تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4181.1984

مقاله پژوهشی

بهبود صفات فیزیولوژیکی و عملکردی سویا با کاربرد ترکیبات مغذی و پلی‌آمین در شرایط تنش خشکی انتهای فصل

پریسا شیخ‌زاده[1*]، محمد امانی[2]، سعید خماری[1]، ناصر زارع[1]، نسرین رزمی[3]

۱. دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۳. استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
شاخص کلروفیل
عملکرد دانه
کمبود آب
گیاه دانه روغنی
محلول‌پاشی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۱۲/۱۶

تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۱

۱۵(۳): ۵۹۵-۶۱۱

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر ترکیبات مغذی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکردی سویا (*Glycine max*) تحت تنش خشکی انتهای فصل، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل آبیاری (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا انتهای فصل) به‌عنوان کرت اصلی و محلول‌پاشی (عدم محلول‌پاشی (شاهد)، ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین) به‌عنوان کرت فرعی بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن دانه سویا و افزایش نشت الکترولیت‌ها شد. در شرایط تنش، کاربرد ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین باعث افزایش ۴۳/۰۵ درصدی تعداد شاخه‌فرعی، ۴۵/۱۱ درصدی تعداد غلاف در بوته، ۴۰/۰۹ درصدی عملکرد دانه و ۳۸/۸۴ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد شد. در تیمار آبیاری کامل، کاربرد ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین موجب شد تا تعداد شاخه‌فرعی، تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری (به ترتیب ۲۳/۶، ۱۱/۴۵، ۲۴/۸۸ و ۲۰/۲۰ درصد) نسبت به شاهد افزایش یابد؛ به‌عبارت‌دیگر، ترکیبات مغذی حاوی و فاقد پلی‌آمین به ترتیب در شرایط مساعد و نامساعد محیطی به دلیل فراهم کردن شرایط تغذیه‌ای مناسب‌تر، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر صفات فیزیولوژیکی و عملکردی سویا داشتند.

مقدمه

دانه‌های روغنی بعد از غلات دومین منبع مهم تأمین انرژی موردنیاز جوامع انسانی به شمار می‌رود. کنجاله حاصل از فرآیند صنعتی تولید روغن به لحاظ سرشار بودن از پروتئین یکی از اقلام مهم تغذیه دام، طیور و آبزیان محسوب می‌شود. سویا (*Glycin max*) گیاهی یک‌ساله است که به دلیل همزیستی با باکتری‌ها، توانایی تثبیت نیتروژن را دارد؛ بنابراین، غنی از پروتئین بوده و از طرف دیگر از دانه‌های این گیاه روغن استخراج می‌شود. دانه سویا درمجموع دارای ۶۰ درصد پروتئین و روغن است که نشان‌دهنده ارزش غذایی بالای آن است. علاوه بر این، به دلیل وجود کلسیم، آهن و ویتامین‌های مختلف در دانه سویا، این گیاه اهمیت زیادی در تغذیه انسان و دام دارد (Malek et al., 2013; Wijewardana et al., 2019).

گیاهان زراعی در طول دوره رشدی خود با تنش‌های محیطی بسیاری مواجه می‌شوند که تنش خشکی یکی از مهم‌ترین آن‌ها به شمار می‌آید. وضعیت رطوبتی خاک میزان

* نگارنده پاسخگو: پریسا شیخ‌زاده. پست الکترونیک: sheikhzadehmp@gmail.com

رشد گیاه و عملکرد اقتصادی را تعیین می‌کند. در حقیقت، آبیاری مزارع نیز به‌منظور حفظ رطوبت خاک در وضعیت مطلوب و به حداقل رساندن اثرات تنش رطوبتی به گیاه زراعی در طول فصل رشد صورت می‌گیرد (Kobraee et al., 2011). گیاهان نسبت به کمبود آب در مراحل مختلف رشد عکس‌العمل‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. کم‌آبی در بسیاری از مراحل نمو سویا عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد، اما اثرات منفی تنش در مراحل گلدهی، تشکیل بذر و پر شدن دانه بیشتر است (Kobraee et al., 2011; Wijewardana et al., 2019). به‌عبارت‌دیگر، مرحله گلدهی در سویا به‌عنوان بحرانی‌ترین دوره رشد به تنش کم‌آبی به شمار می‌آید؛ زیرا در این مرحله، تنش خشکی از طریق کاهش تعداد دانه در گیاه و وزن صد دانه موجب کاهش عملکرد دانه سویا می‌شود؛ بنابراین تنش خشکی و زمان وقوع تنش علاوه بر این که عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، روی کیفیت دانه سویا و موقعیت نیام‌ها در ساقه نیز تأثیرگذار است (Maleki et al., 2013; Jovic et al., 2014; Tripathi et al., 2015).

در شرایط نامساعد محیطی، تغذیه‌ی گیاهان زراعی با مقدار کافی از عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف می‌تواند نقش مهمی در افزایش تولید محصولات کشاورزی و از همه مهم‌تر افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی داشته باشد (Kohnaward et al., 2012). تغذیه برگی (محلول‌پاشی) ترکیبات مغذی به دلیل تأمین سریع نیاز گیاه، آسان‌تر بودن اجرای آن، کاهش سمیت ناشی از تجمع عناصر در خاک و جلوگیری از تثبیت، می‌تواند روش مناسبی در مناطق خشک و خاک‌هایی با pH نامناسب باشد. بنابراین، محلول‌پاشی موجب بهبود کمی و کیفی محصول، تأثیرگذاری بیشتر بر عملکرد گیاهان زراعی و کاهش خطرات زیست‌محیطی مصرف خاکی کودها می‌گردد (Rahaman Hera et al., 2018; Draie, 2019). شناخت بهتر نقش عناصر غذایی در مقاومت گیاهان به تنش خشکی از اهمیت زیادی برخوردار است. کاربرد برگی عناصر پرمصرف مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم از طریق بهبود فرایند فتوسنتز و افزایش توانایی انتقال مواد فتوسنتزی، نه‌تنها در شرایط مساعد محیطی بلکه در صورت وقوع تنش‌های محیطی نیز می‌تواند سبب بهبود عملکرد دانه و افزایش زیست‌توده گیاهی گردد (Shabber et al., 2015). عناصر ریزمغذی، عناصر غذایی بسیار لازم و اساسی برای رشد و نمو گیاهان هستند که در مقادیر کم باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی شده و در اکثر موارد مقاومت آن‌ها به تنش‌های زیستی و محیطی را بهبود می‌دهند (Rahaman Hera et al., 2018; Elemike et al., 2019).

گیاهان برای مقابله با تنش خشکی از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مختلفی ازجمله تولید و تجمع ترکیبات اسمزی مانند پرولین، قندهای محلول و پلی‌آمین‌ها استفاده می‌کنند که تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی زیادی مقاومت گیاه را به تنش خشکی افزایش دهد (Vuosku et al., 2018; Bardel et al., 2016). پلی‌آمین‌ها، پلی‌کاتیون‌های آلی هستند که در فرآیندهای فیزیولوژیک مانند رشد، نمو و افزایش تحمل به تنش‌ها نقش مهمی دارند. در گیاهان عالی پلی‌آمین‌ها به فرم پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین یافت می‌شوند. پلی‌آمین‌ها در پاسخ به خشکی به مقدار زیادی تولید و انباشته می‌شوند و در همانندسازی DNA و فسفریلاسیون پروتئین، تغییر فعالیت آنزیم‌ها و حفظ یکپارچگی و بقای غشای سیتوپلاسمی و اندامک‌های سلولی نقش دارند (Chen et al., 2019). پلی‌آمین‌ها در شرایط تنش ملایم موجب از بین رفتن رادیکال‌های آزاد سوپر اکسید می‌شود، ولی در شرایط تنش شدید به‌عنوان تنظیم‌کننده‌ی مثبت ژن‌های آنتی‌اکسیدانی عمل می‌کنند (Ebeed et al., 2017). کاربرد برون‌زای ترکیبات آلی مانند پلی‌آمین‌ها نیز سبب افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی ازجمله تنش خشکی می‌شود. کاربرد برون‌زای آن‌ها سبب حفاظت غشاء از طریق مهار پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش صدمه تنش اکسیداتیو می‌گردد. حفظ ویژگی‌های غشاء و افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه در افزایش تحمل به تنش کم‌آبی می‌تواند بسیار مهم باشد (Mustafavi et al., 2018; Pal et al., 2015). در گیاهان متعددی مانند پیاز (Amin et al., 2011)، گندم (Ebeed et al., 2017) و فلفل (Khan et al., 2012) مشاهده‌شده که با کاربرد پلی‌آمین‌ها تحت تنش محیطی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش‌یافته و درنتیجه موجب افزایش رشد رویشی، تحریک پر شدن دانه و بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گردیده است.

