تاثیرمحلول‌پاشی پوترسین بر خصوصیات فیزیولوژیک گندم رقم SW-82-9 تحت شرایط تنش قطع آبیاری

Effect of foliar application of putrescine on physiologic characteristics of wheat (*Triticum aestivum L .var* sw _82_9) under cut irrigation stress

زهرا کریمی[1*]، حمیدرضا توحیدی‌مقدم[1] و پورنگ کسرایی[1]

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین- پیشوا، ورامین- ایران.

نویسنده مسوول مکاتبات : karimizahra0000@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۱۲

چکیده

این مطالعه به‌منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی پوترسین بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک گندم رقم SW-82-9 تحت شرایط تنش قطع آبیاری به‌صورت کرت خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار (هر تکرار ۱۲ تیمار) در مزرعه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین - پیشوا اجرا شد. تیمارهای اصلی شامل چهار سطح: آبیاری معمول، قطع آبیاری در مرحله‌ی ساقه‌دهی، قطع آبیاری در مرحله‌ی گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله‌ی زایشی یا پرشدن دانه و عوامل فرعی (محلول‌پاشی پوترسین) شامل محلول‌پاشی با آب مقطر، محلول‌پاشی پوترسین با غلظت ۷۵ و۱۵۰ قسمت در میلیون بود. بیش‌ترین عملکرد و درصد پروتئین در مرحله پرشدن دانه و محلول‌پاشی پوترسین با غلظت۱۵۰ قسمت در میلیون به ترتیب به‌میزان ۵۰۹/۸ کیلوگرم در هکتار و ۸/۶۱ درصد بود درحالی‌که کم‌ترین عملکرد پروتئین در مرحله قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی با ۳۸۷/۰۳ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین درصد پروتئین در مرحله آبیاری معمولی به‌میزان ۶/۵ درصد حاصل شد. بالاترین میزان کلروفیلa، کلروفیلb و کلروفیل کل از تیمار آبیاری معمولی و محلول‌پاشی پوترسین با غلظت ۱۵۰ قسمت در میلیون به‌ترتیب با متوسط ۱/۸۱، ۰/۶۲ و ۲/۴۳ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد که با سایر تیمارهای آبیاری معمول و محلول‌پاشی پوترسین اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین میزان این صفات را تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و محلول‌پاشی با آب خالص به ترتیب با متوسط ۱/۲۴، ۰/۴۹ و۱/۷۳میلی‌گرم بر لیتر به‌خود اختصاص داد. بالاترین و پایین‌ترین میزان هدایت الکتریکی برگ به‌ترتیب از تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و محلول‌پاشی با آب خالص با ۹۴۴/۴۵ میکرومول بر سانتی‌متر و تیمار آبیاری معمول و استفاده از پوترسین حاصل شد. قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد، سبب کاهش میزان کلروفیلa، میزان کلروفیلb، کلروفیل کل و محتوای آب نسبی برگ شد درحالی‌که سبب افزایش میزان پروتئین دانه، پرولین و هدایت الکتریکی برگ گردید و محلول‌پاشی با پوترسین توانست تمام شاخصه‌های فوق را در حد آبیاری معمولی بهبود بخشد.

واژگان کلیدی: پوترسین، گندم، قطع آبیاری، هدایت الکتریکی، میزان پروتئین.

مقدمه

گندم از مهم‌ترین گیاهان زراعی گروه غلات است. در مناطق نیمه‌خشک، کاهش رطوبت خاک در اثر کاهش و توزیع نامناسب نزولات جوی از مهم‌ترین عوامل کاهش رشد و نمو گندم در شرایط دیم به‌شمار می‌رود. مناسب‌ترین نسبت رطوبت موجود در خاک، برای تولید جوانه از بذر گندم بین ۵۰ تا ۶۵ درصد و حداقل آن ۲۵ درصد می‌باشد. خشکی به‌عنوان عامل محدودکننده غیرزنده رشد، اثر نامطلوبی بر رشد و تولید گیاهان زراعی می‌گذارد (Groppa, 2008). در خلال تنش خشکی، رشد گیاه متوقف و میزان صدمه وارده به گیاه به سن فیزیولوژیک، میزان تنش خشکی و گونه گیاهی بستگی دارد. تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ها، کاهش در آب‌گیری کلروپلاست، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل سبب تقلیل فرآیند فتوسنتز می‌گردد (Brdar *et al.*, 2008).

