نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۱(۶۱)، بهار ۱۴۰۱، صفحه ۶۰-۴۳

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1933322.1811

اثر پلیمر سوپرجاذب و بافت خاک بر واکنش های فیزیولوژیک ذرت (*Zea mays* L.) تحت تنش کم‌آبی

علیرضا معینی [۱]، علی نشاط [۱*]، نجمه یزدانپناه [۱] و امین پسندی‌پور [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۸

چکیده

نقش پلیمر سوپرجاذب در کاهش اثر تنش کم‌آبی در خاک‌های شنی و لومی رسی، اثر پنج سطح پلیمر سوپر جاذب (صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ گرم در کیلوگرم خاک)، سه تیمار آبیاری (محتوای رطوبت نسبی خاک شامل ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) و دو نوع بافت خاک (شنی و لومی رسی) بر روی تولید زیست توده، رنگدانه‌های فتوسنتزی، میزان تبادل گاز برگ، محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت، مقدار پرولین، فعالیت کاتالاز، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش قابل توجه میزان فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای برگ، کلروفیل a+b، محتوای نسبی آب برگ، ارتفاع بوته و تولید ماده خشک ذرت شد. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز، نشت الکترولیت و مقدار پرولین با افزایش سطح تنش کم‌آبی به طور قابل توجهی افزایش یافت. استفاده از پلیمر سوپرجاذب تحت تنش کم‌آبی ۴۰ درصد موجب افزایش فتوسنتز خالص (۳۲/۳ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۳۸ درصد)، کلروفیل a+b (۲۳/۹ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۱۱/۹ درصد) و تولید ماده خشک (۲۴ درصد) و کاهش نشت الکترولیت (۱۰/۸ درصد)، مقدار پرولین (۶۶/۹ درصد)، فعالیت کاتالاز (۴۲/۷ درصد)، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (۳۳/۲ درصد) و آسکوربات پراکسیداز (۳۴/۳ درصد) در مقایسه با عدم کاربرد آن گردید. در مجموع می‌توان گفت که کاربرد پلیمر سوپر جاذب به میزان ۰/۸ گرم در کیلوگرم خاک از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک باعث بهبود رشد و نمو گیاه ذرت در شرایط تنش کم‌آبی می‌شود.

واژگان کلیدی: پرولین، سرعت فتوسنتز خالص، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ماده خشک، محتوای رطوبت نسبی.

۱- دانشکده فنی – مهندسی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران.

۲- دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

* نگارنده‌ی مسئول Neshat@iauk.ac.ir

مقدمه

ذرت یکی از محصولات غذایی است که به طور گسترده در دنیا کشت می‌شود و نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی جهان دارد (Cairns *et al.*, 2013). کمبود جهانی آب از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ دلیل عمده کاهش عملکرد بوده و پتانسیل عملکرد ذرت را تا ۴۰ درصد کاهش داد (Daryanto *et al.*, 2016). استفاده مطلوب از آب آبیاری توسط گیاهان زراعی در مناطق با محدودیت دسترسی به آن برای رشد و نمو گیاهان مهم است (Dorraji *et al.*, 2010; Orikiriza *et al.*, 2013; Saha *et al.*, 2020). یکی از اهداف اصلاح خاک افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک برای مدت زمان طولانی است (Montesano *et al.*, 2015; Galeş *et al.*, 2016). استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب در خاک‌های کشاورزی می‌تواند ظرفیت نگهداری آب را افزایش داده و رشد گیاه را بهبود بخشد (Chen *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2013). پلیمرهای سوپر جاذب از نظر شیمیایی پلیمرهای متقاطع هستند که پتانسیل بسیار خوبی برای ذخیره آب در ساختار خود دارند. پلیمر سوپر جاذب می‌تواند مقدار زیادی آب و املاح را در حالت تورم به‌دلیل وجود گروه‌های مختلف آب دوست از قبیل گروه کربوکسیل، گروه آمینه و گروه هیدروکسیل در ستون فقرات پلیمری جذب و حفظ کند (Ismail *et al.*, 2013; Feng *et al.*, 2014). سوپرجاذب‌ها از نظر زیست محیطی، سالم و بدون اثر سمی و نامطلوب در خاک بوده که سرانجام به دی‌اکسیدکربن، آب و یون‌های آمونیوم و پتاسیم تجزیه می‌شوند (Fazeli Rostampour *et al.*, 2013).

تاکنون بسیاری از محققان پارامترهای مختلفی را تحت شرایط تنش کم‌آبی ارزیابی کرده‌اند. هر یک از پارامترهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به نوعی واکنش گیاه به تنش را بیان کرده‌اند. محتوای رطوبت نسبی در برگ‌ها به‌عنوان معیار جایگزین وضعیت آب گیاه در نظر گرفته می‌شود، که نشان‌دهنده فعالیت متابولیکی در بافت‌های گیاه است. محتوای نسبی آب برگ می‌تواند مستقیماً رشد واقعی و رشد و نمو یک محصول را منعکس کند و نشان‌دهنده وضعیت حفظ آب برگ‌ها باشد (Junttila *et al.*, 2018; El-Hendawy *et al.*, 2019). به‌دلیل تفاوت در سن برگ، رشد و نمو و صفات عملکردی، درجه تغییرات محتوای نسبی آب برگ در موقعیت‌های مختلف برگ تحت تنش خشکی متفاوت است (Liu *et al.*, 2015).

محتوای کلروفیل به‌عنوان شاخص توانایی گیاه در استفاده از نور عمل می‌کند (Zhang *et al.*, 2016). همچنین، به‌عنوان یکی از پارامترهای تحمل به خشکی در گیاهان پیشنهاد شده است و در برخی مطالعات کاهش میزان کلروفیل به‌دلیل تنش خشکی گزارش شده است (Esteban *et al.*, 2015; Buezo *et al.*, 2019).

تنظیم اسمزی مکانیسم فیزیولوژیکی مهمی برای پاسخ گیاهان به تنش خشکی است (Iqbal *et al.*, 2018). پرولین یک اسمولیت مهم در گیاهان است که برای حفظ ثبات نتایج سلولی تحت تنش خشکی ضروری است (Dutta *et al.*, 2019). سلول‌های گیاهی برای محافظت از ساختارهای سلولی در برابر آسیب اکسیداتیو، یک سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی ایجاد می‌کنند. اهمیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی سلولی برای محافظت در برابر تنش‌های مختلف محیطی به

خوبی اثبات شده است (Gill *et al.*, 2011). سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (APX) آنزیم‌های مهمی برای واکنش‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان در شرایط تنش غیرزنده هستند. افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی می‌تواند آسیب به ساختار سلول ناشی از شرایط تنش را برطرف کند (Ahmad *et al.*, 2014). فتوسنتز یک فرآیند فیزیولوژیکی مهم برای تجمع مواد آلی با استفاده از انرژی نور است. کاهش فتوسنتز گیاهان ناشی از خشک‌سالی عمدتاً ناشی از محدودیت‌های روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای است (Zhang *et al.*, 2010). تحت تنش خشکی، برگ‌های گیاه با از دست دادن آب، پتانسیل آب برگ آنها کاهش می‌یابد (Bhusal *et al.*, 2019) که در نهایت منجر به کاهش فتوسنتز گیاهان می‌شود (Buckley and Mott, 2013; Cai *et al.*, 2015).

