰۷/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۸/۲۶

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد نیتروپروساید سدیم بر شاخص‌های رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris L.*) تحت تنش کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعهٔ پژوهشی دانشگاه بوعلی سینای همدان در سال ۱۳۹۱ انجام گرفت. تیمارها شامل تنش در مرحلهٔ رویشی، تنش در مرحلهٔ زایشی، تنش در مراحل 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 مادهٔ خشک در هر دو رقم بررسی‌شده را کاهش داد. محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم در تنش زایشی، شاخص‌های مذکور را در رقم 'اختر' به‌ترتیب 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 به‌ترتیب 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. ازاین‌رو مصرف ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم برای محلول‌پاشی لوبیا قرمز تحت شرایط تنش کم‌آبی مطلوب به‌نظر می‌رسد.

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

* نویسنده مسئول Email: sepehri110@yahoo.com

www.SID.ir

۱. مقدمه

حبوبات با ارزش غذایی زیاد و قابلیت نگهداری مناسب پس ازغلات،دومین‌منبع‌غذایی‌بشر محسوب می‌شوند. لوبیا قرمز در بین حبوبات، دارای اهمیت خاصی است. در ایران، انواع لوبیا با تولید حدود ۱۸۱ هزار تن، رتبهٔ دوم را پس از نخود[1] 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 مادهٔ خشک در لوبیا با افزایش شدت تنش رطوبتی، کاهش می‌یابد و بین مادهٔ خشک تولیدی و تبخیر و تعرق گیاه رابطهٔ خطی وجود دارد [۳]. گلدهی حساس‌ترین مرحلهٔ 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 مرحلهٔ گلدهی و غلاف‌بندی رخ می‌دهد، عملکرد بیشتر از مراحل دیگر کاهش می‌یابد [۲]. تنش کم‌آبی در زمان گلدهی، به‌سرعت عملکرد سویا[2] 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[3]، به‌طورآهسته شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه، سرعت رشد محصول، جذب نیتروژن و تولید زیست‌توده را کاهش می‌دهد، ولی کم‌آبی در اواخر دورهٔ رشد و در مرحلهٔ رشد زایشی این گیاه ممکن است پارامترهای رشد را با شدت بیشتری کاهش دهد [۳۱]. قطع آبیاری در مرحلهٔ رشد رویشی برخلاف مراحل گلدهی و تشکیل دانه، تأثیر کمتری بر عملکرد نهایی گیاهان زراعی دارد [۲۷]. تنش خشکی در آفتابگردان[4] با کاهش شاخص سطح برگ، موجب کاهش سرعت رشد محصول و سرانجام کاهش تجمع مادهٔ خشک می‌شود [۵]. همچنین، تنش خشکی در مراحل زایشی به طور معناداری موجب کاهش تجمع مادهٔ خشک، سرعت رشد گیاه زراعی، سرعت رشد نسبی و عملکرد دانهٔ ارقام لوبیا چیتی شد [۴].

در میان ترکیباتی که سبب بهبود روابط آبی گیاه و تحمل به خشکی در گیاهان زراعی می‌شود، نیتروپروساید سدیم[5] کمتر بررسی شده است. نیتروپروساید سدیم، مادهٔ تولیدکنندهٔ اکسید نیتریک[6] 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 آبسیسیک اسید[7] 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[8]، به بهبود روابط آبی گیاه و افزایش تحمل گیاه به خشکی انجامید [۱۷].

یک شاخص مهم جهانی برای تبدیل انرژی گیاهی، کارایی مصرف آب[9] یعنی نسبت تولید بر واحد آب مصرفی بوده است [۳۸]. افزایش کارایی مصرف آب از طریق کاهش تبخیر و تعرق و افزایش عملکرد دانه، مسئلهٔ مهمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، ازاین‌رو مهم‌ترین مسئله برای کشاورزان، توسعهٔ

1. *Cicer arietinum* L.
2. *Glycine max* L.
3. *Zea mays* L.
4. *Helianthus nnus* L.
5. Sodium NitroPrusside
6. Nitric Oxide
7. Abscisic acid
8. *Oryza sativa* L.
9. Water Use Efficiency

Archive of SID
www.SID.ir

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

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

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعهٔ آموزشی - پژوهشی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه بوعلی سینای همدان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقهٔ شمالی در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عوامل بررسی‌شده شامل تنش کم‌آبی، محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم (تولیدکنندهٔ اکسید نیتریک) و دو رقم لوبیا قرمز بود. انتخاب ارقام لوبیا قرمز براساس توصیهٔ مرکز تحقیقات ملی لوبیای کشور (خمین) و با توجه به فرم ایستادهٔ بوته و عملکرد زیاد این ارقام و همچنین مناسب بودن آنها برای کاشت در مناطق معتدله نظیر همدان صورت گرفت. ارقام استفاده‌شده از لحاظ عملکرد، طول دورهٔ رشد و درصد پروتئین متفاوت بودند. تنش کم‌آبی به‌صورت قطع آبیاری بعد از ظهور سومین سه‌برگچه (V_4) تا قبل از گلدهی به‌عنوان تنش رویشی، بعد از گلدهی تا قبل از ظهور غلاف (R_6) به‌عنوان تنش زایشی، قبل و بعد از گلدهی (تنش رویشی + زایشی) و آبیاری کامل (بدون تنش) در کرت‌های اصلی؛ و فاکتورهای محلول‌پاشی 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 به‌طول ۶ متر درنظر گرفته شد. فاصلهٔ بین ردیف‌های کاشت ۵۰ و فاصلهٔ بوته‌ها روی ردیف ۵ سانتی‌متر درنظر گرفته شد. عملیات کاشت در تاریخ ۱۳۹۱/۳/۱ با دست بر روی ردیف‌های کاشت انجام گرفت. محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم در مراحل V_4 و R_6 در ساعات اولیهٔ صبح اجرا شد (۱۷،۱۶). تعیین مرحلهٔ گلدهی براساس ۵۰ درصد گلدهی بوته‌ها در هر تیمار بود. قبل از کاشت، براساس آزمون خاک کودهای اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌ترتیب ۱۰۰، ۱۵۰ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه شد. مبارزه با علف‌های هرز در چند نوبت و به‌صورت دستی انجام گرفت. در هر مرحلهٔ 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 رابطهٔ زیر محاسبه شد:

$$Vw = [(Fc - Sm) (Bd \times D \times A)] \qquad (۱)$$

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 توسعهٔ ریشه؛ و A: مساحت هر کرت است.

نمونه‌برداری گیاهان از مرحلهٔ سه‌برگچه‌ای از خطوط مورد نظر در کرت‌های آزمایشی به‌تعداد پنج بوته شروع شد و در دوران رشد به‌فواصل ۱۴ روز یک‌بار انجام گرفت. در هر بار نمونه‌برداری سطح برگ و وزن خشک اندام‌های مختلف بوته اندازه‌گیری شد. سطح برگ به‌روش 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 زیست‌تودهٔ کل، از نسبت زیست‌تودهٔ کل تولیدشده (کیلوگرم) بر مقدار آب مصرفی (متر مکعب) تعیین شد [۶].

Archive of SID
www.SID.ir

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال P<۰/۰۵ و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل[1] انجام گرفت.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. حداکثر شاخص سطح برگ

بررسی تجزیهٔ واریانس حداکثر شاخص سطح برگ نشان داد که تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی، اثر متقابل تنش و محلول‌پاشی و اثر متقابل سه‌گانه نیز معنادار بود (جدول ۱).

بررسی عوامل سه‌گانه نشان داد که با آبیاری کامل، بین سطوح مختلف محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم در هر دو رقم تفاوت معنادار وجود داشت، درحالی‌که بین ارقام اختلاف معناداری از این لحاظ مشاهده نشد. حداکثر شاخص سطح برگ، در شرایط آبیاری کامل و با محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم و کمترین شاخص سطح برگ نیز در تنش رویشی + زایشی و عدم محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم در هر دو رقم تحت بررسی حاصل شد (جدول ۲). در سطوح دیگر تنش کم‌آبی نیز تفاوت معناداری بین ارقام بررسی‌شده مشاهده نشد (جدول ۲). در هر یک از ارقام مورد آزمایش، محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم سبب افزایش معناداری در حداکثر شاخص سطح برگ نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی شد و اثر سطوح مختلف محلول‌پاشی برای هر دو رقم یکسان بود. تنش زایشی اثر منفی بیشتری نسبت به تنش رویشی بر حداکثر شاخص سطح برگ گذاشت، به‌طوری‌که کاهش صفت مذکور در هر دو رقم در تنش‌های رویشی و زایشی نسبت به آبیاری کامل به‌ترتیب حدود ۲۰ و ۲۵ درصد بود. تنش رویشی + زایشی موجب ۳۹ درصد کاهش حداکثر شاخص سطح برگ در ارقام بررسی‌شده در مقایسه با شاهد شد (جدول ۲).

محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم سبب بهبود اثر تنش شد. غلظت ۳۰۰ میکرومولار مادهٔ مذکور اثر بیشتری نسبت به غلظت ۱۵۰ میکرومولار داشت. به‌طور کلی، محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم حداکثر شاخص سطح برگ را در تنش رویشی حدود ۲۱ درصد نسبت به حالت بدون محلول‌پاشی افزایش داد. این افزایش در تنش زایشی حدود ۲۸ درصد بود، درحالی‌که غلظت ۱۵۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم در تنش‌های رویشی و زایشی به‌ترتیب موجب ۱۰ و ۱۱/۵ درصد بهبود حداکثر شاخص سطح برگ در مقایسه با شرایط بدون محلول‌پاشی در هر دو رقم شد (جدول ۲).

برگ‌های توسعه‌یافته در شرایط کمبود آب معمولاً کوچک‌ترند [۱۰]. همچنین تنش خشکی بر شاخص سطح برگ و سرعت رشد ذرت و سورگوم[2] 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 می‌دهد. اثر حفاظتی اکسید نیتریک بر حفظ و افزایش کلروفیل و سبزینگی برگ و تأثیر آن بر در دسترس بودن آهن [۱۷]، بر اثر مثبت آن بر تولید بیشتر برگ به‌خصوص در شرایط تنش دلالت دارد [۳۶].

۲.۳. دوام شاخص سطح برگ

تأثیرات اصلی عوامل تحت بررسی و برهمکنش تنش و محلول‌پاشی در خصوص دوام شاخص سطح برگ در سطح ۱ درصد و برهمکنش رقم و محلول‌پاشی و برهمکنش سه‌گانهٔ عوامل بررسی‌شده در سطح ۵ درصد معنادار بود (جدول ۱).

