Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 49, No 2, Summer 2018 (417-428)
DOI: 10.22059/ijhs.2017.230309.1218

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۷ (ص ۴۲۸-۴۱۷)

رشد رویشی و کارایی مصرف آب دانهال‌های مرکبات در کاربرد همزمان سایه‌اندازی و پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه

هرمز عبادی[1*]، محمود رائینی سرجاز[2] و محمدعلی غلامی سفیدکوهی[3]
۱. دانشجوی سابق دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و مربی مؤسسهٔ تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکدهٔ مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران
۲ و ۳. استاد و دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۴ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۲)

چکیده

تغییرات اقلیمی و تقاضای رو به افزایش آب برای تولید کشاورزی، استفاده بهینه از منابع آب را ناگزیر کرده است. در این آزمایش اثرگذاری‌های پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه (PRD) و کاربرد آن همراه با سایه‌اندازی بر رشد و کارایی مصرف آب دانهال‌های دوساله نارنج در رامسر بررسی شد. این آزمایش به‌صورت گلدانی و در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد. تیمارهای این آزمایش شامل آبیاری کامل(FI)، پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه (PRD) و دو تیمار پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط (MShPRD) و بالا (HShPRD) بود که به مدت هفت ماه در سال ۱۳۹٤ اجرا شد. مقدار آب آبیاری بر پایهٔ کمبود رطوبت خاک تعیین شد. کاهش آب مصرفی در تیمار PRD بی‌سایه‌اندازی، ۲۹/٦ درصد و در تیمارهای با سایه‌اندازی متوسط و بالا به‌ترتیب ۳٦/۲ و ۳۹/۲ درصد بود. مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد، در تیمار HShPRD اندازه‌های قطر تنه، وزن، حجم، طول، سطح و تراکم طولی ریشه و نسبت ریشه به‌کل گیاه کمتر از دیگر تیمارها بود و نیز حجم و وزن ساقه و شاخه و تولید مادهٔ خشک، کمتر از آبیاری کامل بود. ولی نسبت‌های وزن خشک برگ و همهٔ اندام‌های هوایی به‌کل گیاه و نیز نسبت اندام‌های هوایی به ریشه (S/R) در این تیمار بیش از دیگر تیمارها بود. تفاوت تیمارها از نظر شمار، سطح و وزن خشک و تر برگ، ارتفاع گیاه، طول شاخه‌ها، قطر ریشه، سطح ویژه و طول ویژهٔ ریشه معنی‌دار نبود. درنتیجه، بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری در تیمار MShPRD دیده شد ولی این برتری تنها نسبت به آبیاری کامل معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری کامل، تابش، کم‌آبیاری، مرکبات.

Vegetative growth and water use efficiency of citrus seedlings in simultaneous application of shading and partial root zone drying

Hormoz Ebadi[1*], Mahmood Raeini-Sarjaz[2] and Mohammad Ali Gholami-Sefidkoohi[3]
1. Former Ph.D. Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU) and Instructor of Horticultural Science Research Institute, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran
2, 3. Professor and Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(Received: Mar. 24, 2017 - Accepted: Jul. 3, 2017)

ABSTRACT

Due to climate change and increasing of water demand for agricultural productions, optimum use of water resources is necessary. In this experiment, the effects of partial root zone drying (PRD) along with shading were investigated on growth and water use efficiency of 2-year old sour orange seedlings in Ramsar, northern town near Caspian Sea, Iran. The pot experiment were assigned to a completely randomized design and were treated during seven months in 2015. Treatments were full irrigation (FI), partial root zone drying (PRD), PRD along with moderate shade (MShPRD) and PRD along with high shade (HShPRD). Irrigations water volumes were determined on the basis of soil moisture deficiency. Water consumption reduction relative to FI treatment for PRD, MShPRD and HShPRD treatments were 29.6, 36.2 and 39.2 percent, respectively. Mean comparion indicated that trunk diameter, dry weight ratio of root/total plant and root variables (dry and fresh weight, volume, length, area and length density) in HShPRD were significantly lower than those of other treatments. Also, total dry matter and volume and weight of stem and branches in HShPRD were lower than those of full irrigation treatment. Dry weight ratios of leaf/total plant, shoot/total plant and shoot/root in this treatment were higher than those of other treatments. Treatments had no significant effect on leaf variables, plant height, branches length, root diameter and specific root area and length. In conclusion, the highest irrigation water use efficiency was observed in MShPRD, but it had significant difference only with full irrigation.

Keywords: Deficit irrigation, citrus, full irrigation, radiation.

* Corresponding author E-mail: hormozebadi@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

