به زراعی کشاورزی
دوره ۲۰ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۷
صفحه‌های ۷۳۵-۷۱۹

اثر سطوح سوپرجاذب آکوازورب بر رشد رویشی و زایشی نارنگی پیج تحت شرایط تنش خشکی

زینب رفیعی راد[1*]، احمد گلچین[2]، یحیی تاجور[3]، جواد فتاحی مقدم[4]

۱. دانشجوی دکتری، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۲. استاد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۳. استادیار، مؤسسهٔ تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکدهٔ مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران.
۴. دانشیار، مؤسسهٔ تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکدهٔ مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۳

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب کشور ایران، به‌کارگیری روش‌های نوین حفظ و ذخیره آب، مانند استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب در خاک، یکی از راه‌کارهای مقابله با مشکل کم‌آبی می‌باشد. به‌همین منظور، جهت بررسی تأثیر سوپرجاذب بر رشد رویشی و زایشی نارنگی پیج در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری رامسر در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورها شامل سه سطح تنش خشکی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و پلیمر سوپرجاذب (صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد وزنی) بودند. نتایج نشان داد با افزایش تنش خشکی میزان نشت یونی، پرولین، ترکیدگی میوه و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) افزایش یافت. همچنین، در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، مصرف ۰/۵ درصد سوپرجاذب، به‌ترتیب موجب افزایش معنی‌دار ۶۰، ۱۵، ۲۳ و ۸۷/۵ درصدی محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل، پتانسیل آب برگ، عملکرد میوه و کاهش معنی‌دار ۶۵ و ۲۲ درصدی نشت یونی و کل مواد جامد محلول (TSS) نسبت به شرایط بدون مصرف سوپرجاذب شد. بنابراین به‌نظر می‌رسد سوپرجاذب با نگهداری آب غیر قابل استفاده، می‌تواند تحمل‌پذیری مرکبات را در مقابله با تنش رطوبتی افزایش دهد.

کلیدواژه‌ها: پتانسیل آب برگ، ظرفیت زراعی، عملکرد، کلروفیل کل، مواد جامد محلول کل (TSS).

* نویسنده مسئول
Email: z_rafierad83@yahoo.com

www.SID.ir

۱. مقدمه

مرکبات یکی از مهم‌ترین محصولات باغی با فرایند درازمدت و تدریجی تولید میوه بوده که به تنش خشکی حساس است. از آن‌جایی‌که بیشتر مساحت ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک با منابع آب محدود تشکیل می‌دهد، در صورتی‌که حداقل نیاز آبی گیاه فراهم نشود، گیاه با تنش خشکی مواجه شده و صدمات جبران‌ناپذیری به محصول وارد می‌آید (Montazer, 2008). در شمال ایران نیز به‌دلیل توزیع نامناسب بارش در طول فصل رشد، مرکبات با خشکی روبرو می‌شوند که اثرات زیان‌بار آن در مناطق کوهپایه‌ای و دامنه‌های اراضی شمالی کاملاً مشهود است. یکی از ارقام مهم تجاری مرکبات در شمال کشور، نارنگی رقم پیج بوده که از تلاقی نارنگی مینئولا تانجلو[1] با کلمانتین[2] حاصل شده‌است. قاعده میوه نارنگی پیج غالباً برآمدگی جزئی داشته که به آن ناف می‌گویند. ارقام ناف‌دار بیش از سایرین به شرایط خشکی حساس بوده و از محل ناف دچار ترک‌خوردگی می‌شوند (Fotouhi Ghazvini & Fattahi Moghadam, 2006).

خشکی باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه می‌شود که شروع آن با کاهش پتانسیل اسمزی در سطح سلول همراه است. رشد رویشی و عملکرد درختان میوه در شرایط تنش خشکی با تغییر در میزان فتوسنتز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین، با افزایش تنش خشکی در بسیاری از درختان میوه، مقدار متابولیت‌های ثانویه تغییر می‌کند. در این شرایط، مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی مانند پرولین با صرف انرژی زیاد در گیاه تجمع یافته و انرژی که می‌توانست برای رشد برگ‌ها استفاده شود، صرف کاهش پتانسیل اسمزی می‌شود (Xoconostle-Cazares *et al.*, 2010). یکی دیگر از اثرات فیزیولوژیک تنش خشکی، کاهش میزان کلروفیل برگ است. در پژوهشی که روی پنج پایه تجاری مرکبات تحت تنش خشکی انجام گرفت به کاهش محتوای رنگدانه کلروفیل برگ اشاره شد (Fifaei *et al.*, 2015).

در شرایط تنش خشکی به‌دلیل اختلال در انتقال الکترون در فتوسیستمII فتوسنتز، انواع اکسیژن فعال تولید می‌شود. این نوع از اکسیژن فعال با تخریب اسیدهای چرب غیراشباع، ترکیباتی نظیر مالون دآلدئید تولید می‌کنند که برای سلول ایجاد مسمومیت می‌کنند. با تجمع مالون دآلدئید، نفوذپذیری غشای پلاسمایی و در نتیجه نشت یونی افزایش می‌یابد (Nair *et al.*, 2008). مهم‌ترین و مناسب‌ترین شاخصی که تنش خشکی را در گیاه نشان می‌دهد، پتانسیل آب در بافت‌های گیاهی است که علاوه بر اهمیت آن در انتقال آب، معیار بسیار مفیدی از وضعیت آبی گیاهان نیز محسوب می‌شود. پایین‌تر بودن این شاخص اغلب نشان‌دهنده تمایل بافت به جذب آب بیشتر است. پژوهش انجام‌شده روی برگ لیمو، کاهش پتانسیل آب برگ را در شرایط تنش خشکی نشان می‌دهد (Ortuno *et al.*, 2005).

تأثیرپذیری میوه نسبت به سایر اندام‌های رویشی در پاسخ به تنش خشکی، نظر بسیاری از محققین را به‌خود جلب کرده است. تنش خشکی بر کمیت و کیفیت میوه بسیاری از درختان تأثیر می‌گذارد و موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود زیرا آب قابل دسترس گیاه، یکی از فاکتورهای مهم افزایش عملکرد می‌باشد (El-hady & Wanas, 2006). همچنین، گیاه در شرایط تنش‌خشکی، با حفظ آماس سلولی از طریق تنظیم اسمزی و به‌دنبال آن تجمع مواد قابل حل در میوه طی دوره رشد، موجب افزایش خواص کیفی از جمله مواد جامد محلول[3] و

1. Minneola tangelo
2. Clementine
3. Total Soluble Solids

www.SID.ir
Archive of SID

اسیدیته قابل تیتراسیون[1] می‌شود. افزایش این شاخص‌های کیفی در شرایط تنش خشکی در میوه پرتقال سالوستیانا[2] گزارش شده است (Garcia-Tejero *et al.*, 2010). یکی از اثرات منفی تنش خشکی در مرکبات، ترکیدگی میوه بعد از یک دوره تنش خشکی بوده که این وضعیت در میوه‌های نافدار همچون پیج کاملاً مشهود است. شدت این عارضه فیزیولوژیکی به عوامل اقلیمی به‌ویژه میزان رطوبت مربوط می‌شود. میوه‌های ترک‌خورده مستعد پوسیدگی بوده و قابلیت انبارداری خود را از دست می‌دهند. در نتیجه ارزش اقتصادی آن‌ها کاهش خواهد یافت. به‌منظور کاهش ترکیدگی و زیان اقتصادی ناشی از آن، باید آب مورد نیاز گیاه در مراحل مختلف رشد تأمین شود (Hoffmann *et al.*, 2009).

امروزه به‌منظور افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب، از تکنیک‌های پیشرفته استفاده می‌شود. یکی از روش‌های نوین، استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب[3] (SAP) یا ژل‌های پلیمری آب‌دوست می‌باشد. این پلیمرها می‌توانند مقادیر بسیار زیادی آب را با سرعت جذب کرده و در اثر خشک شدن محیط، آب ذخیره‌شده در ساختار خود را به‌تدریج در اختیار گیاه قرار دهند. بدین ترتیب خاک به‌مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد مرطوب می‌ماند (Arbona *et al.*, 2005). ذرات پلیمر سوپرجاذب تا رسیدن به حجم تعادلی خود متورم می‌شوند و به‌دلیل داشتن اتصالات عرضی در شبکه پلیمری، تورم باعث انحلال آن نمی‌شود. مقدار pH سوپرجاذب حدود ٦ تا ٧ بوده و هیچ‌گونه سمّیتی برای خاک و گیاه ندارد. اصلاح محیط ریشه گیاه به‌وسیله این پلیمرها، نتایجی مانند افزایش نگهداری آب و مواد معدنی در محیط رشد گیاه، بهبود بافت خاک، افزایش نفوذ آب، افزایش جوانه‌زنی و رشد سریع‌تر گیاهان را در بر خواهد داشت (Wu *et al.*, 2008).