با توجه به اهمیت گیاه سویا ازنظر تأمین روغن و پروتئین موردنیاز و نیز وجود تنش خشکی در کشور، استفاده از تیمارهای بهبوددهنده ویژگی‌های زراعی و عملکردی سویا در شرایط وجود کم‌آبی و شرایط مساعد ازنظر تأمین آب امری ضروری به نظر می‌رسد؛ بنابراین در این پژوهش کوشش شده

تا تأثیر ترکیبات مغذی همراه با پلی‌آمین بر ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیکی سویا در شرایط تنش خشکی بررسی شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین بر شاخص‌های فیزیولوژیکی، زراعی و عملکردی سویا تحت تنش خشکی، در سال زراعی ۱۳۹۸ آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل اجرا شد. این مزرعه در فاصله ۲ کیلومتری شهرستان پارس‌آباد (با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۳۰ دقیقه به ارتفاع ۴۵ متری از سطح دریا) واقع‌شده و دارای میانگین بارندگی سالیانه ۲۷۱/۱ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت روزانه ۱۴/۹ درجه سانتی‌گراد و حداکثر درجه حرارت ۴۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۲ درصداست. در این پژوهش از بذرهای رقم صبا (L17) سویا استفاده شد. این رقم دارای طول دوره رشد ۱۲۰ روز، عملکرد دانه ۴ تن در هکتار، تیپ رشدی نامحدود، رنگ گل سفید، رنگ کرک طلایی، وزن هزار دانه ۱۵۰ گرم، مقاومت به خوابیدگی و ریزش، درصد روغن ۲۲ است که از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی پارس‌آباد تهیه شد. اقلیم منطقه مورد کشت نیمه‌خشک معتدل است. زمین محل اجرای طرح بدون شیب، وضعیت زهکشی خوب با نفوذپذیری متوسط و بدون شوری است. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1. Soil physical and chemical properties of experimental field

بافت خاک	شن	سیلت	رس	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی
Soil texture	Sand	Silt	Clay	N	P	K	pH	EC
	----------%----------				----------mg kg^{-1}----------			dS m^{-1}
Clay loam	36	27	37	0.12	9.5	416.7	8.12	1.91

پس از برداشت محصول سال قبل، با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار زمین به عمق ۳۰ سانتی‌متر شخم زده شد و سپس زمین تسطیح گردید. پس از عملیات آماده‌سازی زمین در اوایل بهار، بذرهای سویا در عمق ۵ سانتی‌متری با تراکم ۴۰ بذر در مترمربع کشت شدند. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کاشت به طول ۵ متر بودند. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بذرها روی ردیف‌های کاشت در حدود دو و نیم سانتی‌متر بود. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی بر اساس شرایط محیطی و نیاز گیاه (آبیاری بر اساس عرف منطقه، تقریباً هر ۲۰ روز یک‌بار صورت گرفت؛ اما در اوایل فصل رشد به دلیل وجود بارندگی و سردی هوا، آبیاری با تأخیر انجام شد) صورت گرفت. برای دستیابی به تراکم مناسب، گیاهان با رسیدن به ارتفاع پنج سانتی‌متر، تنک و تراکم نهایی ۲۷ بوته در مترمربع اعمال شد. در طول دوره رشد گیاه سویا جهت مبارزه با علف‌های هرز مزرعه، چندین بار وجین دستی صورت گرفت. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. در این آزمایش تیمارها شامل آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا انتهای فصل رشدی (تنش خشکی انتهای فصل) به‌عنوان کرت اصلی و محلول‌پاشی در سه سطح (ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین (پلی‌آمین سینتتیک Diethylenetriamine)، ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین و شاهد (عدم محلول‌پاشی) به‌عنوان کرت فرعی بود. برای اعمال تیمار تنش خشکی، آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی قطع شد، ولی در تیمار عدم تنش، آبیاری تا پایان دوره رشدی بر اساس عرف منطقه (۲۰ روز یک‌بار)، شرایط آب و هوایی و نیاز گیاه انجام گرفت. محلول‌پاشی بوته‌های سویا در مرحله رویشی (یک ماه بعد از کاشت) و قبل از اعمال تنش خشکی انجام شد. به‌منظور اعمال تیمارهای محلول‌پاشی، ابتدا محلول‌پاشی بر اساس میزان مصرف آب برای پوشش کامل کرت‌ها به دست آمد. ترکیبات مورداستفاده شامل کود مغذی فاقد پلی‌آمین و کود مغذی دارای پلی‌آمین بود که از شرکت بسپار دانش سبز بنیان تهیه‌شده بود. کود مغذی دارای پلی‌آمین حاوی پلی‌آمین سنتز شده، آمونیوم (۲ درصد)، مس (۵۰۰ppm)، روی (۲ درصد)، منگنز (۲۰۰۰ ppm)، آهن (۲ درصد)، کلسیم (۱ درصد)، گوگرد (۵ درصد)، منیزیم (۱ درصد) و کربن آلی (۱۵ درصد) و کود مغذی فاقد پلی‌آمین دارای

ترکیبات آمونیوم، مس، روی، منگنز، آهن، کلسیم، گوگرد، منیزیم و کربن آلی به نسبت مساوی در هر دو کود بودند. پلی‌آمین مورداستفاده در ترکیب این مکمل غذایی، یک پلی‌آمین سینتتیک بنام Diethylenetriamine (DETA) است که دارای ساختاری شبیه به پلی‌آمین‌های طبیعی است. تیمار کود مغذی (دارای پلی‌آمین و فاقد پلی‌آمین) بر اساس مقدار توصیه شدهٔ ۲ لیتر در هکتار روی بوته‌های سویا اعمال گردید. جهت جلوگیری از جمع شدن محلول در یک نقطه و ایجاد برگ سوختگی، از تویین ۲۰ استفاده شد. محلول‌پاشی با آب‌مقطر جهت اعمال تیمار عدم محلول‌پاشی انجام پذیرفت. برای افزایش راندمان جذب عناصر غذایی، محلول‌پاشی به هنگام بالا بودن رطوبت نسبی هوا یعنی در صبح انجام شد.

یک هفته بعد از اعمال تیمار قطع آبیاری، شاخص کلروفیل برگ‌ها (با استفاده از دستگاه SPAD)، محتوای نسبی آب برگ (RWC) (Eric et al., 2005) و هدایت الکتریکی (EC) مواد نشت یافته از برگ‌ها (ISTA, 2017) اندازه‌گیری گردید. محتوای نسبی آب برگ‌ها (RWC)، با استفاده از فرمول زیر به دست آمد (Eric et al., 2005):

$$RWC= (F_w-D_w/T_w-D_w)\times 100 \quad [۱]$$

در این فرمول RWC محتوای نسبی آب برگ، F_w وزن تر برگ، D_w وزن خشک برگ و T_w وزن آماس برگ است.

برای انجام آزمون هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ‌ها، از هر واحد آزمایشی تعداد سه بوته که الگوی کرت بودند برداشت و پس از انتقال بوته‌ها به آزمایشگاه، ۱۰ دیسک برگی با استفاده از سوراخ‌کن دستی به قطر ۱۰ میلی‌متر تهیه گردید. دیسک‌های هر تکرار پس از توزین، به‌طور جداگانه در داخل یک ارلن محتوی ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، ریخته شده و درب آن برای جلوگیری از ورود گردوغبار بسته شد. این ارلن‌ها به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتوری با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در پایان آب موجود در ارلن‌ها به لوله‌آزمایشی تمیزی انتقال داده شد و هدایت الکتریکی آن‌ها با استفاده از EC متر اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری EC از فرمول زیر استفاده شد (ISTA, 2017):

$$EC\ (\mu S\ cm^{-1}g^{-1}) = EC_s-EC_0/F_w \quad [۲]$$

که در آن، EC هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ‌ها، EC_0 هدایت الکتریکی آب مقطر (به‌عنوان شاهد)، EC_s هدایت الکتریکی قرائت‌شده از نمونه‌ها و F_w وزن تر نمونه بود.

در مرحله رسیدگی، بعد از حذف حاشیه‌ها (دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای آن‌ها)، از هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه، صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه تعیین شد. در هنگام رسیدگی نهایی، بعد از حذف حاشیه، بوته‌های واقع در یک مترمربع از هر واحد آزمایشی برداشت و عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه تعیین شد. درصد روغن با استفاده از دستگاه سوکسله اندازه‌گیری و عملکرد روغن نیز محاسبه شد. کلیه تجزیه‌های آماری و مقایسه میانگین‌های داده‌ها پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و SPSS انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ایی دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد. رسم شکل و نمودارها با بهره‌گیری از نرم‌افزار Excel انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که شاخص کلروفیل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول‌پاشی و اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۳). در شرایط آبیاری کامل با انجام محلول‌پاشی (ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین) شاخص کلروفیل برگ سویا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در این شرایط بیشترین شاخص کلروفیل در بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و شاهد داشت. کمترین شاخص کلروفیل در بوته‌های شاهد (عدم محلول‌پاشی) به دست آمد که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود (جدول ۳). برگ‌ها منبع اصلی دریافت‌کننده نور هستند در صورت محلول‌پاشی برگ‌ها با عناصر پرمصرف و کم‌مصرف به دلیل فراهم نمودن شرایط تغذیه‌ای مناسب در برگ‌ها، موجب بهبود ظرفیت تولید پیش‌ماده‌های مناسب جهت بیوسنتز کلروفیل می‌شود. همچنین محلول‌پاشی با عناصر غذایی باعث فعال شدن بسیاری از آنزیم‌های ضروری برای سنتز کلروفیل در کلروپلاست شده و نهایتاً منجر به افزایش شاخص کلروفیل در برگ‌ها می‌شود (Kohnaward et al., 2012; Ihsan et al., 2013). با اعمال تنش خشکی

در انتهای فصل رشد، اگرچه شاخص کلروفیل در تمام تیمارها نسبت به تیمار آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ اما با انجام محلول‌پاشی با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین در شرایط تنش خشکی نیز شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین افزایش شاخص کلروفیل برگی در بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات دارای پلی‌آمین به دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین و آن‌هم بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۳). در شرایط تنش خشکی کاربرد ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین به ترتیب موجب افزایش ۱۰/۰۶ و ۴/۶ درصدی نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۳). در این تحقیق با بررسی اثر تنش خشکی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه روی شاخص کلروفیل برگ‌های سویا مشخص شد که خشکی باعث کاهش معنی‌دار این صفت در سویا می‌شود.