گیاهان به‌منظور حفظ دستگاه فتوسنتزی از آسیب‌های برگشت ناپذیر، نسبت به خشکی سریعاً واکنش نشان می‌دهند. شرایط خشکی شدید، به‌علت کاهش فعالیت روبیسکو منجر به محدودشدن فتوسنتز می‌گردد. بسته به مرحله اعمال تنش، اثرات آنی یا طولانی مدت تنش‌خشکی بر ترکیب بذر، رخ می‌دهد. اثرات آنی تنش خشکی در طی گل‌دهی و بلوغ بذر شامل صدمه به فرآیندهای متابولیک در بذر و غلاف، صدمات حاصل در انتقال آسیمیلات‌ها به دانه و یا افزایش تولید ترکیبات ثانویه نامطلوب می‌باشد. اثرات طولانی مدت تنش خشکی که در طی مرحله رویشی حاصل می‌شود، بر عملکرد و کیفیت نهائی بذر اثر می‌گذارد (Larson and Eastin, 2009). تنش خشکی منجر به جابجایی پروتئین‌های غشایی، از بین‌رفتن خاصیت انتخابی غشای، اختلال در وظایف سلولی و قطع فعالیت آنزیم‌های مستقر در غشا سلولی می‌شود. علاوه بر آسیب دیدگی غشا، فعالیت پروتئین‌های سیتوزولی و ارگانیک نیز ممکن است کاهش و قطع سوخت و ساز سلولی رخ دهد (Mahajan and Tuteja, 2005). پلی‌آمین‌ها، پلی‌کاتیون‌های مهمی هستند که در مراحل مختلف فیزیولوژیک و نموگیاهان نقش دارند. پلی‌آمین‌ها در القای تقسیم سلولی، ریخت‌زائی، نمو گل، میوه، دانه و پیری گیاه نقش دارند. مهم‌ترین پلی‌آمین‌ها شامل اسپرمیدین (تری‌آمین) اسپرمین (تراآمین) و پیش‌ساز آن‌ها پوترسین (دی‌آمین) است (Liu *et al.*, 2006). در گیاهان پلی‌آمین‌ها به‌شکل هم‌یوغ (conjugate) با مولکول‌های آلی دیگر و یا آزاد یافت می‌شوند. اخیرا نقش پلی‌آمین‌ها در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی، از جمله خشکی مورد توجه قرارگرفت. در بسیاری از موارد، تنش به انباشتگی پلی‌آمین‌های آزاد و هم‌یوغ منجر می‌گردد و بیوسنتز پلی‌آمین‌ها یکی از مهم‌ترین پاسخ‌های بیوشیمیایی گیاهان به تنش است. انواع پلی‌آمین‌ها از نظر تأثیر تخفیف تنش با یکدیگر متفاوت هستند. برخی محققان نسبت (اسپرمیدین+ اسپرمین)/ پوترسین را در تعیین پاسخ گیاه به تنش، مهم قلمداد کردند (Martin, 2011).

در کنار مطالعه نقش پلی‌آمین‌های آندوژن در ایجاد تحمل تنش، اثر کاربرد اگزوژن این ترکیبات در القای تحمل نیز در گیاهان مختلف ارزیابی شد. انباشتگی انواع ترکیبات فنلی در شرایط تنش به‌عنوان یک علامت در راه‌اندازی زنجیره‌ای از واکنش‌های دیگر که نهایتا به افزایش تحمل تنش منجر می‌شوند، عمل نماید. به‌رغم وجود دلایل مختلفی در مورد نحوه عملکرد پلی‌آمین‌ها در القای تحمل به تنش، تاکنون نقش احتمالی این ترکیبات از طریق ایجاد تغییرات در فیزیولوژی گیاه تحت شرایط کم‌آبی به‌طور دقیق در گندم مطالعه نگردید. این احتمال وجود دارد که پلی‌آمین‌های اگزوژن از طریق تغییر در سوخت و ساز، هم‌یوغ شدگی و یا انباشتگی فنل‌ها موجب تغییر در تحمل انواع تنش شوند. بنابراین در این مطالعه تاثیر محلول‌پاشی پوترسین بر خصوصیات فیزیولوژیک گندم رقم SW-82-9 تحت شرایط تنش قطع آبیاری بر عملکرد و خصوصیات کیفی گندم صورت گرفت.

