

تأثیر کم‌آبیاری به روش PRD به همراه سالیسیلات سدیم بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی

مریم میدانشاهی^۱، سید فرهاد موسوی^{۲*}، بهروز مصطفی‌زاده فرد^۱ و اسماعیل لندی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۵)

چکیده

برای رفع مشکل کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، روش‌های آبیاری مختلفی مانند کم‌آبیاری، آبیاری تحت فشار و روش PRD پیشنهاد شده است. در آبیاری به روش PRD، نیمی از محیط ریشه به تواتر به صورت کامل آبیاری شده و نیم دیگر خشک نگه داشته می‌شود. هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گوجه‌فرنگی با کاربرد روش آبیاری PRD و یک تنظیم‌کننده رشد در دو نوع خاک در شرایط گلخانه است. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار، شامل سه مدیریت آبیاری (T_1 ، آبیاری کامل؛ T_2 ، ۵۰ درصد آبیاری کامل به روش PRD با وجود تیغه؛ T_3 ، ۵۰ درصد آبیاری کامل به روش PRD بدون تیغه)، دو سطح تنظیم‌کننده (B_1 ، محلول‌پاشی سالیسیلات سدیم و B_2 ، بدون محلول‌پاشی) و دو بافت خاک (S_1 ، لوم رسی و S_2 ، لوم شنی) بود. نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار T_1 (۱۷۶/۲ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع گیاه در تیمار T_3 (۱۳۱/۳ سانتی‌متر) می‌باشد. با کاهش ۵۰ درصد میزان آب آبیاری از تیمار T_1 به تیمار T_2 ، تعداد خوشه گل ۱۵/۲ درصد کاهش یافت. بیشترین و کمترین زیست-توده گیاه (به ترتیب ۵۰۶/۸ و ۱۲۶/۲ گرم در بوته) به ترتیب در تیمارهای T_1 و T_3 به دست آمد. حداکثر و حداقل مقدار عملکرد میوه به ترتیب در تیمارهای T_1 (۳۴۲/۵ گرم در بوته) و T_3 (۵۴/۸ گرم در بوته) اندازه‌گیری شد. کارایی استفاده از آب با تغییر مدیریت آبیاری از تیمار T_1 به T_2 ، ۹/۹ درصد افزایش و از T_2 به T_3 ، ۷۱/۴ درصد کاهش داشت. بیشترین و کمترین عملکرد (۲۱۶/۷ و ۱۷۴/۴ گرم در بوته) به ترتیب مربوط به تیمارهای S_1 و S_2 است. خاک لوم شنی با تولید ۷/۲۲ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، کارایی مصرف آب بیشتری نسبت به خاک لوم رسی (۵/۳۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب) داشت. کاربرد تنظیم‌کننده، عملکرد میوه را ۱۶ درصد و کارایی مصرف آب را ۱۶/۸۶ درصد افزایش داد. به‌طورکلی، تأثیر روش آبیاری PRD با تیغه و محلول‌پاشی سالیسیلات سدیم بر کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری در کشت گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی مثبت بود و قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: روش آبیاری PRD، تنش رطوبتی، تنظیم‌کننده رشد، بهره‌وری مصرف آب

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mousavi_sf@yahoo.com

مقدمه

کمبود منابع آب با کیفیت مناسب و افزایش رقابت برای آب موجود در مصارف شهری و صنعتی، دستیابی به آن را برای مصارف کشاورزی مشکل‌تر خواهد کرد (۲۴). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولیدات گیاهی در زمین‌های کشاورزی است (۱۵). یکی از مؤثرترین راهکارهای مقابله با بحران آب و افزایش کمی و کیفی تولیدات بخش کشاورزی، توجه جدی به کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است (۲). در مناطق خشک و کم آب، مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی و محیطی باعث تنش رطوبتی در گیاهان شده و عملکرد اقتصادی آنها را کاهش می‌دهد. این کاهش کمی و کیفی می‌تواند در نتیجه عدم استقرار گیاهان، از بین رفتن گیاهان استقرار یافته، ضعف در مقابل آفات و بیماری‌ها و تغییرات فیزیولوژیک باشد. مقاومت به خشکی وابسته به ژنوتیپ، میزان تنش، نحوه اعمال تنش و مرحله رشد و نمو گیاه می‌باشد (۱۳). ارزیابی این موارد برای بهبود تولید ضروری است.

امروزه، کم‌آبایی به‌عنوان روشی که می‌تواند حداکثر تولید و سود خالص را به همراه داشته باشد در مهندسی آبیاری مطرح است. هدف اصلی از اجرای کم‌آبایی افزایش بازده کاربرد آب، چه از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت، و یا حذف آبیاری‌هایی است که کمترین بازدهی را دارند (۴). یکی از روش‌های کم‌آبایی، آبیاری بخشی (Partial rootzone drying, PRD) است. در روش PRD، قسمتی از سیستم ریشه خشک می‌ماند، در حالی که طرف دیگر ریشه آبیاری می‌گردد (۱۱). این عمل بعد از مدت زمان معین تکرار می‌شود. واکنش بیوشیمیایی گیاه به تنش آبی باعث می‌شود تا تعادلی بین رشد رویشی و تولید محصول ایجاد شود (۲۱) و بدون کاهش قابل توجه در میزان محصول (۱۲ و ۲۸) بهره‌وری افزایش یابد. گوجه‌فرنگی یکی از انواع سبزی‌های یکساله است که به‌صورت مزرعه‌ای و گلخانه‌ای کشت می‌شود. میرجلیلی (۸) و نورمهند (۹) در مورد اثر روش آبیاری PRD بر عملکرد و