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی بر شاخص کلروفیل، EC و RWC برگ‌های سویا

Table 2. Analysis of variance the effects of irrigation and foliar spray of nutrient elements treatments on chlorophyll index, RWC and EC of soybean leaves

		درجه	Mean of Squares		میانگین مربعات
		آزادی	شاخص کلروفیل	محتوای نسبی آب برگ	هدایت الکتریکی
S.O.V.	منابع تغییر	df	Chlorophyll index	RWC	EC
Block	بلوک	2	0.57 ns	3.22 ns	3.97 ns
Irrigation (I)	آبیاری	1	203.01**	118.02*	827.95**
Error a	خطای اصلی	2	0.24	0.71	7.99
Spraying (S)	محلول‌پاشی	2	19.6**	123.72**	157.14 **
I× S	آبیاری×محلول‌پاشی	2	11.04**	12.77**	72.32 **
Error b	خطای فرعی	8	0.36	1.65	4.91
CV (%)	ضریب تغییرات		1.35	1.79	6.21

*، ** وns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns: significant at a probability level of 5% and 1% and non-significant, respectively

به نظر می‌رسد کاهش شاخص کلروفیل تحت تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن باشد که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون لیپیدها و درنتیجه تجزیه رنگیزه‌های فتوسنتزی و تخریب کلروپلاست‌ها می‌گردد که این امر درنهایت موجب کاهش کارایی کلروفیل و کلروپلاست‌ها در فرایند فتوسنتز می‌شود (Hajiboland et al., 2012). کاهش میزان کلروفیل برگ‌ها درنتیجه افزایش تجزیه کلروفیل در اثر تنش خشکی در گندم (Bahari et al., 2013)، ریحان (*Ocimum basilicum*) (Golpayegani and Gholami, 2011) و تنباکو (Hajiboland et al., 2012) نیز گزارش شده است.

دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش محیطی ازجمله تنش خشکی به‌عنوان شاخص‌های فیزیولوژیکی تحمل به تنش در نظر گرفته می‌شود. از دیدگاه حاجی بلند و همکاران (Hajiboland et al., 2012) در طی بروز تنش خشکی گیاهان سعی در تنظیم اسمزی با استفاده از ترکیب‌های آلی همانند پلی‌آمین را دارند. این ترکیبات تا حدی شرایط لازم را برای ادامه رشد و فتوسنتز برای گیاهان فراهم می‌کنند. تحت شرایط خشکی اضافه کردن پلی‌آمین منجر به تجمع یک اسمولیت قوی شده و درنتیجه باعث افزایش شاخص کلروفیل می‌گردد. کاربرد خارجی پلی‌آمین در برنج (Paul and Roychoudhury, 2016) و گوجه‌فرنگی (Zhang et al., 2013) به ترتیب تحت تنش خشکی و تنش شوری نیز منجر به افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شده که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد. بابائیان و همکاران (Babaeian et al., 2009) نیز گزارش کردند در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی، موجب افزایش میزان کلروفیل و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II گردید که این اثر سبب افزایش عملکرد آفتابگردان شد.

جدول ۳. مقایسه میانگین شاخص کلروفیل، RWC و هدایت الکتریکی برگ‌های سویا تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی

Table 3. Mean comparison of chlorophyll index, RWC and EC of soybean leaves affected by irrigation and foliar spray treatments

آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی Foliar application	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	محتوای نسبی آب برگ RWC	هدایت الکتریکی EC
			%	$\mu S\ cm^{-1}g^{-1}$
آبیاری نرمال Normal irrigation	شاهد Control	45.47 c	70.52 b	31.23 b
	ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین Nutrient elements containing polyamine	47.15 b	75.17 a	26.18 a
	ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین Nutrient elements without polyamine	50.42 a	76.54 a	27.41 a
تنش خشکی Drought stress	شاهد Control	39.05 f	62.08 c	52.03 d
	ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین Nutrient elements containing polyamine	42.98 d	72.18 b	39.13 c
	ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین Nutrient elements without polyamine	40.85 e	72.61 b	36.35 c

برای هر گروه تیماری در هر ستون میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف مشترک ازنظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند ($p\leq 0.05$).

In each column, means which followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$)

محتوای نسبی آب برگ

نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرات آبیاری، محلول‌پاشی و نیز اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ داشت. در تمام تیمارهای موردمطالعه با اعمال تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (جدول ۳) که با مطالعات انجام‌شده در ماش (Moradi et al., 2008)، لوبیا (Rosales et al., 2013; Mohajerani et al., 2016) و گندم (Sodeifi et al., 2000) مطابقت دارد. محتوای نسبی آب برگ معرف خوبی از وضعیت آب گیاه به شمار می‌آید. به نظر می‌رسد که هر چه میزان آب اندام‌های گیاهی بیشتر باشد، گیاه کمتر در شرایط نامساعد محیطی و تولید رادیکال‌های آزاد قرار می‌گیرد؛ اما با کاهش محتوای نسبی آب در برگ‌ها، متابولیسم سلولی تغییریافته، فتوسنتز کاهش و تنفس افزایش می‌یابد (Talukdar, 2013). زیرا تنش کمبود آب، با تأثیر بر آماس سلولی و درنتیجه باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و تعرق را تحت تأثیر قرار داده و بر رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد (Madeh Khaksar et al., 2014; Sadeghipour, 2019). کاربرد ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین، در شرایط آبیاری کامل و تحت تیمار تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ در گیاه سویا گردید. در تمام سطوح آبیاری (آبیاری کامل و تنش خشکی) بیشترین محتوای نسبی آب برگ در بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین به دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار عدم محلول‌پاشی بود، اما اختلاف معنی‌داری با محتوای نسبی آب برگ در بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین نداشت (جدول ۳). در شرایط آبیاری کامل، کاربرد ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین موجب افزایش ۸/۵۴ درصدی در محتوای نسبی آب برگ سویا نسبت به تیمار شاهد شد؛ اما با اعمال تنش خشکی این افزایش در حدود ۱۶/۹۶ درصد بود (جدول ۳). تحقیقات انجام‌شده در گیاه ماش (Sadeghipour, 2019) و ترمس (*Lupinus luteus* L.) (Juzoń et al., 2017) نشان داده که پلی‌آمین از طریق بهبود وضعیت آب سلولی و افزایش محتوای نسبی آب برگ، اثرهای محدود کننده تنش خشکی بر رشد را کاهش داده و حتی در این شرایط موجب بهبود رشد و نمو گیاه نیز می‌شوند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ

طبق نتایج حاصل از جدول ۲، هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، محلول‌پاشی و نیز اثر متقابل آبیاری× محلول‌پاشی قرار گرفت. مطابق جدول ۳، در شرایط آبیاری کامل بیشترین میزان نشت الکترولیت‌ها در تیمار شاهد مشاهده گردید که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای محلول‌پاشی بود. با انجام محلول‌پاشی بوته‌های سویا با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین میزان هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ‌های سویا به ترتیب در حدود ۱۶/۱۷ و ۱۲/۲۳ درصد نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی کاهش یافت. در تمام تیمارها، با اعمال تنش خشکی، افزایش معنی‌داری در میزان نشت الکترولیت‌ها مشاهده گردید. بااین‌حال، در این شرایط با انجام محلول‌پاشی (ترکیبات دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین) میزان نشت الکترولیت‌ها به‌طور معنی‌داری (۲۴/۷۹ تا ۳۰/۱۳ درصد) نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. به‌طوری‌که بیشترین میزان هدایت الکتریکی در شرایط تنش خشکی در بوته‌های شاهد به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای محلول‌پاشی داشت (جدول ۳). یکی از آسیب‌های تنش خشکی خسارت به غشا و رهاسازی یون‌ها از سلول به فضای بین‌سلولی است. این پدیده نتیجه تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که منجر به پراکسیداسیون لیپیدها، نفوذپذیری غشا و خسارت به سلول می‌شود. پلی‌آمین‌ها به‌عنوان محافظی برای غشای پلاسمایی در برابر تنش‌های محیطی عمل نموده که با حفظ پایداری غشا موجب کاهش هدایت الکتریکی می‌شود (Todorova et al., 2015). در تحقیق حاضر، کاربرد برگی پلی‌آمین در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، سبب کاهش نشت الکترولیت‌ها در گیاه سویا گردید (جدول ۳) که با پژوهش‌های امیر و شهسوار (Amri and Shahsavar, 2010) در گیاه سیتروس، پائل و رویچودهاری (Paul and Roychoudhury, 2016) در ارقام مختلف برنج و زانگ و همکاران (Zang et al., 2013) در گوجه‌فرنگی مطابقت دارد.