مواد وروش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی تاثیر محلول‌پاشی پوترسین بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک گندم رقم SW-82-9 تحت شرایط تنش قطع آبیاری به‌صورت کرت خردشده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و هر تکرار شامل دوازده تیمار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین _ پیشوا اجرا شد. عامل اصلی شامل چهار سطح آبیاری: (I_1) آبیاری معمول مطابق عرف منطقه، (I_2) قطع آبیاری در مرحله‌ی ساقه‌دهی، (I_3) قطع آبیاری در مرحله‌ی گل‌دهی و (I_4) قطع آبیاری در مرحله‌ی زایشی یا پرشدن دانه بود. عامل فرعی محلول‌پاشی پوترسین شامل (F_1) محلول‌پاشی با آب مقطر، (F_2) محلول‌پاشی با پوترسین با غلظت ۷۵ و (F_3) پوترسین با غلظت ۱۵۰ قسمت در میلیون و تیمارها به‌صورت (I_1F_1)، (I_1F_2)، (I_1F_3) و.... بود. مساحت طرح ۷۰۰ مترمربع و مساحت هر کرت ۱۸ مترمربع بود. تعداد خطوط در هر تیمار ۱۰ خط و طول هر خط کاشت ۵ متر، فاصله‌ی بین ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی بین بوته روی ردیف پنج سانتی‌متر بود. خطوط یک و ده، نیم‌متر از بالا و پایین هر طرف به‌عنوان حاشیه بود و در طول دوره رشد مراقبت‌های زراعی لازم اجرا شد. آبیاری به صورت عرف منطقه انجام شد و طبق تعریف تیمارها قطع آبیاری اجرا شد. کود براساس نتایج آزمون خاک به خاک اضافه شد و علف‌های هرز به صورت مکانیکی و شیمیایی حذف گردید. یک سری از صفات فیزیولوژیک به‌صورت ذیل اندازه‌گیری شد.

عملکرد پروتئین- درصدپروتئین

درصد پروتئین دانه با استفاده از روش کجلدال در آزمایشگاه بخش دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح، تهیه نهال و بذر اندازه‌گیری شد. از حاصلضرب درصد پروتئین دانه در عملکرد دانه، عملکرد پروتئین محاسبه شد.

پرولین برگ

برای اندازه‌گیری پرولین محتوی بافت برگ از روش (Abraham *et al.*, 2010) استفاده شد. فاز رویی را که به‌رنگ صورتی کم‌رنگ و حاوی پرولین محلول در تولوئن بود، برداشته و هم‌زمان با نمونه‌های استاندارد در دستگاه اسپکتروفوتومتر قرارگرفت و در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. غلظت پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد.

میزان کلروفیل a، b، ab

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ از روش زیر استفاده شد. مواد آزمایشی شامل: یک گرم برگ خرد شده، یک گرم کتربنات کلسیم، استن خالص، جهت اندازه‌گیتری این عامل از روش (Richardson *et al.*, 2002) استفاده شد.

یک گرم برگ خرد شده به‌همراه یک گرم کربنات کلسیم درون یک هاون چینی مخلوط و میزان ۱۰ سی‌سی استن ۱۰۰ ٪ به‌تدریج به آن اضافه و صاف گردید و درون لوله آزمایش ریخته شد. لوله آزمایش را درون ظرف آب و یخ قرار دادند و محیط آزمایشگاه حدالامکان تاریک گردید تا فعل و انفعالات بیوشیمیایی به‌حداقل ممکن برسد تا استن تبخیر نشود. سپس لوله‌ها را درون دستگاه سانتریفوژ با دور ۲۵۰۰ به مدت دو دقیقه قرار دادند تا عصاره یکنواختی به‌دست آید و هموژن شود، سپس لوله‌ها را خارج کرده یک سی‌سی از آن را با نه سی‌سی استن ۸۰ درصد مخلوط کردند و در داخل سل‌های اسپکتروفتومتر قرار داده شد و در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۷ نانومتر برای کلروفیل b، میزان جذب نور قرائت شد. اعداد مربوط به هر نمونه در فترمول‌های زیر جایگزین گردید تا میزان کلروفیل a، b به‌دست آید (Arnon, 1949).

$$(\text{Chl. a } (mg.L^{-1}) = (12.25*A663 - 2.79*A647)*D)$$
$$(\text{Chl. b } (mg.L^{-1}) = (21.5*A647 - 5.1*A663)*D)$$
$$(\text{Chl.a+b } (mg.L^{-1}) = (7.15*A663 - 18.71*A647)*D)$$

میزان محتوای آب نسبی (RWC)

برای تعیین محتوی نسبی آب برگ‌ها در مراحل آبیاری کامل، نقطه پژمردگی موقت و نقطه پژمردگی کامل، تعداد سه برگ از بالاترین برگ‌های هر بوته در ساعت نه صبح جدا شد و از این برگ‌ها، دیسک دایره‌ای شکل هم‌اندازه تهیه و سریعا با ترازوی دقیق (هزارم گرم) توزین (وزن تر) و نمونه‌ها در آب مقطر قرارگرفت. در تمام این مدت ظرف‌ها سربسته و با دمای ثابت بود. پس از خروج از آب مقطر، سطح نمونه‌ها خشک و توزین شدند (وزن آماس). نمونه‌ها در داخل ظروف آلومینیومی به‌مدت هشت ساعت در آون با دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده تا وزن خشک نیز به دست آمد (Toumi *et al*., 2016).