در زمینه به‌کارگیری سوپرجاذب‌ها در شرایط تنش خشکی روی چند گونه درختی پژوهش‌هایی انجام شده است. نتایج یکی از این پژوهش‌ها روی صنوبر نشان داد که با افزودن پلیمر سوپرجاذب به خاک، رطوبت در محدوده ظرفیت زراعی حفظ شد که باعث افزایش محتوای نسبی آب و کلروفیل کل در گیاهان مورد آزمایش گردید (Shi *et al.*, 2010). پژوهش دیگری که روی نهال‌های کاریزوسیترنج و کلئوپاترا ماندارین (Arbona *et al.*, 2005) انجام شد نشان داد که اختلاط پلیمر سوپرجاذب با خاک، میزان جذب آب و محتوای کلروفیل برگ را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. از جمله مکانیسم‌هایی که گیاه در شرایط تنش خشکی اعمال می‌کند، افزایش مواد جامد محلول و اسیدیته قابل‌تیتراسیون میوه است. مواد سوپرجاذب با فراهم‌نمودن رطوبت برای خاک و گیاه در شرایط کم‌آبی موجب کاهش این دو شاخص کیفی میوه می‌گردند. نتایج پژوهش روی موز تأییدکننده این مطلب است (Barakat *et al.*, 2015).

به‌دلیل واقع‌شدن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان و بروز خشکسالی‌های پی‌درپی طی سال‌های اخیر و با توجه به اهمیت مرکبات در شمال کشور، تاکنون پژوهش‌های متعددی در زمینه تأثیر تنش کم‌آبی بر فرایندهای فیزیولوژیکی و حساسیت رشد رویشی و زایشی مرکبات صورت گرفته است، اما در زمینه استفاده از مواد جاذب رطوبت مانند پلیمرهای سوپرجاذب، به‌منظور جلوگیری از نفوذ عمقی آب محیط ریشه و افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک در مرکبات، پژوهشی انجام نشده است. لذا این پژوهش در نظر دارد، تأثیر همزمان سطوح مختلف تنش خشکی و کاربرد سوپرجاذب آکوازورب را بر رشد و برخی ویژگی‌های

1. Titratable Acidity
2. Salustiano
3. Super Absorbent Polymer

www.SID.ir
Archive of SID

کمی و کیفی نارنگی پیج به‌عنوان یک رقم تجاری نارنگی مورد بررسی قرار دهد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. موادگیاهی و انجام تیمارها

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و پلیمر سوپرجاذب بر برخی شاخص‌های رشد رویشی و زایشی در نارنگی پیج[1]، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری کشور در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. ابتدا نهال‌های پنج ساله نارنگی پیج روی پایه نارنج انتخاب و در داخل گلدان‌های پلاستیکی ۱۰ لیتری قرار داده شدند. براساس نتایج تجزیه خاک، بافت خاک مورد استفاده در این پژوهش لومی، هدایت الکتریکی ۰/۳۸ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته گل اشباع ٦/٨ و میزان کربن آلی ۱/٤٨ درصد بود. بستر کشت شامل ترکیب خاک منطقه، کود دامی پوسیده و ماسه به‌ترتیب با نسبت ۱:۱:۲ بود و هر گلدان با پلیمرهای سوپرجاذب در مقادیر صفر به‌عنوان شاهد، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد وزنی بستر کشت (معادل صفر، ۵ و ۱۰ گرم به‌ازای هر دو کیلوگرم بستر کشت)، مخلوط شد. پلیمر سوپرجاذب مورد استفاده در این پژوهش، بر پایه پتاسیم و ساخت شرکت SNF فرانسه بود که هیچ‌گونه سمیتی برای خاک و محیط‌زیست ندارد.

تیمار تنش خشکی با سه سطح، ۱۰۰ درصد (بدون تنش)، ۷۵ درصد (تنش خفیف) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) و با استفاده از دستگاه صفحات فشاری مدل (1500 pF-1, USA) در طول آزمایش اعمال شد. به‌منظور اعمال سطوح مختلف تنش خشکی، ابتدا پلیمرسوپرجاذب با مقادیر ذکرشده و در سه تکرار به نمونه‌هایی از بستر کاشت اضافه شد و نمونه‌ها بعد از اشباع شدن با آب در دستگاه صفحات فشاری و در مکش یک سوم بار قرار داده شدند. پس از خارج شدن آب ثقلی، نمونه‌ها از دستگاه خارج و پس از توزین، در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک شدند و درصد رطوبت وزنی در نقاط تعیین‌شده ظرفیت مزرعه برای هر سطحی از پلیمر تعیین گردید. برای اعمال سطوح تنش خشکی، گلدان‌ها در فاصله‌های زمانی معین (هر دو روز یک‌بار) توسط ترازوی دیجیتالی وزن شدند و با محاسبه کاهش وزن هر کدام از گلدان‌ها و اضافه نمودن آب مصرفی، تیمارهای مورد نظر اعمال شد و هر گلدان در وزن تیمار مربوطه ثابت نگه داشته شد. مقدار آب مصرفی نیز بر حسب سانتی‌متر مکعب یادداشت شد. در طول مدت آزمایش (چهار ماه)، مراقبت‌های لازم در خصوص کنترل آفات و بیماری‌ها انجام شد.

۲.۲. ارزیابی شاخص‌های رشد گیاه

در پایان دوره آزمایش، نمونه‌برداری از برگ‌های انتهایی و جوان آغاز شد. به‌منظور ارزیابی میزان نشت یونی غشای سلولی، ابتدا ۰/۵ گرم برگ به ابعاد یک سانتی‌مترمربع برش داده شد. سپس به درون لوله آزمایش حاوی ۱۵ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر منتقل و به‌مدت یک ساعت در دمای اتاق با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه تکان داده شد و هدایت الکتریکی اولیه محلول (EC_1)، با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج مدل (SG3-FK2, China) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۵ دقیقه اتوکلاو و هدایت الکتریکی ثانویه (EC_2) قرائت شد. مقدار نشت یونی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Korkmaz *et al.*, 2010).

$$\text{درصد نشت یونی} = (EC_1 / EC_2) \times 100 \qquad (۱)$$

برای محاسبه محتوای کلروفیل کل، مقدار ۰/۲ گرم نمونه

1. *Clementine* × *Minneola tangelo*

Archive of SID
www.SID.ir

برگ در مجاورت ۱۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد در هاون ساییده و به‌مدت پنج دقیقه در ۱٤۸۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از افزودن پنج میلی‌لیتر استن به‌محلول فوق، با آب مقطر دوبار تقطیر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده و با استفاده از اسپکتروفوتومتر (اسپکتروفوتومتر JENWAY مدل UV-650) میزان جذب (A) در طول موج‌های ٤۷۰، ٦٤٥ و ٦٦۳ قرائت شد. بعد از محاسبه مقدار رنگدانه‌های کلروفیل a و b (رابطه‌های ۲ و ۳)، مقدار کلروفیل کل طبق رابطه (٤) محاسبه شد (Pietrini *et al.*, 2005).

$$Chl_a(mg/gFW) = 12.7\ A_{663} - 2.63\ A_{645} \quad (۲)$$

$$Chl_b = 22.9\ A_{645} - 4.68\ A_{663} \quad (۳)$$

$$Chl_{total} = Chl_a + Chl_b \quad (٤)$$

به‌منظور تعیین محتوای نسبی آب برگ[1] (RWC) قطعات یک سانتی‌متری از برگ تهیه و بعد از اندازه‌گیری وزن تر آن‌ها، نمونه‌ها به‌مدت ۵ ساعت در آب و شرایط تاریکی و دمای ٤ درجه سلسیوس قرار داده شدند. بعد از تعیین وزن آماس و سپس وزن خشک (دمای ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ٤۸ ساعت) محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Korkmaz *et al.*, 2010).

$$\text{محتوای نسبی آب برگ} = \frac{\text{(وزن خشک برگ – وزن تر برگ)}}{\text{(وزن خشک برگ – وزن آماس برگ)}} \times ۱۰۰ \quad (۵)$$

برای سنجش پرولین، ۲ میلی‌لیتر نمونه برگی استخراج‌شده با سولفوسالیسیلیک اسید با ۲ میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک‌اسید، مخلوط و به حمام آب‌گرم (به‌مدت یک ساعت) منتقل شدند. با اضافه کردن ٤ میلی‌لیتر تولوئن و جداسازی دو فاز از طریق ورتکس، میزان جذب فاز رویی عصاره استخراج‌شده با استفاده از اسپکتروفوتومتر (NanoDrop مدل ND-1000 UV-VS) در طول موج ۵۲۰ نانومتر محاسبه شد (Allen & Ort, 2001).