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) صفت ارتفاع بوته، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت، اما اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی معنی‌دار نبود. در شرایط تنش خشکی، ارتفاع بوته‌های سویا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵). با اعمال تنش خشکی ارتفاع بوته در حدود ۱۳/۴۱ درصد کاهش یافت که این موضوع حاکی از آن است که تنش کمبود آب، معمولاً رشد اندام‌های هوایی را کاهش می‌دهد. کاهش ارتفاع بوته در اثر تنش خشکی در گندم (Rahaman Hera et al., 2018) و نخود (Ghasemi-Golezani et al., 2009) نیز گزارش شده است. کاهش ارتفاع گیاه به‌موازات افزایش تنش کم‌آبی می‌تواند درنتیجه کاهش تورژسانس و از بین رفتن آب موجود در پروتوپلاسم نسبت داد که این امر سبب کم شدن محتوای نسبی آب برگ و درنهایت سبب کاهش رشد و تقسیم سلولی می‌گردد (Rahaman Hera et al., 2018). با انجام محلول‌پاشی بوته‌های سویا با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین، ارتفاع بوته‌های سویا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۵).

بیشترین ارتفاع بوته با کاربرد ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین به دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارهای موردمطالعه بود. کاربرد ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین موجب افزایش معنی‌دار (۱۴/۱۱ درصدی) ارتفاع بوته سویا نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۵). ازآنجایی‌که پلی‌آمین‌ها یک منبع نیتروژن هستند، در تقسیم و بزرگ شدن سلول دخالت دارند درنتیجه می‌توانند رشد گیاه را تحریک کرده و باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاهان شوند (Ebeed et al., 2017). همچنین با کاربرد ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین، ارتفاع بوته سویا در حدود ۱۹/۶۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۵). بر اساس تحقیقات انجام‌شده، محلول‌پاشی منگنز در لوبیا (Teixeira et al., 2004)، محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز در شنبلیله (Mohammadzadeh Toutounchi and Amirinia, 2016) و محلول‌پاشی نیتروژن، روی و منگنز در نخود (Shirani et al., 2015) سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گردیده است.

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی بر صفات زراعی گیاه سویا

Table 4. Analysis of variance the effects of irrigation and foliar spray treatments on agronomic traits of soybean

			میانگین مربعات Mean of Squares				
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی Number of branch	تعداد نیام در بوته Pad per plant	تعداد دانه در بوته Grain per plant	وزن صد دانه 100 grain weight
Block	بلوک	2	11.85 ns	0.011 ns	5.55 ns	68.77 ns	0.1 ns
Irrigation (I)	آبیاری	1	837.62 *	6.12*	433.16**	3023.83**	422.18**
Error a	خطای اصلی	2	27.55	0.082	4.77	16.734	0.12
Spraying (S)	محلول‌پاشی	2	465.03 **	0.95 **	261.88 **	219.75**	4.64**
I× S	آبیاری×محلول‌پاشی	2	7.36 ns	0.33 **	89.8 **	5.82 ns	0.84**
Error b	خطای فرعی	8	9.55	0.02	7.85	10.78	0.05
CV (%)	ضریب تغییرات		*3.19*	*4.66*	*4.89*	*4.06*	*1.39*

Table 4. Continuation **جدول ۴. ادامه**

			میانگین مربعات Mean of Squares			
S.O.V.	منابع تغییر	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	درصد روغن Oil percentages	عملکرد روغن Oil yield
Block	بلوک	2	23440 ns	8526.4 ns	0.08 ns	821.22 ns
Irrigation(I)	آبیاری	1	16435555**	2070612.5 **	46.75 **	248798.81**
Error a	خطای اصلی	2	31894.4	1654.2	0.308	650
Spraying(S)	محلول‌پاشی	2	4900684.2 **	977526.4 *	2.94 **	54282.46 **
I× S	آبیاری×محلول‌پاشی	2	314033.6 ns	46404.2 ns	0.41 ns	1533.51 ns
Error b	خطای فرعی	8	33701	6023.6	0.17	412.06
CV (%)	ضریب تغییرات		*2.59*	*2.74*	*1.94*	*3.29*

*، ** وns: به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns: significant at a probability level of 5% and 1% and non-significant, respectively

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات زراعی در گیاه سویا تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با ترکیبات مغذی

Table 5. Mean comparison of agronomic traits of soybean affected by irrigation and foliar spray of nutrient elements treatments

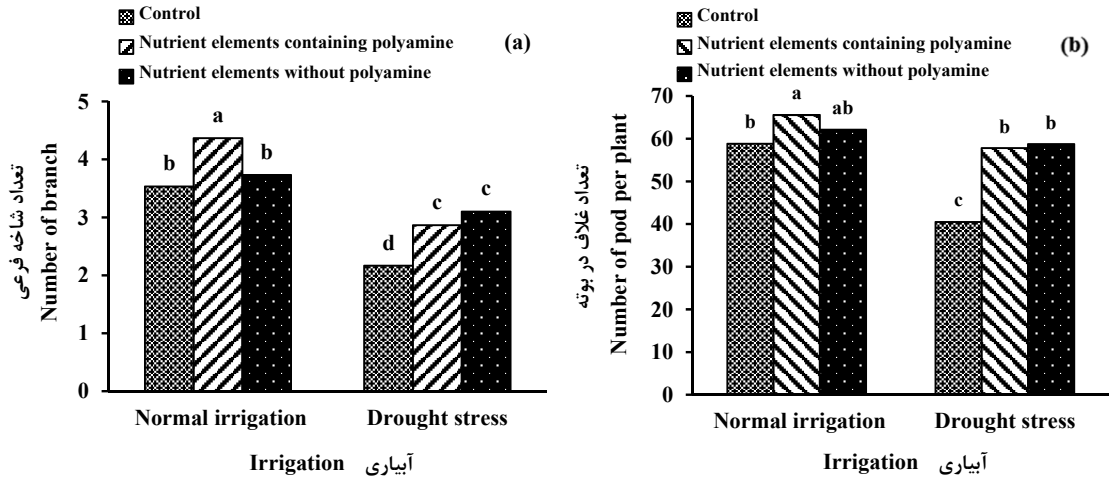
Treatments	تیمارها	ارتفاع بوته Plant height	تعداد دانه در بوته Grains per plant	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield
		cm		%	kg ha^{-1}
Normal irrigation	آبیاری نرمال	103.83 a	93.9 a	23.14 a	734.37 a
Drought stress	تنش خشکی	89.9 b	67.98 b	19.91 b	499.23 b
Control	شاهد	87.08 c	74.33 b	20.99 b	507 b
Nutrient elements containing polyamine	ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین	99.37 b	82.27 a	21.26 b	672.6 a
Nutrient elements without polyamine	ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین	104.2 a	86.22 a	22.32 a	670.9 a

برای هر گروه تیماری در هر ستون میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف مشترک ازنظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند ($p\leq 0.05$).

In each column, means which followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$)

تعداد شاخه جانبی

صفت تعداد شاخه جانبی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری، محلول‌پاشی و نیز اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در تمام تیمارهای موردمطالعه بیشترین و کمترین تعداد شاخه جانبی به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری کامل و اعمال تنش خشکی است، در شرایط تنش خشکی تعداد شاخه جانبی در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) حدود ۳۸/۶۶ درصد کاهش یافت (شکل a1). در شرایط آبیاری کامل کمترین تعداد شاخه جانبی در تیمار شاهد به دست آمد که به‌طور معنی‌داری کمتر از تعداد شاخه جانبی بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین بود. اگرچه تیمار محلول‌پاشی با ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین موجب افزایش تعداد شاخه جانبی در حدود ۵/۶۶ درصد گردید اما ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل a1).



شکل ۱. تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با ترکیبات مغذی بر تعداد شاخه جانبی (a) و تعداد غلاف در بوته(b)

Fig. 1. The effects of foliar spray of nutrient elements treatments on Number of branches (a) and number of pods per plant (b) of soybean.

کاربرد ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین سبب شد تا در شرایط تنش خشکی، تعداد شاخه جانبی گیاه سویا به‌طور معنی‌داری افزایش یابد که میزان این افزایش به ترتیب حدود ۳۲/۳۰ و ۴۳/۰۵ درصد نسبت به تیمار شاهد بود (شکل a1). کاربرد ترکیبات مغذی از طریق افزایش میزان شاخص کلروفیل برگ (جدول ۳) سبب افزایش میزان فتوسنتز و به دنبال آن افزایش ارتفاع بوته (جدول ۵) و تعداد شاخه جانبی گردید. اثر کاربرد مواد مغذی و پلی‌آمین بر تعداد شاخه جانبی با یافته‌های رضوان‌پور و همکاران (Rezvanypour et al., 2016) روی گیاه فریزیا، کوهنورد و همکاران (Kohnaward et al., 2012) در گلرنگ و حبیبی و همکاران (et al., 2016 Habibi) در کلزا مطابقت دارد. نقش پلی‌آمین در بهبود رشد و اجزای عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی ممکن است ناشی از نقش محافظتی آن در برابر تنش خشکی باشد. این ترکیبات با تجمع در بافت گیاه سبب سازگاری گیاهان در برابر شرایط نامساعد محیطی می‌گردد (Talaat and Balbaa, 2010).