ماده خشک به‌عنوان اساس تشکیل عملکرد محصول در نظر گرفته می‌شود و تقسیم آن در بین اندام‌های مختلف تحت تأثیر روند خشک‌سالی قرار می‌گیرد زیرا بر رشد ریشه و برگ تأثیر می‌گذارد و ممکن است عملکرد نهایی را کاهش دهد (Djaman *et al.*, 2013). اندازه‌گیری پارامترهای فوق این امکان را فراهم می‌کند تا درک منظمی از تغییرات پویای فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان در شرایط تنش به ویژه در تنش کم‌آبی وجود داشته باشد. بهینه‌سازی استفاده از آب آبیاری توسط گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، در آب و هوای گرمسیری با خشکسالی مکرر و در مواردی که آب به منبع محدودی برای رشد و نمو گیاهان تبدیل شده، بسیار مهم است. اگرچه مطالعات زیادی پاسخ فرآیندهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی و عملکرد ذرت به خشک‌سالی را بررسی کرده‌اند (Song *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2019a, 2019b, Cai *et al.*, 2020; Song *et al.*, 2018)، با این‌حال تحقیقات قطعی بسیار کمی در مورد اثرات پلیمر سوپر جاذب و بافت خاک بر تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ذرت تحت تنش کم‌آبی گزارش شده است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ذرت تحت تاثیر پلیمر سوپرجاذب، بافت خاک، تنش کم‌آبی و اثر متقابل آنها و تعیین مؤثرترین پارامتر در تولید ماده خشک ذرت در شرایط تنش متوسط و شدید انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان در سال ۱۳۹۸ انجام شد. بذرها در گلدان‌هایی با بافت خاک شنی و لومی رسی حاوی پلیمر سوپر جاذب (A200 ساخت شرکت نانو آب ایرانیان) در پنج سطح (صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ گرم در کیلوگرم در خاک) کاشته شدند و در گلخانه (۱۲ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، رطوبت نسبی ۶۰ درصد و دمای ۲۲/۲۵ درجه سلسیوس روز/شب) قرار گرفتند. گیاهچه‌های ذرت در ۵ روز اول با آب شهری (pH=7.4, EC=1.3 dS/m) و سپس با محلول هوگلند دارای pH ۶/۲ تا ۶/۵ آبیاری شدند. گیاهان از مرحله ۳-۴ برگی تا پایان آزمایش با مقادیر مختلف آب آبیاری (محتوای رطوبت نسبی آب خاک برابر ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) تیمار شدند. پس از سه هفته در این شرایط، مواد گیاهی برای اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی، میزان پرولین

و فعالیت آنتی اکسیدانی برداشت و در دمای ۸۰- درجه سلسیوس ذخیره شدند.

اندازه گیری تبادلات گازی برگ: میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای برگ گیاهان سه هفته بعد از اعمال تنش بین ساعت ۱۱:۰۰ صبح و ۱۴:۰۰ بعد از ظهر با استفاده از دستگاه فتوسنتزمتر (CID Bio-Science ،Cl-340، ساخت آمریکا) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، برگ‌هایی با شکل مشابه (برگ‌های جوان کاملاً باز شده) انتخاب شدند.

محتوای رطوبت نسبی و نشت الکترولیت: برای محاسبه محتوای رطوبت نسبی از معادله زیر استفاده شده است (Farahbakhsh *et al*., 2017):

محتوای رطوبت نسبی = [(وزن تازه - وزن خشک) ÷ (وزن اشباع - وزن خشک)] × ۱۰۰

از دیسک‌های برگ تازه (۰/۲۵ سانتی‌متر مربع از هر برگ) برای تعیین نشت الکترولیت استفاده شد. نتایج به صورت نشت الکترولیت نسبی بیان شد.

محتوای پرولین: به‌منظور اندازه‌گیری محتوای پرولین یک نمونه برگ تازه با اسید ۵- سولفوسالیسیلیک ۳ درصد عصاره‌گیری شد. محلول صافی شده با اسید نایندرین و اسید استیک گلاسیال مخلوط و به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. غلظت پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر مورد سنجش قرار گرفت (Bates *et al*., 1973).

محتوای کلروفیل: ۱۰۰ میلی‌گرم برگ تازه در استون ۸۰ درصد ساییده شده و سپس در ۱۱۰۰۰ دور به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شدند. میزان جذب عصاره‌ها در ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر به‌منظور محاسبه محتوای کلروفیل a + b اندازه‌گیری شد (Lichtenthaler 1987).

تهیه عصاره آنزیمی: برای تهیه عصاره آنزیمی میزان ۱۰۰ میلی‌گرم بافت تازه برگ توزین و به همراه یک میلی‌لیتر بافر استخراج شامل فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷، EDTA ۱ میلی‌مولار همگن گردید. سپس عصاره‌های حاصل در ۲۵۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد و محلول رویی حاصل در ظرف‌های استریل جمع‌آوری گردید (Mishra *et al*., 1993).

سنجش فعالیت کاتالاز: مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، پراکسیدهیدرژن ۱۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود (Dhindsa *et al*., 1981). فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس میزان تجزیه شدن H_2O_2 در طول موج ۲۴۰ نانومتر تعیین گردید.

سنجش فعالیت سوپراکسیددیسموتاز: فعالیت سوپراکسید دیسموتاز با اندازه‌گیری مهار کاهش فتوشیمیایی NBT تعیین شد (Giannopolitis and Ries, 1977). این رنگ با افزودن معرف‌های زیر ایجاد شد: ۲/۴ میلی‌لیتر محلول بافر ۵۰ میلی‌مولار فسفات پتاسیم، ۰/۲ میلی‌لیتر از متیونین ۱۹۵ میلی‌مولار، ۰/۱ میلی‌لیتر EDTA ۰/۳ میلی‌مولار، ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۰/۲ میلی‌لیتر NBT ۱/۱۲۵ میلی مولار و ۰/۲ میلی‌لیتر ریبوفلاوین ۶۰ میکرومولار. مخلوط واکنش به مدت ۱۵ دقیقه با شدت نور ۵۰۰۰ لوکس روشن شد. جذب محلول در ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز: برای اندازه‌گیری فعالیت آسکوربات پراکسیداز، محلول واکنش حاوی بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار، آسکوربات ۰/۵میلی‌مولار، پراکسید هیدروژن ۰/۱ میلی‌مولار و ۱۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. کاهش جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر خوانده شد (Nakano and Asada, 1981).

تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.1, 2010) انجام شد. میانگین‌ها توسط آزمون دانکن مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه رگرسیون با استفاده از ماده‌خشک به‌عنوان متغیر وابسته و سایر عوامل به‌عنوان متغیرهای مستقل انجام شد. از آنجا که متغیرها در یک واحد اندازه‌گیری نیستند، از ضریب رگرسیون استاندارد، بتا (β) استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوای رطوبت نسبی برگ: محتوای رطوبت نسبی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش کم‌آبی و کاربرد سوپرجاذب قرار گرفت (جدول ۱). این پارامتر با افزایش سطح تنش کم‌آبی کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین مقدار آن از سطح آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به‌دست آمد (جدول ۲). این نتایج با یافته‌های مظلوم و همکاران، (Mazloom *et al.*, 2020) مطابقت داشت. کاهش در محتوای رطوبت نسبی برگ را می‌توان به سیستم‌های ریشه نسبت داد که قادر به از دست دادن آب با تعرق از طریق کاهش سطح جذب نیستند (Sreenivasulu *et al.*, 2000). استفاده از ۰/۴ و ۰/۸ گرم در کیلوگرم سوپر جاذب در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب افزایش ۴/۵ و ۶/۷ درصدی در محتوای رطوبت نسبی ایجاد کرد در حالی که مقادیر کمتر (۰/۱ و ۰/۲ گرم در کیلوگرم) در مقایسه با شاهد تأثیر معنی‌داری بر روی محتوای رطوبت نسبی نداشت. (جدول ۲). در این مطالعه اثرات متقابل تأثیر معنی‌داری بر محتوای رطوبت نسبی نداشتند (جدول ۱). تیمار سوپرجاذب اثرات تنش کم‌آبی بر گیاه ذرت را کاهش داد. این تأیید می‌کند که سوپرجاذب در تأمین آب ذرت تحت شرایط تنش کم‌آبی به‌واسطه بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک مؤثر بوده است، که در تطابق با یافته‌های سایر محققین می‌باشد (Abobatta, 2018; Mazloom *et al.*, 2020).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: محتوای کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کم‌آبی و سوپر جاذب قرار گرفت (جدول ۱). بیشینه مقدار کلروفیل a+b در شرایط آبیاری مطلوب ثبت شد در حالی‌که افزایش تنش کم‌آبی به ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به‌ترتیب منجر به کاهش ۱۱/۴ و ۳۰/۳ درصدی آن شد (جدول ۲). این درحالی بود که اختلاف معنی‌داری بین بافت‌های خاک برای کلروفیل a_+b وجود نداشت (جدول ۱). بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل a_+b به‌ترتیب مربوط به مقادیر سوپرجاذب ۰/۸ و ۰/۱ گرم در کیلوگرم خاک بود (جدول ۲). اثر متقابل کم‌آبی در بافت خاک، کم‌آبی در سوپرجاذب، بافت خاک در سوپرجاذب و کم‌آبی در بافت خاک در سوپرجاذب بر محتوای کلروفیل a_+b معنی‌داری نبود (جدول ۱).

به‌نظر می‌رسد کاهش کلروفیل در شرایط تنش کم‌آبی به‌افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول مربوط می‌شود. این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و تجزیه می‌شوند و با کاهش کلروفیل، تغییرات قابل توجهی در گیاهان ایجاد می‌نمایند. در این مطالعه، اثر محافظتی سوپرجاذب در برابر خسارت ناشی از تنش کم‌آبی

پیدا شد. به‌نظر می‌رسد مقدار ۰/۸ گرم در کیلوگرم خاک سوپرجاذب به‌واسطه بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک و کاهش اثرات تنش کم‌آبی از جمله عدم افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن، موجب عدم کاهش محتوای کلروفیل شده که می‌تواند منجر به‌بهبود پارامترهای تبادل گاز برگ و به‌نوبه خود رشد مطلوب گیاهان ذرت تحت تنش کم‌آبی شود (Khadem *et al*., 2010; Mao *et al*., 2011; Sayyari and Ghanbari, 2012).

پارامترهای تبادل گازی برگ: تیمارهای کم‌آبی و سوپرجاذب و اثر متقابل آنها میزان فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای برگ را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۱). اثر متقابل تنش کم‌آبی در سوپرجاذب نشان داد که کاربرد ۰/۸ گرم سوپرجاذب در کیلوگرم خاک در مقایسه با عدم کاربرد آن (شاهد) منجر به افزایش فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای برگ به‌میزان ۱۹/۱۶ و ۲۲/۰۳ درصد در سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و ۳۲/۳۸ و ۳۸/۰۷ درصد در سطح آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک شد (جدول ۳).

به نظر می‌رسد که محدودیت روزنه‌ای عامل اصلی کاهش فتوسنتز در شرایط تنش کم‌آبی باشد. کاهش محتوی نسبی آب، بسته شدن روزنه‌ها را تحریک می‌کند و به دنبال بسته شدن روزنه‌ها هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد. همچنین، به نظر می‌رسد کاربرد سوپرجاذب در چنین شرایطی از طریق بهبود وضعیت نگهداری آب در خاک و قرار دادن مستمر آن در اختیار گیاه، موجب بهبود محتوای نسبی آب و رفع محدودیت روزنه‌ای و به دنبال آن بهبود هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز خالص در گیاهان ذرت در شرایط تنش کم آبی می‌شود.

هدایت الکترولیت نسبی: این صفت به طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش کم‌آبی، بافت خاک، سوپرجاذب و اثر متقابل کم‌آبی در سوپرجاذب قرار گرفت (جدول ۱). بیشینه مقدار این صفت (۵۸/۴۶ درصد) برای خاک لومی رسی ثبت شد (جدول ۲). اثر متقابل تنش کم‌آبی در سوپرجاذب نشان داد که در شرایط تنش (۴۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) کمترین مقدار هدایت الکترولیت نسبی از سطح سوپرجاذب ۰/۸ گرم در کیلوگرم به دست آمد (جدول ۳).