مرکبات گروه مهمی از میوه‌ها هستند که در گسترهٔ بیش از ۱۵۰ کشور که اقلیم‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری دارند، پرورش می‌یابند (Shirgure, 2013). ولی در مقیاس تجاری در بیش از ۸۰ کشور جهان کشت و کار می‌شوند (Chang, 1992). این محصول در ایران بیشترین میزان تولید در بین محصولات باغی را دارد که حدود نیمی از آن در مناطق شمالی و نیمی دیگر در نواحی کم‌بارش جنوبی و مرکزی تولید می‌شود. کمبود منابع آب و فزونی دما و تابش خورشید به‌ویژه در تابستان از محدودیت‌های مهم تولید بسیاری از محصولات کشاورزی از جمله مرکبات در ایران است. بهبود رشد به ازای واحد آب مصرفی، یا همان کارایی مصرف آب، هدف اصلی در بسیاری از نظام‌های کشاورزی است. با توجه به کمبود آب قابل استحصال، افزایش کارایی مصرف آب برای دستیابی به مدیریت بهینهٔ آبیاری و کشاورزی پایدار امری ضروری است (Wakrim *et al*., 2005). آبیاری قطره‌ای و کم‌آبیاری از مهم‌ترین و گسترش‌یافته‌ترین تلاش‌هایی است که برای صرفه‌جویی در مصرف آب و بهبود کارایی مصرف آب در باغ‌ها انجام شده است. آبیاری قطره‌ای در باغ‌های مرکبات به‌تنهایی سبب کاهش مصرف آب به میزان ۴۰ تا ۵۰ درصد شده است (Hutton & Loveys, 2011). پس از کم‌آبیاری معمولی و کم‌آبیاری تنظیم‌شده، روش جدیدی از کم‌آبیاری به نام پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه (Partial Root-zone Drying, PRD) معرفی‌شده که در هر بار آبیاری حدود نیمی از ریشه‌های درختان آبیاری و نیمی دیگر خشک نگه‌داشته می‌شود. با این کار همزمان پتانسیل آب گیاه حفظ و رشد رویشی کنترل می‌شود (Kriedemann & Goodwin, 2003). روش‌های PRD بر این فرض استوار است که نیمی از شبکهٔ ریشه در برخورد با خشکی خاک اسید آبسیزیک تولید می‌کند که به‌عنوان پیام شیمیایی از طریق آوند چوبی از ریشه به برگ منتقل و سبب کاهش رسانایی روزنه می‌شود (Davies *et al*., 2002; Bravdo, 2005). همچنین با توجه به رابطهٔ غیرخطی بین نورساخت (فتوسنتز) و رسانایی روزنه و نیز حساسیت کمتر نورساخت در مقایسه با رسانایی روزنه نسبت به تنش آبی، کارایی مصرف آب در تنش آبی متوسط افزایش می‌یابد (Davies *et al*., 2002; Liu *et al*., 2005). تنش ایجادشده با PRD در حد متوسط بوده و در درختان بارده می‌تواند از رشد اضافی تاج جلوگیری کند (Loveys *et al*., 2000). آزمایش‌های PRD روی رشد برخی از انواع نهال‌های مرکبات در شرایط گلخانه بیانگر نتایج متفاوت است: دو آزمایش در این شرایط (Kusakabe *et al*., 2009a; Melgar *et al*., 2010) نشان داد، بسیاری از فراسنجه (پارامتر)های رشد اندام‌های هوایی و کارایی مصرف آب کل گیاه در PRD تفاوتی با آبیاری کامل نداشت ولی سبب افزایش رشد ریشه شد. در آزمایش دیگری کاهش مادهٔ خشک کل و طول ویژهٔ ریشه و افزایش وزن خشک در واحد سطح برگ و نسبت ریشه به اندام‌های هوایی درنتیجهٔ PRD گزارش شد (Kusakabe *et al*., 2009b). اجرای این روش با دو مقدار آبیاری ۵۰ و ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق در شرایط یادشده نسبت وزن اندام‌های هوایی به ریشه را کم کرد ولی این کاهش در مقدار متوسط (۵۰ درصد) متأثر از کاهش رشد اندام‌های هوایی و در مقدار ۱۰۰ درصد، متأثر از افزایش رشد ریشه بود. همچنین کارایی مصرف آب کل گیاه در این دو مقدار به‌ترتیب حدود ۱/۶ و ۴/۷ برابر آبیاری کامل بود (Romero-Conde *et al*., 2014). آزمایش‌های PRD روی دیگر درختان (غیر از مرکبات)، یافته‌های متنوعی دارد. به‌عنوان نمونهٔ این روش سبب کاهش معنی‌دار (کمتر از ۱۰ درصد) رشد محیط مقطع عرضی تنهٔ درخت گیلاس شد ولی بر درختان هلو و سیب اثری نداشت (Loveys *et al*., 1999). همچنین دو آزمایش جداگانه روی سیب نشان داد، این روش در یکی از آن‌ها تأثیری بر اندام‌های چوبی هوایی نداشت ولی با کاهش وزن خشک برگ و میوه، سبب کاهش مادهٔ خشک و رشد رویشی کل نسبت به آبیاری کامل شد. در آزمایش دیگر، این روش سبب کاهش وزن خشک همهٔ اندام‌های هوایی شد ولی وزن خشک ریشه همسان و کارایی مصرف آب بالاتر از آبیاری کامل داشت (Lo Bianco *et al*., 2011).

راهکار دیگری که برای بهبود کارایی مصرف آب

Archive of SID

www.SID.ir

در باغ‌های مرکبات قابل استفاده است، سایه‌اندازی روی درختان با استفاده از تور است که گزارش‌های چندی در این زمینه وجود دارد (Allen & Lemon, 1974; Cohen *et al*., 1997; Medina *et al*., 2002; Alarcon *et al*., 2006). دمای بهینه برای کربن‌گیری خالص (net CO_2 assimilation rate) در مرکبات ۲۵ تا ۳۰ درجهٔ سلسیوس گزارش شد (Spiegel-Roy & Goldschmidt,1996). دمای فراتر از این محدوده ممکن است، سبب بسته شدن روزنه و کاهش کربن‌گیری خالص، رشد و عملکرد مرکبات شود (Raveh *et al*., 2003). کاهش میزان تابش (با سایه‌اندازی روی درخت)، دمای گیاه و درنتیجه تفاوت فشار بخار برگ به هوا را کم کرد (Jifon & Syvertsen, 2003)، رسانایی روزنهٔ برگ در میانهٔ روز را افزایش داد و کربن‌گیری خالص را به حد مطلوب نزدیک کرد (Cohen *et al*., 1997; Jifon & Syvertsen, 2003). همچنین کاهش تعرق (Nicolas *et al*., 2008)، افزایش کارایی مصرف آب برگی (Jifon & Syvertsen, 2003; Alarcon *et al*. 2006) و حفظ یا افزایش نورساخت و مجموع روزانهٔ کربن‌گیری خالص درنتیجهٔ سایه‌اندازی (Nicolas *et al*., 2008; Medina *et al*., 2002) گزارش شده است. البته کاهش بیش‌ازحد تابش، سبب محدود شدن کربن‌گیری خالص و کاهش بهره‌وری نورساخت شد (Raveh *et al*., 2003). سایه‌اندازی روی درختان جوان مرکبات در ماه‌های گرم تابستان در اقلیم نیمه گرمسیری، رسانایی روزنه، کربن‌گیری خالص، مادهٔ خشک و رشد رویشی درختان را افزایش داد. در این آزمایش افزایش معنی‌دار رشد برگ‌ها منجر به افزایش نسبت اندام‌های هوایی به ریشه شد (Raveh *et al*., 2003). سایه‌اندازی روی دانهال‌های عود (*Aquilaria crassna*) نیز سبب افزایش ارتفاع آن‌ها در مقایسه با شاهد شد، ولی تأثیری بر قطر تنه نداشت (Page & Awarau, 2012). کاربرد همزمان سایه‌اندازی و کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی در درختان باردهٔ مرکبات سبب افزایش شمار ریشه‌های تغذیه‌کننده با گسترش افقی خوب و تجمع زیاد (۹۰ درصد) آن‌ها در عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک شد (Abouatallah *et al*., 2012).