1.Excel

2. *Sorghum vulgare* L.

www.SID.ir
Archive of SID

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس تنش کم‌آبی و نیتروپروساید سدیم در دو رقم لوبیا

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات							
		کارایی مصرف آب زیست‌توده	کارایی مصرف آب دانه	عملکرد زیست‌توده	عملکرد دانه	حداکثر تجمع مادهٔ خشک	حداکثر سرعت رشد محصول	دوام شاخص سطح برگ	حداکثر شاخص سطح برگ
تکرار	۲	۰/۸**	۰/۰۰۸۳**	۲۰۷۵۷/۶**	۲۲۴۱/۲**	۷۸۹۳۸۷/۲**	۷۳/۰۴**	۲۴۴/۸**	۱/۶**
تنش (D)	۳	۴/۰۲**	۳/۲**	۱۰۳۵۲۹۴۰۲/۱**	۸۳۳۵۶۱۱/۴**	۱۵۴۴۲۰۱/۲**	۹۰۱/۶**	۲۷۴۴۸/۵**	۱۲/۹**
خطای اصلی	۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۷	۴۳۵۲/۵	۵۸۴/۳	۷۲۰۱/۹	۵/۵	۱۸/۳	۰/۱
رقم (V)	۱	۰/۰۴**	۰/۰۱۲**	۱۰۴۳۰۱۵/۶**	۳۰۹۱۴۵/۶**	۳۰۸۷۲/۲**	۳/۴*	۱۵۱/۶**	۰/۰ns
محلول‌پاشی (S)	۲	۰/۲۱**	۰/۴**	۵۵۲۶۹۰۸/۳**	۷۲۸۳۶۵۸/۸**	۵۴۸۴۱/۶**	۴۸/۵**	۳۱۵/۷**	۰/۵**
S × V	۲	۰/۰۷**	۰/۰۱**	۲۰۰۲۸/۲**	۳۲۵۶/۸**	۷۷۴۴/۹*	۰/۳ns	۶/۱*	۰/۰۱**
V× D	۳	۰/۰۵**	۰/۰۷**	۱۴۳۱۷۱/۲**	۱۹۶۳۵/۰۰۱**	۱۰/۴ns	۰/۵ns	۵/۷ns	۰/۰۰۱ns
S × D	۶	۰/۳**	۰/۳**	۹۴۷۰۹۵/۴**	۸۴۲۵۲/۴**	۷۶۲۳/۷*	۴/۰۴*	۲۰/۹**	۰/۰۱**
S × V × D	۶	۰/۰۷**	۰/۰۰۹**	۹۲۹۱/۰۵**	۲۴۸۵/۶**	۱۰۲۱/۵ns	۴/۱*	۷/۷*	۰/۰۱**
خطای فرعی	۴۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۱۱	۳۸۴۶/۹	۴۸۵/۷	۱۷۱۱/۵	۱/۲	۲/۰۴	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)		۷/۵	۶/۹	۱۳/۷	۱۱/۲	۳/۶	۷/۸	۴/۶	۵/۲

** و * به ترتیب معنادار در سطح ۱ و ۵ درصد
ns غیرمعنادار

www.SID.ir

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین تأثیرات متقابل تنش کم‌آبی، رقم و محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم در لوبیا قرمز