راندمان مصرف آب گوجه‌فرنگی تحقیقاتی گلخانه‌ای در شهرکرد انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که اثر کم‌آبایی بر کاهش عملکرد معنی‌دار است، ولی مصرف آب در این روش نصف می‌شود. کامپوس و همکاران (۱۱) نشان دادند که روش آبیاری PRD در مقایسه با آبیاری کامل تا ۵۰ درصد کارایی مصرف آب در گوجه‌فرنگی را افزایش می‌دهد. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه می‌توانند با تغییر محیط، باز و بسته شدن روزنه‌ها را کنترل و موازنه آب را تنظیم نمایند. برای بستن روزنه‌ها در مواقع برخورد با تنش رطوبتی و کاهش تعرق، مواد شیمیایی مختلفی مورد آزمایش قرار گرفته که یکی از معروف‌ترین آنها اسید استیل سالیسیلیک (سالیسیلات) می‌باشد. اثر مثبت این تنظیم‌کننده‌ها بر عملکرد ذرت (۶)، گندم (۷) و جو (۱۷) و افزایش بهره‌وری مصرف آب در آنها بررسی شده است. آنجا که اثر همزمان کم‌آبایی و تنظیم‌کننده‌های رشد بر گوجه‌فرنگی در محیط گلخانه بررسی نشده، لذا اهداف پژوهش حاضر عبارت‌اند از بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گوجه‌فرنگی با کاربرد روش آبیاری PRD و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد سالیسیلات سدیم در دو نوع خاک در شرایط گلخانه.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در گلخانه دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان با طول جغرافیایی $28^{\circ} 51'$ شرقی، عرض جغرافیایی $32^{\circ} 42'$ شمالی و ارتفاع متوسط ۱۶۲۴ متر از سطح دریا انجام شد. این گلخانه شیشه‌ای دارای مساحت ۲۰۰۰ مترمربع، با اسکلت آهنی از نوع مرکب انگشتی دوطرفه، همراه با تورهای پلی‌اتیلن است. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، شامل فاکتورهای روش آبیاری، خاک و تثبیت‌کننده اعمال گردید. سه روش آبیاری شامل: T_1 = آبیاری کامل (هر دو طرف گیاهان داخل جعبه‌ها در طول فصل رشد آبیاری شد)، T_2 = آبیاری به روش PRD (طرف راست و چپ جعبه‌ها به‌طور متناوب آبیاری شده و توسط تیغه‌ای از هم جدا شده بود) و



شکل ۱. جعبه چوبی و تیغه وسط آن برای آزمایش PRD

جدول ۱. برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده

بافت خاک	چگالی ظاهری (g/cm ³)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر (mg/L)	پتاسیم (mg/L)	EC (dS/m)	pH
لوم شنی	۱/۴۵	۴۵	۱۹/۵	۳۵/۵	۰/۳۵	۰/۰۹	۶۲	۱۷۰	۱/۸۲	۷/۸۷
لوم رسی	۱/۱	۱۶	۴۶	۳۸	۰/۸۱	۰/۰۴۵	۱۷	۲۶۵	۱/۷	۷/۵

که نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور تعیین نیاز آبی، قبل از هر آبیاری از عمق مؤثر ریشه نمونه خاک هر جعبه تهیه و رطوبت وزنی آن تعیین شد. سپس حجم آب لازم برای رسانیدن خاک به حد ظرفیت زراعی محاسبه گردید. این حجم آب صرف تبخیر و تعرق می‌گردید. برای آبیاری تیمارهای PRD با تیغه و بدون تیغه، ۵۰ درصد حجم آب تیمار کامل در هر نوبت آبیاری در نظر گرفته شد. زمان آبیاری پس از 70 ± 3 میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A بود. علت انتخاب آبیاری پس از 70 ± 3 میلی‌متر تبخیر این بود که براساس نتایج تحقیقات قبلی، وقتی حدود ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر صورت می‌گیرد، حدود ۵۰ درصد از رطوبت سهل‌الوصول خاک با بافت متوسط از دست رفته است و بنابراین زمان مناسبی برای آبیاری گیاه می‌باشد. در تاریخ ۴ مرداد، بذره‌های گوجه‌فرنگی (رقم پی اس) در جعبه نشاء کشت شد. بعد از گذشت ۳۰ روز، نشاءها که دارای ۳ برگ بودند به جعبه‌های آزمایش منتقل شدند و در هر جعبه دو عدد گیاه در

T_3 = طرف راست و چپ جعبه‌ها به‌طور متناوب آبیاری شد، ولی تیغه‌ای در وسط آنها قرار نداشت. دو سطح تثبیت‌کننده شامل B_1 = محلول‌پاشی سالیسیلات سدیم و B_2 = بدون محلول‌پاشی سالیسیلات سدیم و دو بافت خاک شامل S_1 = خاک لوم رسی و S_2 = خاک لوم شنی بود. جعبه‌های چوبی مورد استفاده برای آزمایش PRD با تیغه‌های نازک از جنس کارتن پلاست (از عمق ۱۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) به دو قسمت مساوی تقسیم شدند (شکل ۱). این جعبه‌ها مکعب مستطیل شکل و دارای طول ۴۴، عرض ۳۰ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و یک لایه شن ریز به‌عنوان فیلتر زه‌کش انتهایی بودند. پنج سانتی‌متر بالای جعبه‌ها برای اعمال آبیاری، خالی در نظر گرفته شد و بقیه ارتفاع آنها به خاک اختصاص داده شد. برای جلوگیری از نشت آب از دیواره‌ها، داخل جعبه‌ها با پلاستیک نازک پوشانده شد. بعد از پر شدن جعبه‌ها با خاک، به منظور رفع شوری خاک، دو دفعه با آب اشباع شدند و اجازه داده شد تا زه‌کشی انجام شود. سپس برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها تعیین شد

تعداد خوشه گل

این صفت یکی از اجزای عملکرد گیاه محسوب می‌شود و صفت بسیار مهمی در تخمین عملکرد نهایی می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس ارایه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که آبیاری اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر تعداد خوشه گل داشته است. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد که با کاهش ۵۰ درصد میزان آب آبیاری از تیمار T_1 به تیمار T_2 ، تعداد خوشه گل ۱۵/۲ درصد کاهش یافته است. ولی از تیمار T_2 به T_3 (آبیاری PRD با تیغه و بدون تیغه) تعداد خوشه‌های گل ۴۸ درصد کاهش یافت. میانگین تعداد خوشه‌های گل برای همه تیمارها ۳/۷۵ عدد به‌دست آمد.