محاسبه پتانسیل آب برگ از طریق دستگاه محفظه فشاری (Pressure chamber، مدل A35) انجام شد. به‌این منظور، ابتدا در مرحله رشد سریع میوه تا زمان برداشت، از بالاترین برگ گیاه چندین بار نمونه‌برداری شد، سپس با اعمال فشار به محض خروج اولین قطره آب از انتهای دمبرگ، عدد مربوط به پتانسیل آب کل (فشار تعادلی) برحسب مگاپاسکال (MPa) ثبت شد (Ferrat & Lovat, 1999).

۳.۲. ارزیابی شاخص‌های مربوط به میوه

با شروع فصل بهره‌برداری از درختان مرکبات، میوه‌ها در ماه آذر برداشت شدند. برای تعیین عملکرد کل هر درخت بعد از برداشت میوه‌ها، با استفاده از ترازوی دیجیتال مدل (GF6000, Japan) وزن میوه‌های برداشت‌شده بر حسب گرم ثبت شد. بعد از برآورد میانگین عملکرد گیاهان در هر تکرار، میانگین عملکرد هر گیاه ثبت شد.

جهت تعیین درصد ترک‌خوردگی پوست میوه، کل میوه‌های سالم و ترک‌خورده شمارش شده و طبق رابطه (٦) محاسبه شد.

$$\text{درصد ترک خوردگی} = \frac{\text{تعداد کل میوه‌های ترک خورده}}{\text{کل میوه‌ها}} \times ۱۰۰ \quad (٦)$$

با استخراج آب‌میوه، مواد جامد محلول (TSS) به‌وسیله دستگاه رفراکتومتر چشمی (Mini Digital مدل Master-53α) اندازه‌گیری شد (Chachin, 1986).

برای تعیین اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، نمونه‌های رقیق‌شده آب میوه با سود ۰/۲ نرمال در حضور معرف فنل فتالئین تیتر شده و بصورت درصد اسیدیته

1. Relative Water Content

Archive of SID
www.SID.ir

قابل‌تیتراسیون براساس اسید غالب میوه نارنگی پیچ یعنی اسید سیتریک بیان گردید.

برای اندازه‌گیری میزان جذب آب توسط سوپرجاذب، وزن مشخصی از سوپرجاذب (حدود ۰/۵ گرم) درون مقدار مشخصی آب در دمای اتاق و به‌مدت ۲ ساعت غوطه‌ور شد. پس از آن به‌وسیله توری، آب جذب‌نشده از دانه‌ها جدا و ژل به‌دست آمده وزن شد. میزان جذب آب از طریق رابطه (۷) به‌دست آمد، که در این آزمایش میزان جذب آب بر گرم سوپرجاذب خشک ۱۰۷/۴۲ گرم بود (Wu *et al.*, 2008).

(۷) میزان آب برگرم سوپرجاذب = وزن سوپرجاذب پس از جذب آب – وزن سوپرجاذب خشک / وزن سوپرجاذب خشک

میزان تورم دانه‌ها نیز با غوطه‌ورکردن ۲ گرم سوپرجاذب در آب مقطر به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سلسیوس، اندازه‌گیری شد. پس از این مدت دانه‌ها از آب خارج شده و به‌وسیله کاغذهای جاذب، آب اضافی آن‌ها گرفته و وزن شد. این آزمایش سه بار تکرار شد و در نهایت میانگین وزن دانه‌های متورم‌شده به‌دست آمد. از معادله زیر برای به‌دست آوردن میزان تورم دانه‌ها استفاده شد، در این آزمایش مقدار تورم دانه‌ها، ۳۱ گرم بر گرم وزن خشک دانه‌ها بود (Abd El-Rehim, 2005).

(۸) میزان تورم دانه‌ها (گرم/گرم) = (وزن خشک دانه‌ها– وزن تر دانه‌ها) / وزن تر دانه‌ها

پس از اجرای آزمایش، آنالیز واریانس داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه۹/۰) انجام شد. مقایسه میانگین هر صفت با استفاده از آزمون توکی و در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. اثر سطوح خشکی و سوپرجاذب بر شاخص‌های رشد

۱.۱.۳. نشت یونی

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر ساده سطوح خشکی و سوپرجاذب بر میزان نشت یونی در سطح یک درصد و همچنین برهمکنش آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بررسی اثر متقابل سطوح خشکی و سوپرجاذب نیز نشان داد که کاربرد ۰/۵ درصد سوپرجاذب در تنش خشکی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی کمترین میزان نشت یونی (۷/۶ درصد) را داشت که بیان‌کننده تنش کمتر در این تیمار می‌باشد (جدول ۲).

حفظ یکپارچگی غشای سلولی در شرایط تنش، نشانه‌ای از وجود مکانیزم‌های کنترلی نشت مواد به خارج سلول می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که کمبود آب با ایجاد تنش اکسیداتیو منجر به تولید انواع اکسیژن فعال در کلروپلاست و در نتیجه تخریب غشا توسط فرایند پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌شود. به‌طورکلی در شرایط تنش، بعضی از قسمت‌های فسفولیپیدهای دو لایه‌ای غشا، حالت هگزاگونال (شش وجهی) پیدا می‌کند و ساختار غشا به ساختار منفذدار با مقاومت کم تبدیل شده و محتویات سلول به بیرون ریخته می‌شود. در این شرایط مقدار ماده تِرهالوز که وظیفه استحکام غشای سلولی را دارد، کاهش می‌یابد (Mascher *et al.*, 2005). افزایش میزان نشت یونی در برگ‌های نارگیل (Gomesa *et al.*, 2010) و سیب (Yang *et al.*, 2009) در شرایط تنش خشکی، با نتایج این پژوهش مشابه است. همچنین، به‌نظر می‌رسد که طبق نتایج پژوهش حاضر، سوپرجاذب می‌تواند با کاهش نوسانات رطوبتی در شرایط کم‌آبی، با حفظ آب مورد نیاز گیاه از طریق ممانعت از بسته‌شدن روزنه‌ها، تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن، تجمع مواد درون سلول و تراوش آن به بیرون، پایداری غشای سیتوپلاسمی را افزایش داده و نشت الکترولیت‌ها را کاهش

Archive of SID
www.SID.ir

دهد. نتایج تأثیر سوپرجاذب بر کاهش میزان نشت یونی در شرایط خشکی با پژوهش بر روی پنبه (Fallahi *et al.*, 2015) و فلفل شیرین (Sayyari & Ghanbari, 2012) مطابقت می‌نماید.

۲.۱.۳. کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر سطوح خشکی، سوپرجاذب و همچنین برهمکنش آن‌ها بر شاخص کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بررسی اثر متقابل سطوح مختلف خشکی و سوپرجاذب نیز نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل کل در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد با مصرف ۰/۵ درصد وزنی سوپرجاذب مشاهده شد (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان کرد زمانی‌که گیاه با تنش آبی مواجه می‌شود، الکترون‌های آب در فتوسیستمII کاهش یافته و عدم تأمین الکترون‌های فتوسیستمI به‌وسیله فتوسیستمII، باعث اختلال در سیستم فتوسنتزی گیاه شده و منجر به کاهش کلروفیل می‌شود. در واقع تنش خشکی می‌تواند با افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و تشدید سرعت تجزیه آن، مانع از بیوسنتز کلروفیل گردد و محتوای کلروفیل را به‌میزان چشمگیری کاهش دهد (Jiao *et al.*, 2010). همچنین کاهش کلروفیل در شرایط کم‌آبی، با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول مرتبط می‌باشد. این رادیکال‌ها با کاهش میزان کلروفیل، موجب پراکسیداسیون و از هم‌پاشیدگی سلول می‌شوند (Nazarli *et al.*, 2010). طبق بررسی‌های انجام‌شده بر روی پسته (Ranjbar, 2017) نشان داده شد که تنش خشکی منجر به کاهش میزان کلروفیل برگ گردید.