تیمار	حداکثر شاخص سطح برگ	دوام شاخص سطح برگ	حداکثر سرعت رشد محصول (g/m²/d)	حداکثر تجمع ماده خشک (g/m²)	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد زیست‌توده (kg/ha)	کارایی مصرف آب دانه (kg/m³)	کارایی مصرف آب زیست‌توده (kg/m³)
آبیاری کامل								
اختر بدون محلول‌پاشی	۴/۲^{c}	۲۲۸/۱^{a}	۳۱/۷^{e}	۱۴۲۷/۳^{b}	۳۴۴۵^{e}	۱۳۱۹۶^{e}	۰/۶۴^{c}	۲/۳^{e}
اختر + SNP ۱۵۰	۴/۶^{b}	۲۳۲/۸^{a}	۳۲/۷^{c}	۱۴۶۴/۳^{ab}	۳۴۹۱^{c}	۱۳۳۰۶^{d}	۰/۶۸^{b}	۲/۵^{c}
اختر + SNP ۳۰۰	۴/۹^{a}	۲۳۳/۱^{a}	۳۳/۶^{a}	۱۵۲۱/۶^{a}	۳۵۹۳^{a}	۱۳۵۷۸^{a}	۰/۷۱^{a}	۲/۷^{a}
درخشان بدون محلول‌پاشی	۴/۲^{c}	۲۲۶/۰^{a}	۳۱/۴^{f}	۱۴۱۷/۳^{b}	۳۲۸۸^{f}	۱۳۰۳۲^{f}	۰/۶۰^{e}	۲/۳^{f}
درخشان + SNP ۱۵۰	۴/۶^{b}	۲۳۱/۴^{a}	۳۲/۰^{d}	۱۴۰۲/۲^{b}	۳۴۴۷^{d}	۱۳۳۲۴^{c}	۰/۶۳^{cd}	۲/۴^{d}
درخشان + SNP ۳۰۰	۴/۸^{a}	۲۳۳/۰^{a}	۳۳/۲^{b}	۱۴۴۶/۹^{b}	۳۵۱۶^{b}	۱۳۴۶۳^{b}	۰/۶۸^{b}	۲/۷^{b}
تنش رویشی								
اختر بدون محلول‌پاشی	۳/۴^{c}	۱۸۸/۲^{ab}	۲۴/۳^{e}	۱۲۲۷/۹^{abc}	۳۱۹۰^{d}	۱۲۰۹۲^{e}	۰/۶۵^{e}	۲/۴^{e}
اختر + SNP ۱۵۰	۳/۷^{b}	۱۹۱/۶^{ab}	۲۵/۷^{c}	۱۲۶۷/۴^{ab}	۳۲۹۵^{c}	۱۲۴۴۸^{c}	۰/۶۹^{c}	۲/۶^{c}
اختر + SNP ۳۰۰	۴/۱^{a}	۱۹۹/۸^{a}	۲۷/۴^{a}	۱۲۷۵/۸^{a}	۳۴۸۴^{a}	۱۲۹۶۶^{a}	۰/۷۳^{a}	۲/۹^{a}
درخشان بدون محلول‌پاشی	۳/۳^{c}	۱۸۳/۶^{b}	۲۳/۳^{f}	۱۱۹۳/۷^{bc}	۲۹۶۸^{f}	۱۱۷۰۴^{f}	۰/۶۲^{f}	۲/۳^{f}
درخشان + SNP ۱۵۰	۳/۷^{b}	۱۸۷/۶^{ab}	۲۴/۸^{d}	۱۲۰۱/۶^{abc}	۳۱۸۳^{e}	۱۲۰۲۶^{d}	۰/۶۷^{d}	۲/۵^{d}
درخشان + SNP ۳۰۰	۴/۱^{a}	۱۹۵/۶^{ab}	۲۶/۸^{b}	۱۲۴۷/۰^{abc}	۳۳۰۶^{b}	۱۲۶۲۹^{b}	۰/۷۰^{b}	۲/۸^{b}
تنش زایشی								
اختر بدون محلول‌پاشی	۳/۱^{c}	۱۸۵/۷^{ab}	۲۰/۹^{e}	۹۵۴/۹^{e}	۲۲۸۶^{e}	۹۳۸۲^{e}	۰/۴۸^{d}	۱/۸^{e}
اختر + SNP ۱۵۰	۳/۵^{b}	۱۸۹/۱^{ab}	۲۳/۷^{c}	۱۰۶۶/۳^{cd}	۲۵۸۴^{c}	۱۰۳۱۵^{c}	۰/۵۰^{c}	۲/۰^{c}
اختر + SNP ۳۰۰	۴/۰^{a}	۱۹۰/۳^{ab}	۲۶/۳^{a}	۱۱۷۴/۹^{ab}	۲۹۹۸^{a}	۱۱۵۶۷^{a}	۰/۶۰^{a}	۲/۳^{a}
درخشان بدون محلول‌پاشی	۳/۱^{c}	۱۸۳/۲^{b}	۲۱/۳^{f}	۹۴۷/۹^{e}	۲۱۱۰^{f}	۸۹۵۶^{f}	۰/۴۴^{f}	۱/۷^{f}
درخشان + SNP ۱۵۰	۳/۵^{b}	۱۸۶/۸^{ab}	۲۲/۸^{d}	۹۹۹/۲^{de}	۲۳۷۸^{d}	۹۹۷۸^{d}	۰/۴۶^{d}	۱/۹^{d}
درخشان + SNP ۳۰۰	۴/۰^{a}	۱۸۸/۸^{ab}	۲۵/۵^{b}	۱۱۱۱/۶^{bc}	۲۷۷۶^{b}	۱۰۹۷۲^{b}	۰/۵۴^{b}	۲/۱^{b}
رویشی + زایشی								
اختر بدون محلول‌پاشی	۲/۵^{ab}	۱۳۳/۱^{a}	۱۴/۸^{b}	۷۱۰/۰^{c}	۱۹۹۳^{ab}	۷۹۷۰^{ab}	۰/۳۸^{b}	۱/۴^{b}
اختر + SNP ۱۵۰	۲/۶^{a}	۱۳۸/۲^{a}	۱۵/۳^{ab}	۷۷۲/۳^{abc}	۲۰۷۲^{a}	۸۰۹۸^{a}	۰/۳۹^{ab}	۱/۴^{ab}
اختر + SNP ۳۰۰	۲/۶^{a}	۱۳۹/۴^{a}	۱۶/۰^{a}	۸۳۱/۰^{a}	۲۱۰۱^{a}	۸۱۷۹^{a}	۰/۴۱^{a}	۱/۵^{a}
درخشان بدون محلول‌پاشی	۲/۵^{ab}	۱۳۱/۸^{a}	۱۴/۷^{b}	۷۰۳/۸^{c}	۱۹۷۷^{ab}	۷۹۴۴^{ab}	۰/۳۸^{b}	۱/۴^{b}
درخشان + SNP ۱۵۰	۲/۶^{a}	۱۳۳/۰^{a}	۱۵/۱^{ab}	۷۳۱/۳^{bc}	۲۰۵۶^{a}	۸۰۶۲^{a}	۰/۳۹^{ab}	۱/۴^{ab}
درخشان + SNP ۳۰۰	۲/۶^{a}	۱۳۷/۸^{a}	۱۵/۸^{a}	۷۹۷/۱^{ab}	۲۰۹۷^{a}	۸۱۰۸^{a}	۰/۴۰^{a}	۱/۴^{a}