بنابر نتایج بررسی‌های دیگران، تنش متوسط ایجادشده توسط PRD سبب کاهش رشد رویشی شد (Kriedeman & Goodwin, 2003; Loveys *et al*., 2000)، ولی با کاهش آب مصرفی، سبب ارتقای کارایی مصرف آب شد (Romero-Conde *et al*., 2014). از سوی دیگر سایه‌اندازی می‌تواند تعرق را کاهش و برخلاف PRD می‌تواند رشد رویشی را افزایش دهد و درنتیجهٔ آن کارایی مصرف آب را نیز افزایش دهد. در این راستا، هدف این پژوهش بررسی اثر برهمکنش PRD و سایه‌اندازی روی فراسنجه‌های رشد و کارایی مصرف آب دانهال‌های نارنج، به‌عنوان رایج‌ترین پایهٔ مرکبات در ایران، بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پژوهشکدهٔ مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری واقع در رامسر انجام شد. در جدول ۱ میزان بارندگی، تبخیر و میانگین‌های دما در هفت ماه اجرای تیمارهای آزمایش در سال ۱۳۹۴ ارائه شده است.

جدول ۱. بارندگی، تبخیر و دما در مدت آزمایش در سال ۱۳۹۴

Table 1. Rainfall, evaporation and temperature during experiment period in 2015

Rainfall (mm)	392.8
Evaporation (mm)	945.6
Maximum temperature mean (°C)	28.8±6*
Daily temperature mean (°C)	10±23.7
Minimum relative humidity mean (%)	13.6±56

* Mean ± standard deviation

مواد گیاهی و مرحله‌های آماده‌سازی برای اجرای تیمار

مواد گیاهی این پژوهش دانهال‌های نارنج (*Citrus aurantium*) بودند. به‌منظور یکسان‌سازی مواد گیاهی برای اجرای پژوهش، در آغاز بیش از ۳۰۰۰ عدد بذر سالم در گلدان‌های ۳ لیتری با بستر ضدعفونی‌شده حاوی کوکوپیت، ماسه و پرلیت (به‌ترتیب به نسبت‌های ۰/۵، ۰/۲۵و ۰/۲۵) کاشته و پس از سبز شدن، گیاهچه‌های جنسی حذف و گیاهچه‌های نوسلار (غیرجنسی) تا ارتفاع ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر در گلخانهٔ کنترل‌شده نگهداری شدند. در مرحلهٔ بعدی ۱۰۰ اصله دانهال مناسب و یکسان انتخاب و برای اینکه بتوان

Archive of SID

www.SID.ir

ریشه‌های قابل تفکیک به دو بخش تربیت کرد (مناسب برای اجرای PRD)، ریشه‌ها در طول ۶ سانتی‌متر هرس و هر یک از گیاهچه‌ها به‌طور جداگانه در یک پاکت پلاستیکی حاوی ماسه کشت شدند و در گلخانهٔ معمولی به مدت نه ماه پرورش یافتند. سپس دانهال‌های به‌دست‌آمده به گلدان‌های ۱۰ لیتری حاوی ماسه منتقل و به مدت شش ماه دیگر در گلخانه و یک ماه تا آغاز تیمارها در بیرون از گلخانه (برای سازگاری با شرایط تیمار) نگهداری شدند. برای سه تیمار آبیاری به روش PRD لازم بود خاک دو بخش از ریشهٔ هر دانهال (یا دو بخش هر گلدان) جداگانه باشند و امکان تبادل رطوبت بین این دو فراهم نباشد. ازاین‌رو با استفاده از کارتن‌پلاست و چسب آکواریوم هر گلدان به دو بخش جداگانه جداسازی شد. برای اطمینان از نبود نشت آب از یک بخش به بخش دیگر گلدان، پیش از پر کردن با ماسه، آبگیری و موارد نشت برطرف شد.

تیمارها و اندازه‌گیری‌ها

در این آزمایش چهار تیمار به شرح زیر از اردیبهشت تا آبان سال ۱۳۹۴ روی ۲۴ دانهال (شش اصله برای هر تیمار) دوسالهٔ نارنج انجام شد: ۱) آبیاری کامل (FI)، ۲) کم‌آبیاری به روش پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با ایجاد سایهٔ متوسط (MShPRD)، ۳) کم‌آبیاری به روش پاره خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایهٔ بالا (HShPRD) و ۴) کم‌آبیاری به روش پاره خشکیدگی ناحیهٔ ریشه (PRD). سایه‌اندازی در تیمار دوم و سوم به‌ترتیب ۵۵ و ۸۲ درصد در ساعت‌های میانی روز بود. مقدار آب در آبیاری‌ها بر پایهٔ کمبود رطوبت خاک تعیین شد. کمبود رطوبت خاک از میانگین تفاوت وزن مربوط به پس‌وپیش از آبیاری در سه گلدان نمونه از هر تیمار به دست آمد که در تیمار آبیاری کامل ۱۰۰ درصد آن به همهٔ ناحیهٔ ریشه ولی در سه تیمار دیگر ۵۰ درصد آن تنها به یک بخش از دو بخش ناحیهٔ ریشه داده شد. توزین مربوط به‌پیش از آبیاری برای تیمار آبیاری کامل در همهٔ آبیاری‌ها و در سه تیمار دیگر هر چهار آبیاری یک‌بار و توزین مربوط به پس از آبیاری در چهار مرحله انجام شد. در سه تیمار کم‌آبیاری، تعیین مقدار آب در آبیاری‌هایی که توزین گلدان‌ها میسر نشد، به میزان ۵۰ درصد تیمار آبیاری کامل انجام شد. توزین گلدان‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال انجام شد. زمان آبیاری‌ها بر پایهٔ بیشترین تخلیهٔ ۶۰۰ میلی‌لیتر آب از تیمار آبیاری کامل (۳۰ درصد از ظرفیت نگهداشت آب در خاک) برنامه‌ریزی شد. ظرفیت نگهداشت آب بر پایهٔ تفاوت میانگین وزن سه گلدان نمونه در دو زمان در آغاز آزمایش، الف) پیش از نخستین آبیاری و ب) پس از آبیاری کامل و خروج آب ثقلی از گلدان‌ها، تعیین شد. آبیاری‌ها با استفاده از ظرف مدرج انجام شد. برای جلوگیری از ورود آب باران به‌پای گلدان و تبخیر آب از سطح خاک گلدان‌ها، سطح آن‌ها با پلاستیک کامل بسته و برای هر بار آبیاری باز و پس از آن بسته می‌شد. مقادیر آب مصرفی برای هر دانهال در تیمارهای مختلف در مدت هفت ماه در جدول ۲ ارائه شده است. برای ایجاد سایه‌اندازی در تیمارهای ۲ و ۳، از سایبان‌های سبزرنگ به ترتیب با تراکم بافت متوسط (سایه‌اندازی ۵۵ درصد) و بالا (سایه‌اندازی ۸۲ درصد) استفاده شد. برای استقرار این سایبان‌ها سازهٔ فلزی به شکل U وارونه با استفاده از لوله‌های یک‌دوم اینچ ساخته و نصب شد. سایبان‌ها به‌گونه‌ای روی این سازه گسترده شدند که در ساعت‌های میانی روز (۱۰ صبح تا ۱۵ بعدازظهر) همهٔ اندام‌های گیاه پوشیده بودند. عملیات داشت (سم‌پاشی، کوددهی و مبارزه با علف‌های هرز) به‌صورت یکسان برای همهٔ تیمارها انجام شد.