به‌طورکلی پلیمرهای سوپرجاذب می‌توانند خصوصیات فیزیکی خاک را بهبود ببخشند و از آنجایی‌که مواد سوپرجاذب قابلیت جذب و نگهداری آب و سایر محلول‌ها را دارند، می‌توانند از شستشوی ازت در اطراف ریشه گیاه ممانعت کرده و باعث افزایش محتوای کلروفیل گردند (Yazdani *et al.*, 2007). تأثیر مثبت پلیمرهای سوپرجاذب بر کاهش اثرات سوء ناشی از تنش خشکی و در نتیجه افزایش میزان کلروفیل برگ در نتایج به‌دست‌آمده از گیاه قهوه (Liu *et al.*, 2016) و زیتون (Moriana *et al.*, 2012) تأییدکننده نتایج این پژوهش می‌باشد. همچنین دوام و ماندگاری کلروفیل در شرایط تنش توسط مواد سوپرجاذب در گیاه آفتابگردان نیز گزارش شده است (Nazarli *et al.*, 2010).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تنش خشکی و سوپرجاذب بر صفات مورد بررسی در نارنگی پیج

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین‌مربعات								
		نشت یونی	کلروفیل کل	محتوای نسبی آب برگ	پرولین	پتانسیل آب برگ	عملکرد میوه	ترکیدگی میوه	کل مواد جامد محلول (TSS)	اسیدیته قابل‌تیتراسیون (TA)
خشکی	۲	۳۱۶۵/۸**	۱/۲۳**	۱۸۳۱/۳**	۰/۱۷**	۰/۷۳**	۱۲۵۴۹/۱**	۳۵۲۸/۲**	۶/۲^{ns}	۶۷/۶۵**
سوپرجاذب	۲	۲۴۷/۸**	۵/۴۵**	۱۷۱۲/۱**	۰/۱*	۰/۰۵**	۴۸۲۴/۱**	۳۶۱۸/۸**	۱۱/۸۳^{ns}	۱۲/۶^{ns}
خشکی × سوپرجاذب	۴	۸۵/۶۸*	۱۶/۴۹**	۶۱/۷۶**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۳**	۳۴۴/۹*	۱۹۵۳/۴**	۱۴/۴۴*	۳/۶۳**
خطا	۱۸	۲۰/۲۲	۰/۱۸	۱۳/۰۶	۰/۰۱۸	۰/۰۰۳	۱۰۸/۶	۱۹/۴	۶/۷	۸/۱۸
ضریب‌تغییرات (٪)		۱۷/۴	۵/۱	۵/۲	۱۰/۸	۹/۹	۱۲/۸	۲۶/۷	۱۲/۳	۱۵/۳

**، * و ns: معنی‌دار در سطح ۱ و۵ درصد و عدم معنی‌داری.

Archive of SID
www.SID.ir

۳.۱.۳. محتوای نسبی آب برگ (RWC)

اثرات ساده و متقابل سطوح خشکی و سوپرجاذب بر میزان محتوای نسبی آب برگ در سطح خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). برهمکنش سطوح مختلف خشکی و سوپرجاذب بر این شاخص نشان داد که در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد و کاربرد ۰/۵ درصد وزنی سوپرجاذب، بیشترین محتوای نسبی **آب برگ** مشاهده شد (جدول ۲).

یکی از مهمترین عوامل حفظ بقای گیاه در شرایط تنش، توانایی گیاه درحفظ آب سلولی از طریق افزایش مقدار RWC می‌باشد. کاهش میزان RWC گیاه در شرایط تنش خشکی، با کاهش میزان رطوبت خاک مرتبط است. افزایش مقاومت روزنه‌ای و به‌دنبال آن کاهش تعرق به دلیل تولید آبسزیک اسید در ریشه‌ها، افزایش جذب و انتقال آب و همچنین افزایش کشسانی دیواره سلول از علل مهم حفظ RWC در شرایط کم‌آبی می‌باشد (Elsheery & Cao, 2008). در همین رابطه، تأثیر تنش آبی بر کاهش RWC و پتانسیل آب برگ بر روی سیب (Jie *et al.*, 2010) و انبه (Elsheery & Cao, 2008) مورد بررسی قرار گرفته است.

در حقیقت سوپرجاذب می‌تواند با ذخیره مقادیر قابل ملاحظه‌ای آب در ساختار خود، باعث حفظ رطوبت خاک و گیاه شده و اثرات تنش خشکی بر میزان RWC را کاهش دهد. بنابراین افزایش RWC با کاربرد سوپرجاذب را می‌توان به نقش مثبت این پلیمرها در جذب بیش‌تر آب نسبت داد. به‌طوری‌که تیمارهای با مقادیر زیاد سوپرجاذب، قادرند در شرایط تنش شدید، مقدار RWC را در سطح بالایی نگه داشته و از صدمات کمتر ناشی از پسابیدگی (از دست‌دادن آب) و کاهش محتوای آب برخوردار گردند. نتایج پژوهش بر روی درختان زیتون (Chehaba *et al.*, 2017) و نهال‌های جوان مرکبات (Arbona *et al.*, 2005) نشان داد که مصرف سوپرجاذب، میزان RWC گیاه را در شرایط تنش کم‌آبی افزایش داد. در گزارش دیگری که بر روی آفتابگردان انجام شد نیز به افزایش RWC با مصرف سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی اشاره شده است (Nazarli *et al.*, 2010).

۳. ۱. ٤. پرولین

نتایج نشان داد که بین سطوح مختلف خشکی از نظر مقدار پرولین تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱). به‌طوری‌که کمترین تجمع پرولین (۱/۱ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ) در تیمار شاهد مشاهده شد. نتایج جدول ۲ نشان داد که بیشترین مقدار پرولین در شرایط تنش خشکی شدید و تیمار فاقد پلیمر سوپرجاذب (۱/٤۹ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ) مشاهده شد.

یکی از مکانیسم‌های مؤثر گیاه در شرایط کم‌آبی، تنظیم اسمزی است. پرولین یکی از اسیدهای آمینه فعال در پدیده تنظیم اسمزی است که در حفظ و ایجاد فشار اسمزی نقش بسیار زیادی دارد (Ahmadi & Ceiocemardeh, 2004). این متابولیت‌ها با واکنش‌های بیوشیمیایی سلول‌ها تضادی ندارد و به‌عنوان حلال‌های سازگار نامیده می‌شوند. می‌توان بیان کرد که پرولین از طریق تنظیم اسمزی، ممانعت از تخریب آنزیم‌ها و حذف رادیکال‌های هیدروکسیل، تحمل‌پذیری گیاه را در برابر تنش خشکی افزایش می‌دهد. در واقع پرولین به‌عنوان منبع نیتروژن و کربن برای گیاهان تحت تنش شدید عمل می‌کند و به گیاه کمک می‌کند که در دوره کوتاهی بعد از اعمال تنش خشکی، زنده بماند و بتواند بعد از رفع تنش، رشد خود را بازیابی کند (Xoconostle-Cazares *et al.*, 2010). در پژوهش‌های متعدد، به ارتباط تنش خشکی و افزایش پرولین برگ اشاره شده‌است که در این زمینه می‌توان به پژوهش انجام‌شده روی سیب (Sircelj *et al.*,

Archive of SID
www.SID.ir

2007) و انبه (Elsheery & Cao, 2008) اشاره کرد که با نتایج حاصل نیز همخوانی دارد.

در این پژوهش استفاده از پلیمر سوپرجاذب، تجمع پرولین را در تمام سطوح خشکی کاهش داد. در توجیه نتایج حاصل می‌توان بیان کرد که پلیمرهای سوپرجاذب با در اختیار گذاشتن آب به‌صورت تدریجی برای گیاه در شرایط کم‌آبی، مانع از وقوع تغییرات رطوبتی شده و باعث حفظ پتانسیل فشاری و خاصیت جذب آب سلول می‌گردند. در این شرایط از تجزیه پروتئین‌ها و افزایش فعالیت آنزیم پرولین اکسیداز ممانعت به‌عمل می‌آید (Ahmadi & Ceiocemardeh, 2004). پژوهش بر روی برگ‌های قهوه (Liu *et al.*, 2016) و آفتابگردان (Nazarli *et al.*, 2010) نشان داد که به‌کارگیری پلیمر سوپرجاذب، تجمع پرولین را در شرایط تنش خشکی کاهش می‌دهد.