زیست‌توده گیاه

فاکتور آبیاری، بافت خاک و تنظیم‌کننده رشد اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر زیست‌توده گیاه داشته است (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد که با اعمال آبیاری کامل (تیمار T_1)، بیشترین زیست‌توده گیاه (۵۰۶/۸ گرم در هر بوته) به‌دست آمد و کمترین زیست‌توده گیاه (۱۲۶/۲ گرم در بوته) مربوط به تیمار T_3 است. زیست‌توده گیاه در تیمار T_2 برابر با ۳۰۳/۷ گرم در بوته بود. زیست‌توده گیاه در تیمار T_2 نسبت به تیمارهای T_1 و T_3 به‌دلیل تغییر در مدیریت آبیاری به‌ترتیب ۴۰ درصد کاهش و ۵۸ درصد افزایش داشته است. افزایش ۵۸ درصدی زیست‌توده گیاه در تیمار T_2 نسبت به تیمار T_3 را می‌توان به‌دلیل وجود تیغه در داخل جعبه‌های آزمایش تیمار T_2 دانست. هنگامی که گیاه تحت تنش رطوبتی قرار می‌گیرد، با گسترش نیمرخ ریشه‌ای به‌صورت طولی، در برابر تنش رطوبتی مقاومت می‌کند. وجود تیغه در خاک باعث شده که در هنگام آبیاری، آب در پروفیل خاک به‌صورت عمقی حرکت کند. اگرچه میزان آب مصرفی تیمارهای T_2 و T_3 یکسان است، اما وجود تیغه در جعبه‌ها باعث کاهش ۵۰ درصدی دسترسی ریشه‌ها به فضای خاک شده است. کاهش فضای خاک باعث جلوگیری از هدر رفت آب به‌صورت عرضی شد. در نتیجه،

وسط جعبه‌ها کاشته شد. مقدار ۲/۱ گرم نیترات پتاسیم به‌عنوان کود سرک به هر جعبه داده شد. اعمال تیمارهای تنش زمانی آغاز گردید که بوته‌ها ۵ برگی بودند. در دوره رشد گیاهان، با آفات مگس سفید و مگس مینوز با کاربرد سموم مناسب مبارزه شد. محلول‌پاشی سالیسیلات سدیم به میزان ۱ گرم در لیتر، قبل و یک هفته بعد از مرحله گل‌دهی انجام شد. برداشت بوته‌ها در ۲۰ بهمن انجام شد. پس از برداشت گیاهان، ویژگی‌های ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد خوشه گل، زیست‌توده گیاه، قطر میوه، اسید قابل تیترو میوه، پ-هاش میوه، عملکرد میوه و میزان آب مصرفی به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری و بهره‌وری مصرف آب محاسبه شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS تحلیل شده و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطوح ۱ درصد و ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که تیمار آبیاری و بافت خاک اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر ارتفاع گیاه داشته است. تفاوت ارتفاع گیاه در تیمارهای مختلف آبیاری از هفته پنجم به بعد ظاهر گردید. مقایسه میانگین ارتفاع گیاه (جدول ۳) نشان می‌دهد که بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار T_1 (۱۷۶/۲ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع گیاه در تیمار T_3 (۱۳۱/۳ سانتی‌متر) می‌باشد. کاهش ارتفاع گیاه در اثر کم شدن میزان آب قابل استفاده و عدم رشد رویشی مناسب در اکثر گیاهان قابل تصور می‌باشد. جدول ۴ نشان می‌دهد که بیشترین ارتفاع گیاه (۱۵۷/۸ سانتی‌متر) مربوط به خاک لوم رسی و کمترین ارتفاع گیاه (۱۴۱/۵ سانتی‌متر) مربوط به خاک لوم شنی است. جدول ۲ نشان می‌دهد که اعمال تنظیم‌کننده رشد (سالیسیلات سدیم) اثر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه نداشت. با این وجود، ارتفاع گیاه در تیمارهای با تنظیم‌کننده رشد بیشتر از تیمارهای بدون تنظیم‌کننده رشد بود (جدول ۵). هم‌چنین اثر متقابل آبیاری و خاک و تنظیم‌کننده رشد بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نبود.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه گیری شده گیاه نوزادگی

سالیات سدیم														
میانگین مریجات														
منابع تغییر	درجه آزادی	اربع گاه	تعداد شاخه	تعداد جوانی	تعداد بونه	تعداد گانه	زیست توده	تعداد میوه	قطر میوه	سید قابل	PHI	مستورد	میان آب	کارایی مصرف آب
جاری	۱	۳۳۹۴۰۹ ^{ns}	۷۷/۷۷۷NS	۷۲/۲۵NS	۱۷۹/۱۱۷ ^{ns}	۵۲/۴۳NS	۱۷۹/۱۱۷ ^{ns}	۷۹/۱۷ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۱۵۱/۱۱۷ ^{ns}	۳۰/۶ ^{ns}	۷۴/۳ ^{ns}
آبیاری	۲	۶۶۶۲۷۸ ^{ns}	۱۷/۶۹ ^{ns}	۲۴/۶۵ ^{ns}	۱۰۵/۱۱۵NS	۳۳/۱۱۵NS	۸۶/۷ ^{ns}	۲۴/۳۰ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۷/۳۳NS	۵۲/۶ ^{ns}	۳۰/۶ ^{ns}
تجذیب کننده	۱	۲۴۷/۴ ^{ns}	۰ ^{ns}	۴/۶۹ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}	۵/۲۹ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}	۷۸/۹ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰ ^{ns}	۵/۱۲NS	۱۰۲/۶ ^{ns}	۰/۳۲ ^{ns}
جای-آبیاری	۲	۹۷۴/۵ ^{ns}	۰/۶۹ ^{ns}	۱/۲۹ ^{ns}	۱/۲۹ ^{ns}	۲۴۴/۷ ^{ns}	۷/۹ ^{ns}	۷/۹ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۶/۵۰NS	۱/۱۱ ^{ns}	۰/۴/۸۸ ^{ns}
جای-تجذیب کننده	۱	۱۴۳/۵NS	۱۸/۷NS	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۷/۶/۷ ^{ns}	۹/۱۵ ^{ns}	۱/۱۵ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۴/۳۵NS	۵/۷ ^{ns}	۵/۳۱ ^{ns}
آبیاری-تجذیب کننده	۲	۱۶۷/۲NS	۳/۰۷NS	۰/۲۰ ^{ns}	۱۹۳/۷ ^{ns}	۱۹۳/۷ ^{ns}	۵/۲ ^{ns}	۱/۶ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۴/۱۴NS	۵/۷ ^{ns}	۰/۶ ^{ns}
جای-آبیاری-تجذیب کننده	۲	۵۱۹/۸ ^{ns}	۰/۵۳ ^{ns}	۱/۵۳ ^{ns}	۸/۵۳NS [*]	۱/۵۳ ^{ns}	۳/۹ ^{ns}	۰/۲ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۱۴NS	۳/۷ ^{ns}	۳/۸۷ ^{ns}
جای-آبیاری-تجذیب کننده	۲	۲۹۳/۲ ^{ns}	۱/۱۱ ^{ns}	۲/۹ ^{ns}	۱۴۴/۶ ^{ns}	۱۴۴/۶ ^{ns}	۸/۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۳/۴NS	۱/۰۰ ^{ns}	۱/۲۴ ^{ns}