جدول ۲. مقدار آب مصرفی برای آبیاری هر دانهال در تیمارهای آزمایش

Table 2. Used water for irrigation of a seedling in each treatment

Treatments*	Water use (mm)
FI	649
PRD	457
MShPRD	414
HShPRD	394

* آبیاری کامل، پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه (PRD) و دو تیمار پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط و بالا.

* Full irrigation (FI), Partial root zone drying (PRD), Medium shade+PRD (MShPRD) and High shade+PRD (HShPRD).

Archive of SID

www.SID.ir

در پایان آزمایش برای اندازه‌گیری شاخص‌های مختلف اندام‌های گیاهی از شش دانهال در هر تیمار استفاده شد. به این منظور دانهال‌ها از نزدیک‌ترین نقطه به بستر گلدان بریده، اجزای آن از هم جدا و ویژگی‌های مختلف شامل شمار، سطح و وزن تر و خشک برگ، قطر ساقه، ارتفاع نهال، وزن تر و خشک و حجم مجموع ساقه و شاخه‌ها، طول شاخه‌ها، وزن تر و خشک، سطح، حجم، طول، تراکم طولی، طول ویژه و سطح ویژهٔ ریشه اندازه‌گیری یا تعیین شد. سطوح کل برگ‌های هر دانهال با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (LI-COR, model LI 3100, USA[1]) در مؤسسهٔ تحقیقات برنج (آمل) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، اندام‌ها (برگ، ساقه، شاخه و ریشه) به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجهٔ سلسیوس در آون خشک شدند (Klien *et al.*, 1993). جداسازی ریشه‌ها از خاک بستر گلدان با شستشوی آن در یک تشت فراهم شد. این کار با توجه به ماسه‌ای بودن خاک بستر، از بین رفتن ریشه را محدود ساخته بود. حجم ریشه و مجموع ساقه و شاخه‌ها در حالت تر و با استفاده از تغییر حجم آب در استوانهٔ مدرج اندازه‌گیری شد. طول ریشه‌ها به روش تقاطع خط (line intersect method, Tennant, 1975) اندازه‌گیری شد. در این کار برای تثبیت ریشه و بهبود کار شمارش نقاط تقاطع ریشه با خطوط شبکه، بجای ظرف شفاف و پهن محتوای عمق باریکی از آب، از یک صفحهٔ شیشه‌ای استفاده شد. با فرض یکسان بودن وزن مخصوص همهٔ ریشه‌ها و استوانه‌ای بودن شکل آن‌ها، قطر ریشه (RD) با رابطهٔ (۱) تعیین شد (Hajabbasi, 2001):

$$RD = (4\times FWR/(3.14\times LR))^{0.5} \quad (۱)$$

که در آن FWR و LR به‌ترتیب وزن تر (کیلوگرم) و طول ریشه (متر) است. سطح ریشه (RA, cm^3) از رابطهٔ (۲) (Khalili-Rad *et al.*, 2010) تعیین شد:

$$RA = 2\times(3.14\times RV\times RL)^{0.5} \quad (۲)$$

که در آن RV و LR به‌ترتیب حجم (cm^3) و طول ریشه (cm) است. تراکم طولی ریشه (Root Length Density, RLD, mm/cm^3) از تقسیم طول ریشه بر حجم خاک گلدان، طول ویژهٔ ریشه (Specific Root Length,SRL, m/g) از تقسیم طول بر وزن خشک ریشه و سطح ویژهٔ ریشه (Specific Root Area, SRA, cm^2/g) از تقسیم سطح ریشه بر وزن خشک به دست آمد. همچنین برای هر نهال نسبت‌های وزن خشک هر یک از اندام‌ها: برگ، ساقه و شاخه‌ها و ریشه به‌کل گیاه، نسبت وزن خشک اندام‌های هوایی (مجموع برگ، ساقه و شاخه‌ها) به ریشه (Shoot to root ratio (S/R)، مادهٔ خشک یا زیست‌توده (بیوماس) کل نهال و کارایی مصرف آب (مادهٔ خشک کل نهال تقسیم بر حجم آب مصرفی) تعیین شد.

تجزیهٔ آماری با استفاده از نگارش ۹/۱ نرم‌افزار SAS انجام شد. تجزیهٔ واریانس در قالب طرح کامل تصادفی و آزمون مقایسهٔ میانگین‌ها به روش SNK انجام شد.