۵.۱.۳. پتانسیل آب برگ

طبق نتایج جدول ۱، اثرات ساده تنش خشکی و سوپرجاذب و همچنین برهمکنش خشکی و سوپرجاذب بر پتانسیل آب برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد. برهمکنش سطوح خشکی و سوپرجاذب نشان داد که در شرایط تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، کاربرد ۰/۵ درصد وزنی سوپرجاذب باعث افزایش ۲۳ درصدی پتانسیل آب برگ نسبت به تیمار بدون مصرف سوپرجاذب گردید (جدول ۲).

یکی از مهمترین مکانیسم‌های مقاومت به خشکی در گیاهان، بهبود شرایط اسمولیتی سلول و افزایش پتانسیل اسمزی و به‌دنبال آن افزایش پتانسیل آب برگ می‌باشد. پتانسیل آب برگ معیار بسیار مناسبی برای تعیین وضعیت انرژی و نیروی محرک آب برای گیاهان است. کاهش میزان پتانسیل آب برگ از جمله عوامل ایجاد پژمردگی برگ‌ها در شرایط تنش کم‌آبی محسوب می‌شود. پژمردگی برگ‌ها موجب از دست رفتن آماس و بسته‌شدن روزنه‌های برگ می‌شود (Waseem *et al.*, 2011). همچنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان این‌گونه استنباط کرد که تجمع متابولیت‌هایی مانند پرولین برگ در شرایط تنش، باعث کاهش پتانسیل آب برگ و ایجاد شیب پتانسیل آب نسبت به محیط بیرون شده‌است که در چنین حالتی، جذب آب توسط گیاه امکان‌پذیر بوده و پایین نگه‌داشتن پتانسیل آب برگ، سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی شده‌است. زیتون از جمله گیاهانی است که در هنگام خشکی با پایین نگه‌داشتن پتانسیل آب می‌تواند در برابر تنش خشکی مقاومت کند (Gómez-del-Campo, 2013). نتایج مشابه مبنی بر کاهش پتانسیل آب برگ در شرایط تنش خشکی روی لیمو (Ortuno *et al.*, 2005) گزارش شده است.

کاربرد سوپرجاذب نقش بسیار مهمی را در افزایش پتانسیل آب برگ ایفا می‌کند. در واقع هنگام تنش، پلیمرسوپرجاذب با بهبود وضعیت آب خاک و قراردادن آب در اختیار گیاه، سبب نگهداری آب بیشتر درون بافت‌ها به‌خصوص بافت برگ شده و در نتیجه از کاهش پتانسیل آب و نزول فشار آماس جلوگیری می‌کند. پژوهش‌های متعددی در زمینه افزایش پتانسیل آب برگ با مصرف سوپرجاذب در شرایط کم‌آبی انجام شده‌است که می‌توان به مرکبات (Arbona *et al.*, 2005) و درختان جنگلی (Al-Humaid & Moftah , 2007) اشاره کرد.

۲.۳. اثر سطوح خشکی و سوپرجاذب بر شاخص‌های مربوط به میوه

۱.۲.۳. عملکرد میوه

نتایج جدول ۱ نشان داد که اثرات ساده خشکی و سوپرجاذب بر شاخص عملکرد میوه در سطح یک درصد و برهمکنش خشکی و سوپرجاذب در سطح پنج درصد

www.SID.ir
Archive of SID

معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج شکل ۱ نشان داد که در تمامی سطوح تنش خشکی با افزایش مصرف سوپرجاذب، روند افزایشی در میزان عملکرد مشاهده شد و حداکثر مقدار عملکرد (۱۳۷/۱ گرم در هر درخت) در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد و بستر حاوی ۰/۵ درصد وزنی سوپرجاذب مشاهده شد. تنش خشکی با کاهش تورژسانس گیاه موجب کم‌شدن رشد و نمو سلول‌ها و جریان دی‌اکسید کربن و کربوهیدرات از غشای سلولی می‌شود. همچنین، در وضعیت خشکی شدید، جریان شیره خام متوقف شده و مقاومت هیدرولیکی گیاه افزایش می‌یابد. در این شرایط گیاه با تنش بیشتری مواجه شده و عملکرد کمتری را نسبت به تیمارهای بدون تنش خشکی نشان می‌دهد (El-hady & Wanas, 2006). در پژوهش انجام‌شده روی انار (Palou *et al.*, 2013) کاهش عملکرد میوه در شرایط تنش خشکی به‌خوبی قابل مشاهده است.

با افزودن سوپرجاذب به خاک، امکان دسترسی ریشه گیاه به آب و عناصر غذایی افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که ترکیبات محلول در آب با وزن مولکولی کم، مانند عناصر غذایی می‌توانند با اتصال به سوپرجاذب و آزاد شدن تدریجی، جذب ریشه گیاه گردند و اثرات تنش خشکی را کاهش دهند (Anjum *et al.*, 2011). نتایج پژوهش‌های انجام‌شده نشان داد که گیاه با قرار گرفتن در شرایط مناسب رطوبتی، می‌تواند از توانایی خود برای تولید محصول بیشتر استفاده کند. بنابراین سوپرجاذب با در اختیار قرار دادن رطوبت ذخیره‌شده در ساختار خود به گیاه و تأثیر مثبت بر وزن و اندازه میوه، می‌تواند موجب افزایش عملکرد شود (Barakat *et al.*, 2015).

در شکل ۱، عملکرد میوه با افزایش شدت تنش خشکی همراه با افزایش مصرف سوپرجاذب، روند صعودی را نشان می‌دهد. این می‌تواند به‌دلیل بهبود ساختمان خاک و کاهش شستشوی املاح به‌خاطر کم‌شدن حجم آب خروجی از خاک گلدان‌ها در شرایط کم‌آبی باشد (Talaii & Asadzadeh, 2005). همچنین در شرایط تنش خشکی، میوه‌های رشدیافته در بستر همراه با سوپرجاذب، با در اختیار داشتن ذخیره آبی بیشتر برای فتوسنتز و فعالیت‌های آنزیمی، می‌توانند میوه‌های بزرگ‌تر با میزان آب بیشتر همراه با اسیدیته قابل تیتراسیون کمتر نسبت به شرایط بدون مصرف سوپرجاذب تولید کنند و میزان عملکرد میوه را افزایش دهند (Talaii & Asadzadeh, 2005). نتایج پژوهش بر روی زیتون (Talaii & Asadzadeh, 2005) افزایش عملکرد میوه با مصرف سوپرجاذب را در شرایط تنش خشکی نشان داده که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد.

شکل ۱. اثر سطوح مختلف تنش خشکی و سوپرجاذب بر میزان عملکرد میوه

Archive of SID
www.SID.ir

۲.۲.۳. ترکیدگی میوه

اثر سطوح مختلف خشکی و پلیمر سوپرجاذب و برهمکنش آنها بر میزان ترکیدگی میوه نارنگی پیج در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۱). مطابق جدول ۲، در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، بدون کاربرد سوپرجاذب بیشترین میزان ترکیدگی میوه با میانگین (۹۳/٦۷ درصد) مشاهده شد. ترکیدگی میوه، از جمله اختلالات فیزیولوژیکی است که با تغییرات شدید رطوبت خاک، رطوبت نسبی، دمای هوا، وضعیت آب میوه و تغییر در وضعیت تورژسانس میوه مرتبط می‌باشد. در شرایط آب‌وهوایی خشک، خاصیت الاستیسیته (ارتجاعی) پوست میوه تا حدی کاهش می‌یابد. به‌طورکلی ترکیدگی میوه، زمانی‌که حالت کششی کوتیکول پوست و مقاومت آن بسیار ضعیف می‌شود با حرکت سریع آب و قندها به سمت میوه مرتبط می‌باشد. طی پژوهش‌های انجام‌شده بر روی میوه گرمسیری سیب جاوا (Lu & Lin, 2011) سه عامل مهم، کل مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) و کاهش پتانسیل آب برگ در شرایط تنش خشکی سبب ترکیدگی میوه شدند که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. از طرفی با توجه به‌اینکه ارقام ناف‌دار به دلیل ناهمسانی بافتی ناف و یکسان نبودن بخش‌های مختلف آن نسبت به فشار داخلی میوه، بیشتر از بقیه ارقام دچار ترکیدگی می‌شود، می‌توان حساسیت نارنگی پیج به ترکیدگی در شرایط تنش خشکی را توجیه کرد.