^{ns} و * PMS به ترتیب معنی ندارد در سطح ۱٪ و ۵٪ بدون اختلاف معنی دارد

جدول ۳. مقایسه میانگین های عملکرد و اجرای عملکرد در تیمارهای مختلف آبیاری

شمار	تعداد شاخه	تعداد جوانی	تعداد بونه	وزن گانه	تعداد میوه	قطر میوه	سید قابل	PHI	مستورد	میان آب	کارایی مصرف آب
آبیاری کل (T1)	۱۷۶/۲ ^a	۴/۹۲ ^a	۵۰/۶/۸ ^a	۱۲/۰۸ ^a	۳۷/۶ ^a	۰/۵۰ ^c	۴/۱۱ ^b	۳۳/۲/۵ ^a	۳۰/۴ ^a	۳۰/۴ ^a	۷۷/۸ ^b
آبیاری PRD با	۱۴۱/۴ ^b	۲/۴۲ ^b	۳۰/۳/۷ ^b	۷/۹ ^b	۳۷/۲ ^a	۰/۴۵ ^b	۴/۲۱ ^a	۱۸۴/۵ ^b	۱۵/۲ ^b	۱۵/۲ ^b	۸۷/۳ ^a
توجه (T1)											
آبیاری PRD	۱۳۱/۳ ^b	۱ ^c	۱۲۶/۲ ^c	۳ ^c	۳۷/۸ ^b	۰/۶ ^a	۴/۲۲ ^a	۵۳/۸ ^c	۱۵/۲ ^b	۱۵/۲ ^b	۲/۳۷ ^c
بدون توجه (T2)											

* میانگین همین گروه در هر تریاتم دارای صرفه بیشتر می باشد و نسبتاً از آنجا که تفاوت آماری اختلاف معنی ندارد یعنی در هر تیمار ۵ تریاتم

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد گیاهچه‌ها در دو نوع کشت مختلف*

نوع کشت	تعداد شاخه	تعداد جوانه	تعداد برگه	قطر پیوند	اسید قابل تیتر (درصد بر حسب اسید پیکریک)	pH	عملکرد (گرم در بوته)	آب مصرفی (سائلی متر)	کارایی مصرف آب (گرم در متر مکعب)
۷/۲۲ a	۲۱۵۶ a	۲۱۵۶ a	۷/۲۸ a	۳۷/۳ a	۰/۲۹ b	۶/۱۵ b	۲۱۶/۷ a	۲۱ a	۷/۲۲ a
۵/۳۸ b	۲۱۵ a	۲۱۵ a	۷/۲۸ a	۳۲/۴ b	۰/۶۱ a	۶/۲۱ a	۱۷۴/۴ b	۱۹/۶ b	۵/۳۸ b

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های عملکرد اجزای عملکرد گیاهچه‌ها در دو نوع کشت مختلف*

نوع کشت	تعداد شاخه	تعداد جوانه	تعداد برگه	قطر پیوند (میلی متر)	اسید قابل تیتر (بر حسب اسید پیکریک)	pH	عملکرد (گرم در بوته)	میان آب مصرفی (سائلی متر)	کارایی مصرف آب (گرم در متر مکعب)
۶/۸۸ a	۲۱۲۷ a	۲۱۲۷ a	۷/۸۹ a	۳۷/۳ a	۰/۵۶ a	۶/۱۸ a	۲۱۲/۶ a	۲۰/۳ a	۶/۸۸ a
۵/۷۲ b	۲۱۲۷ a	۲۱۲۷ a	۷/۲۴ a	۳۲/۴ b	۰/۵۵ b	۶/۱۸ a	۱۷۷/۶ b	۲۰/۳ a	۵/۷۲ b

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

یافت. میانگین قطر میوه در همه تیمارها ۳۵/۸ میلی متر است. اسماجسترلا و لوکاسیو (۲۲) نشان دادند که با اعمال کم آبیاری به میزان ۴۰ درصد نسبت به آبیاری کامل، اندازه میوه ۳۱ درصد و میزان محصول قابل عرضه ۱۳ درصد کاهش می یابد. جدول ۲ نشان می دهد که اثر متقابل آبیاری × بافت خاک، آبیاری × تنظیم کننده رشد و بافت خاک × تنظیم کننده بر قطر میوه گوجه فرنگی معنی دار نشد. نتایج اثر متقابل سه گانه آبیاری × تنظیم کننده رشد × بافت خاک نشان داد که کمترین قطر میوه (۳۰/۷ میلی متر) در تیمار S₂B₂T₃ و بیشترین قطر میوه (۳۹ میلی متر) در تیمار S₂B₁T₁ می باشد.

اسید قابل تیتر میوه

جدول ۲ نشان می دهد که آبیاری اثر معنی داری در سطح ۱ درصد بر مقدار اسید قابل تیتر میوه داشته است. مقایسه میانگین ها (جدول ۳) نشان می دهد که با کاهش مقدار آب آبیاری، اسید میوه گوجه فرنگی افزایش یافته است. بیشترین مقدار اسید قابل تیتر (۰/۶ درصد بر حسب اسید سیتریک) در تیمار PRD بدون تیغه (T₃) و کمترین آن (۰/۵ درصد) در تیمار آبیاری کامل (T₁) حاصل شده است (جدول ۳). تنش آبی باعث تغییر در میزان اسید قابل تیتر میوه می شود. تجمع اسید کربوکسیلیک، پتاسیم و کلرورها در سلول نیز راهی برای غلبه بر کمبود آب یا تعدیل فشار اسمزی است. به همین دلیل، کم آبیاری موجب افزایش اسید قابل تیتر میوه می شود (۳). آلونو و همکاران (۱۰) نیز با انتخاب چهار سطح آبیاری ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی متر مجموع تبخیر و تعرق نشان دادند که مواد جامد انحلال پذیر در تیمار ۴۰ میلی متر بیشترین مقدار است. افزایش اسید قابل تیتر در بهبود طعم میوه مؤثر است و بر این اساس تنش آبی موجب خوش طعم شدن میوه شده و آبیاری بیشتر در طعم میوه تأثیر منفی دارد.