نتایج و بحث

کاهش آب مصرفی تیمارهای پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط و بالا و پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه به تنهایی، به ترتیب ۳۶/۲، ۳۹/۲ و ۲۹/۶ درصد نسبت به آبیاری کامل بود (جدول ۲). اثرگذاری تیمارها بر ویژگی‌های مختلف رشد و کارایی مصرف آب به شرح زیر است:

اندام‌های هوایی (برگ، ساقه و شاخه‌ها)

گرچه تجزیهٔ واریانس داده‌های برگ (شمار، سطح و وزن خشک و تر) بیانگر نبود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست، بیشترین و کمترین مقدار همهٔ این شاخص‌ها به‌ترتیب در تیمارهای سایه‌اندازی متوسط همراه با پاره‌خشکیدگی ریشه (MShPRD) و PRD بود و در دو تیمار با سایه‌اندازی، وزن خشک و سطح کل برگ‌ها بیش از آبیاری کامل و پاره‌خشکیدگی ریشهٔ بی‌سایه‌اندازی بود (جدول ۳). در آزمایش گلخانه‌ای نیز وزن خشک و سطح کل برگ‌های مرکبات در پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه با آبیاری کامل تفاوت نداشت (Melgar *et al.*, 2010) ولی در آزمایش باغی روی سیب چنین نبود (Lo Bianco *et al.*, 2011). همچنین برخلاف یافته‌های این آزمایش،

Archive of SID

www.SID.ir

سایه‌اندازی‌ها با کاهش ۳۵ تا ۵۵ درصد در بار تابشی، وزن خشک برگ درختان جوان مرکبات را افزایش داد (Raveh *et al*., 2003). علت این تفاوت می‌تواند مربوط به مقدار آبیاری باشد زیرا در آن آزمایش، تیمارهای با سایه‌انداز و بدون سایه‌انداز، یکسان و به مقدار کامل آبیاری شدند، حال‌آنکه در این پژوهش سایه‌اندازی همراه با کم‌آبیاری ۵۰ درصد (به روش پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه) بود. البته با این وجود تیمارهای با سایه‌انداز بیشترین وزن خشک و سطح برگ را داشتند (جدول ۳).

تفاوت تیمارها در ارتفاع نهال و مجموع طول شاخه‌ها معنی‌دار نبود گرچه در تیمار با سایه‌اندازی بالا ارتفاع نهال نزدیک به آبیاری کامل و بیش از دو تیمار دیگر بود و مجموع طول شاخه‌ها در تیمار پاره‌خشکیدگی ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط بیشترین و در تیمار پاره‌خشکیدگی ریشه بدون سایه‌اندازی، کمترین مقدار را داشت. قطر تنهٔ دانهال‌ها در تیمار سایه‌اندازی بالا همراه با PRD با تفاوت بسیار معنی‌دار کمتر از دیگر تیمارها بود. حجم و وزن تر و خشک ساقه و شاخه‌های آن نیز کمتر از آبیاری کامل بود (با تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد). همچنین کاهش حجم ساقه و شاخه‌ها در تیمار PRD نسبت به آبیاری کامل معنی‌دار بود (جدول ۴).

واکنش‌های متفاوتی از سایه‌اندازی روی ارتفاع گیاه گزارش شده است. در یک اقلیم نیمه‌خشک، ارتفاع درختان جوان مرکبات در سایه‌اندازی ۳۰ درصد بیش از ۶۰ درصد و شاهد (بی‌سایه‌اندازی) بود (Raveh *et al*., 2003) و سایه‌اندازی ۵۰ درصد روی درختان عود، ارتفاع گیاه را افزایش داد (Page & Awarau, 2012). بلندتر شدن گیاهان در شرایط سایه به دلیل تمایل آن‌ها به دسترسی به نور در برخی منابع اشاره شده است (Jones, 2014; Raveh *et al*., 2003; Page & Awarau, 2012) ولی با توجه به یافته‌های این پژوهش و دیگر آزمایش‌های یادشده در بالا، بستگی به اقلیم، شدت سایه‌اندازی و شرایط دسترسی به آب دارد. افزون بر این، ارتفاع گیاه و مجموع طول شاخه‌ها رابطهٔ معکوس با هم دارند (Page & Awarau, 2012). این رابطه در این آزمایش همبستگی بسیار معنی‌دار با ضریب ۶۰ درصد داشت (جدول‌های همبستگی در اینجا ارائه نشده است).

جدول ۳. میانگین ویژگی‌های برگ (±SE) یک دانهال در تیمارهای آزمایش

Table 3. Means ± SE of leaf variables of a seedling in each treatments

Treatments*	Leaf dry weight (g)	Leaf fresh weight (g)	Leaf area (cm^2)	Leaf number
FI	31.4±4.4	79.2±4.7	2493±260	132±9
PRD	25.6±1.3	64.7±4.3	2224±300	110±13
MShPRD	32.7±2.3	79.8±5.5	2786±246	137±15
HShPRD	32.6±4.8	69.7±7.3	2689±258	115±13
ANOVA	ns	ns	ns	ns

* آبیاری کامل، پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشه (PRD) و دو تیمار پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط و بالا.

ns: بدون تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد (p<۰/۰۵).

* Full irrigation (FI), Partial root zone drying (PRD), Medium shade + PRD (MShPRD) and High shade + PRD (HShPRD).
ns: No significant difference in level 5% (p<0.05).

جدول ۴. میانگین‌های ویژگی‌های ساقه و شاخه‌ها (±SE) یک دانهال در تیمارهای آزمایش

Table 4. Means±SE of a seedling's stem and branches variables in each treatments

Treatments+	Height (cm)	Trunk diameter (mm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Volume (cm^3)	Total branches length (cm)
FI	119.2±4	12.1±0.5a	79.2±5.0a	40.5±1.9a	88.5±4.1a	163.7±23.5
PRD	110.3±7.9	11.0±0.5a	60.9±2.9ab	32.3±1.4ab	69.1±3.6b	133.3±26.1
MShPRD	111.5±6.1	11.3±0.3a	70.7±6.7ab	37.1±3.5ab	77.9±6.8ab	177.3±19.8
HShPRD	119.3±2.2	9.6±0.3b	55.0±5.0b	28.8±2.6b	63.9±5.6b	159.2±18.2
ANOVA	ns	**	*	*	*	ns

+ آبیاری کامل، پاره‌خشکیدگی ناحیه ریشهٔ (PRD) و دو تیمار پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط و بالا.

*، ** و ns: تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و نبود آن. در هر ستون میانگین‌های با حرف‌های ناهمسان، بیانگر تفاوت معنی‌دار بین آن‌هاست.

+ Full irrigation (FI), Partial root zone drying (PRD), Medium shade+ PRD (MShPRD) and High shade+PRD (HShPRD)
*, **, ns: Significant differences in levels of 5 and 1% and no significant difference, respectively. Different letters within the same column indicate significant differences.