با توجه به اینکه ترکیدگی میوه می‌تواند مربوط به خسارت‌هایی باشد که در اثر تنش خشکی به پوست میوه وارد می‌شود، محققان معتقدند که کاربرد مواد سوپر جاذب می‌تواند با افزایش محتوای رطوبت بافت‌های گیاهی، کشیدگی و یا انبساط اپیدرم را کاهش داده، دیواره سلولی را ضخیم کند و ترک‌خوردگی میوه را کاهش دهد (Guichard *et al.*, 2001). این مواد با قابلیت جذب فوق‌العاده بالای آب، می‌توانند یک مخزن آب اضافی در خاک ایجاد کنند و مانع از ترکیدگی میوه گردند. نتایج پژوهش انجام‌شده بر روی میوه گیلاس، کاهش ترکیدگی پوست میوه را با افزایش مصرف پلیمر سوپرجاذب نشان می‌دهد (Szwonek, 2012).

۳.۲.۳. کل‌مواد‌جامد محلول (TSS)

تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که تنها برهمکنش سطوح خشکی و سوپرجاذب بر میزان کل مواد جامد محلول در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بوده و هیچکدام از اثرات ساده معنی‌دار نشد. مطابق جدول ۲، در کلیه سطوح خشکی با افزایش میزان سوپرجاذب، کل مواد جامد محلول کاهش یافت. بیشترین مقدار مواد جامد محلول نیز در شرایط تنش شدید آبی و بدون کاربرد سوپرجاذب با میانگین ۱۷/٦۷ درصد بریکس مشاهده شد. در توجیه نتایج بالا می‌توان گفت علت اصلی افزایش مواد جامد محلول در شرایط تنش خشکی، مقابله با کاهش پتانسیل اسمزی می‌باشد. در این شرایط میزان ذخیره آب دریافتی توسط میوه کاهش می‌یابد و با کاهش فعالیت آنزیم اینورتاز (آنزیمی که ساکاروز را به گلوکز و فروکتوز تجزیه می‌کند) مقدار قند و در نتیجه مواد جامد محلول افزایش می‌یابد (Sayyari & Ghanbari, 2012). با توجه به نتایج پژوهش حاضر اگرچه تنش خشکی موجب بهبود این صفت کیفی در نارنگی پیج گردید، اما میوه‌ها به‌دلیل اندازه کوچک، از نظر ویژگی‌های کمی و کیفی وضعیت نامطلوبی داشتند. پژوهش روی پرتقال والنسیا (Perez-Perez *et al.*, 2008) نشان داد که تنش خشکی موجب افزایش مواد جامد محلول گردید. نتایج مشابهی نیز روی انار در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Laribi *et al.*, 2013).

www.SID.ir
Archive of SID

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف خشکی و سوپرجاذب بر برخی صفات رشدی گیاه و شاخص‌های میوه نارنگی پیج

خشکی (ظرفیت زراعی)	سوپرجاذب (درصد وزنی خاک)	صفات						
		نشت یونی (٪)	کلروفیل کل (mg/gFW)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	پرولین (mg/gFW)	پتانسیل آب برگ (MPa)	ترکیدگی میوه (%)	کل‌موادجامد محلول (TSS) (°B)
۱۰۰	۰	۱۱/۰۹e	۷/۰۸c	٤۹/۰۹c	۱/۲۲bcd	−۰/۳۹b	۰d	۱٤/۵۲abc
	۰/۲۵	۹/۵٦e	۸/٤۳b	٦۰/٤۲ab	۱/۰۹cd	−۰/۳٤ab	۰d	۱۲/٦۳bc
	۰/۵	۷/۰٦e	۹/۵۱a	۷۱/۸۲a	۱d	−۰/۲۸a	۰d	۱۱/۲۷c
۷۵	۰	۲۵/۲۷d	۵/۲۹e	۲٦/۷۸e	۱/۳۷ab	−۰/۵۵d	۲۳/۳۳b	۱٦/٤۸ab
	۰/۲۵	۲۱/۱۲d	٦/۲۵d	۳۹/٤۰d	۱/۲۰bcd	−۰/۵cd	۹/٦٦c	۱٤/٦۰abc
	۰/۵	۲۰/۵۳d	۵/۹۷d	۵۵/۲۹b	۱/۲۱bcd	−۰/٤۲bc	۰d	۱۳/۳۷abc
۵۰	۰	۵۷/۳۸a	٤/۱۲g	۲۰/۹۲f	۱/٤۹a	−۱f	۹۳/٦۷a	۱۷/٦۷a
	۰/۲۵	٤٦/٦۲b	٤/۵۵fg	۳۵/۸۵d	۱/۳۵ab	−۰/۹f	۲۰b	۱٤/۷۳abc
	۰/۵	۳٤/٦۸c	٤/۸۷ef	۵۲/۱۸bc	۱/۲۹abc	−۰/۷۷e	۱/٦٦d	۱٤/۵۲abc

* میانگین‌هایی که درهر ستون با حروف مشابه نشان داده شده‌اند، از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار ندارند.

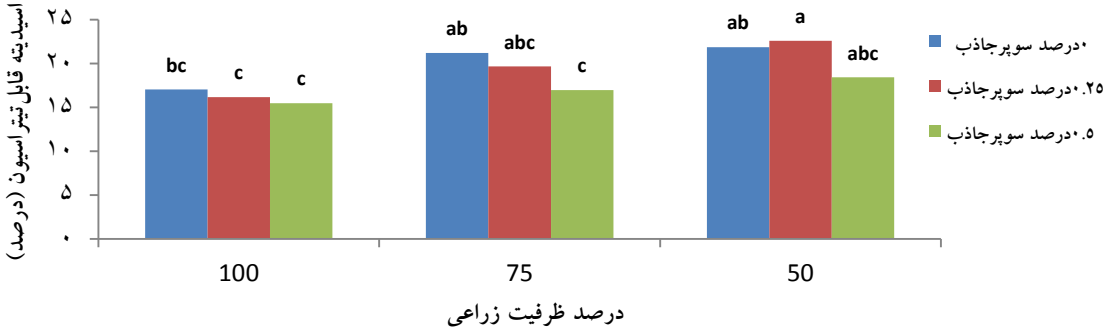
در حقیقت بالارفتن مواد جامد محلول عکس‌العملی است که گیاه در مقابله با تنش خشکی و کم‌آبی از خود نشان می‌دهد. بنابراین، استفاده از مواد جاذب رطوبت مانند سوپرجاذب می‌تواند با افزایش ظرفیت نگهداری و ذخیره رطوبت در خاک و دسترسی تدریجی آن برای گیاه از افزایش مواد جامد محلول جلوگیری به‌عمل آورد. نتایج تأثیر سوپرجاذب بر شاخص کل مواد جامد محلول روی موز نشان داد که درصد مواد جامد محلول در پالپ میوه، تحت تأثیر تیمارهای سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی کاهش یافت (Barakat *et al.*, 2015).

٤.۲.۳. اسیدیته قابل‌تیتراسیون (TA)

تجزیه آماری داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر سطوح خشکی و برهمکنش خشکی و سوپرجاذب بر درصد اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۲) نشان داد که در تمامی تیمارهای خشکی با افزایش مصرف سوپرجاذب میزان TA کاهش یافت و کمترین مقدار آن با میانگین (۱۵/٤۷ درصد) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد ۰/۵ درصد وزنی سوپرجاذب مشاهده شد. به‌طورکلی در تیمارهایی که تحت شرایط تنش کنترل‌شده بودند، تنش خشکی شرایطی را به‌وجود می‌آورد که موجب افزایش TA شود. در شرایطی که گیاه آب کمتری در دسترس داشته باشد، به‌دلیل تحریک ریشه‌های مویین، این صفت در گیاه افزایش می‌یابد. پژوهش انجام‌شده روی پرتقال ناول (Al-Rousan *et al.*, 2012) و والنسیا (Perez-Perez *et al.*, 2008) نشان داد که تنش خشکی موجب افزایش TA شد.