میزان پایداری غشای سیتوپلاسمی EC

با استفاده از آزمون هدایت الکتریکی که شاخص میزان تراوش مواد از بذر است EC دانه مشخص شد. تعدادی بذر را در داخل آب مقطر قرار گرفت و پس از مدتی با استفاده از دستگاه EC meter میزان EC محلول را اندازه‌گیری شد.

بعد از حصول نتایج، آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه کرده، سپس با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن میانگین‌های آنالیز شد و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار EXCEL نمودارهای مربوطه ترسیم گردید.

نتایج و بحث

درصد پروتئین- عملکرد پروتئین

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده قطع آبیاری و محلول‌پاشی پوترسین و اثرات متقابل آن تاثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر درصد پروتئین داشت (جدول یک).

بیش‌ترین درصد پروتئین از تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و محلول‌پاشی پوترسین با غلظت ۱۵۰ قسمت در میلیون به‌میزان ۸/۶۱ درصد حاصل شد و کم‌ترین درصد پروتئین از تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی با آب خالص با متوسط ۶/۵۱ درصد به دست آمد که با سایر تیمارهای آبیاری معمول و محلول‌پاشی پوترسین اختلاف معنی‌داری نداشت. نتایج این تحقیق نشان داد که پوترسین تحت شرایط تنش به‌عنوان منبع نیتروژن برای گیاه به‌شمار می‌آید و علاوه بر جلوگیری از کاهش عملکرد در شرایط قطع آبیاری، سبب افزایش درصد پروتئین می‌شود زیرا در این شرایط، گیاه نیتروژن آزاد را جمع‌آوری و تبدیل به اسید آمینه می‌کند و با تولید پروتئین از کاهش پروتئین گیاه جلوگیری می‌شود.

آمین و همکاران (Amin, *et al*., 2013) گزارش کردند محلول‌پاشی پوترسین باعث افزایش اسید آمینه تام و در نهایت افزایش درصد پروتئین در گیاه نخود شد که با پژوهش حاضر مطابقت دارد. راهداری و حسینی (Rahdari and Hoseini, 2013) عنوان کردند ۰/۵ میلی‌مول پوترسین می‌تواند منجر به افزایش میزان پروتئین، افزایش عملکرد پروتئین در گندم تحت شرایط تنش گردد. بالاترین عملکرد پروتئین در تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و محلول‌پاشی پوترسین با غلظت ۱۵۰ قسمت در میلیون به‌میزان ۵۰۹/۸ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین میزان عملکرد پروتئین از تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و محلول‌پاشی با آب خالص با متوسط ۳۷۸/۰۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. ازآن‌جایی‌که عملکرد پروتئین از حاصلضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه حاصل می‌شود، بنابراین کاربرد پوترسین با افزایش عملکرد دانه، موجب افزایش عملکرد پروتئین در تیمار قطع آبیاری شد. اثرات ساده نشان داد، با افزایش غلظت پوترسین، عملکرد پروتئین افزایش یافت اما از نظر آماری تفاوت معنی‌داری میان سطوح مختلف محلول‌پاشی پوترسین در شرایط قطع آبیاری مشاهده نشد که با تحقیقات راهداری و حسینی Rahdari and (Hoseini, 2013) مطابقت داشت.

میزان پرولین

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده قطع آبیاری وپوترسین و اثرات متقابل قطع آبیاری و محلول‌پاشی پوترسین اثر معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد بر میزان پرولین برگ داشت. (جدول یک). بالاترین میزان پرولین از تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و محلول‌پاشی پوترسین با غلظت ۷۵ قسمت در میلیون با متوسط ۰/۰۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه گیاه به‌دست آمد که با تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و محلول‌پاشی با آب خالص اختلاف معنی‌داری داشت. در هنگام تنش پرولین به‌عنوان مخزن ذخیره نیتروژن و یا ماده محلولی که پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می‌دهد عمل می‌نماید و تحمل گیاه را در برابر تنش افزایش می‌دهد. به‌نظر می‌رسد در شرایط بروز تنش، افزایش تولید پرولین موجب بالا رفتن فشار اسمزی داخل سلول شد و از تأثیرات منفی تنش کم‌آبی در فرآیند طبیعی سلول جلوگیری نمود. این نتایج مشخص کردکه پرولین به عنوان تنظیم کننده اسمزی، معمولی‌ترین پاسخ گیاه تحت شرایط خشکی می‌باشد. با افزایش میزان محلول‌پاشی با پوترسین گیاه از سنتز پرولین جلوگیری کرد. نتایج حاصل با نتایج وندریوسکولا و همکاران (Vendruscolo *et al.*, 2007) در گندم هم‌خوانی دارد. در تایید نتایج این تحقیق، تاتار و گرورک (Tatar and Gevrek, 2008) عنوان کردند میزان پرولین گیاه گندم تحت شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد.