Archive of SID

www.SID.ir

در مورد قطر تنه و وزن ساقه و شاخه‌ها، مشاهده‌های دیگر پژوهشگران (Raveh *et al*., 2003; Page & Awarau, 2012) با توجه به میزان سایه‌اندازی، مغایر با یافته‌های این آزمایش نیست. زیرا نخست آنکه در این آزمایش سایه‌اندازی‌های متوسط و شدید همراه با کم‌آبیاری بود. افزون بر این، در آزمایش انجام‌شده روی مرکبات (Raveh *et al*., 2003) سایه‌اندازی‌های متوسط (کاهش تابش ۳۵ تا ۵۵ درصد) بدون کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر قطر تنه و وزن خشک ساقه و شاخه‌ها نداشتند. کم نشدن وزن خشک ساقه و شاخه‌ها در PRD بدون سایه‌اندازی همسو با یافته‌های (Melgar *et al*., 2010) است.

ویژگی‌های ریشه

تجزیهٔ واریانس داده‌های ویژگی‌های ریشه نشان داد، تیمارها از نظر طول، حجم، سطح، تراکم طولی و وزن تر و خشک در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌دار دارند ولی این تفاوت از نظر قطر، طول ویژه و سطح ویژه معنی‌دار نبود (جدول‌های ۵ و ۶).

مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای SNK بیانگر آن است که تیمار HShPRD با تفاوت معنی‌دار کمترین اندازه‌های وزن، حجم، طول، سطح و تراکم طولی نسبت به دیگر تیمارها را دارد (جدول‌های ۵ و ۶). نتایج پژوهش‌های دیگر نشان داد، سایه‌اندازی ۳۰ و ۶۰ درصد تأثیری بر وزن خشک ریشه نداشت (Raveh *et al*., 2003) ولی کاربرد همزمان سایه‌اندازی و کم‌آبیاری معمولی روی درختان باردهٔ مرکبات شمار ریشه‌های تغذیه‌کننده در عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک را افزایش داد (Abouatallah *et al*., 2012). محدودیت بالای نور همراه با کمبود آب در تیمار HShPRD می‌تواند کاهش وزن خشک و نمایه‌های دیگر ریشه را توجیه کند زیرا در این آزمایش همانند آنچه در آزمایش Raveh *et al*. (2003) رخ داد، گیاه برای چیرگی بر محدودیت نوری، کربن اندوخته را بیشتر صرف رشد برگ کرد، به‌گونه‌ای که تفاوت معنی‌داری با دیگر تیمارها از نظر برگ نداشت و اندام‌های چوبی هوایی و ریشه امکان رشد کمتری یافتند (جدول ۳ و شکل ۱). به‌ویژه آن‌که در این تیمار، میزان سایه‌اندازی بیشتر از آزمایش Raveh *et al*. (2003) بود و محدودیت آب نیز وجود داشت.

جدول ۵. میانگین‌های وزن، حجم و طول ریشه (±SE) یک نهال در تیمارهای آزمایش

Table 5. Root length, volume and weight means of a seedling ±SE in each treatment

Treatments+	Root dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root volume (cm^3)	Root length (cm)
FI	60.5±5.0a	84.5±8.5a	89.4±8a	19021±2186a
PRD	55.3±3.5a	72.5±4.7a	84.0±8.6a	17481±1253a
MShPRD	52.6±5.3a	72.2±9.0a	81.3±8.2a	16482±1614a
HShPRD	32.9±1.8b	45.8±2.0b	52.9±3.3b	10951±478b
ANOVA	**	**	**	**

+ آبیاری کامل، پارەخشکیدگی ناحیهٔ ریشه (PRD) و دو تیمار پارەخشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط و بالا.

** تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد. در هر ستون میانگین‌های دارای حرف‌های ناهمسان، بیانگر تفاوت معنی‌داری بین آن‌هاست.

+ Full irrigation (FI), Partial root zone drying (PRD), Medium shade + PRD (MShPRD) and Highshade + PRD (HShPRD)

** Significant differences in levels of 1%. Different letters within the same column indicate significant differences.

جدول ۶. میانگین‌های سطح، قطر، تراکم، طول ویژه و سطح ویژهٔ ریشه (±SE) یک نهال در تیمارهای آزمایش

Table 6. Means of root area, diameter,root length density (RLD), specific root length (SRL) and specific root area (SRA)±SE of a seedling in each treatment

Treatments+	Root area (cm^3)	Root diameter (mm×100)	RLD (mm. cm^{-3}soil)	SRL ($m.g^{-1}$)	SRA ($cm^2.g^{-1}$)
FI	4608±443a	7.55±0.17	26.4±3.0a	3.14±0.2	76.0±2.1
PRD	4286±358a	7.28±0.07	24.3±1.7a	3.15±0.1	77.2±2.4
MShPRD	4096±398a	7.42±0.13	22.9±2.2a	3.12±0.1	78.1±2.3
HShPRD	2694±125b	7.30±0.12	15.2±0.7b	3.37±0.2	82.4±3.3
ANOVA	**	ns	**	ns	ns

+ آبیاری کامل، پارەخشکیدگی ناحیهٔ ریشه (PRD) و دو تیمار پارەخشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط و بالا.

** و ns: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد و نبود آن. در هر ستون میانگین‌های با حرف‌های ناهمسان، بیانگر تفاوت معنی‌دار بین آن‌هاست.

+ Full irrigation (FI), partial root zone drying (PRD), Medium shade + PRD (MShPRD) and High shade + PRD (HShPRD)

**, ns: Significant differences in levels of 1% and no significant difference, respectively. Different letters within the same column indicate significant differences.

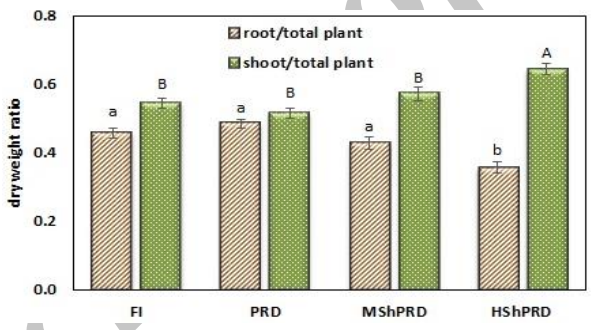
Archive of SID

www.SID.ir

در این آزمایش تفاوت بین PRD و آبیاری کامل در همهٔ ویژگی‌های ریشه معنی‌دار نبود (جدول‌های ۵ و ۶). همسان این یافته‌ها، در آزمایش گلخانه‌ای وزن خشک، تراکم و طول ویژه ریشه در دانهال‌های آبیاری‌شده به روش PRD تفاوتی با دانهال‌های آبیاری کامل نداشت، ولی PRD طول ریشه را افزایش داد (Melgar *et al.*, 2010). در نتایج آزمایش‌های گلخانه‌ای دیگر تأثیر PRD روی وزن خشک بستگی به مقدار آب مصرفی داشت (Romero-Conde *et al.*, 2014)، ولی سبب کاهش SRL و افزایش قطر ریشه شد (Kusakabe *et al.*, 2009b). طول و تراکم طولی ریشه (RLD) معیاری برای کارایی ریشه در جذب آب و عنصرهای غذایی است (Ganjeali *et al.*, 2007).