پ - هاش میوه

یکی از مهم ترین پارامترهای کیفی میوه گوجه فرنگی، پ - هاش

ریشه های گیاه آب بیشتری در اختیار داشتند. جدول ۴ نشان می دهد که بیشترین و کمترین زیست توده گیاه (۳۳۴/۵ و ۲۸۹/۹ گرم در بوته) به ترتیب مربوط به تیمارهای خاک لوم شنی و خاک لوم رسی است. به نظر می رسد گسترش ریشه های گوجه فرنگی به اعماق خاک و جذب آب و مواد غذایی بیشتر باعث این افزایش شده است. جدول ۵ نشان می دهد که کاربرد تنظیم کننده رشد، زیست توده گیاه را افزایش داده است.

تعداد میوه

جدول ۲ نشان می دهد که آبیاری و بافت خاک اثر معنی داری در سطح ۱ درصد بر تعداد میوه داشته اند. بر اساس مقایسه میانگین ها (جدول ۳)، بیشترین و کمترین تعداد میوه به ترتیب در تیمارهای T₁ (۱۲/۰۸ عدد) و T₃ (۳ عدد) می باشد. نتایج نشان داد که با تغییر مدیریت آبیاری از T₁ به T₂ یا T₃، تعداد میوه کاهش می یابد. نتایج بررسی منابع نیز نشان می دهد که کم آبیاری باعث کاهش تعداد میوه گوجه فرنگی شده است (۲۰ و ۲۷). جدول ۴ نشان می دهد که تعداد میوه در خاک لوم شنی و لوم رسی به ترتیب ۸/۰۵ و ۷/۲۸ عدد بود. بیشتر بودن تعداد میوه در خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی به علت بیشتر بودن تعداد شاخه جانبی و خوشه گل است. جدول ۲ نشان می دهد که اعمال تنظیم کننده رشد (سالیسیلات سدیم) اثر معنی داری بر تعداد میوه نداشت. اما به طور کلی، جدول ۵ نشان می دهد در بوته هایی که روی آنها سالیسیلات سدیم محلول پاشی شد تعداد میوه بیشتر بود.

قطر میوه

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می دهد که آبیاری اثر معنی داری در سطح ۱ درصد بر قطر میوه داشته است. مقایسه میانگین ها (جدول ۳) نشان می دهد که با کاهش ۵۰ درصد میزان آب آبیاری از تیمار T₁ به T₂، قطر میوه ۱/۲ درصد کاهش یافته است. با تغییر مدیریت آبیاری از T₁ به T₃ (آبیاری کامل و آبیاری PRD بدون تیغه)، قطر میوه به اندازه ۱۲/۹ درصد کاهش

حدود ۷۹ درصد داشت (جدول ۳). آب یکی از اجزای مهم و حیاتی است که اگر به میزان کافی در اختیار گیاه قرار نگیرد واکنش‌های بیولوژیک را کاهش می‌دهد. نتایج بررسی منابع نشان می‌دهد که در اثر تنش آبی، عملکرد میوه گوجه‌فرنگی کاهش می‌یابد. کاهش عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در اثر کم‌آبیاری احتمالاً به دلیل حساس بودن گیاه گوجه‌فرنگی به کمبود آب و در نتیجه فتوسنتز و انتقال مواد به سمت میوه است (۱۶ و ۲۳). کم‌آبیاری و تنش رطوبتی باعث کاهش عملکرد و آب ذخیره شده در میوه گوجه‌فرنگی می‌شود (۱). لطف‌الرحمان و همکاران (۱۶) گزارش کردند که عملکرد گوجه‌فرنگی به‌طور معنی‌داری تحت تنش رطوبتی قرار می‌گیرد و ارقام دارای میوه متوسط و کوچک شرایط تنش را بهتر تحمل می‌کنند.

جدول ۴ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین عملکرد (۲۱۶/۷ گرم در بوته) به ترتیب مربوط به تیمارهای خاک لوم شنی و خاک لوم رسی است. به نظر می‌رسد گسترش ریشه‌های گوجه‌فرنگی به اعماق خاک و جذب آب و مواد غذایی بیشتر باعث این افزایش شده است. نتایج مشابهی مبنی بر عملکرد بیشتر در خاک لوم شنی نسبت به خاک با بافت لوم مشاهده شده است (۱۹). جدول ۵ نشان می‌دهد که کاربرد تثبیت‌کننده، عملکرد میوه را ۱۶ درصد افزایش داده است. در تحقیقات قبلی، پاشیدن سالیسیلات سدیم بر جو (۱۷) و کلرومکوات بر گندم (۷) به ترتیب ۵ درصد و ۵/۷ درصد عملکرد میوه را افزایش داد. جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر متقابل آبیاری×بافت خاک، آبیاری×تنظیم‌کننده رشد و آبیاری×تنظیم‌کننده رشد×بافت خاک بر عملکرد در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. براساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین عملکرد (۳۷۶/۷ گرم در بوته) مربوط به تیمار S_2T_1 می‌باشد. در تیمار S_2T_3 کمترین مقدار عملکرد برابر با ۵۱/۴ گرم در بوته به‌دست آمد. کمترین مقدار عملکرد (۴۷/۸ گرم در بوته) در تیمار B_2T_3 و بیشترین مقدار عملکرد (۳۶۶/۷ گرم در بوته) در تیمار B_1T_1 بود. در اثر متقابل سه‌گانه، کمترین مقدار عملکرد (۴۶/۶ گرم در بوته) در تیمار $S_1B_2T_3$ و بیشترین مقدار عملکرد (۳۹۱/۶ گرم در بوته) در تیمار $S_2B_1T_1$ حاصل شد.