تعداد غلاف در بوته

اثر تیمار آبیاری، محلول‌پاشی و نیز اثر متقابل آبیاری× محلول‌پاشی روی تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۴). تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته سویا نسبت به شرایط آبیاری کامل گردید. کمترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار تنش خشکی بود (شکل b1). یکی از دلایل مؤثر در کاهش تعداد غلاف در تیمار قطع آبیاری، کاهش دوره گرده‌افشانی و درنتیجه کاهش تعداد غلاف در بوته است. درواقع با کاهش رطوبت و وقوع تنش خشکی طی مراحل زایشی، جوانه‌های مولد گل تحت تأثیر خشکی قرارگرفته و ریزش گل‌ها باعث کاهش تولید غلاف می‌شود (Sachin et al., 2012). در شرایط آبیاری کامل،

کمترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار شاهد بود (شکل b1). با انجام محلول‌پاشی (ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین) تعداد غلاف در بوته سویا افزایش یافت که این افزایش با کاربرد ترکیبات دارای پلی‌آمین در حدود ۱۱/۴۵ درصد و کاربرد ترکیبات بدون پلی‌آمین در حدود ۵/۵۶ درصد نسبت به تیمار شاهد بود (شکل b1). اگرچه تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته شد، اما محلول‌پاشی تا حدودی تأثیر منفی ناشی از این تنش را کاهش داد. برای مثال، کاهش تعداد غلاف در بوته ناشی از تنش خشکی در تیمار عدم محلول‌پاشی در حدود ۳۱/۱۵ درصد بود، اما این کاهش در تیمار محلول‌پاشی با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین در حدود ۵/۳۶ تا ۱۱/۸۴ بود. در شرایط وجود تنش خشکی، بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات بدون پلی‌آمین دارای بیشترین تعداد غلاف در بوته بودند که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود اما اختلاف معنی‌داری با بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات دارای پلی آمین نداشت (شکل b1). دلیل بالاتر بودن تعداد غلاف در بوته‌ی گیاهان محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین، احتمالاً ناشی از وجود عناصر پرمصرف مانند نیتروژن و عناصر کم‌مصرفی مانند روی، گوگرد و آهن است. کاربرد عناصر غذایی همراه با پلی‌آمین از طریق بهبود شاخص کلروفیل و فرایند فتوسنتز، موجب افزایش ارتفاع بوته‌ها در این گیاهان شده که این موضوع خود سبب افزایش تعداد گره‌ها می‌گردد. زیرا غلاف‌ها در محل گره‌ها تشکیل می‌شوند و هر چه تعداد گره بیشتر باشد، می‌تواند تااندازه‌ای تعداد غلاف در هر بوته را افزایش دهد (Kohnaward et al., 2012; Sachin et al., 2012; Habibi et al., 2016).

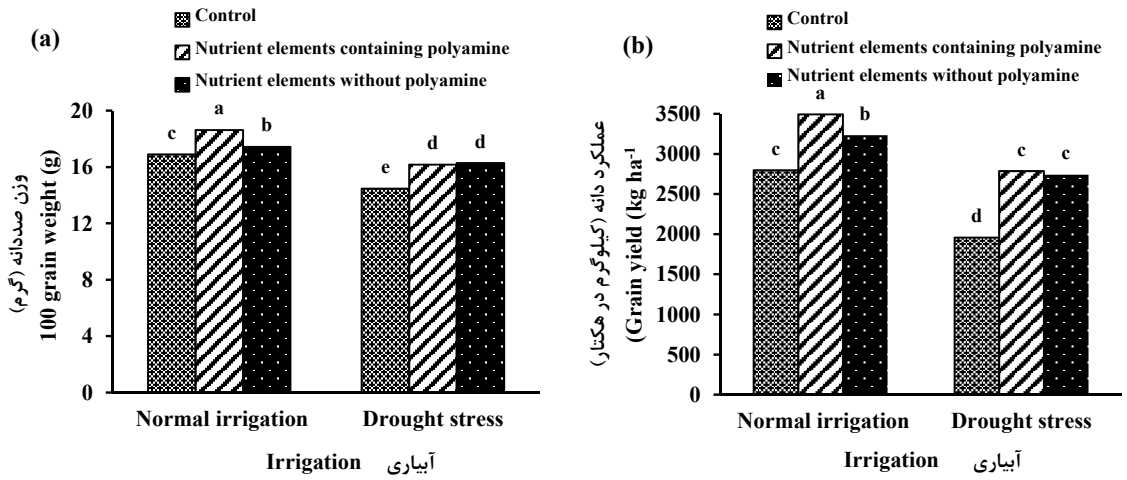
تعداد دانه در بوته

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) تعداد دانه در بوته تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی قرار گرفت اما اثرمتقابل آبیاری × محلول‌پاشی معنی‌دار نبود. مطابق جدول ۵، کمترین و بیشترین تعداد دانه در بوته به ترتیب مربوط به تیمار تنش خشکی و آبیاری کامل است. اعمال تیمار تنش خشکی باعث کاهش ۲۷/۰۶ درصدی تعداد دانه در بوته‌های سویا گردید (جدول ۵). تعداد دانه در بوته از اجزاء مهم عملکردی سویا محسوب می‌شود و با توجه به این‌که تشکیل دانه در مرحله گلدهی صورت می‌پذیرد، بنابراین کمبود آب در این مرحله می‌تواند از طریق کاهش تعداد غلاف در بوته موجب کاهش تعداد دانه در بوته شود. محلول‌پاشی با ترکیبات مغذی داری پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در بوته‌ی سویا گردید. بیشترین تعداد دانه در بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین به دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر تیمار شاهد بود، اما اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین نداشت (جدول ۵). انجام محلول‌پاشی بوته‌های سویا (ترکیبات دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین) موجب شد تا تعداد دانه در بوته در حدود ۱۰/۶۸ تا ۱۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یابد (جدول ۵). کاربرد عناصر غذایی پرمصرف ازجمله نیتروژن و عناصر کم‌مصرف مانند گوگرد، آهن، روی و منگنز نقش مهمی در بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه دارند و میزان تولید شیره پرورده را در گیاه بالا می‌برند. افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های گیاهی در مرحله گلدهی باعث افزایش تعداد دانه در بوته می‌شود (Kohnaward et al., 2012; Mirzakhani and Sajedi, 2015; Habibi et al., 2016).

وزن صد دانه

نتایج حاصل از جدول ۴ نشان داد که اثرات آبیاری، محلول‌پاشی و نیز اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر وزن صد دانه داشت. همان‌طور که در شکل a2 مشاهده می‌شود وزن صد دانه سویا در شرایط آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری بیشتر از شرایط تنش خشکی بود. تنش خشکی از طریق تأثیر بر میزان فتوسنتز موجب کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌های در حال پر شدن می‌شود که این موضوع نیز موجب کاهش وزن دانه‌ها می‌گردد. کاهش وزن صد دانه سویا در اثر تنش خشکی با یافته‌های کبرایی و همکاران (Kobraee et al., 2011) روی سویا و قاسمی گلعذانی و همکاران (Ghasemi-Golezani et al., 2009) روی نخود مطابقت دارد. اگرچه کاهش وزن صد دانه در اثر تنش خشکی در تمام تیمارهای موردمطالعه معنی‌دار بود ولی این کاهش در تیمار شاهد در حدود ۱۴/۴۴ درصد بود درحالی‌که در تیمار کاربرد ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین در حدود ۶/۶ درصد و در تیمار ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین در حدود ۱۳/۲۰ درصد نسبت به شرایط آبیاری کامل بود (شکل a2). این نتایج نشان می‌دهد که محلول‌پاشی تأثیرات

منفی تنش خشکی بر این صفت را کاهش می‌دهد، به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی کاربرد ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین به ترتیب موجب افزایش معنی‌دار وزن صد دانه (به ترتیب در حدود ۱۱/۸۲ و ۱۲/۵۹ درصد) نسبت تیمار شاهد گردید. همچنین افزایش وزن صد دانه بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی در شرایط آبیاری کامل نیز قابل‌ملاحظه و معنی‌دار بود. در این شرایط بیشترین وزن صد دانه در تیمار محلول‌پاشی با ترکیبات دارای پلی‌آمین به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت به‌طوری‌که وزن صد دانه حاصل از بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین نسبت به تیمار شاهد در حدود ۱۰/۲۳ درصد افزایش یافت (شکل 2a). به نظر می‌رسد، استفاده از پلی‌آمین در چنین شرایطی بر انتقال جاری و مجدد مواد فتوسنتزی بوته‌ها تأثیر مثبتی گذاشته و درنهایت مواد پرورده منتقل‌شده به دانه‌ها افزایش‌یافته و همین موضوع باعث افزایش وزن دانه‌ها شده است (Khan et al., 2012). در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی صفت وزن صد دانه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صفات درگیر در عملکرد دانه است که بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه دارد (Hashemi et al., 2010). اگر عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف به‌اندازه کافی در اختیار گیاه قرار گیرد، گیاه می‌تواند از طریق افزایش رشد رویشی و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، مقدار بیشتری از مواد فتوسنتزی را به سمت دانه‌ها ارسال نموده و باعث افزایش وزن هزار دانه گردد (Yaghoobi et al., 2011; Mirzakhani and Sajedi, 2015; Rahaman Hera et al., 2018).