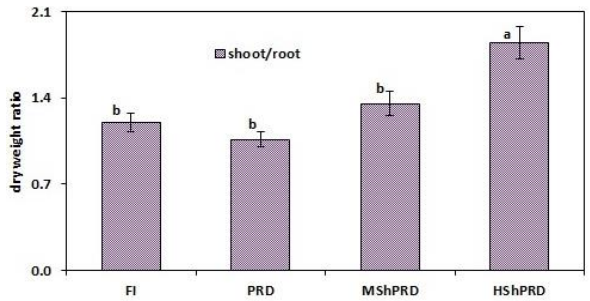
نسبت‌های مادهٔ خشک اندام‌های گیاهی

تیمارها از نظر نسبت‌های وزن خشک برگ به‌کل گیاه، وزن خشک همهٔ اندام‌های هوایی (ساقه، شاخه و برگ) به‌کل گیاه، وزن خشک ریشه به‌کل گیاه و اندام‌های هوایی به ریشه گیاه تفاوت بسیار معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) و از نظر مادهٔ خشک تفاوت معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) داشتند. ولی از نظر نسبت وزن خشک ساقه و شاخه‌ها به‌کل گیاه تفاوت تیمارها معنی‌دار نبود (جدول تجزیهٔ واریانس در اینجا آورده نشد). مقایسهٔ میانگین نسبت‌های یادشده نشان می‌دهد، تیمار HShPRD سبب کاهش نسبت وزن خشک ریشه به‌کل گیاه شد (شکل ۱) ولی نسبت‌های وزن خشک اندام‌های هوایی به‌کل گیاه و اندام هوایی به ریشه (S/R) را در مقایسه با دیگر تیمارها افزایش داد (شکل‌های ۱ و ۲). این افزایش بیشتر متأثر از برگ بوده زیرا نسبت برگ به‌کل گیاه در تیمار یادشده با تفاوت معنی‌دار بیش از دیگر تیمارها بود ولی از نظر نسبت مجموع ساقه و شاخه به‌کل گیاه تفاوتی با آن‌ها نداشت (شکل۳).



شکل ۱. نسبت‌های وزن خشک اندام‌های هوایی (ساقه، شاخه و برگ) به کل گیاه و ریشه به‌کل گیاه در تیمارهای آبیاری کامل، پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه و دو تیمار پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط و بالا. در هر متغیر، حرف‌های ناهمسان روی میانگین‌ها بیانگر تفاوت معنی‌دار بین آن‌هاست.

Figure 1. The dry weight ratios of shoot and root to total plant weight in full irrigation (FI), Partial root zone drying (PRD), Medium shade + PRD (MShPRD) and High shade + PRD (HShPRD). In each variable,different letters indicate significant differences between the treatments.



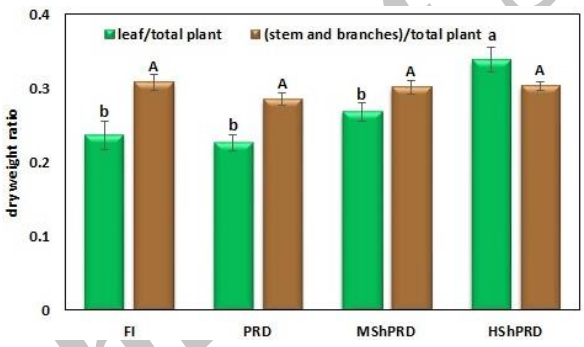
شکل ۲. نسبت وزن خشک مجموع اندام‌های هوایی به ریشه در تیمارهای آبیاری کامل، پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه و دو تیمار پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط و بالا. حرف‌های ناهمسان روی میانگین‌ها بیانگر تفاوت معنی‌دار بین آن‌هاست.

Figure 2. The dry weight ratio of shoot to root in full irrigation (FI), Partial root zone drying (PRD), Medium shade + PRD (MShPRD) and High shade + PRD (HShPRD). Different letters indicate significant differences between the treatments.