است. جدول ۲ نشان می‌دهد که آبیاری اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر پ- هاش داشته است. براساس مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳)، پ- هاش تیمارهای T_1 ، T_2 و T_3 به ترتیب برابر با ۴/۱۱، ۴/۲۱ و ۴/۲۲ است. بنابراین با کاهش مصرف آب، مقدار پ- هاش میوه گوجه‌فرنگی کمی افزایش یافت. مطالعات ویت کهلر و همکاران (۲۶) نیز نتایج حاصل از این مطالعه را تأیید می‌کند. جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر متقابل آبیاری و بافت خاک بر پ- هاش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. طبق نتایج حاصل شده، کمترین پ- هاش (۴/۰۵) مربوط به تیمار S_2T_1 می‌باشد. با افزایش تنش رطوبتی، میزان پ- هاش افزایش می‌یابد. در تیمار S_1T_3 بیشترین مقدار پ- هاش برابر با ۴/۳۸ به‌دست آمد. هم‌چنین جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر متقابل آبیاری×تنظیم‌کننده رشد و آبیاری×تنظیم‌کننده رشد×بافت خاک بر پ- هاش گوجه‌فرنگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. براساس نتایج به‌دست آمده، کمترین مقدار پ- هاش (۴/۱۱) در تیمار B_1T_1 و بیشترین مقدار پ- هاش (۴/۲۵) در تیمار B_2T_3 است. در اثر متقابل سه‌گانه، کمترین مقدار پ- هاش (۴/۰۳) در تیمار $S_1B_1T_1$ و بیشترین مقدار پ- هاش (۴/۴۳) در تیمار $S_1B_2T_3$ به‌دست آمد.

عملکرد میوه

جدول ۲ نشان می‌دهد که آبیاری، بافت خاک و محلول‌پاشی سالیسیلات سدیم اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی داشتند. براساس مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳)، با کاهش ۵۰ درصدی مصرف آب در تیمارهای T_2 و T_3 نسبت به تیمار T_1 ، عملکرد میوه به ترتیب ۴۴/۷ و ۸۴ درصد کاهش یافت. این مسأله نشان می‌دهد که عملکرد میوه در شرایط کم‌آبیاری به شدت تحت تأثیر قرار گرفته است. حداکثر و حداقل مقدار عملکرد میوه به ترتیب در تیمار T_1 (۳۴۲/۵ گرم در بوته) و T_3 (۵۴/۸ گرم در بوته) مشاهده شد. اگر چه میزان آب مصرفی تیمارهای T_2 و T_3 یکسان بود، اما به دلیل عدم وجود تیغه در تیمار T_3 ، عملکرد میوه آن نسبت به تیمار T_2 کاهش یافته

میزان آب مصرفی

جدول ۲ نشان می‌دهد که آبیاری اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر میزان آب مصرفی داشته است. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد که میزان آب مصرفی در تیمارهای T_1 ، T_2 و T_3 به ترتیب برابر با $30/4$ سانتی‌متر ($40/1$ لیتر)، $15/2$ سانتی‌متر ($20/1$ لیتر) و $15/2$ سانتی‌متر ($20/1$ لیتر) است. تیمار T_1 به دلیل مصرف آب بیشتر، از رشد رویشی و عملکرد بالاتری نسبت به تیمارهای T_2 و T_3 برخوردار است. تیمارهای T_2 و T_3 با وجود این‌که آب مصرفی یکسانی دریافت نمودند، اما رشد رویشی و عملکرد تیمار T_2 نسبت به تیمار T_3 بالاتر بود (جدول ۳). این افزایش رشد و عملکرد، ناشی از وجود تیغه در خاک است. اگر چه میزان آب مصرفی تیمارهای T_2 و T_3 به یک میزان است اما وجود تیغه در جعبه‌ها باعث کاهش ۵۰ درصدی فضای خاک شده است. کاهش فضای خاک باعث جلوگیری از هدررفت آب به صورت عرضی شد. در نتیجه ریشه‌های گیاهان آب بیشتری در اختیار داشتند.

کارایی مصرف آب

کارایی (بهره‌وری) مصرف آب عبارت است از نسبت عملکرد محصول به میزان آب مصرفی در طول فصل رشد گیاه. کاهش میزان آب آبیاری، ابتدا کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد، ولی کاهش بیشتر آن باعث کم شدن کارایی مصرف آب می‌شود. جدول ۲ نشان می‌دهد که روش آبیاری، بافت خاک و محلول‌پاشی سالیسیلات سدیم اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر کارایی مصرف آب داشته است. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد که با تغییر مدیریت آبیاری از تیمار T_1 به T_2 ، راندمان استفاده از آب به ازای واحد آب مصرف شده $9/9$ درصد افزایش یافته است. هم‌چنین با تغییر مدیریت آبیاری از T_2 به T_3 ، کارایی مصرف آب به میزان $71/4$ درصد کاهش داشته است. این میزان کاهش به دلیل عدم وجود تیغه در تیمار T_3 است. نتایج مشابهی مبنی بر افزایش کارایی مصرف آب برای گیاه کلزا در اثر اعمال آبیاری PRD مشاهده شد (۵). اویس و همکاران (۱۸)،

سرینیواسا و همکاران (۲۵) و گورانثیوار و اسموت (۱۴) در مورد پنبه و ذرت گزارش دادند که می‌توان با کاهش حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد آب مصرفی گیاه در شرایط کم‌آبی، میزان کارایی مصرف آب را به میزان ۱۵ تا ۳۰ درصد افزایش داد.

جدول ۴ نشان می‌دهد که خاک لوم شنی با تولید $7/22$ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی کارایی مصرف آب بیشتری نسبت به خاک لوم رسی ($5/38$ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب) داشت. لذا کاشت گیاه گوجه‌فرنگی در خاک لوم شنی باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌شود. اگرچه میزان آب مصرفی در خاک لوم شنی ۱۲ درصد بیشتر از خاک لوم رسی است، اما عملکرد در خاک لوم شنی ۱۹ درصد بیشتر از خاک لوم رسی است. جدول ۵ نشان می‌دهد که اعمال تنظیم‌کننده رشد روی گوجه‌فرنگی، کارایی مصرف آب را $16/86$ درصد افزایش داده است. با اعمال تنظیم‌کننده رشد و بسته شدن نسبی روزنه‌ها، تا حدود زیادی از میزان تعرق کاسته می‌شود و آب بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. تحقیقات انجام شده نشان داده که پاشیدن سالیسیلات سدیم بر جو (۱۷) و کلرومکوات بر گندم (۷) به ترتیب $2/55$ درصد و $2/74$ درصد کارایی مصرف آب را افزایش داده است. جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر متقابل آبیاری×بافت خاک در سطح ۱ درصد و آبیاری×تنظیم‌کننده رشد در سطح ۵ درصد بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود. طبق نتایج به‌دست آمده، بیشترین کارایی مصرف آب ($10/41$ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به تیمار S_2T_2 می‌باشد. در تیمار S_2T_3 کمترین مقدار کارایی مصرف آب برابر با $2/42$ کیلوگرم بر مترمکعب بود. کمترین مقدار کارایی مصرف آب ($2/79$ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار B_1T_3 و بیشترین مقدار کارایی مصرف آب ($9/52$ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار B_1T_2 به‌دست آمد.