در هر ستون، (به‌تفکیک برای تیمارهای آبیاری کامل و تنش)، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک‌اند از نظر آماری براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنادار‌اند.

www.SID.ir

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 محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم در شرایط آبی مذکور مشاهده نشد (جدول ۲). تنش کم‌آبی 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 بررسی‌شده داشت. تنش رویشی به‌ترتیب 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 دانهٔ ذرت گزارش شد و تأکید شد که پیری برگ به اندازهٔ 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 ازاین‌رو انتظار می‌رود که دوام سطح برگ نیز به‌واسطهٔ تنش کاهش یابد.

محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم در کاهش اثر تنش بر دوام شاخص سطح برگ تأثیر چندانی نداشت، به‌طوری‌که در تمام سطوح تنش کم‌آبی، بین غلظت ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم و غلظت ۱۵۰ میکرومولار، تفاوت آماری ملاحظه نشد. در تنش رویشی، محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار، دوام شاخص سطح برگ هر دو رقم بررسی‌شده را در مقایسه با شرایط بدون محلول‌پاشی حدود ۶ درصد افزایش داد. این افزایش در تنش زایشی، به‌ترتیب در حدود ۲ و ۳ درصد در رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی بود.

۳.۳. سرعت رشد محصول

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی بر حداکثر سرعت رشد محصول در سطح ۱ درصد و اثر رقم و برهمکنش تنش و محلول‌پاشی و برهمکنش سه‌گانهٔ عوامل بررسی‌شده در سطح ۵ درصد معنادار شدند. برهمکنش رقم و محلول‌پاشی و برهمکنش تنش و رقم تفاوت معناداری در خصوص این شاخص نداشت (جدول ۱).

بررسی برهمکنش عوامل سه‌گانه نشان داد که محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم حتی در شرایط آبیاری کامل نیز به افزایش سرعت رشد محصول در ارقام بررسی‌شده انجامیده است (جدول ۲). بیشترین مقدار شاخص مذکور در رقم 'اختر' در شرایط آبیاری کامل و با محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم حاصل شد. تنش کم‌آبی 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 بررسی‌شده، کمتر از تأثیر تنش زایشی بود. تنش رویشی در شرایط بدون محلول‌پاشی در رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' در مقایسه با آبیاری کامل، حداکثر سرعت رشد محصول را به‌ترتیب حدود ۲۳ و ۲۵ درصد کاهش داد، درحالی‌که کاهش این شاخص در تنش زایشی در ارقام مذکور به‌ترتیب ۳۴ و ۳۲ درصد بود (جدول ۲).

محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم، سبب افزایش حداکثر سرعت رشد محصول در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی در هر دو رقم شد. در تمامی سطوح تنش کم‌آبی، غلظت ۳۰۰ میکرومولار مادهٔ مذکور تأثیر بیشتری نسبت به غلظت ۱۵۰ میکرومولار در کاهش

Archive of SID
www.SID.ir

اثر تنش داشت. در تنش رویشی محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم در رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' به‌ترتیب موجب ۱۳ و ۱۵ درصد افزایش حداکثر سرعت رشد محصول نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی شد. میزان افزایش در تنش زایشی ۲۶ و ۲۰ درصد بود. در تنش رویشی + زایشی نیز محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم با غلظت ۳۰۰ میکرومولار به افزایش معنادار حداکثر سرعت رشد محصول ارقام بررسی‌شده در مقایسه با شرایط بدون محلول‌پاشی منجر شد (جدول ۲).

سرعت رشد محصول تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد و به‌شدت کاهش نیز می‌یابد، به‌طوری‌که در ذرت در یک دورهٔ رشد، تا ۴۰ درصد کاهش مشاهده شد [۱۴]. افزایش تنش رطوبتی به‌تدریج سبب کاهش سرعت رشد محصول در گیاه چغندرقند[1] می‌شود [۳۱]. حساسیت زیاد شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول به تنش رطوبتی در گیاهان دیگری نظیر پنبه[2] [۱۸]، آفتابگردان [۳۲]، ذرت [۱۱]، سورگوم و لوبیا چشم‌بلبلی[3] [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 تولیدشده [۳۵] و بهبود سیستم آنزیمی گیاه [۳۶] باشد.