میزان کلروفیل a، b، ab

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول یک) نشان داد میزان کلروفیل a تحت تاثیر اثرات ساده قطع آبیاری و محلول‌پاشی پوترسین قرارگرفت و اختلافات به‌وجود آمده از نظر آماری درسطح یک درصد معنی‌دار شد، اما اثرات متقابل تاثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a نداشت. بالاترین میزان کلروفیلa، از تیمار آبیاری معمول به میزان ۱/۷۸ میلی‌گرم بر لیتر و کم‌ترین مقدار از تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه با متوسط ۱/۲۴ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. تغییرات در محتوای کلروفیل برگ‌ها تحت شرایط تنش خشکی ممکن است که در نتیجه پراکسیداسیون آن‌ها توسط رادیکال‌های آزاد اکسیژن باشد (Wang *et al.*, 2003). در بررسی شاخص‌های فلوئورسانس کلروفیل نشان داد که کاهش مقدار کلروفیل a در طی تیمار کم‌آبی دلیل عمده کاهش ظرفیت برانگیختگی فتوسیستم II می‌باشد به‌گونه‌ای که افزایش معنی‌دار مقدار کلروفیل a با کاربرد پلی‌آمین‌های اگروژن در شرایط قطع آبیاری موجب افزایش ظرفیت برانگیختگی فتوسیستم II می‌شود. مقدار کلروفیل a در مراکز واکنشی یکی از عوامل تعیین‌کننده کارآیی عملی یا ظرفیت برانگیختگی فتوسیستم II است (Oxborough, 2004).

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس کلروفیل b و کلروفیل کل تحت تاثیر اثرات ساده قطع آبیاری و محلول‌پاشی پوترسین و اثرات متقابل آن قرارگرفتند و اختلافات حاصل از لحاظ آماری در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول یک). بالاترین میزان کلروفیل b و کلروفیل کل از تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی پوترسین با غلظت ۱۵۰ قسمت در میلیون به‌ترتیب با متوسط ۶۲ /۰ و ۲/۴۴۳ میلی‌گرم بر لیتر و کم‌ترین میزان از تیمار قطع آبیاری درمرحله پرشدن دانه و محلول‌پاشی با آب خالص با متوسط ۰/۴۹ و ۱/۷۳۶ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد که با تیمار توقف آبیاری در مرحله پرشدن دانه و محلول‌پاشی پوترسین با غلظت ۷۵ قسمت در میلیون تفاوت معنی‌داری نداشت. تحقیقات حاجی بلند ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که کاربرد خارجی پوترسین سبب افزایش میزان کلروفیل‌ها در گیاهان تحت شرایط تنش گردید. این امر می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد که پوترسین با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانتی گیاهان از تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و صدمه به سیستم فتوسنتزی گیاهان تحت تنش جلوگیری می‌کند.

میزان محتوی نسبی آب برگ (RWC)

نتایج نشان داد اثرات ساده آبیاری بر صفت محتوی نسبی آب برگ از نظر آماری RWC تاثیر معنی‌داری درسطح یک درصد داشت. تفاوتی بین سطوح مختلف محلول‌پاشی پوترسین در شرایط قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر صفت محتوی نسبی آب برگ مشاهده نشد و همگی در یک گروه آماری قرارگرفتند (جدول یک). نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد اثرات متقابل قطع آبیاری و محلول‌پاشی پوترسین بر محتوی نسبی آب برگ RWC تاثیر معنی‌داری داشت و اختلافات در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. بالاترین میزان محتوی نسبی آب برگ از تیمارهای آبیاری معمول و محلول‌پاشی پوترسین با غلظت ۷۵ قسمت در میلیون با متوسط ۷۸/۷۱ درصد به‌دست آمد که با سایر تیمارهای آبیاری معمول و محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول سه). کم‌ترین میزان محتوی نسبی آب برگ از تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و محلول‌پاشی با آب خالص به‌میزان ۷۰/۴۱ درصد بود. ال طایب El-Tayeb, (2006) بیان نمود که تنش خشکی منجر به کاهش محتوی نسبی آب برگ در ارقام مختلف ماش شد. کاهش در محتوی نسبی آب برگ در طول شرایط تنش کم‌آبی توسط محققان برای بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش گردید (Gubis *et al*., 2007).