آثار مورفولوژیک کم آبیاری و تثبیت‌کننده در گیاه گوجه‌فرنگی

در تیمارهایی که PRD بدون وجود تیغه اعمال شد، در مقایسه



ج) آبیاری بدون PRD بدون تیغه



ب) آبیاری PRD با تیغه



الف) آبیاری کامل

شکل ۲. رشد و توزیع ریشه‌ها در خاک لوم شنی



ج) آبیاری بدون PRD بدون تیغه



ب) آبیاری PRD با تیغه



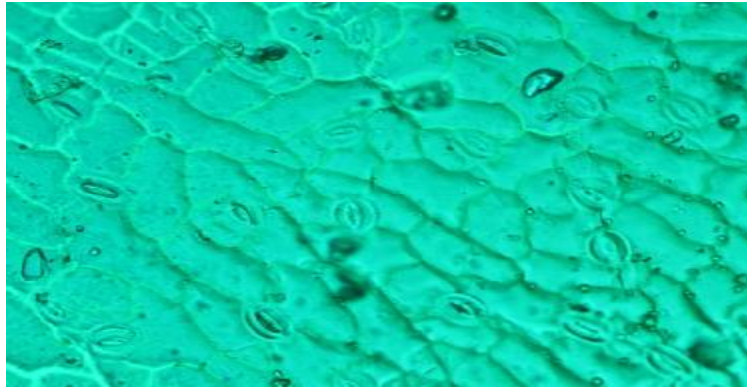
الف) آبیاری کامل

شکل ۳. رشد و توزیع ریشه‌ها در خاک لوم رسی

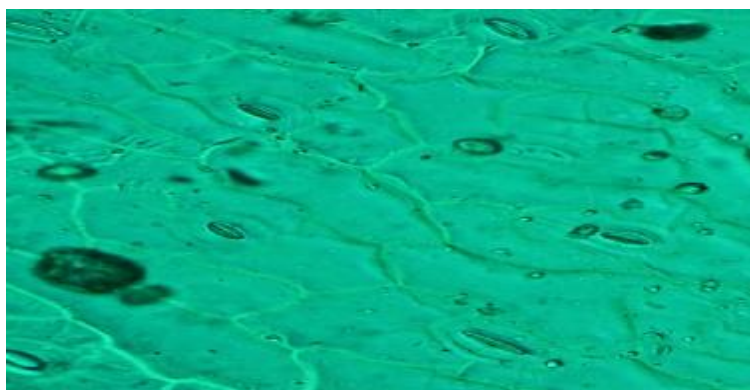
طول ریشه برای تیمارهای PRD با تیغه در خاک لوم شنی طبق شکل (۲-ب) ۴۵ سانتی‌متر و در خاک لوم رسی طبق شکل (۳-ب) ۳۰ سانتی‌متر بود. در تیمارهای PRD بدون تیغه، ریشه‌ها نازک و در سطح خاک پخش شده بودند. میانگین طول ریشه برای تیمارهای PRD بدون تیغه در خاک لوم شنی طبق شکل (۲-ج) ۲۰ سانتی‌متر و در خاک لوم رسی طبق شکل (۳-ج) ۱۰ سانتی‌متر بود. محلول‌پاشی سالیسیلات سدیم قبل از مرحله گل‌دهی و یک هفته بعد از گل‌دهی باعث شد بوته‌ها زودتر به گل بروند، تبخیر و تعرق کمتری داشته و عملکرد بیشتری نسبت به حالت بدون محلول‌پاشی داشتند. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نشان‌دهنده باز و بسته بودن روزنه‌ها در تیمارهای شاهد و B₁ می‌باشند.

با تیمارهای PRD با وجود تیغه، بوته‌ها کوچک‌تر و ارتفاع گیاه و عملکرد محصول کمتر بود. تیمارهای PRD بدون تیغه زودتر از بقیه تیمارها به گل رفتند. ظهور جوانه‌های گل طی یک بازه ۱۸ روزه رخ داد. پس از برداشت گیاهان، با بررسی ریشه‌ها در تیمارهای مختلف آبیاری، مشخص گردید که گیاهانی که آب آبیاری به‌طور کامل در اختیار آنها قرار گرفت دارای ریشه‌های با توزیع تقریباً یکسان در دو طرف تیغه وسط جعبه‌ها و با گسترش عرضی بیشتر بودند. میانگین طول ریشه برای تیمار آبیاری کامل در خاک لوم شنی طبق شکل (۲-الف) ۲۵ سانتی‌متر و در خاک لوم رسی طبق شکل (۳-الف) ۲۰ سانتی‌متر بود.

در تیمارهای PRD با تیغه، ریشه‌ها عمیق‌تر بودند. میانگین



شکل ۴. باز بودن روزنه‌های برگ در تیمار شاهد



شکل ۵. بسته بودن نسبی روزنه‌های برگ در اثر محلول پاشی سالیسیلات سدیم

بیشتر باعث این افزایش شده است. خاک لوم شنی، کارایی مصرف آب بیشتری نسبت به خاک لوم رسی داشت. بوته‌هایی که محلول پاشی سالیسیلات سدیم شدند زودتر به گل رفتند، تبخیر و تعرق کمتری داشتند و دارای عملکرد بیشتری نسبت به حالت بدون سالیسیلات سدیم بودند. گیاهانی که آب آبیاری به‌طور کامل در اختیار آنها قرار گرفت دارای ریشه‌های با توزیع تقریباً یکسان در دو طرف تیغه وسط جعبه‌ها و با گسترش عرضی بیشتر بودند.

سپاسگزاری

از مسئولین پژوهشی و مالی دانشگاه صنعتی اصفهان به‌دلیل حمایت‌های بی‌دریغشان از اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

تفاوت در این امر بر برخی ویژگی‌های گوجه‌فرنگی در تیمارهای محلول پاشی شده تأثیر داشته است.