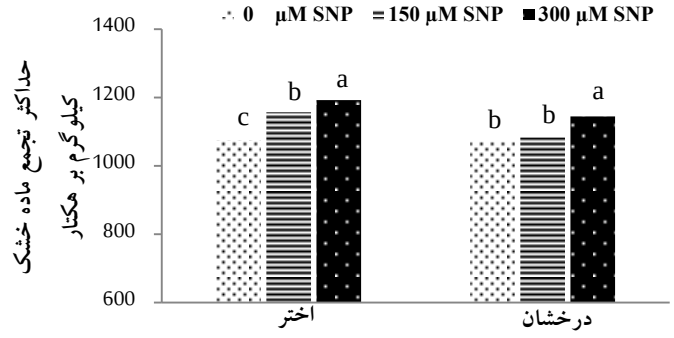
۴.۳. تجمع مادهٔ خشک

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیرات اصلی عوامل بررسی‌شده بر حداکثر تجمع مادهٔ خشک در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۱). همچنین برهمکنش سرقم و محلول‌پاشی و برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی در این خصوص در سطح ۵ درصد معنادار شدند، اما برهمکنش تنش و رقم و برهمکنش سه‌گانهٔ عوامل بررسی‌شده اثر معناداری در حداکثر تجمع مادهٔ خشک نشان ندادند. بیشترین تجمع مادهٔ خشک در رقم 'اختر' و با محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم در غلظت ۳۰۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۱). در هر دو رقم، غلظت ۳۰۰ میکرومولار محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم بیشترین مقدار تجمع مادهٔ خشک را داشت. در رقم 'اختر' غلظت‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم به‌ترتیب به ۸ و ۱۱ درصد افزایش حداکثر تجمع مادهٔ خشک در مقایسه با شرایط بدون محلول‌پاشی منجر شد، درحالی‌که 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.

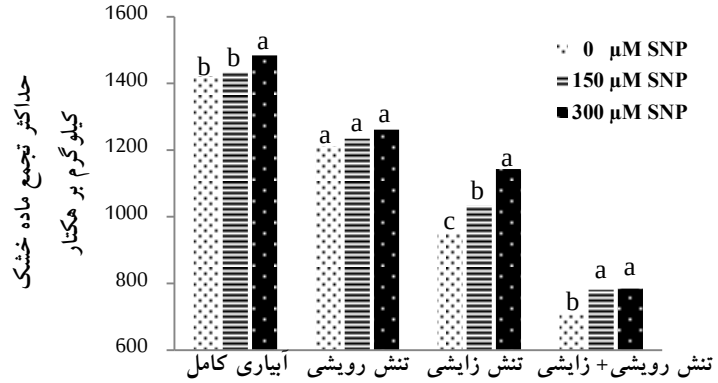
محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم با غلظت ۳۰۰ میکرومولار در شرایط آبیاری کامل به افزایش معنادار حداکثر تجمع مادهٔ خشک منجر شد (شکل ۲)، ولی غلظت ۱۵۰ میکرومولار ترکیب مذکور تأثیر چندانی نداشت. در تنش رویشی محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم در هیچ کدام از سطوح محلول‌پاشی، تأثیر معناداری در تجمع مادهٔ خشک نداشت، اما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

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

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱. اثر متقابل رقم و محلول‌پاشی بر حداکثر تجمع مادهٔ خشک



شکل ۲. اثر متقابل تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی بر حداکثر تجمع مادهٔ خشک

نیتروپروساید سدیم موجب بهبود وضعیت کلروفیل سلول‌های گیاهی در شرایط تنش خشکی می‌شود [۳۶] و با افزایش فتوسنتز گیاه می‌تواند افزایش مادهٔ خشک تولیدی را در پی داشته باشد و نیز با محافظت اندام‌های هوایی گیاه در شرایط تنش خشکی، در نهایت به افزایش تجمع مادهٔ خشک تحت این شرایط منجر می‌شود [۱۷].

۵.۳. عملکرد زیست‌توده

تمامی عوامل آزمایش‌شده و اثر متقابل آنها بر عملکرد زیست‌تودهٔ ارقام معنادار بود (جدول ۱). بررسی توأم عوامل سه‌گانهٔ آزمایش‌شده نشان داد تنش رویشی + زایشی بیشترین تأثیر را در کاهش عملکرد زیست‌تودهٔ ارقام بررسی‌شده داشته است (جدول ۲). در این سطح از تنش کم‌آبی، محلول‌پاشی تأثیری در بهبود عملکرد زیست‌توده نداشت. تنش رویشی کمتر از تنش زایشی، عملکرد زیست‌توده را کاهش داد. تنش‌های رویشی و زایشی، عملکرد زیست‌توده 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 زیست‌توده در رقم 'اختر' و شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم با غلظت ۳۰۰ میکرومولار مشاهده شد که نسبت به رقم 'درخشان' برتری معناداری داشت. این برتری در تمام

www.SID.ir

سطوح تنش و محلول‌پاشی نیز مشاهده شد. محلول‌پاشی در تنش رویشی و یا تنش زایشی سبب افزایش معنادار عملکرد زیست‌توده شد. غلظت ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم تأثیر بیشتری نسبت به غلظت ۱۵۰ میکرومولار در بهبود اثر منفی تنش کم‌آبی داشت. غلظت ۳۰۰ میکرومولار این ماده در تنش رویشی در رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' عملکرد زیست‌توده را به‌ترتیب حدود ۷ و ۸ درصد نسبت به بدون محلول‌پاشی بهبود بخشید که این افزایش در تنش زایشی ۲۳ و ۲۲ درصد بود. در تنش رویشی + زایشی، محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم افزایش معناداری در صفت مذکور به‌همراه نداشت (جدول ۲). دیگر محققان نیز به تأثیر نیتروپروساید سدیم در بهبود وضعیت کلروفیل گیاه تحت شرایط تنش خشکی [۳۶] و جلوگیری از تخریب اندام‌های هوایی در این شرایط اشاره کرده‌اند که خود دلیلی بر تأثیر نیتروپروساید سدیم در افزایش عملکرد زیست‌تودهٔ 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 سه‌گانه عوامل بررسی‌شده در سطح ۱ درصد معنادار بود (جدول ۱). تنش کم‌آبی موجب کاهش معنادار عملکرد دانه در هر دو رقم تحت بررسی شد. محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی غلظت ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم، بیشترین عملکرد دانه را نشان داد و کمترین عملکرد دانه مربوط به رقم 'درخشان' بود که در شرایط بدون محلول‌پاشی حاصل شد. در تنش رویشی، بیشترین عملکرد دانه در رقم 'اختر' و با غلظت ۳۰۰ میکرومولار محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم مشاهده شد، درحالی‌که کمترین عملکرد دانه را رقم 'درخشان' و در شرایط بدون محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم، بیشترین مقدار دانه را تولید کرد. رقم 'درخشان' در همین سطح از تنش و در شرایط بدون محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم، کمترین عملکرد دانه را نشان داد (جدول ۲).