شکل ۲. تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با ترکیبات مغذی بر وزن صد دانه (a) و عملکرد دانه (b) سویا

Fig. 2. The effects of foliar spray and irrigation treatments on 100 grain weight (a) and grain yield (b) of soybean

عملکرد دانه

عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری، محلول‌پاشی و نیز اثر متقابل آبیاری× محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۴). با اعمال تنش خشکی عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این کاهش در حدود ۱۵/۱۶ تا ۳۰ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل بود (شکل b2). یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی، نبود آب کافی برای گیاهان جهت جذب آب و عناصر غذایی است. این موضوع باعث کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، فرایند فتوسنتز و درنهایت کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای پر شدن دانه در گیاه می‌گردد (Malek et al., 2014). در گندم (Rahaman Hera et al., 2018) و نخود (Ghasemi-Golezani et al., 2009) گزارش شده است که تیمار خشکی سبب کاهش تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه و درنهایت عملکرد دانه شده که با یافته‌های به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد. در تمام سطوح آبیاری، با انجام محلول‌پاشی با ترکیبات دارای پلی‌آمین و ترکیبات مغذی فاقد پلی‌آمین، عملکرد دانه سویا افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار عدم کاربرد نشان داد. کمترین عملکرد دانه مربوط به بوته‌های شاهد (بدون محلول‌پاشی)

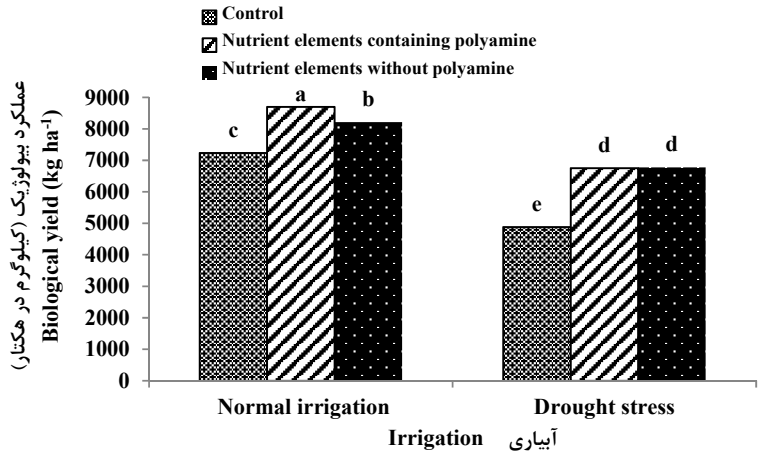
بود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. در شرایط آبیاری کامل، بیشترین عملکرد دانه مربوط به بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات دارای پلی‌آمین بود که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار ترکیبات مغذی فاقد پلی‌آمین و آن‌هم بیشتر از تیمار شاهد بود (شکل b2).

در شرایط اعمال تنش خشکی، عملکرد دانه در محلول‌پاشی بوته‌های سویا با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود، اما ازنظر آماری با تیمار ترکیبات مغذی فاقد پلی‌آمین اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل b2). در شرایط آبیاری کامل، کاربرد ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین و دارای پلی‌آمین به ترتیب موجب افزایش ۱۵/۵۹ و ۲۴/۸۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد گردید که این افزایش در شرایط تنش خشکی به ترتیب حدود ۴۰/۰۹ درصد و ۴۲/۳۴ درصد بود (شکل b2). در مطالعه انجام‌شده در پیاز (Amin et al., 2011) نیز گزارش شده که بیشترین میزان عملکرد و کیفیت مطلوب گیاه با کاربرد پلی‌آمین حاصل شد. در گلرنگ (Jalilian and Heydarzadeh, 2016)، خیار (Draie, 2019) و آفتابگردان (Mirzakhani and Sajedi, 2015) گزارش شده که کاربرد ترکیبات غذایی دارای عناصر پرمصرف و کم‌مصرف از طریق بهبود فرایند فتوسنتزی موجب افزایش رشد اندام هوایی و درنهایت افزایش تعداد دانه در بوته می‌شود که این امر درنهایت باعث می‌شود تا عملکرد دانه بیشتر شود.

عملکرد بیولوژیک

تأثیر تیمار آبیاری، محلول‌پاشی و اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی روی صفت عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۴). تنش خشکی موجب کاهش (۳۲/۵۰ درصدی) معنی‌دار عملکرد بیولوژیک بوته‌های سویا گردید (شکل ۳). در جو (Soleimani et al., 2017)، نخود (Ghasemi-Golezani et al., 2009) و گندم دوروم (Kiliç and Yağbasanlar, 2010) نیز کاهش میزان عملکرد بیولوژیک با اعمال تنش خشکی گزارش شده است که با نتایج این تحقیق همسو است. تنش خشکی باعث کاهش سنتز و افزایش تخریب کلروفیل می‌شود که پیامـد آن کاهش فرایند فتوسنتز، کاهش ارتفاع بوته (جدول ۵)، تعداد شاخه جانبی (شکل a1) و تعداد غلاف (شکل a2) و دانه در بوته (جدول ۵) است که درنهایت سبب کاهش عملکرد بیولوژیک (شکل ۳) می‌شود. در شرایط آبیاری کامل کاربرد ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و ترکیبات مغذی فاقد پلی‌آمین سبب شد تا عملکرد بیولوژیک بوته‌های سویا به‌طور معنی‌داری (به ترتیب در حدود ۲۰/۲۰ و ۱۳/۵۸ درصد) نسبت به تیمار شاهد افزایش یابد. در این شرایط محلول‌پاشی بوته‌های سویا با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین سبب تولید بیشترین عملکرد بیولوژیک گردید که به‌طور معنی‌داری بیشتر از عملکرد بیولوژیک بوته‌های شاهد و محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین بود. کاربرد ترکیبات مغذی نیز سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک بوته‌های سویا گردید که این افزایش در حدود ۳۸/۸۴ درصد بود. در این شرایط بین تیمارهای محلول‌پاشی ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳).

مصرف برگی ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین هم در شرایط آبیاری کامل و هم تحت تنش خشکی، احتمالاً از طریق افزایش شاخص کلروفیل موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌گردد. وجود عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف و همچنین پلی‌آمین در تیمارهای مورداستفاده (ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین) موجب بهبود عملکرد بیولوژیک بوته‌های سویا گردید که این افزایش از طریق بهبود فرایند فتوسنتزی و درنهایت افزایش ارتفاع بوته و ماده خشک تولیدی در گیاه سویا صورت گرفت. افزایش عملکرد بیولوژیک در اثر کاربرد پلی‌آمین در گیاه فلفل (Khan et al., 2012) و گندم (Ebeed et al., 2017) و کاربرد ترکیبات مغذی در آفتابگردان (Mirzakhani and Sajedi, 2015)، گندم (Shabber et al., 2015) و ذرت (Jalilian and Heydarzadeh, 2016) نیز گزارش شده است. در سیاه‌دانه (Bagheri Khoulenjani and Salamati, 2011) و اسفرزه (Ramroudi et al., 2011) محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی سبب افزایش عملکرد بیولوژیک در این گیاهان گردید.



شکل ۳. تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با ترکیبات مغذی بر عملکرد بیولوژیک سویا

Fig. 3. The effects of foliar spray and irrigation treatments on biological yield of soybean

درصد روغن و عملکرد روغن

اثر تیمار آبیاری و محلول‌پاشی بر صفات درصد روغن و عملکرد روغن دانه‌ی سویا معنی‌دار بود اما این صفات به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری × محلول‌پاشی قرار نگرفتند (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی، درصد روغن و عملکرد روغن دانه‌های سویا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که درصد روغن و عملکرد روغن دانه‌های سویا به ترتیب در حدود ۱۳/۹۳ و ۳۲/۰۱ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل کاهش یافت (جدول ۵). یکی از دلایل کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی کاهش میزان کلروفیل (جدول ۳)، درنتیجه‌ی کاهش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه است. ازآنجاکه انرژی لازم برای ساختن روغن بسیار بیشتر از انرژی لازم برای ساختن کربوهیدرات‌ها است، گیاه در هنگام کاهش مواد فتوسنتزی میزان کمتری از این مواد را به سنتز روغن اختصاص می‌دهد و باعث کاهش درصد روغن در بذر در شرایط وجود تنش‌های محیطی می‌شود (Joshan et al., 2019). بلالویی و همکاران (Bellaloui et al., 2011) و دیوسالار و همکاران (Divsalarmary et al., 2017) نیز گزارش کردند که در اثر تنش خشکی درصد روغن دانه‌ی سویا به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. این پژوهشگران دلیل این کاهش را حساسیت زیاد تجمع لیپیدها نسبت به تنش خشکی در مرحله زایشی، کاهش فتوسنتز جاری و کاهش مواد فتوسنتزی عرضه‌شده برای پر شدن دانه و همچنین کاهش طول دوره پر شدن دانه ذکر نمودند.