میزان پایداری غشای سیتوپلاسمی EC

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده آبیاری محلول‌پاشی پوترسین و اثرات متقابل آنها بر پایداری غشای سیتوپلاسمی در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول یک). بالاترین میزان پایداری غشای سیتوپلاسمی از تیمار قطع در مرحله پرشدن دانه و محلول‌پاشی با آب خالص ۹۴۴/۴۵ میکرومول بر سانتی‌متر حاصل شد. کم‌ترین میزان پایداری غشای سیتوپلاسمی از تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی پوترسین با غلظت ۱۵۰ قسمت درمیلیون با متوسط ۶۸۰/۱۵ میکرومول بر سانتی‌متر بود. با افزایش میزان پایداری غشای سیتوپلاسمی در شرایط تنش می توان نتیجه گرفت که کمبود آب و تنظیم پتانسیل اسمزی برگ با ذخیرهٔ املاح و یون‌های معدنی و اسیدهای آلی و مواد قندی و رنگیزه‌های محلول در آب همراه است که تجمع این ترکیبات نوعی مقابله با کمبود آب را در گیاه القای می‌کند که باعث کاهش مقاومت غشای سیتوپلاسمی می‌شود که در اثر تنش خشکی فسفولیپیدهای غشای سلولی حالت گرانوله شده و منافذی در ساختار غشا ایجاد می‌کند که این امر موجب ناپایداری غشای سلولی می‌گردد که نتیجه آن نشت محتویات درون سلولی به فضای بین سلولی است. در همین رابطه چندراسکار و همکاران (Chandrasekar *et al.*, 2000) نشان دادند که تنش خشکی سبب کاهش پایداری غشای سیتوپلاسمی از طریق افزایش تراوش غشای سیتوپلاسمی در تمام مراحل رشدی می‌گردد. از این رو با افزایش میزان مصرف پوترسین، تحمل گیاه در برابر رادیکال‌های آزاد ناشی از قطع آبیاری افزایش داشت و با کاهش میزان پراکسیداسیون چربی‌های غشای میزان پایداری غشای سیتوپلاسمی برگ کاهش یافت. پیش تیمار پوترسین در تنش کم‌آبی، موجب افزایش تحمل به تنش کم‌آبی و بازیابی رشد گندم گردید. نتایج این تحقیقات با نتایج آزمایشات سایر محققان تطبیق دارد (Stadler *et al*., 2015).

نتیجه‌گیری

توقف آبیاری در مراحل مختلف رشد سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه، میزان کلروفیلa، میزان کلروفیلb، کلروفیل کل و محتوی نسبی آب برگ شد در حالی‌که میزان پروتئین دانه، پرولین و پایداری غشای سیتوپلاسمی افزایش داشت و محلول‌پاشی با پوترسین توانست تمام شاخصه‌های فوق را بهبود بخشد.

جدول ۱- تجزیه واریانس برخی از صفات فیزیولوژیک گندم

Table 1. Analysis of variance some physiologic characteristics of wheat

		میانگین مربعات (M S)							
	درجه آزادی df	پایداری غشای E.C	میزان پرولین Prolin	محتوای آب نسبی برگ (RWC)	کلروفیلa+b Chlorophyll (a+b)	کلروفیلb Chlorophyll	کلروفیلa Chlorophyll	عملکرد پروتئین Protein yield	درصد پروتئین Protein (%)
تکرار Replication	2	3.09^{ns}	0.000002^{ns}	0.184^{ns}	0.0001^{ns}	0.000008^{ns}	0.002^{ns}	162.96^{ns}	0.004 ^{ns}
آبیاری Irrigation	3	103110.64**	0.001**	104.39**	0.664**	0.021**	116.43**	7782.45*	4.93 **
خطای عامل اصلی The main error	6	10.005	0.00001	0.085	0.0001	0.00001	0.005	172.05	0.001
محلول پاشی پوترسین Putrescine foliar application	2	5628.14**	0.0001**	1.56ns	0.022**	0.001**	0.532**	7247.28*	0.323 **
آبیاری × محلول پاشی پوترسین Putrescine foliar application x Irrigation	6	647.88*	0.00003*	1.26*	0.100*	0.010**	0.045^{ns}	3132.81**	0.048*
خطای عامل فرعی	16	197.81	0.000008	1.24	0.001	0.0001	0.062	2102.90	0.031
ضریب تغییرات C.V		1.79	12.52	1.49	2.07	2.23	2.13	10.50	2.34

به ترتیب فاقد اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ (ns , * ، **)

In turn, no significant difference, significant difference at 5 % level and 1 % levels ns, *,**

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های اثرات ساده آبیاری و محلول‌پاشی پوترسین بر روی برخی از صفات فیزیولوژیک گندم

Table 2. The mean comparison effect of normal irrigation and putrescine folliar application on some characteristics of wheat