افزایش هدایت الکترولیت نسبی با افزایش تنش کم‌آبی نشان می‌دهد که افزایش نفوذپذیری غشا یا از بین رفتن ثبات غشا ممکن است منجر به افزایش نشت املاح شود. الکترولیت‌ها فقط زمانی می‌توانند سلول را ترک کنند که غشای پلاسما فعالیت نفوذپذیری انتخابی خود را از دست داده باشد، این پدیده اتفاق نمی‌افتد مگر اینکه سلول مرده باشد و این معمولاً در شرایط استرس رخ می‌دهد. در آزمایش حاضر به نظر می‌رسد کاربرد سوپرجاذب از طریق بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک و به دنبال آن متعادل ساختن محتوای رطوبت نسبی برگ در کاهش هدایت الکترولیت نقش داشته باشد. این نتایج با یافته‌های مظلوم و همکاران، (Mazloom *et al*., 2020) مطابقت داشت.

محتوای پرولین: این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل تنش کم‌آبی در سوپرجاذب قرار گرفت (جدول ۱). تحت شرایط آبیاری طبیعی، استفاده از ۰/۸ گرم در کیلوگرم سوپرجاذب در مقایسه با عدم استفاده از آن (سطح صفر) تاثیر معنی‌داری بر محتوای پرولین

نداشت در حالی که استفاده از این مقدار سوپرجاذب در شرایط آبیاری ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در مقایسه با تیمار عدم کاربرد سوپرجاذب به‌ترتیب موجب کاهش ۶۷/۱۵ و ۶۶/۹ درصدی محتوای پرولین شد (جدول ۳).

نتایج به‌دست آمده تأیید می‌کند که تنش کم‌آبی به‌غشای سلول آسیب می‌رساند، پرولین و الکترولیت بیشتری آزاد می‌کند و محتوای رطوبت نسبی برگ ذرت را کاهش می‌دهد (جدول ۲). به طورکلی، ذرت کشت شده در خاک تحت تیمار سوپرجاذب در مقایسه با عدم کاربرد سوپرجاذب آسیب غشای سلولی کمتری داشت (بر اساس غلظت پرولین و نشت الکترولیت). این نشان می‌دهد که محدودیت آب کمتری برای ذرت در خاک تیمار شده با سوپرجاذب نسبت به سایر تیمارها وجود دارد و با رشد ذرت (تولید ماده خشک) در حضور سوپرجاذب سازگار است. این نتایج با یافته‌های سایر مطالعات مطابقت داشت (Nazarli *et al*., 2010; Mazloom *et al*., 2020).

فعالیت آنتی اکسیدانی: افزایش سطح تنش کم‌آبی باعث افزایش چشمگیر فعالیت کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز شد. اثر متقابل تنش کم‌آبی در سوپرجاذب نشان داد که تیمار ذرت با سوپرجاذب منجر به کاهش فعالیت کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش کم‌آبی شد. به گونه‌ای که گیاهان تیمار شده با ۰/۸ گرم در کیلوگرم سوپرجاذب کمترین فعالیت کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز را در شرایط تنش داشتند (جدول ۳).

تعادل ROS در گیاه تحت شرایط تنش کم‌آبی شکسته شده و مکانیسم دفاعی آنتی اکسیدانی برای جلوگیری از آسیب اکسیداتیو فعال می‌شود (Farooq *et al*., 2019). در شرایط تنش کم‌آبی، گیاهان ذرت سطح بالایی از فعالیت کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز را برای از بین بردن ROS حفظ کردند، که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Eneji *et al*., 2013; Dong *et al*., 2019). در شرایط تأمین آب طبیعی، فعالیت کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در سطوح مختلف سوپرجاذب تفاوتی ندارند. این احتمال وجود دارد که در سطح طبیعی آب، تعادل بین تولید و حذف ROS حفظ شده باشد (Kapoor *et al*., 2019). در شرایط تنش کم‌آبی، کاربرد سوپرجاذب به‌طور قابل توجهی در کاهش فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی (فعالیت‌های کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز) مؤثر بود. این نشان می‌دهد که احتمالا محدودیت آب کمتری برای ذرت در خاک تیمار شده با سوپرجاذب نسبت به سایر تیمارها وجود دارد چرا که سوپرجاذب آب را در خود ذخیره می‌کند، در نتیجه ظرفیت خاک را برای ذخیره و نگهداری آب افزایش می‌دهد و مانع کمبود آب برای رشد گیاه می‌شود.

ماده خشک: ماده خشک به‌عنوان شاخص مهم رشد گیاه یا عملکرد زیست توده، تحت تأثیر تنش کم‌آبی، بافت خاک، سوپرجاذب و اثر متقابل تنش کم‌آبی در سوپرجاذب قرار گرفت (جدول ۱). بیشینه مقدار این صفت (۲۲۷/۸۶ گرم) برای خاک لومی رسی ثبت شد (جدول ۲). ماده خشک کاهش یافته ناشی از تنش کم‌آبی با استفاده از تیمارهای سوپرجاذب بهبود یافت (جدول ۳). بیشترین مقدار ماده خشک تحت شرایط تنش کم‌آبی (۴۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک)

هنگامی که گیاهان با ۰/۸ گرم کیلوگرم سوپرجاذب تیمار شدند به‌دست آمد (جدول ۳).

به‌دلیل تنش کم‌آبی، از وزن خشک گیاه به عنوان معیار رشد کاسته شد. اولین نشانه تنش کم‌آبی در گیاهان کاهش فشار تورگر و در ادامه کاهش رشد سلول‌ها می‌باشد. کاهش رشد سلول منجر به کاهش ارتفاع گیاه و کاهش تولید ماده خشک می‌شود. بنابراین، بین کاهش اندازه سلول و کاهش آب در بافت‌های گیاه رابطه معنی‌داری وجود دارد. با کاهش رشد سلول، رشد برگ نیز کاهش می‌یابد. با کاهش سطح برگ، میزان جذب نور خورشید و فتوسنتز گیاه کاهش یافته و منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌شود (Hong-Bo *et al*., 2008). در شرایط تنش کم‌آبی، بیشترین مقدار ماده خشک در شرایطی حاصل شد که گیاهان با ۰/۸ گرم در کیلوگرم سوپرجاذب تیمار شدند. به نظر می‌رسد کاربرد سوپرجاذب به‌واسطه بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک از اثرات مضر تنش کم آبی در گیاه کاسته و بدیهی است که با ادامه رشد گیاه و کاهش اثرات تنش کم‌آبی بر گیاه، تولید آن افزایش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های سایر مطالعات مطابقت داشت (Nazarli *et al*., 2010; Moslemi *et al*., 2011; Eneji *et al*., 2013; Liang *et al*., 2019; Mazloom *et al*., 2020).