اسیدیته قابل تیتراسیون در سلول‌های گیاهی با یکسری از واکنش‌ها شامل افزایش فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز و نرم‌شدن دیواره سلولی گیاه مرتبط می‌باشد. در واقع TA نقش مهمی را در انتقال و هدایت سیگنال‌های آنزیم پلی‌گالاکتروناز بازی می‌کند.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲. اثر سطوح مختلف تنش خشکی و سوپرجاذب بر میزان درصد اسیدیته قابل تیتراسیون

در زمینه ارتباط بین فاکتور TA و افزایش ترکیدگی میوه، مطالعاتی بر روی میوه گرمسیری سیب جاوا (Lu & Lin, 2011) انجام شد. از آنجایی‌که میوه‌های نارنگی پیج در شرایط تنش شدید آبی، بیشترین درصد ترکیدگی و TA را داشتند، می‌توان نتایج به‌دست‌آمده را توجیه کرد. همچنین بر اساس شکل ۲، با توجه به این‌که شاخص TA در تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی با مصرف ۰/۵درصد وزنی سوپرجاذب با تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون مصرف سوپرجاذب تفاوت معنی‌دار نشان نداد، بنابراین می‌توان به‌منظور حفظ خواص کیفی میوه با کاربرد سوپرجاذب در شرایط کم‌آبی در مصرف آب صرفه‌جویی کرد.

٤. نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد ۰/۵ درصد وزنی سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی شدید، باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل، پتانسیل آب برگ و عملکرد میوه و کاهش نشت یونی، ترکیدگی میوه، مواد جامد محلول (TSS) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) نسبت به تیمار بدون مصرف سوپرجاذب گردید. نارنگی پیج از طریق به‌کارگیری مکانیسم‌های متعدد مانند کنترل رشد رویشی، افزایش متابولیت‌های ثانویه مانند پرولین، کنترل پتانسیل آب گیاه و در نتیجه بهبود محتوای نسبی آب برگ (RWC)، حفظ طولانی‌مدت رنگدانه‌های کلروفیل، افزایش مواد جامد محلول (TSS) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) در مقابل تنش خشکی مقاومت نشان داد. به‌همین دلیل، حفظ رطوبت خاک، کاهش مصرف آب و بهره‌گیری از عملکرد مناسب همراه با بهبود نسبی کیفیت میوه در طول دوره رشد و باردهی نارنگی پیج مورد توجه قرار گرفت. بدین منظور اصلاح خاک با سوپرجاذب آکوازورب به‌جهت فراهم نمودن رطوبت در ناحیه ریشه و افزایش آب قابل استفاده در شرایط کم‌آبی سبب بهبود برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، فیتوشیمیایی (نشت یونی برگ و مواد جامد محلول میوه) و تولید حداکثر عملکرد نارنگی پیج گردید. همچنین، یکنواخت بودن رطوبت در طول دوره رشد گیاه با به‌کارگیری سوپرجاذب، نقش بسیار مهمی را در کاهش دیگر شاخص‌های کیفی مانند ترکیدگی میوه ایفا کرد. بنابراین، می‌توان استفاده از این پلیمرسوپرجاذب را در مناطقی که با کمبود آب و توزیع نامناسب نزولات جوی مواجه هستند توصیه کرد.

منابع

1. Abd El-Rehim, H.A. (2005). Swelling of radiation cross linked acryl amide-based microgels and their potential applications. *Radiation Physics and Chemistry*. 74, 111-117. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2005.01.002

Archive of SID
www.SID.ir

2. Ahmadi, A. & Ceiocemardeh, A. (2004). Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and Proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 35(3), 753-763.
3. Al-Humaid, A.I. & Moftah, A. (2007). Effects of Hydrophilic Polymer on the Survival of Buttonwood Seedlings Grown Under Drought Stress. *Journal of Plant Nutrition*, 30(1), 53-66. https://doi.org/10.1080/01904160601054973.
4. Allen, D.J. & Ort, D.R. (2001). Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends in Plant Science*. 6(1), 36-41. https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01808-2
5. Al-Rousan, W.M.M., Ajo, R.Y., Angor, M.M., Osaili, T. & Bani-Hani, N.M. (2012). Impact Pf different irrigation level and harvesting periods on the quantity and quality of navel oranges (*Citrus sinensis*) and fruit juice. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(2), 115-11. https://doi.org/10.1234/4.2012.2903
6. Anjum, Sh., Xie, X.Y., Wang, L.C., Farrukh Saleem, M., Man, C. & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032. https://doi.org/10.5897/AJAR10.027
7. Arbona, V., Iglesias, D.J., Jacas, J., Primo-Millo, E., Talon, M. & Aurelio, G.C. (2005). Hydrogel substrate amendment alleviates drought effects on young citrus plants. *Plant Soil*, 270, 73-82.
8. Barakat, M.R., El-Kosary, S., Borham, T.I. & Abd-ElNafea, M.H. (2015). Effect of hydrogel soil addition under different irrigation levels on gandnain banana plants. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 7(1), 19-28. DOI: 10.5829/idosi.jhsop. 2015.7.1.1152.
9. Chachin, k. (1986). measurement methods for concentrations of organic acids, plant hormones, and enzyme activities in fruit, (p. 155-177). In: s. Nakagawa (Ed.). Laboratory manual for horticultural science. Yokendo, Tokyo. (in Japanese)
10. Chehaba, H., Tekayab, M., Mechrib, B., Jemaic, A., Guiaaa, M., Mahjouba, Z., Boujnaha, D., Laamaria, S., Chihaouia, B., Zakhamad, H., Hammamib, M. & Giudicee, T. (2017). Effect of the Super Absorbent Polymer Stockosorb®on leaf turgorpressure, tree performance and oil quality of olive trees cv. Chemlaligrown under field conditions in an arid region of Tunisia. *Agricultural Water Management*, 192, 221-23. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.013
11. El-hady, O.A & Wanas, Sh.A. (2006). Water and fertilizer use efficiency by cucumber grown under stress on sandy soil treated with acryl amid hydrogels. *Journal of Applied Sciences Research*, 2 (12), 1293-1297.
12. Elsheery, N. I. & Cao, K. F. (2008). Gas exchange, chlorophyll fluorescence, and osmotic adjustment in two mango cultivars under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30, 769-777.
13. Fallahi, H.R., Taherpour Kalantari, R., Aghhavani-Shajari, M. & Soltanzadeh, M.G. (2015). Effect of Super Absorbent Polymer and Irrigation Deficit on Water Use Efficiency, Growth and Yield of Cotton. *Notulae Scientia Biologicae*, 7(3), 338-344. DOI: 10.15835/nsb.7.3.9626
14. Ferrat, I.L. & Lovat, C.J. (1999). Relation between relative water content, Nitrogen pools and growth of Phaseolus vulgaris L. and P. acutifolius, Gay during water deficit .*Crop Science*, 39, 467-474.
15. Fifaei, R., Fotouchi Ghazvini, R., Golein, B. & Hamidoghli, U. (2015). Effect of drought stress on proline, soluble sugars, malondialdehyde and pigments content in northern commercial Citrus rootstocks. *Agricultural Crop Management*, 17(4), 939- 952.
16. Fotouhi Ghazvini, R. & Fatahi Moghaddam, J. (2006). Citrus cultivation in Iran. Guilan University Press.
17. Garcia-Tejero, I., Jimenez-Bocanega, J.A., Martinez, G., Romero, R., Duran-Zuazo, V.H. & Muriel-Fernandez, J. (2010). Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard (*Citrus sinensis* L.) Osbeck, cv. Salustiano. *Agricultural Water Management*, 97(5), 614-622. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.005
18. Gomesa, F.P., Olivab, M., Mielkea, M.A., Almeidaa, A.A.F., Aquinob, L.A. (2010). Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of Cocos nucifera submitted to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 126, 379-384. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.036
19. Gómez-del-Campo, M. (2013). Summer deficit irrigation in a hedgerow olive orchard cv. Arbequina: relationship between soil and tree water status, and growth and yield components. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(2),