کاربرد ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین موجب تولید بیشترین درصد روغن دانه‌ی سویا گردید که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود. هرچند، محلول‌پاشی با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد، اما درصد روغن دانه‌های حاصل از بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین بیشتر از درصد روغن دانه‌های حاصل از بوته‌های شاهد بود (جدول ۵). ازآنجایی‌که عناصر غذایی در مسیرهای مختلف متابولیسمی گیاه ازجمله بیوسنتز اسیدهای چرب نقش‌های فیزیولوژیک مهمی دارند، به نظر می‌رسد افزایش درصد روغن دانه سویا ناشی از بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه و تأمین نیازهای غذایی آن باشد. تأثیر سه عنصر گوگرد، بر و روی بر افزایش درصد روغن دانه در کلزا (Habibi et al., 2016) و عنصر بر در بادام‌زمینی (Nasef et al., 2006) گزارش شده است. علت افزایش درصد روغن در دانه بادام‌زمینی در پی کاربرد عنصر بر، ناشی از نقش این عنصر در واکنش‌های متابولیکی اساسی در گیاه مثل انتقال قند، تعرق، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و ایندول استیک اسید گزارش شده است (Nasef et al., 2006). گوگرد نیز به شکل گروه تیول در ساختار کوآنزیم آ و بیوتین شرکت می‌کند که این کوآنزیم در تشکیل استیل کوآنزیم آ به‌عنوان شروع‌کننده مسیر بیوسنتزی اسیدهای چرب اهمیت ویژه‌ای دارد (Salwa et al., 2010). عملکرد روغن دانه‌های حاصل از بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین به‌طور معنی‌داری بیشتر از عملکرد روغن دانه‌های

حاصل از بوته‌های شاهد بود (جدول ۵). بیشترین عملکرد روغن دانه‌ی سویا در تیمار محلول‌پاشی با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین مشاهده شد که این افزایش در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی در حدود ۳۲/۶۶ درصد بود، اما اختلاف معنی‌داری با تیمار ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین نشان نداد (جدول ۵). بالا بودن عملکرد روغن دانه‌های حاصل از بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیبات مغذی دارای پلی‌آمین و بدون پلی‌آمین می‌تواند ناشی از افزایش وزن صد دانه (شکل a2)، تعداد دانه در بوته (جدول ۵) و عملکرد دانه (شکل b2) باشد. قلی‌پور و همکاران (Gholipour et al., 2020) نیز افزایش درصد روغن و عملکرد روغن دانه‌ی سویا را در اثر کاربرد پلی‌آمین گزارش کرده‌اند.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه موجب کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ و افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها در برگ‌های سویا گردید که این موضوع موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گردید. در شرایط وجود تنش خشکی، کاربرد برگی ترکیبات مغذی فاقد پلی‌آمین موجب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و کاهش هدایت الکتریکی گردید که این موضوع، ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیکی بوته‌های سویا حتی باوجود تنش خشکی را بهبود داده و درنهایت منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد بوته‌های سویا می‌شود. به نظر می‌رسد ترکیبات مغذی فاقد پلی‌آمین، به دلیل فراهم کردن شرایط تغذیه‌ای مناسب‌تر برای بوته‌های سویا در طول دوره گلدهی تا پر شدن دانه موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گردیده است؛ اما کاربرد پلی‌آمین در کنار ترکیبات مغذی مورداستفاده موجب بهبود هرچه بیشتر ویژگی‌های رشدی و عملکردی در شرایط آبیاری کامل نسبت به تیمار محلول‌پاشی با مواد مغذی بدون پلی‌آمین شد که نشان‌دهنده اثرات مضاعف پلی‌آمین است؛ بنابراین محلول‌پاشی بوته‌های سویا با ترکیبات مغذی بدون پلی‌آمین یا به همراه پلی‌آمین در شرایط مساعد و نامساعد محیطی، تأثیر مثبت و معنی‌داری در بهبود صفات فیزیولوژیکی و عملکردی سویا دارد.

منابع

Amin, A.A., Gharib, F.A.E., El-Awadi, M., Rashad, E.M., 2011. Physiological response of onion plants to foliar application of putrescine and glutamine. Scientia Horticulturae. 129, 353-360.

Amri, E., Shahsavar, A.R., 2010. Response of lime seedling (*Citrus aurantifolia* L.) to exogenous spermidine treatments under drought stress. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 4, 4483-4489.

Babaeian, M., Heydari, M., Ghanbari, A., 2009. Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (*Alster cultivar*) under water stress at three stages. Journal of Water and Soil Science. 12, 119-129. [In Persian with English summary].

Bagheri-Khoulenjani, M., Salamati, M.S., 2011. Morphological reaction and yield of *Nigella sativa* L. to Fe and Zn. African Journal of Agricultural Research. 7, 2359-2362.

Bahari, A., Pirdashti, H., Yaghoubi, M., 2013. The effects of amino acid fertilizers spraying on photosynthetic pigments and antioxidant enzymes of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. International Journal of Agronomy and Plant Production. 4, 787-793.

Bardel, J., Ghanbari, A., Khajeh, M., 2016. Physiological response and polyamines content of cumin (*Cuminum cyminum* L.) to water irrigation quality in the application of chemical and organic fertilizers. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 32, 360-375. [In Persian with English summary].

Bellaloui, N., Ebelhar, M.W., Gillen, A.M., Fisher, D.K., Abbas, H.K., Mengistu, A., Reddy, K.N., Paris, R.L., 2011. Soybean seed protein, oil, and fatty acids are altered by S and S+N fertilizers under irrigated and non-irrigated environments. Agricultural Sciences. 2, 465-476.

Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., Zheng, B., 2019. Polyamine Function in Plants: Metabolism, Regulation on Development, and Roles in Abiotic Stress Responses. Frontiers in Plant Science. 9, 1-13.

Divsalar, M., Thamasbisarvestani, Z., Modaressanavi, A.M., Hamidi, A., 2017. Study

the effect of drought stress on oil, protein percent and fatty acids composition of soybean grain. Journal of Plant Ecophysiology. 8, 44-55. [In Persian with English summary].

Draie, R., 2019. Effect of spraying with microelements on growth and productivity of top and elite cucumber varieties. International Journal of Information Research and Review. 6, 6605-6611.

Ebeed, H.T., Hassan, N.M., Aljarani, A.M., 2017. Exogenous applications of Polyamines modulate drought responses in wheat through osmolytes accumulation, increasing free polyamine levels and regulation of polyamine biosynthetic genes. Plant Physiology and Biochemistry. 118, 438-448.

Elemike, E.E, Uzoh, I.M., Onwudiwe, D.C., Babalola, O.O., 2019. The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. Applied Sciences. 9, 1-32.

Eric, S.O., Bloa, M.L., Clark, C.J.A., Royal, A., Jaggard, K.W., Pidgeon, J.D., 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection for drought tolerance in sugar beet. Field Crops Research. 91, 231-249.

Ghasemi-Golezani, K., Sheikhzadeh Mosaddegh, P., Valizadeh, M., 2009. Effects of seed hydropriming on germination, seedling emergence and grain yield of chickpea. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 19, 49-58. [In Persian with English summary].

Gholipour, S., Zamani, G.R., Jami Alahmadi, M., 2020. Investigation the possibility of decreasing the damage protein and seed oil with putrescine and calcium nitrate foliar application under water deficit conditions. Scientific Journal of Crop Physiology, I.A.U. Ahvaz. 12, 5-24. [In Persian with English summary].

Golpayegani, A., Gholami-Tilebeni, H., 2011. Effect of biological fertilizers on biochemical and physiological parameters of basil (*Ociumum basilicm* L.) medicine plant. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 11, 411-416.

Habibi, M., Majidian, M., Shoja, T., Rabiee, M., 2016. Effects of S, B and Zn, on seed yield, nutrient concentration and seed quality of rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Oil Plants Production. 2, 1-12. [In Persian with English summary].

Habibi, M., Majidian, M., Rabiei, M., 2014. Effect of boron, zinc and sulfur elements on grain yield and fatty acid composition of rapeseed. Journal of Crops Improvement. 16, 69-84. [In Persian with English summary].

Hajiboland, R., Ebrahimi, N., Poschenrieder, C., 2012. Bound Putrescine, a distinctive player under salt stress in the natrophilic sugar beet in contrast to glycophyte tobacco. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran. 23, 105-114. [In Persian with English summary].

Hashemi, A.S., Nematzadeh, G.A., Babaeian Jelodar, N., Ghasemi Chapi, O., 2010. Genetic evaluation of yield and yield components at advanced generations in rapeseed (*Brassica napus* L.). African Journal of Agricultural Research. 5(15), 1958-1964.