تجزیه رگرسیون: رگرسیون چندگانه خطی بین ماده خشک به‌عنوان متغیر وابسته و سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده به‌عنوان متغیرهای مستقل در شرایط نرمال (۸۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) و تنش کم‌آبی (۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) انجام شد. نتایج نشان داد که هیچ متغیری در شرایط عادی سطح معنی‌داری را برای ورود به مدل برآورده نمی‌کند. مهم‌ترین متغیری که ماده خشک ذرت را تحت شرایط تنش کم‌آبی متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) تحت تأثیر قرار داد، محتوای کلروفیل بود (جدول ۴). این نتایج نشان داد که صفت مذکور ۸۷ درصد تغییرات ماده خشک را تحت شرایط تنش کم‌آبی متوسط توجیه می‌نماید. در شرایط تنش کم‌آبی شدید، آسکوربات پراکسیداز وارد مدل شد و ۹۷ درصد از تغییرات ماده خشک را توجیه کرد (جدول ۵).

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه اثر سوپرجاذب برای تعیین مؤثرترین مقدار آن در کاهش اثرات تنش کم‌آبی در گیاه ذرت در دو نوع بافت خاک مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. این مطالعه نشان داد که سوپرجاذب ظرفیت نگهداری آب خاک را بهبود می‌بخشد و فعالیت آنتی اکسیدانی را کاهش می‌دهد، بقای ذرت را در سطح فیزیولوژیکی افزایش می‌دهد، رشد ذرت را تقویت می‌کند و پارامترهای فتوسنتز و ماده خشک ذرت را افزایش می‌دهد. ماده خشک در شرایط آبیاری بدون تنش تحت تأثیر کاربرد سوپرجاذب قرار نگرفت، در حالی‌که کاربرد این ماده در شرایط تنش کم‌آبی تولید ماده خشک را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. بنابراین، این نتایج کاربرد سوپرجاذب به مقدار ۰/۸ گرم در کیلوگرم خاک را در شرایط تنش کم‌آبی در خاک‌های شنی و لومی رسی را تایید می‌کند. علاوه بر این، آزمایش‌های مزرعه‌ای برای ارزیابی سرنوشت طولانی مدت سوپرجاذب در بافت‌های مختلف خاک تحت شرایط تنش کم‌آبی مورد نیاز است.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده گیاه ذرت در پاسخ به پلیمر سوپرجاذب، بافت خاک و تنش کم‌آبی

Table 1- Variance analysis of measured traits in maize in response to SAP, soil texture and water deficit stress

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	کلروفیل کل Chl a+b	فتوسنتز خالص Net photosynthesis	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	محتوای رطوبت نسبی Relative water content	هدایت الکترولیت نسبی Relative electrolyte conductance
تنش کم‌آبی Drought	2	2.530^{**}	1189.5^{**}	0.077^{**}	3536.7^{**}	5256.5^{**}
بافت خاک Soil texture	1	0.000008^{ns}	14.467^{ns}	0.0012^{ns}	10.814^{ns}	44.101^{*}
سوپرجاذب SAP	4	0.1004^{**}	84.829^{**}	0.0108^{**}	106.69^{**}	131.96^{**}
کم‌آبی در بافت خاک Drought×soil texture	2	0.0008^{ns}	0.777^{ns}	0.00006^{ns}	0.673^{ns}	9.675^{ns}
کم‌آبی در سوپرجاذب Drought×SAP	8	0.035^{ns}	28.314^{*}	0.0031^{**}	26.236^{ns}	36.671^{**}
بافت خاک در سوپرجاذب Soil texture×SAP	4	0.0004^{ns}	0.735^{ns}	0.00003^{ns}	0.3436^{ns}	1.667^{ns}
کم‌آبی در بافت در سوپرجاذب Drought×soil texture×SAP	8	0.0011^{ns}	1.563^{ns}	0.00002^{ns}	0.5806^{ns}	2.065^{ns}
خطا Error	60	0.0226	12.496	0.00039	18.250	9.389
ضریب تغییرات (٪) C.V.		9.22	10.28	6.20	5.66	5.30

ns، ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non significant and significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۱-

Table 1- Continued

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	پرولین Proline	کاتالاز Catalase	سوپر اکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	ماده خشک Dry matter
تنش کم‌آبی Drought	2	48.662^{**}	0.254^{**}	109750^{**}	14.807^{**}	591878^{**}
بافت خاک Soil texture	1	0.0681^{ns}	0.0015^{*}	240.1^{ns}	0.0167^{ns}	504.08^{*}
سوپرجاذب SAP	4	5.459^{**}	0.0214^{**}	7701.5^{**}	1.259^{**}	869.24^{**}
کم‌آبی در بافت خاک Drought×soil texture	2	0.0440^{ns}	0.0003^{ns}	13.08^{ns}	0.0037^{ns}	105.69^{ns}
کم‌آبی در سوپرجاذب Drought×SAP	8	1.9437^{**}	0.0067^{**}	1962.1^{**}	0.3286^{**}	408.08^{**}
بافت خاک در سوپرجاذب Soil texture×SAP	4	0.0012^{ns}	0.00001^{ns}	12.669^{ns}	0.00033^{ns}	11.85^{ns}
کم‌آبی در بافت در سوپرجاذب Drought×soil texture×SAP	8	0.0024^{ns}	0.00002^{ns}	11.952^{ns}	0.00018^{ns}	30.07^{ns}
خطا Error	60	0.019	0.0002	84.198	0.0069	86.98
ضریب تغییرات (٪) C.V.		10.23	8.20	6.14	6.03	4.13

ns، ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non significant and significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گیاه ذرت در پاسخ به پلیمر سوپرجاذب، بافت خاک و تنش کم‌آبی

Table 2- Mean Comparisons of measured traits in maize in response to SAP, soil texture and water deficit stress

فاکتورهای آزمایش Experiment factors		کلروفیل کل Chl a+b (mg g^{-1} FW)	فتوسنتز خالص Net photosynthesis (µmol m^{-2} s)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance (mmol m^{-2} s)	محتوای رطوبت نسبی Relative water content (%)	هدایت الکترولیت نسبی Relative electrolyte conductance (%)
تنش کم‌آبی Water deficit (RWC of soil capacity)	80%	1.893a	41.03a	0.373a	84.66a	44.86c
	60%	1.677b	33.60b	0.316b	78.09b	57.10b
	40%	1.319c	28.51c	0.271c	63.45c	71.31a
بافت خاک Soil texture	Sandy	1.630	34.78	0.324	75.74	57.06b
	Clay-loam	1.630	33.98	0.316	75.05	58.46a
سوپرجاذب SAP (g kg^{-1} soil)	0	1.576b	32.59c	0.303cd	73.80b	59.65a
	0.1	1.574b	32.44c	0.294d	73.33b	59.70a
	0.2	1.578b	33.62bc	0.313c	73.91b	59.56a
	0.4	1.691a	35.86ab	0.335b	77.13a	56.13b
	0.8	1.729a	37.40a	0.355a	78.81a	53.75c