Archive of SID
www.SID.ir

547-557. http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2013112-3360.
20. Guichard, S., Bertin, G. & Leonardi, G. (2001). Tomato fruit quality in relation to water and carbon flux. *Agronomie*, 21, 385- 392. DOI: 10.1051/agro:2001131
21. Hoffmann, H., Communications, B., Lacey, K. & Wood, H. (2009). Annual Report of California University for Citrus disorders. *Department of Agriculture and Food*, 2, 1-54.
22. Jiao, J., Chen, K. & Yi, C. (2010). Effects of soil moisture content on growth,physiological and biochemical characteristics of *Jatropha curcas* L. *Acta Ecologica Sinica*, 30, 4460-4466.
23. Jie, Z., Yuncong, Y., Streeter, J.G. & Ferree, D.C. (2010). Influence of soil drought stress on photosynthesis, carbohydrates and the nitrogen and phophorus absorb in different section of leaves and stem of Fugi/M.9EML, a young apple seedling. *African Journal of Biotechnology*, 9(33), 5320-5325.
24. Korkmaz, A., Korkmaz, Y. & Demirkiran, A.R. (2010). Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedling by exogenous application of 5-aminolevolinic acid. *Environmental and Experimental Botany.* 67, 495-501. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.07.009
25. Laribi, A.I., Palou, L., Intrigliolo, D.S., Nortes, P.S, Rojas-Argudo, C., Taberner, V., Bartual, J. & Pérez-Gago, M.B. (2013). Effect of sustained and regulated deficit irrigation on fruit quality of pomeganate cv. Mollar de Elche at harvest and during cold storage. *Agricultural Water Management*, 125, 61-70. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.04.009
26. Liu, X., Li, F., Yang, Q. & Wang, X. (2016). Effects of alternate drip irrigation and superabsorbent polymers on growth and water use of young coffee tree. *Journal of Environmental Biology*, 37, 485-491.
27. Lu, P.L. & Lin, C.H. (2011). Physiology of fruit cracking in wax apple (*Syzygium samarangense*). *Journal of Plant Science*, 8, 70–76. doi: http://dx.doi.org/10.3126/botor.v8i0.5954
28. Mascher, R., Nagy, E., Lippmann, B., Hornlein, S., Fischer, S., Scheiding, W., Neagoe, A. & Bergmann, H. (2005). Improvement of tolerance to paraquat and drought in barley (*Hordeum vulgare* L.) by exogenous 2-aminoethanol: effect of suoeroxide dimutas activity and chloroplast ultra-structure. *Plant Science*, 68, 691-698. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.09.036.
29. Montazer, A.A. (2008). Study the effect of stockosorb super absorption polymer on the flow advance time and infiltration parameters in furrow irrigation. *Journal of Water and Soil*. 22(2), 341-356. https:// doi: 10.22067/jsw.v0i22.1034
30. Moriana, A., Perez-Lopez, D., Prieto, M.H., Ramirez-Santa-Pau. M. & Perez-Rodriguez, J.M. (2012). Midday stem water potential as a useful tool for estimating irriagtion requirements in olive trees. *Agicural Water Management*, 112, 43–54. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.003
31. Nair, V., O'neil, C.L. & Wang, P.G. (2008). Malondialdehyde" encyclopedia of reagents for organic synthesis. (Pp. 66-77). John wiley and Sons. New York.
32. Nazarli, H., Zardashti, M.R., Darvishzadeh, R. & Najafi, S. (2010). The effect of water stress and polymer on water use eficiency, yield and several morphological traits of sunflower under geenhouse condition. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(4), 53-58. http://dx.doi.org/10.15835/nsb244823.
33. Ortuno, M.F., Alarcon, j.j., Colars, E.N. & Torrecillas, A. (2005). Interpreting trunk diameter in young lemon trees under deficit irrigation. *Plant science*, 167(2), 275- 280. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.03.023
34. Palou, L., Intrigliolo, D.S., Nortes, P.S., Rojas-Argudo, C., Taberner, V., Bartual, J. & Pérez-Gago, M.B. (2013). Effect of sustained and regulated deficit irrigation on fruit quality of pomegranate cv. Mollar de Elche at harvest and during cold storage. *Agricultural Water Management*, 125, 61-70. https://doi.org/10.1016/j.agwat. 2013.04.009
35. Perez-Perez, JG., Romero, P., Navarro, J.M. & Botia, P. (2008). Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit-irrigation strategy in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*, 26, 519-529. https://doi.org/10.1007/s00271-008-0113-4
36. Pietrini, F., Chaudhuri, D., Thapliyal, A.P. & Massacci, A. (2005). Analysis of chlorophyllfluorescents in mandarin leaves during photo-oxidative cold shock and recovery. *Agriculture, Ecosysyems and Environment*, 106, 189-198. https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.007
37. Ranjbar, A. (2017). Comparative Study on the Effect of Water Stress and Rootstock on Photosynthetic Function in Pistachio (*Pistacia vera* L.) Trees. *Journal of Nuts*, 8(2), 151-159

Archive of SID
www.SID.ir

38. Sayyari, M. & Ghanbari, F. (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.
39. Shi, Y., Li, J., Shao, J., Deng, S., Wang, R., Li, N., Sun, J., Zhang, H., Zheng, X., Zhou, D., Huttermann, A. & Chen, S. (2010). Effect of stockosorb and luquasorb polymers on salt and drought tolerance of Populus popularis. *Scientia Horticulturae*, 124, 268-273. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.031
40. Sircelj, H., Tausz, M., Gill, D. & Batic, F. (2007). Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. Scientia Horticulturae. 113(4), 362- 369. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.04.012.
41. Szwonek, E. (2012). Impact of a superabsorbent gel and organis mineral fertilizer on growth, yiels ans quality of sweet cherry trees. *Acta Horticulture*, 940, 415-421. https:// doi. 10.17660/ActaHortic.2012.940.60
42. Talaii, A. & Asadzadeh, A. (2005). Scrutiny of the effect of superabsorbent in reducing dryness olive trees. The third seminar courses and agricultural applications superabsorbent. *Iran Polymer and Petrochemical Institute.* (in Persian).
43. Waseem, M., Asghar Ali, M., Tahir, M.A., Nadeem, M., Ayub, AT., Ahmad, R. & Hussain, M. (2011). Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. *Continental Journal of Agricultural Science*, 5 (1), 10-25. https://doi.org/ 10.5281/zenodo.839955.
44. Wu, L., Liu, M. & Liang, L. (2008). Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent & water retention. *Bio resource Technolog*, 99, 547-554. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.027
45. Xoconostle-Cazares, B., Ramirez-Ortega, F.A., Flores-Elenes, L., a& Ruiz-Medrano, R. (2010). Drought tolerance in crop plants. *American Journal of Plant Physiology*, 5(5), 241-256.
46. Yang, F., Hu, J., Li, J., Wu, X. & Qian, Y. (2009). Chitosan enhances leaf membrane stability and antioxidant enzyme activities in apple seedlings under drought stress. *The Journal of Plant Growth Regulation*, 58,131-136.
47. Yazdani, F., Akbari, G. & Behbahani, V. (2007). Effect of amount of super absorbent polymer and drought stress levels on yield and yield components of soybeen. *Research and Development Journal*, 15, 167-174. (in Persian)

Archive of SID

www.SID.ir

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 3 ■ Autumn 2018

The Influence of Super Absorbent Polymer Aquasorb Levels on Vegetative and Reproductive Growth of Page Mandarin under Drought Stress Condition

Zeinab Rafie-Rad[1*], Ahmad Golchin[2], Yahya Tajvar[3], Javad Fattahi Moghadam[4]

1. Ph.D. Student, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran.
2. Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran.
3. Assistant Professor, Horticultural Science Research Institute, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran.
4. Associate Professor, Horticultural Science Research Institute, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran.

Received: May 16, 2018 Accepted: June 13, 2018

Abstract

The limited water resources of Iran renders modern methods of water conservation and preservation, e.g. the use of superabsorbent polymers in the soil, one of the confront approaches of water deficit. As such, in order to investigate the effect of superabsorbent on vegetative and reproductive growth of Page Mandarin in drought stress condition, the present study has conducted a factorial experiment, based on completely-randomized design, with three replications in the Citrus and Subtropical Fruits Research Center of Ramsar during 2016. The factors are consisted of three levels of water stress (100%, 75%, and 50% of field capacity) and superabsorbent (0%, 0.25%, and 0.5% wt). Results show that by increasing water stress, amounts of electrolyte leakage, proline, fruit cracking, and titratable acidity have increased. Also, at the 50% of field capacity level, 0.5% superabsorbent application has caused a significant increase in leaf relative water content, total chlorophyll content, leaf water potential by 60%, 15%, 23%, and 87.5%, respectively, while reducing electrolyte leakage and total soluble solids by 65% and 22%, respectively, compared to the same treatment condition without any superabsorbent. Therefore, it seems that superabsorbent can increase plant tolerance for counteracting moisture stress via maintaining unusable water.

Keywords: Field capacity, leaf water potential, total chlorophyll, total soluble solids (TSS), yield.

Corresponding author: z_rafierad83@yahoo.com

www.SID.ir