نتیجه‌گیری

در این آزمایش گلخانه‌ای، اثر روش آبیاری PRD و محلول پاشی سالیسیلات سدیم بر رشد، عملکرد و مصرف آب گوجه‌فرنگی بررسی گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که روش PRD باعث کاهش ارتفاع گیاه، عملکرد میوه و مصرف آب و افزایش پ- هاش میوه و بهره‌وری مصرف آب گوجه‌فرنگی گردید. تیمارهایی که تیغه جداکننده در وسط جعبه‌ها داشتند دارای شرایط بهتری بودند. بیشترین و کمترین تعداد شاخه جانبی، خوشه گل، تعداد میوه و عملکرد میوه مربوط به تیمارهای خاک لوم شنی و خاک لوم رسی بود. گسترش ریشه‌ها به اعماق خاک و جذب آب و مواد غذایی

منابع مورد استفاده

۱. باغانی، ج. و ا. علیزاده. ۱۳۷۹. عملکرد محصول و کارایی مصرف آب در آبیاری قطره‌ای و شیاری. تحقیقات مهندسی کشاورزی ۱۰-۱: ۵.
۲. خالدی، ه. ۱۳۸۲. شناخت و بهره‌وری آب کشاورزی به منظور تأمین امنیت آبی و غذایی کشور. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران، تهران، صفحات ۶۵۷-۶۷۴.
۳. زمردی، ش.، ا. نوری و ع. امامی. ۱۳۸۵. بررسی کم‌آبیاری در کمیت، کیفیت و قابلیت نگهداری گوجه‌فرنگی. تحقیقات مهندسی کشاورزی ۱۹: ۷-۳۰.
۴. سپاسخواه، ع.، ع. توکلی و س. ف. موسوی. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم‌آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران، نشریه شماره ۱۰۰، ۲۸۸ صفحه.
۵. سلطانی‌گرددفرامرزی، س. ۱۳۸۶. اثر شوری و کم‌آبیاری بر عملکرد و آب مصرفی کلزا در شرایط گلخانه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۶. کاظم‌پور، س. و م. تاج‌بخش. ۱۳۸۱. اثر بعضی مواد ضد تعرق بر خصوصیات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت تحت آبیاری محدود. علوم و فنون کشاورزی ایران ۳: ۲۰۵-۲۱۱.
۷. میران‌زاده، ح. ا. و ی. امام. ۱۳۸۷. کاربرد تنظیم‌کننده رشد غلات (کلرمکوات کلرید) در ارتقاء بهره‌وری از آب در زراعت چهار رقم گندم دیم در استان فارس. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی، بهمن ماه، اهواز.
۸. میرجلیلی، ا. ۱۳۸۷. مقایسه روش‌های اجرایی آبیاری بخشی (PRD) بر تولید و راندمان مصرف آب گوجه‌فرنگی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ۷۸ صفحه.
۹. نورمهنداد، ن. ۱۳۸۶. مقایسه تأثیر روش‌های آبیاری بخشی (PRD)، کم‌آبیاری و آبیاری کامل بر تولید و راندمان مصرف آب گوجه‌فرنگی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ۸۲ صفحه.
10. Alvino, A., R. D. Andrio and G. Zerbi. 1988. Fruit ripening of different tomato cultivars as influenced by irrigation and time of harvesting. Acta Hort. 228: 137-146.
11. Campos, H. N., C. Trejo, C. B. Pena-Valdivia, C. R. Ayala and P. S. Garcia. 2008. Effect of partial root zone drying on growth, gas exchange and yield of tomato. Sci. Hort. 4: 493-499.
12. De La Hera, M. L., P. Romero, E. G. Plaza and A. Martinez. 2007. Is partial root zone drying an effective irrigation technique to improve water use efficiency and fruit quality in field grown wine grapes under semiarid condition. Agric. Water Manage. 87: 261-274.
13. Fischer, R. A. and J. T. Wood. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. Aus. J. Agric. Res. 30: 1001-1020.
14. Gorantiwar, S. D. and I. K. Smout. 2005. Multilevel approach for optimizing land and water resources and irrigation deliveries for tertiary units in large irrigation schemes. II. Application. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 131: 254-263.
15. Kilic, H. and T. Yagbasanlar. 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* sp. *durum*) cultivars. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj 38(1): 164-170.
16. Lutfor Rahman, S. M., E. Nawata and T. Sakuratani. 1998. Effects of water stress on yield and related morphological characters among tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. Thai. J. Agric. Sci. 31(1): 60-78.
17. Ouda, S. A., T. El-Mesiry and M. S. Gaballah. 2007. Effect of using stabilizing agents on increasing yield and water use efficiency in barley grown under water stress. Aust. J. Basic Appl. Sci. 1: 571-577.
18. Oweis, T., H. Zhang and M. Pala. 2000. Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in Mediterranean environment. Agron. J. 29: 231-238.
19. Patane, C. and S. L. Cosentino. 2010. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. Agric. Water Manage. 97: 131-138.

20. Pulopol, L. U., M. H. Behboudian and K. J. Fisher. 1996. Growth, yield and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under water deficit. Hort. Sci. 31: 926-929.
21. Samis, D. and I. P. Wu. 1986. Fresh market tomato yield as affected by deficit irrigation using a micro irrigation system. Agric. Water Manage. 12: 117-126.
22. Smajstrla, A. G. and S. J. Locascio. 1994. Irrigation cutback effects on drip-irrigated tomato yields. Proc. Flo. State Hort. Soc. 107: 113-118.
23. Shinohara, Y., K. Akiba, T. Maruo and T. Ito. 1995. Effect of water stress on the fruit yield, quality and physiological condition of tomato plants using the gravel culture. Acta Hort. 396: 211-218.
24. Smith, M., D. Kivombi and L. K. Heng. 2002. Use of the FAO CROPWAT model in deficit irrigation studies. FAO Water Reports, Rome, Italy.
25. Srinivasa Prasad A., N. V. Umamahesh and G. K. Viswanath. 2006. Optimal irrigation planning under water scarcity. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 132: 228-237.
26. Veit-Köhler, U., A. Krumbein and H. Kosegarten. 2001. Different water supply influences growth and fruit quality in tomato (*Lycopersicon Esculentum* L.). Develop. Plants Soil Sci. 92: 308-309.
27. Zegbe-Dominguez, J. A., M. H. Behboudian, A. Lang and B. E. Clothier. 2003. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in 'Petopride' processing tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill.). Sci. Hort. 98: 505-510.
28. Zhou, Q., S. Kang, F. Li and L. Zhang. 2008. Comparison of dynamic and static APRI-models to simulate soil water dynamic in vineyard over the growing season under alternate partial root zone drip irrigation. Agric. Water Manage. 95: 767-775.