میانگین‌های دارای مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

فاکتورهای آزمایش Experiment factors		پرولین Proline (µmol g^{-1} FW)	کاتالاز Catalase (unit mg^{-1} protein)	سوپر اکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (unit mg^{-1} protein)	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase (µmol min^{-1} mg^{-1} protein)	ماده خشک Dry matter (g)
تنش کم‌آبی Water deficit (RWC of soil capacity)	80%	0.175c	0.113c	83.23c	0.642c	387.30a
	60%	1.163b	0.188b	162.89b	1.471b	196.20b
	40%	2.702a	0.296a	201.90a	2.038a	102.00c
بافت خاک Soil texture	Sandy	1.319	0.195b	147.70	1.370	223.13b
	Clay-loam	1.374	0.203a	150.97	1.397	227.86a
سوپرجاذب SAP (g kg^{-1} soil)	0	1.924a	0.231a	165.10a	1.597a	219.83b
	0.1	1.847a	0.228a	164.23a	1.589a	219.33b
	0.2	1.348b	0.207b	161.23a	1.518b	222.50b
	0.4	0.961c	0.181c	137.93b	1.213c	231.50a
	0.8	0.653d	0.149d	118.20c	1.003d	234.33a

میانگین‌های دارای مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گیاه ذرت در پاسخ به برهمکنش تنش کم‌آبی × پلیمر سوپرجاذب

Table 3- Mean Comparisons of measured traits in maize in response to water deficit×SAP

تنش کم‌آبی Water deficit (RWC of soil capacity)	سوپرجاذب SAP (g kg-1 soil)	کلروفیل کل Chl a+b (mg g^{-1} FW)	فتوسنتز خالص Net photosynthesis (µmol m^{-2} s)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance (mmol m^{-2} s)	محتوای رطوبت نسبی Relative water content (%)	هدایت الکترولیت نسبی Relative electrolyte conductance (%)
80%	0	1.920	40.78ab	0.374a	84.90	44.75g
	0.1	1.894	40.79ab	0.364ab	84.84	44.89g
	0.2	1.885	42.21a	0.385a	83.70	44.90g
	0.4	1.894	40.50ab	0.365ab	85.34	44.80g
	0.8	1.875	40.89ab	0.375a	84.50	44.95g
60%	0	1.600	31.36def	0.295e	75.65	59.80de
	0.1	1.614	31.66cde	0.285e	75.00	60.84d
	0.2	1.614	31.74cde	0.305de	76.05	60.05d
	0.4	1.745	35.87bcd	0.335bcd	79.94	54.84ef
	0.8	1.814	37.37abc	0.360abc	83.80	49.99f
40%	0	1.210	25.63fg	0.239f	60.85	74.40a
	0.1	1.215	24.86g	0.235f	60.15	73.35ab
	0.2	1.235	26.91efg	0.250f	62.00	73.75ab
	0.4	1.435	31.22def	0.304de	66.10	68.75bc
	0.8	1.500	33.93cd	0.330cd	68.15	66.30c

میانگین‌های دارای مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

ادامه جدول ۳-

Table 3- Continued

تنش کم‌آبی Water deficit (RWC of soil capacity)	سوپرجاذب SAP (g.kg-1 soil)	پرولین Proline (µmol g^{-1} FW)	کاتالاز Catalase (unit mg^{-1} protein)	سوپر اکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (unit mg^{-1} protein)	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase (µmol min^{-1} mg^{-1} protein)	ماده خشک Dry matter (g)
80%	0	0.228h	0.112f	83.90e	0.648g	377.50a
	0.1	0.197h	0.112f	82.90e	0.642g	378.50a
	0.2	0.171h	0.113f	83.20e	0.635g	383.50a
	0.4	0.149h	0.114f	83.40e	0.639g	378.49a
	0.8	0.130h	0.113f	82.74e	0.646g	373.50a
60%	0	1.638cd	0.220d	183.84b	1.830c	188.50c
	0.1	1.537d	0.220d	183.20b	1.785c	186.00c
	0.2	1.223e	0.215d	177.50b	1.720c	186.99c
	0.4	0.881f	0.159e	149.90c	1.180e	206.00b
	0.8	0.538g	0.127f	120.00d	0.843f	213.49b
40%	0	3.907a	0.360a	227.55a	2.315ab	93.50f
	0.1	3.808a	0.352a	226.60a	2.339a	93.50f
	0.2	2.651b	0.293b	223.00a	2.200b	97.00ef
	0.4	1.854c	0.269c	180.50b	1.820c	110.00de
	0.8	1.291e	0.206d	151.85c	1.520d	116.00d

میانگین‌های دارای مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

جدول ۴- مهم‌ترین متغیرهای موثر بر ماده خشک ذرت هنگامی که محتوای نسبی آب خاک ۶۰٪ ظرفیت خاک بود

Table 7- The most important variables affecting the dry matter of maize when the relative water content of the soil was 60% soil capacity

	مدل Model	Model R-Square	Adjusted R-Square	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t
				B	Std. Error	Beta	
1	ثابت (Constant)	0.884	0.870	-21.878	27.994		-0.783^{ns}
	کلروفیل کل Chl a+b			129.963	16.631	0.940	7.815^{**}

جدول ۵- مهم‌ترین متغیرهای موثر بر ماده خشک ذرت هنگامی که محتوای نسبی آب خاک ۴۰٪ ظرفیت خاک بود

Table 8- The most important variables affecting the dry matter of maize when the relative water content of the soil was 40% soil capacity

	مدل Model	Model R-Square	Adjusted R-Square	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t
				B	Std. Error	Beta	
1	ثابت (Constant)	0.973	0.970	160.66	3.498		45.927^{**}
	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase			-28.773	1.695	-0.986	-16.975^{**}