	هدایت الکتریکی برگ ($\mu s.cm^{-1}$) E.C	میزان پرولین ($mg.g^{-1}FW$) Proline	محتوای آب نسبی برگ(%) RWC	کلروفیلa+b ($mg.L^{-1}$) Chlo a+b	کلروفیلb ($mg.L^{-1}$) Chlo.b	کلروفیلa ($mg.L^{-1}$) Chlo.a	عملکرد پروتئین ($kg.ha^{-1}$) Pr.Y	درصد پروتئین (%)Pr
آبیاری								
آبیاری نرمال Normal irrigation	681.12d	0.010d	78.54a	2.41a	0.614a	1.79a	424.18 b	6.60 d
قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی withholding irrigation in stem elongation	718.82c	0.018c	75.68b	2.22b	0.596b	1.63b	429.20 b	7.32 c
قطع آبیاری در مرحله گلدهی withholding irrigation in flowering	819.01b	0.025b	72.72c	2.04c	0.561c	1.48c	413.20 b	7.78 b
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه withholding irrigation in grain filling	919.33a	0.037a	70.76d	1.77d	0.504d	1.26d	479.47 a	8.35 a
محلول پاشی پوترسین Putrescine foliar application								
محلول پاشی با آب خالص foliar application Water	806.66a	0.025a	74.03a	2.068b	0.556b	1.511b	411.15b	7.35c
محلول پاشی پوترسین با غلظت ۷۵ppm Putrescine foliar application(75 ppm)	783.68b	0.025a	74.51a	2.118a	0.570a	1.547a	455.61ab	7.51b
محلول پاشی پوترسین با غلظت ۱۵۰ppm Putrescine foliar application(150 ppm)	763.37c	0.019b	74.74a	2.154a	0.580a	1.575a	480.23a	7.67a

No significant difference at 5 % level Duncan for means which have the same letters in each column

میانگین های داده شده در هر ستون که دارای حروف مشترک می باشند، تفاوتشان از نظر آماری در سطح پنج درصد دانکن معنی دار نیست.

جدول ۳ -مقایسه میانگین های اثرات متقابل آبیاری و محلول پاشی پوترسین بر روی برخی از صفات فیزیولوژیک گندم

Table 3- The mean comparison reciprocal effect of normal irrigation and putrescine foliar application on some characteristics of wheat

آبیاری	محلول پاشی	هدایت الکتریکی برگ $E.C(\mu s.cm^{-1})$	میزان پرولین $(mg.g^{-1}FW)$ Proline	محتوای آب نسبی برگ(%)RWC	کلروفیل a+b $(mg.L^{-1})$	کلروفیل b $(mg.L^{-1})$	کلروفیل a $(mg.L^{-1})$	عملکرد پروتئین $(kg.ha^{-1})$ Pr.Y	درصد پروتئین (%)Pr
آبیاری نرمال **Normal irrigation**	محلول پاشی با آب خالص	681.95i	0.010d	78.51a	2.386a	0.610a	1.780a	408.80bc	6.51h
	محلول پاشی پوترسین با غلظت ۷۵ppm	681.27i	0.010d	78.71a	2.410a	0.613a	1.793a	422.53bc	6.58h
	محلول پاشی پوترسین با غلظت ۱۵۰ppm	680.15i	0.010d	78.40a	2.433a	0.620a	1.810a	441.20abc	6.70h
قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی **withholding irrigation in stem elongation**	محلول پاشی با آب خالص	744.70g	0.020c	75.08b	2.163c	0.580b	1.586c	402.10c	7.10g
	محلول پاشی پوترسین با غلظت ۷۵ppm	720.80h	0.020c	75.79b	2.240b	0.600a	1.640b	431.40bc	7.34fg
	محلول پاشی پوترسین با غلظت ۱۵۰ppm	690.96i	0.016c	76.18b	2.280b	0.610a	1.673b	454.10abc	7.51ef
قطع آبیاری در مرحله گلدهی **withholding irrigation in flowering**	محلول پاشی با آب خالص	855.53d	0.030b	72.13cde	1.986e	0.546d	1.440e	387.03c	7.67de
	محلول پاشی پوترسین با غلظت ۷۵ppm	811.24e	0.026b	72.79cd	2.046de	0.560cd	1.486de	416.80bc	7.80d
	محلول پاشی پوترسین با غلظت ۱۵۰ppm	790.26f	0.020c	73.25c	2.096d	0.576bc	1.523d	435.77abc	7.88cd
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه **withholding irrigation in grain filling**	محلول پاشی با آب خالص	944.45a	0.040a	70.41e	1.736g	0.490f	1.240g	446.67abc	8.11bc
	محلول پاشی پوترسین با غلظت ۷۵ppm	921.41b	0.043a	70.75e	1.776fg	0.506ef	1.270fg	481.93ab	8.33b
	محلول پاشی پوترسین با غلظت ۱۵۰ppm	892.12c	0.030b	71.13de	1.806f	0.516e	1.293f	509.80a	8.61a

میانگین های داده شده در هر ستون که دارای حروف مشترک می باشند، تفاوتشان از نظر آماری در سطح پنج درصد دانکن معنی دار نیست.