در تنش رویشی + زایشی تفاوت معناداری بین ارقام بررسی‌شده و همچنین سطوح مختلف محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم، از لحاظ عملکرد دانه مشاهده نشد. تنش زایشی به‌مقدار بیشتری در مقایسه با تنش رویشی در کاهش عملکرد دانه در هر دو رقم بررسی‌شده مؤثر بود. تنش رویشی در رقم‌های 'اختر' 'درخشان' به‌ترتیب موجب ۱۷/۵ و ۱۸/۵ درصد افت عملکرد دانه نسبت به آبیاری کامل شد، درحالی‌که تنش زایشی در ارقام مذکور به‌ترتیب ۲۳ و ۲۵ درصد کاهش عملکرد دانه را نسبت به آبیاری کامل در پی داشت. در تنش زایشی، محلول‌پاشی با غلظت ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم عملکرد دانه در رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' را به‌ترتیب ۱۷ و ۱۶ درصد نسبت به بدون محلول‌پاشی افزایش داد. تحقیقات دربارهٔ آفتابگردان، بیانگر همبستگی مثبت و قوی بین حداکثر سرعت رشد محصول، دوام سطح برگ و عملکرد دانه بود [۳۰]. ارقام مختلف به‌دلیل تفاوت در پتانسیل ژنتیکی، عملکردهای متفاوتی دارند. تنش خشکی در لوبیا موجب کاهش طول دورهٔ رشد زایشی می‌شود و تنش زایشی تأثیر منفی بیشتری بر عملکرد دارد [۱۲]. تنش

Archive of SID
www.SID.ir

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

محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم سبب افزایش عملکرد دانه در ارقام بررسی‌شده در تمام سطوح تنش آبی شد (جدول ۲). مصرف مادهٔ مذکور در شرایط تنش با بهبود اثر تنش کم‌آبی 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 کرده‌اند. تأثیرات بهبودبخش کاربرد نیتروپروساید سدیم در گندم[1] تحت تنش اسمزی [۲۶]، در گندم تحت تنش خشکی [۳۴]، در نخود فرنگی[2] تحت تنش شوری [۳۵]، در نخود تحت تنش کادمیوم [۲۵] و در برنج تحت تنش خشکی [۱۷] مشاهده شد. بهبود در رشد و عملکرد می‌تواند ناشی از حفظ محتوای رطوبت نسبی برگ و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن تولیدشده [۳۴] و بهبود سیستم آنزیمی گیاه در اثر کاربرد نیتروپروساید سدیم باشد [۳۵].

۳.۷. کارایی مصرف آب زیست‌توده

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که تمام عوامل بررسی‌شده و تأثیرات متقابل آنها اثر معناداری در سطح ۱ درصد بر کارایی مصرف آب زیست‌توده داشتند (جدول ۱). تنش کم‌آبی به کاهش کارایی مصرف آب زیست‌توده در ارقام بررسی‌شده منجر شد. در این زمینه، بیشترین کارایی مصرف آب در رقم 'اختر' در تنش رویشی با محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم و کمترین کارایی در رقم 'درخشان' در تنش رویشی + زایشی و بدون محلول‌پاشی حاصل شد. تنش رویشی کارایی مصرف آب زیست‌توده را در رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' به‌ترتیب حدود ۲ و ۲/۵ درصد افزایش داد، درحالی‌که 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 زیست‌توده شد. در این خصوص، غلظت ۳۰۰ میکرومولار مادهٔ مذکور بیشترین تأثیر را در بهبود صفت یادشده داشت، به‌طوری‌که در تنش رویشی غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم به‌ترتیب در رقم 'اختر' موجب ۸ و ۲۰ درصد افزایش کارایی مصرف آب زیست‌توده نسبت به وضعیت بدون محلول‌پاشی شد. این افزایش در رقم 'درخشان' ۸ و ۲۱ درصد بود. همچنین در تنش زایشی غلظت‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ میکرومولار مادهٔ مذکور در رقم 'اختر' به ۱۰ و ۲۴ درصد و در رقم 'درخشان' به ۱۴ و ۲۶ درصد افزایش کارایی مصرف آب زیست‌توده نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم منجر شد (جدول ۲).