References منابع مورد استفاده

- Abobatta, W. 2018. Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. *Advances in Agriculture and Environmental Science.* 1: 59-64.
- Ahmad, P., S. Jamsheed, A. Hameed, S. Rasool, I. Sharma, M. Azooz, and M. Hasanuzzaman. 2014. Chapter 11 - drought stress induced oxidative damage and antioxidants in plants. *Oxidative Damage Plants.*154: 345–367.
- Bates, L.S., S.P. Waldern, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil.* 39: 205-207.
- Bhusal, N., S.G. Han, and T.M. Yoon. 2019. Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (Malus × domestica Borkh.). *Scientia Horticulturae.* 246: 535–543.
- Buckley, T.N., and K.A. Mott. 2013. Modelling stomatal conductance in response to environmental factors. *Plant, Cell and Environment.* 36: 1691–1699.
- Buezo, J., A. Sanz-Saez, J.F. Moran, D. Soba, I. Aranjuelo, and R. Esteban. 2019. Drought tolerance response of high-yielding soybean varieties to mild drought: physiological and photochemical adjustments. *Physiolgia Plantarum.* 166: 88–104.
- Cai, F., Y. Zhang, N. Mi, H. Ming, S. Zhang, H. Zhang, and X. Zhao. 2020. Maize (*Zea mays* L.) physiological responses to drought and rewatering, and the associations with water stress degree. *Agricultural Water Management.* 241: 106379.
- Cai, Y., J. Wang, S. Li, L. Zhang, L. Peng, W. Xie, and F. Liu. 2015. Photosynthetic response of an alpine plant, rhododendron delavayi franch, to water stress and recovery: the role of mesophyll conductance. *Front Plant Science.* 6: 1089.
- Cairns, J.E., J. Hellin, K. Sonder, J. Araus, J. MacRobert, C. Thierfelder, and B. Prasanna. 2013. Adapting maize production to climate change in sub-Saharan Africa. *Food Security.* 5(3): 1-16.
- Chen, S., P. Hawighorst, J. Sun, and A. Polle. 2014. Salt tolerance in populus: significance of stress signaling networks, mycorrhization, and soil amendments for cellular and whole-plant nutrition. *Environmental and Experimental Botany.* 107: 113-124.
- Daryanto, S., L. Wang, and P.A. Jacinthe. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *Plos One*. 11: 1-15.
- Dhindsa, R.S., P. Plump-Dhindsa, and T.A. Thrope. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany.* 32: 93-101.
- Djaman, K., S. Irmak, W.R. Rathje, D.L. Martin, and D.E. Eisenhauer. 2013. Maize evapotranspiration, yield production functions, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. *Biological Systems Engineering: Papers and Publications.* 56: 373–393.
- Dong, S., Y. Jiang, Y. Dong, L. Wang, W. Wang, Z. Ma, C. Yan, C. Ma, and L. Liu. 2019. A study on soybean responses to drought stress and rehydration. *Saudi Journal of Biological Sciences.* 26: 2006–2017.

- Dorraji, S.S., A. Golchin, and S. Ahmadi. 2010. The effects of hydrophilic polymer and soil salinity on corn growth in sandy and loamy soils. *Clean Soil Air Water.* 38(7): 584-591.
- Dutta, T., N.R.R. Neelapu, S.H. Wani, and C. Surekha. 2019. Chapter 30- Role and regulation of osmolytes as signaling molecules to abiotic stress tolerance. *Plant Signaling Molecules.* 459-477.
- El-Hendawy, S., N. Al-Suhaibani, S. Elsayed, W. Hassan, Y. Dewir, Y. Refay, and K. Abdella. 2019. Potential of the existing and novel spectral reflectance indices for estimating the leaf water status and grain yield of spring wheat exposed to different irrigation rates. *Agricultural Water Management.* 217: 356–373.
- Eneji, A.E., R. Islam, P. An, and U.C. Amalua. 2013. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with super absorbent polymers. *Journal of Cleaner Production.* 52: 474-480.
- Esteban, R., O. Barrutia, U. Artetxe, B. Fernandez-Marin, A. Hernandez, and J.I. Garcia- Plazaola. 2015. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach. *New Phytologist.* 206: 268–280.
- Farahbakhsh, H., A. Pasandi Pour, and N. Reiahi. 2017. Physiological response of henna (*Lawsonia inermise* L.) to salicylic acid and salinity. *Plant Production Science.* 20: 237-247.
- Farooq, M.A., A.K. Niazi, J. Akhtar, Saifullah, M. Farooq, Z. Souri, N. Karimi, and Z. Rengel. 2019. Acquiring control: the evolution of ROS-induced oxidative stress and redox signaling pathways in plant stress responses. *Plant Physiology and Biochemistry.* 141: 353–369.
- Fazeli Rostampour, M., M. Yarnia, R. Farokhzadeh Khoee, M.J. Seghatoleslami, and G.R. Moosavi. 2013. Physiological response of forage sorghum to polymer under water deficit conditions. *Agronomy Journal*. 105(4): 951-959.
- Feng, D., B. Bai, C. Ding, H. Wang, and Y. Suo. 2014. Synthesis and swelling behaviors of yeast-g-poly (acrylic acid) superabsorbent co-polymer. *Industrial and Engineering Chemistry Research.* 53(32): 12760–12769.
- Galeş, D.C., L.C. Trincă, A. Cazacu, C.A. Peptu, and G. Jităreanu. 2016. Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morphophysiological parameters. *Geoderma.* 267: 102–111.
- Giannopolitis, C.N., and S.K. Ries. 1977. Superoxide dismutase. I: Occurrence in higher plant. *Plant Physiology.* 59: 309-314.
- Gill, S.S., N.A. Khan, N.A. Anjum, and N. Tuteja. 2011. Amelioration of cadmium stress in crop plants by nutrients management: morphological, physiological and biochemical aspects. *Plant Stress.* 5: 1-23.
- Hong-Bo, S., C. Li-Ye, A.j. Cheruth, and Z. Chang-Xing. 2008. Water deficit stress induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*. 331: 215-225.
- Iqbal, H., C. Yaning, M. Waqas, M. Shareef, and S.T. Raza. 2018. Differential response of quinoa genotypes to drought and foliage-applied H_2O_2 in relation to

oxidative damage, osmotic adjustment and antioxidant capacity. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 164: 344-354.