Ihsan, M.Z., Shahzad, N., Kanwal, S., Naeem, M., Khaliq, A., El-Nakhlawy, F.S., Matloob, A., 2013. Potassium as foliar supplementation mitigates moisture induced stresses in mung bean (*Vigna radiata* L.) as revealed by growth, photosynthesis, gas exchange capacity and Zn analysis of shoot. International Journal of Agronomy and Plant Production. 4, 3828-3835.

ISTA, 2017. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.

Jalilian, J., Heydarzadeh, S., 2016. Effect of cover crops, organic and chemical fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius*). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 25, 71-85. [In Persian with English summary].

Joshan, Y., Sani, B., Jabbari, H., Mozafari, H., Moaveni, P., 2019. Effect of drought stress on oil content and fatty acids composition of some safflower genotypes. Plant, Soil and Environment. 65, 563-567.

Jovic, J., Antunovic, M., Rastija, M., Varga, I., 2014. Response of soybean and wheat to phosphorus fertilization calcareous alluvial soil of sava valley area in bosnia and herzegovina. Trakya University Journal of Natural Sciences. 15, 37-39.

Juzoń, K., Czyczyło-Mysza, I., Marcińska, I., Dziurka, M., Waligórski, P., Skrzypek, E., 2017. Polyamines in yellow lupin (*Lupinus*

luteus L.) tolerance to soil drought. Acta Physiologiae Plantarum. 39, 1-12.

Khan, H.A., Ziaf, K., Amjad, M., Iqbal, Q., 2012. Exogenous application of polyamines improves germination and early seedling growth of hot pepper. Chilean Journal of Agricultural Research. 72, 429-433.

Kiliç, H., Yağbasanlar, T., 2010. The Effect of Drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) cultivars. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 38, 164-170.

Kobraee, S., Shamsi, K., Rasekhi, B., 2011. Soybean production under water deficit conditions. Annals of Biological Research. 2, 423-434.

Kohnavard, P., Jalilian, J., Pirzad, A., 2012. Effect of foliar application of micro-nutrients on yield and yield components of safflower under conventional and ecological cropping systems. International Research Journal of Applied and Basic. 3, 1460-1469.

Madeh Khaksar, A., Naderi, A., Ayeneh Band, A., Lack, S., 2014. Simultaneous effect of deficit irrigation and irrigation-off on physiological traits related with yield of maize s.c 704. Journal of Crop Production Research. 6, 63-79. [In Persian with English summary].

Malek, M.A., Rafii, M.Y., Afroz, M.S.S., Nath, U.K., Mondal, M.M.A., 2014. Morphological characterization and assessment of genetic variability, character association and divergence in soybean mutants. The Scientific World Journal. 2014, 1-12.

Maleki, A., Naderi, A., Naseri, R., Fathi, A., Bahamin, S., Maleki, R., 2013. Physiological performance of soybean cultivars under drought stress. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences. 2, 38-44.

Mirzakhani, M., Sajedi, A., 2015. Evaluation of biological and chemical fertilizers on fertilizer use efficiency, grain yield and yield components of sunflower. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 25, 139-153. [In Persian with English summary].

Mohajerani, S., Alavi Fazel, M., Madani, H., Lak, S., Madhaj, A., 2016. Effects of water shortage at different growth stages on physiological and biochemical traits in red bean genotypes (*Phaseolous vulgaris* L.). Journal of Plant Environmental Physiology. 10, 41-50. [In Persian with English summary].

Mohammadzadeh Toutounchi, P., Amirinia, R., 2016. Effect of foliar application of iron, zinc and manganese on yield and yield components of fenugreek. Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture).18, 69-78. [In Persian with English summary].

Moradia, A., Ahmadia, A., Hossain Zadeha, A., 2008. The effects of different timings and severity of drought stress on gas exchange parameters of mungbean. Desert. 13, 59-66.

Mustafavi, S.H., Naghdi Badi, H., Sekara, A., Mehrafarin, A., Janda, T., Ghorbanpour, M., Rafiee, H., 2018. Polyamines and their possible mechanisms involved in plant physiological processes and elicitation of secondary metabolites. Acta Physiologiae Plantarum. 40, 1-19.

Nasef, M.A., Badran, N.M., Abd El- Hamide, A.F., 2006. Response of peanut to foliar spray with boron and/or rhizobium inoculation. Journal of Applied Sciences Research. 2, 1330-1337.

Pal, M., Szalai, G., Janda, T., 2015. Speculation: Polyamines are important in abiotic stress signaling. Plant Science. 237, 16-23.

Paul, S., Roychoudhury, A., 2016. Seed priming with spermine ameliorates salinity stress in the germinated seedlings of two rice cultivars differing in their level of salt tolerance. Tropical Plant Research. 3, 616-633.

Rahaman Hera, M.H., Hossain, M., Alok Kumar Paul, A.K., 2018. Effect of foliar zinc spray on growth and yield of heat tolerant wheat under water stress. International Journal of Biological and Environmental Engineering. 1, 10-16.

Ramroudi, M., Keikha Jaleh, M., Galavi, M., Seghatoleslami, M.J., Baradaran, R., 2011. The effect of various micronutrient foliar applications and irrigation regimes on quantitative and qualitative yields of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.) Journal of Agroecology (Quarterly). 3, 219-226. [In Persian with English summary].

Rezvanypour, S., Hatamzadeh, A., Elahinia, S.A., Asghari, H.R., 2016. Effect of exogenous polyamines on growth, flowering and corm production of ‘Golden Wave’ and ‘Blue Sea’ cultivars of freesia. Journal of Soil and plant Interactions Isfahan University of Technology. 7, 63-76. [In Persian with English summary].

Rosales, M.A., Cuellar-Ortiz, S.M., Arrieta-Montiel, M.P., Acosta-Gallegos, J., Covarrubias, A.A., 2013. Physiological traits related to terminal drought resistance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture. 93, 324-331.

Sadeghipour, O., 2019. Polyamines protect mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) plants against drought stress. Biologia Futura. 70, 71-78.

Salwa, A.I.E., Abass, M.M., Behary, S.S., 2010. Amelioration productivity of sandy soil by using Amino acids, sulphur and micronutrients for sesame production. Journal of American Science. 6, 250-257.

Shirani, B., Khodambashi, M., Fallah, S., Danesh-Shahraki, A., 2015. Effects of foliar application of nitrogen, zinc and manganese on yield, yield components and grain quality of chickpea in two growing seasons. Journal of Crop Production and Processing. 5, 143-152. [In Persian with English summary].

Soleimani, A., Valizadeh, M., Darvishzadeh, R., Aharizad, S., Hadi Alipour, H., 2017. Evaluation of yield and yield component of spring barely genotypes under late season drought stress. Journal of Crop Breeding. 9, 105-116. [In Persian with English summary].

Talaat, I.A., Balbaa, L.K., 2010. Physiological response of sweet basil plants (*Ocimum basilicum* L.) to putrescine and trans-cinnamic acid. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 8, 438-445.

Talukdar, D., 2013. Selenium priming selectively ameliorates weed-induced phytotoxicity by modulating antioxidant defense components in Lentil (*Lens culinaris* Medik.) and Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.). Annual Research and Review in Biology. 3, 195-212.

Teixeira, I.R., Borém, A., Araújo, G.A.A., Fontes, R.L.F., 2004. Manganese and zinc leaf application on common bean grown on a "Cerrado" soil. Scientia Agricola. 61, 77-81.

Todorova, D., Katerova, Z., Alexieva, V., Sergiev, I., 2015. Polyamines-possibilities for application to increase plant tolerance and adaptation capacity to stress. Genetics and Plant Physiology. 5, 123-144.

Tripathi, P., Rabara, R., Shulaev, V., Shen, Q.J., Rushton P.J., 2015. Understanding water-stress responses in soybean using hydroponics system- a systems biology perspective. Frontiers in Plant Science. 6, 1-5.

Vuosku, J., Karppinen, K., Muilu-Mäkelä, R., Kusano, T., Sagor, G.H.M., Avia, K., Alakärppä, E., Kestilä, J., Suokas, M., Nickolov, K., Hamberg, L., Savolainen, O., Häggman, H., Sarjala, T., 2018. Scots pine aminopropyltransferases shed new light on evolution of the polyamine biosynthesis pathway in seed plants. Annals of Botany. 121, 1243-1256.

Wijewardana, C., Alsajri, F.A., Irby, J.T., Krutz, L.J., Golden, B.R., Henry, W.B., Reddy, K.R., 2019. Water deficit effects on soybean root morphology and early-season vigor. Agronomy. 9, 1-15.

Yaghoobi, S.R., Aghaalikhani, M., Ghalavand, A., Zand, E., 2011. Evaluation of important growth parameters of lepyrodiclis (*Lepyrodiclis holosteoides* Fenzl.) under different light densities and nitrogen rates. Iranian Journal of Weed Science. 7, 31-43. [In Persian with English summary].

Zhang, C., Hung, Z., 2013. Effects of endogenous abscisic acid, jasmonic acid, polyamines, and polyamine oxidase activity in tomato seedlings under drought stress. Scientia Horticulturae. 159, 172-177.