به‌طور کلی، تنش کم‌آبی موجب کاهش مقدار زیست‌توده در گیاه شد. در شرایط تنش، ساقه و برگ و ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد. محققان بیان داشتند که خشکی موجب کاهش زیست‌توده لوبیا می‌شود [۲۰]. در شرایط تنش رویشی، با مصرف کمتر آب، مقدار زیست‌توده گیاهی اندکی کاهش یافت، این شرایط موجب استفادهٔ بهینه از آب و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب شد. در شرایط تنش زایشی افت زیست‌توده گیاهی در اثر کمبود آب، بیشتر بود و درنتیجه کارایی مصرف آب دچار کاهش شد. افزایش

1. *Triticum aestivum* L.

2. *Pisum sativum* L.

Archive of SID
www.SID.ir

کارایی مصرف آب نیز در اثر کاهش آب مصرفی در کلزا[1] گزارش شد [۹].

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

۸.۳. کارایی مصرف آب دانه

نتایج تجزیهٔ واریانس شاخص کارایی مصرف آب برای دانه برحسب کیلوگرم دانه به‌ازای متر مکعب آب مصرفی نشان داد که اثر تیمارهای کم‌آبی، رقم، محلول‌پاشی و همچنین برهمکنش دوگانه و سه‌گانهٔ آنها در سطح ۱ درصد معنادار شد (جدول ۱). بر این اساس بیشترین کارایی مصرف آب دانه در قطع آبیاری در مرحلهٔ رویشی، و کمترین مقدار صفت مذکور در تنش‌های رویشی + زایشی حاصل شد. تنش رویشی سبب افزایش کارایی مصرف آب دانه در هر دو رقم بررسی‌شده در مقایسه با آبیاری کامل شد، درحالی‌که تنش زایشی تأثیر منفی بر شاخص مذکور داشت. در میان دو رقم بررسی‌شده، رقم 'اختر' کارایی مصرف آب دانهٔ بیشتری در مقایسه با رقم 'درخشان' داشت (جدول ۲). کارایی مصرف آب دانه در تنش رویشی در مقایسه با آبیاری کامل در رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' به‌ترتیب ۲/۵ و ۳/۵ درصد افزایش نشان داد، درحالی‌که 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 رقم‌های 'اختر' و 'درخشان' به‌ترتیب حدود ۱۲ و ۱۳ درصد نسبت به بدون محلول‌پاشی افزایش داد، درحالی‌که 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 به‌ترتیب ۶ و ۲۵ درصد نسبت به وضعیت بدون محلول‌پاشی افزایش داد؛ این افزایش در رقم 'درخشان' به‌ترتیب 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 محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم با غلظت ۳۰۰ میکرومولار، معادل ۰/۷۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب بود. کارایی مصرف آب دانهٔ رقم 'درخشان' در شرایط مشابه با ۵ درصد اختلاف حدود ۰/۷۰۵ کیلوگرم بر متر مکعب بود. کمترین کارایی مصرف آب دانه در تنش رویشی + زایشی و بدون محلول‌پاشی در رقم 'درخشان' حاصل شد (جدول ۲).

قطع یک نوبت آبیاری در مرحلهٔ رویشی بدون کاهش جدی در عملکرد دانه و زیست‌توده سبب افزایش کارایی مصرف آب شد. یکی از دلایل این وضعیت می‌تواند الگوی رشد بوته‌ها در شرایط تنش کم‌آبی باشد، به‌طوری‌که از طریق شاخص سطح برگ مناسب در شرایط بروز تنش، با سایه‌اندازی بر سطح زمین از تبخیر و همچنین از تعرق گیاه کاسته می‌شود و به این ترتیب، کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. محققان دیگر افزایش کارایی مصرف آب در شرایط تنش رویشی را گزارش کرده‌اند. 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 به‌صورت محلول‌پاشی سبب افزایش حداکثر شاخص سطح برگ و همچنین دوام شاخص سطح برگ شد و از این طریق، کارایی مصرف آب

1. *Brassica napus* L.

Archive of SID
www.SID.ir

را افزایش داد. از سوی دیگر، مادهٔ 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. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، تنش خشکی موجب کاهش سطح برگ، سرعت رشد محصول و عملکرد دانه در دو رقم لوبیای بررسی‌شده 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، درصورتی‌که 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 بررسی‌شده داشت. محلول‌پاشی نیتروپروساید سدیم موجب تعدیل و بهبود تأثیرات منفی تنش رویشی و تنش زایشی شد، درحالی‌که 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. ازاین‌رو مصرف ۳۰۰ میکرومولار نیتروپروساید سدیم برای محلول‌پاشی لوبیا تحت شرایط تنش کم‌آبی مطلوب به‌نظر می‌رسد.

منابع

۱. پازوکی ع، نورمحمدی ق، شیرانی‌راد 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 گلعذانی ک و محمدی س ا (۱۳۹۰) اثر کم‌آبی 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 کم‌آبیاری در دورهٔ 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 اظهر ج و احسان‌زاده پ (۱۳۸۶) بررسی روابط برخی شاخص‌های رشد و عملکرد پنج هیبرید ذرت در دو رژیم آبیاری در منطقهٔ اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱(۴۱): ۲۶۱-۲۷۳.

۸. واعظی‌راد س، شکاری ف، شیرانی‌راد ا م و زنگانی ا

Archive of SID
www.SID.ir

(۱۳۸۷) اثر تنش کم‌آبی 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 عزیزی 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. Chapmane 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.

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.

Archive of SID

www.SID.ir

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: acomparison 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. Pandy 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. Rosenthat 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.

Archive of SID

www.SID.ir