- Ismail, H., M. Irani, and Z. Ahmad. 2013. Starch-based hydrogels: present status and applications. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials.* 62(7): 411–420.
- Junttila, S., J. Sugano, M. Vastaranta, R. Linnakoski, H. Kaartinen, A. Kukko, M. Holopainen, H. Hyyppa, and J. Hyyppa. 2018. Can leaf water content be estimated using multispectral terrestrial laser scanning? a case study with Norway spruce seedlings. *Frontiers in Plant Science.* 9: 299.
- Kapoor, D., S. Singh, V. Kumar, R. Romero, R. Prasad, and J. Singh. 2019. Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS). *Plant Gene.* 19: 100182.
- Khadem, S.A., M. Galavi, M. Ramordi, S.R. Mousavi, M.J. Rousta, and P. Rezvani-Moghadam. 2010. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. *Australian Journal of Crop Science.* 4(8): 642-647.
- Li, Y., H. Song, L. Zhou, Z. Xu, and G. Zhou. 2019 a. Vertical distributions of chlorophyll and nitrogen and their associations with photosynthesis under drought and rewatering regimes in a maize field. *Agricultural and Forest Meteorology.* 272–273: 40–54.
- Li, Y., H. Song, L. Zhou, Z. Xu, and G. Zhou. 2019b. Tracking chlorophyll fluorescence as an indicator of drought and rewatering across the entire leaf lifespan in a maize field. *Agricultural Water Management.* 211: 190–201.
- Liang, J., W. Shi, Z. He, L. Pang, and Y. Zhang. 2019. Effects of poly-γ-glutamic acid on water use efficiency, cotton yield, and fiber quality in the sandy soil of southern Xinjiang, China. *Agricultural Water Management.* 218: 48-59.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophlls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio membranes. *Methods in Enzymology.* 148: 350–382.
- Liu, S., Y. Peng, W. Du, Y. Le, and L. Li. 2015. Remote estimation of leaf and canopy water content in winter wheat with different vertical distribution of water-related properties. *Remote Sensing.* 7(4): 4626–4650.
- Mao, S., M.R. Islam, Y. Hu, X. Qian, F. Chen, and X. Xue. 2011. Antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in maize (*Zea mays* L.) following soil application of superabsorbent polymer at different fertilizer regimes. *African Journal of Biotechnology.* 10: 1000-1008.
- Mazloom, N., R. Khorassani, G.H. Zohury, H. Emami, and J. Whalen. 2020. Lignin-based hydrogel alleviates drought stress in maize. *Environmental and Experimental Botany.* 175: 104055.
- Mishra, N.P., R.K. Mishra, and G.S. Singhal. 1993. Change in the activities of anti-oxidant enzymes during exposure of intact wheat leaves to strong visible light at different temperatures in the presence of protein synthesis inhibitors. *Plant Physiology.* 102: 903-910.
- Montesano, F.F., A. Parente, P. Santamaria, A. Sannino, and F. Serio. 2015. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of

growing media and plant growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia.* 4:451–458.

- Moslemi, Z., D. Habibi, A. Asgharzadeh, M.R. Ardakani, A. Mohammadi, and M. Mohammadi. 2011. Response of phytohormones and biochemical markers of maize to super-absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria under drought stress. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences.* 10(5): 787-796.
- Nakano, Y., and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology.* 22: 867-880.
- Nazarli, H., M.R. Zardashti, R. Darvishzadeh, and S. Najafi. 2010. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower under greenhouse condition. *Notulae Scientia Biologicae.* 2(4): 53–58.
- Orikiriza, L.J., H. Agaba, G. Eilu, J.D. Kabasa, M. Worbes, and A. Hüttermann. 2013. Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress. *Journal of Environmental Protection.* 4 (7): 713–721.
- Saha, A., B. Rattan, S. Sreedeep, and U. Manna. 2020. Effect of water absorbing polymer amendment on water retention properties of cohesionless soil. *Advances in Computer Methods and Geomechanics.* 269: 185–195.
- Sayyari, M., and F. Ghanbari. 2012. Effects of super absorbent polymer A200 on the growth, yield and some physiological responses in sweet pepper (*Capsicum Annuum* L.) under various irrigation regimes. *International Journal of Agricultural and Food Research.* 1(1): 1-11.
- Song, H., Y. Li, L. Zhou, Z. Xu, and G. Zhou. 2018. Maize leaf functional responses to drought episode and rewatering. *Agricultural and Forest Meteorology.* 249: 57–70.
- Sreenivasulu, N., B. Grimm, U. Wobus, and W. Weschke. 2000. Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt tolerant and salt sensitive seedlings of foxtail millet (*Setaria italica*). *Physiolgia Plantarum.* 109: 435–442.
- Yang, Y., Z. Tong, Y. Geng, Y. Li, and M. Zhang. 2013. Biobased polymer composites derived from corn stover and feather meals as double-coating materials for controlled-release and water-retention urea fertilizers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 61: 8166-8174.
- Zhang, J., J. Liu, C. Yang, S. Du, and W. Yang. 2016. Photosynthetic performance of soybean plants to water deficit under high and low light intensity. *South African Journal of Botany.* 105: 279–287.
- Zhang, S., G. Zhang, S. Gu, J. Xia, and J. Zhao. 2010. Critical responses of photosynthetic efficiency of goldspur apple tree to soil water variation in semiarid loess hilly area. *Photosynthetica.* 48(4): 589–595.

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.1933322.1811

Effect of Super Absorbent Polymer and Soil Texture Affecting the Physiological Response of Maize (*Zea mays* L.) under Water Deficit Stress

Alireza Moeini[1], Ali Neshat[1*], Najme Yazdanpanah[1] and Amin Pasandi Pour[2]

Received: July 2020 , Revised: 13 February 2021, Accepted: 28 March 2021

Abstract

In order to evaluate the role of super absorbent polymer (SAP) for mitigating the water deficit stress at sandy and clay-loam soils, the effect of five values of SAP (0, 0.1, 0.2, 0.4 and 0.8 $g.kg^{-1}$ soil), three water treatment (the relative soil water content of 80, 60, and 40%) and two soil textures (sandy and clay-loam) on biomass production, photosynthetic pigments, leaf gas exchange parameters, leaf relative water content (RWC), electrolyte leakage (REC), proline content, catalase, super oxide dismutase, and ascorbate peroxidase activity. The experiment was carried out with a factorial arrangement based on complete randomized design in triplicates at the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Kerman, Iran. The results revealed that water deficit stress caused a significant decrease in net photosynthesis rate, leaf stomatal conductance, chlorophyll a+b content, RWC, plant height, and dry matter production of maize. CAT, SOD, APX activity, REC, and proline were elevated with increasing water deficit stress levels. Application of SAP under water deficit stress increased the net photosynthesis (32.3%), stomatal conductance (38%), chlorophyll a+b (23.9%), RWC (11.9%), and dry matter production (24%), while it decreased REC (10.8%), proline content (66.9%), CAT (42.7%), SOD (33.2%), and APX activity (34.3%) as compared to control. It can be concluded that application of SAP (0.8 $g.kg^{-1}$ soil) improved plant growth of maize under water deficit stress through increasing the water holding capacity in soil.

Key words: Antioxidant activity, Dry matter, Net photosynthesis rat, Proline, Relative water content.

1- Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Kerman, Iran.
2- Department of Plant Genetics and Production Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
**Corresponding Author: Neshat@iauk.ac.ir*