No significant difference at 5 % level Duncan for means which have the same letters in each column.

References **منابع**

حاجی‌بلند، ر.، ابراهیمی، ن. ۱۳۹۰. تأثیر پلی‌آمین‌های اگزوژن بر رشد، فتوسنتز و متابولیسم فنل‌ها در گیاه توتون تحت تنش شوری. مجله زیست‌شناسی گیاهی، ۳ (۸) :۱۳-۲۶.

Ábrahám, E., Hourton-Cabassa, C., Erdei, L., and Szabados, L. 2010. Methods for Determination of Proline in Plants in: Plant Stress Tolerance, Methods in Molecular Biology 639, R. Sunkar (ed.), Springer Science+Business Media, LLC 2010.

Amin, A.A., Gharib, F.A., Abouziena, H.F., and Mona, G., Dawood, M. 2013. Role of Indole-3-butyric Acid or/and Putrescine in Improving Productivity of Chickpea (*Cicer arientinum L.*) Plants. Pakistan Journal of Biological Sciences, 16: 1894-1903.

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in (Beta vulgaris L) .Plant physiology, 24:1-150.

Bates, I.S., Waldern, R.P., Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free praline for water stress studies. Plant and Soil.39: 205-207.

Brdar, M., Marija, D., Karljevic-Balalic, M., and Broislav, D.K. 2008. The parameters of grain filling and yield component in common wheat (*Tiriticum aestivum L.*) and durum wheat (*Tiriticum turgidum* L.var. *durum*). Central. Europ. J. Biol.3(1):75-82.

Chandrasekar, V., Sairam, R.K., and Srivastava, G.C. 2000. Physiological and Biochemical response of hexaploid and tetraploid wheat to drought stress. Journal of Agronomy and crop science: 185: 219-225.

El-Tayeb, M.A. 2006. Differential response of two *Vicia faba* cultivars to drought: growth, pigments, lipid peroxidation, organic solutes, catalase and peroxidase activity. Acta Agronomica Hungary 54: 25-37.

Groppa, M.D., Benavides, M.P. 2008 . Polymines and abiotic stress: recent advances in Amino Acids. Plant physiology 34:35-45.

Gubis, J., Van kova, R., Cervena, V., Dragunova, M., Hudcovicova, M., Lichtnerova, H., Dokupil, T., Jurekova, Z. 2007. Transformed tobacco plants with increased tolerance to drought. South African Journal of Botany 73, 505–511.

Kerepesi, I., Galiba, G. 2000. Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. Crop Science 40: 482-487.

Larson, K.L., Eastin, J.D. 2009. Drought injury and resistance in crop. GSSA special publication Crop science of America. Madison, Wisconnsin. pp.70-85.

Liu,J., B., Yu, J., and Liu, Y.L. 2006. Effect of spermdine and spermine levels on salt tolerance associated with tonoplast H^+ ATPase and H^+ PPase activities in barely roots. Plant. Growth. Regul. 49(119):1-9.

Mahajan, S., Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 444: 139-158.

Martin-Tanguy, J. 2011. Metabolism and function of polyamines in plants: recent development (new approaches). Plant Growth Regulation, 34:135-148.

Oxborough, K. 2004. Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. Journal of Experimental Botany 55:1195-1205.

Rahdari, P., Hoseini, S.M. 2013. Roll of Poly Amines (Spermidine and Putrescine) on Protein, Chlorophyll and Phenolic Compounds in Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salinity Stress. J. Nov. Appl. Sci.2:746-751.

Richardson, A.D., Duigan, S.P., Berlyn, G.P. 2002. An evaluation of non invasive methods to estimate foliar chlorophyll content. New Phytol 153: 185–194.

Stadler, A., Rudolph, S., Kupisch, M., Langensiepen, M., Kruk, J.V.D., Ewert, F. 2015. Quantifying the effects of soil variability on crop growth using apparent soil electrical conductivity measurements Euro J Agr. 64: 8-20.

Toumi, J., Er-Raki, S., Ezzahar, J., Khabba, S., Jarlan, L., Chehbouni. A. 2016. Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. Agri. Water. Manage.163; 219-235.

Vendruscolo, A.C.G., Schuster, I., Pileggi, M., Scapim, C.A., Molinari, H.B.C., Marur, C.J., and Vieira, L.G.C. 2007. Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat, J. Plant. Physiol. 164(10): 1367-1376.

Wang, W., Vinocur, B., and Altman, A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta. 218:1-14.