Archive of SID

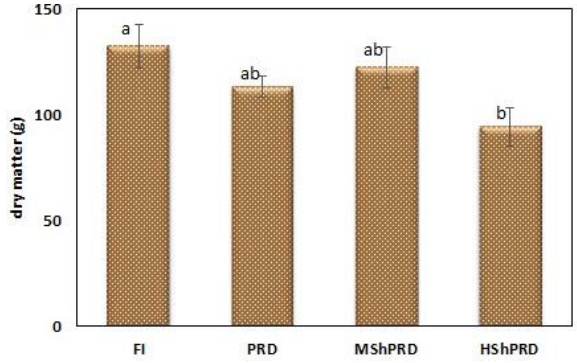
www.SID.ir

مقایسهٔ میانگین‌ها بیانگر کاهش معنی‌دار (۲۸/۸ درصد) مادهٔ خشک در تیمار HShPRD در برابر آبیاری کامل است (شکل ۴). مقایسهٔ اثر PRD با آبیاری کامل نشان می‌دهد، یافته‌های این پژوهش با گزارش‌های پیشین از نظر نسبت‌های هر یک از اندام‌های برگ، ریشه و مجموع ساقه و شاخه به‌کل گیاه (Melgar *et al*., 2010) و نسبت S/R در مرکبات (Kusakabe *et al*., 2009b; Romero-Conde *et al*., 2014) و مادهٔ خشک در سیب (Lo Bianco *et al*., 2011) و مرکبات (Melgar *et al*., 2010) همسان است. همچنین افزایش نسبت برگ به‌کل گیاه و کاهش R/S و مادهٔ خشک در اثر سایه‌اندازی در این آزمایش با یافته‌های Raveh *et al*. (2003) همخوانی دارد. برخی پژوهشگران باور دارند که PRD روی درختان بارده، رشد رویشی را به سود رشد زایشی (تولید میوه) مهار می‌کند یا به‌بیان‌دیگر، تنش متوسط ایجادشده با PRD می‌تواند از رشد اضافی تاج و رقابت برای کربوهیدرات‌ها بین شاخساره‌های در حال رشد، ریشه‌ها و میوه را کم کند و درنتیجه یک جابجایی در جداسازی کربوهیدرات‌ها به سمت بافت‌های زایشی سامان دهد (Loveys *et al*., 2000). نسبت‌های وزن خشک ریشه به‌کل گیاه و اندام‌های هوایی که بیانگر توزیع زیست‌تودهٔ گیاه در اندام‌های هوایی و زمینی است (Ganjeali *et al*., 2007)، در تیمار PRD همراه با سایه‌اندازی متوسط تفاوت معنی‌داری با آبیاری کامل ندارد ولی با بیشتر شدن سایه در تیمار HShPRD نسبت‌های یادشده کاهش معنی‌دار یافت (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۳. نسبت وزن خشک برگ و اندام‌های چوبی هوایی (ساقه و شاخه) به‌کل گیاه در تیمارهای آبیاری کامل، پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه و دو تیمار پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط و بالا. در هر متغیر، حرف‌های ناهمسان روی میانگین‌ها بیانگر تفاوت معنی‌دار بین آن‌هاست.

Figure 3. The dry weight ratios of leaf and stem and branches to total plant in full irrigation (FI), Partial root zone drying (PRD), Medium shade + PRD (MShPRD) and High shade + PRD (HShPRD). In each variable, different letters indicate significant differences between the treatments.



شکل ۴. تولید مادهٔ خشک در تیمارهای آبیاری کامل، پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه و دو تیمار پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط و بالا. حرف‌های ناهمسان روی میانگین‌ها بیانگر تفاوت معنی‌دار بین آن‌هاست.

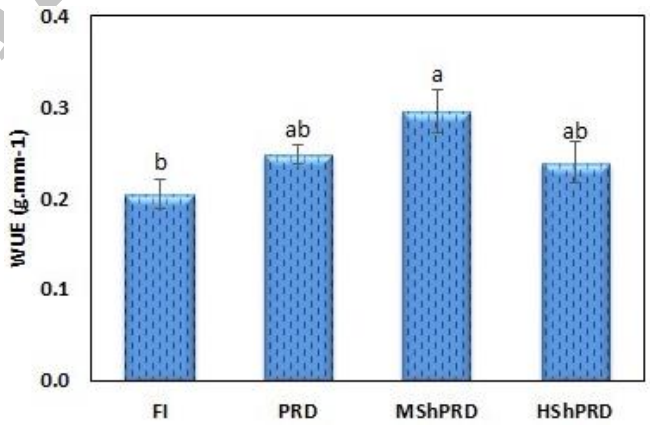
Figure 4. dry matter of a seedling in full irrigation (FI), Partial root zone drying (PRD), Medium shade+PRD (MShPRD) and High shade+PRD (HShPRD). Different letters indicate significant differences between the treatments.

Archive of SID

www.SID.ir

کارایی مصرف آب

تفاوت کارایی مصرف آب در میان تیمارهای بررسی‌شده در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول تجزیهٔ واریانس آورده نشد). مقایسهٔ میانگین کارایی مصرف آب مربوط به دورهٔ تیمار در شکل ۵ نشان‌دهندهٔ برتری معنی‌دار (۴۴/۶ درصد) تیمار MshPRD بر آبیاری کامل است. تأثیر تیمار PRD بر کارایی مصرف آب در این آزمایش با یافته‌های یکی از دو آزمایش گلخانه‌ای روی دانهال‌های سه‌ماهه سوئینگل سیترومِلو (Melgar *et al*., 2010) همخوانی خوبی دارد، ولی با یافته‌های آزمایش دیگر گلخانه‌ای که روی نهال‌های دوسالهٔ گریپ‌فروت (پایه C-146) انجام شد (Romero-Conde *et al*., 2014)، همخوانی کافی ندارد. کاربرد پاره‌خشکیدگی ریشه برای سیب در شرایط باغ نیز سبب افزایش کارایی مصرف آب شده است (Lo Bianco *et al*., 2011). همسان نبودن کامل یافته‌های این پژوهش با یافته‌های یادشده در بالا را می‌توان به تفاوت قابل‌ملاحظهٔ شرایط آزمایش مربوط دانست. افزون بر این، PRD در این آزمایش نیز سبب افزایش کارایی مصرف آب به‌میزان ۲۱/۴ درصد شد، گرچه این میزان معنی‌دار نبود. کارایی مصرف آب در حقیقت شیب منحنی رسانایی روزنه و نورساخت است. تنش آبی متوسط ناشی از کاربرد پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه می‌تواند رسانایی روزنه را به میزان زیاد ولی نورساخت را به میزان ناچیز کاهش دهد (Sepaskhah & Ahmadi, 2010). از این‌رو می‌توان گفت که افزایش کارایی مصرف آب در اثر PRD در برخی شرایط امکان‌پذیر است. نتایج بررسی‌های دیگر پژوهشگران نشان می‌دهد، سایه‌اندازی به‌تنهایی می‌تواند از یک‌سو با کاهش دمای گیاه و تفاوت فشار بخار برگ به هوا، رسانایی روزنهٔ برگ در میانهٔ روز را افزایش دهد (Cohen *et al*., 1997; Jifon & Syvertsen, 2003)، و از سویی دیگر تعرق را کم کند (Nicolas *et al*., 2008). نتیجهٔ این رخدادها می‌تواند افزایش کارایی مصرف آب برگی را به‌دنبال داشته باشد (Jifon & Syvertsen, 2003; Alarcon *et al*., 2006). در این رابطه برخی پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که سایه‌اندازی به تنهایی تأثیر کمی روی کارایی مصرف آب دارد، زیرا میزان افزایش رسانایی روزنه و جذب دی‌اکسید کربن خالص درنتیجهٔ سایه‌اندازی به‌مراتب بیشتر از کاهش تعرق است (Alarcon *et al*., 2006; Raveh *et al*., 2003). شاید به این سبب است که در این آزمایش سایه‌اندازی با کم‌آبیاری همراه بود، افزایش کارایی مصرف آب کل گیاه در سایه‌اندازی متوسط (تیمارMShPRD) نسبت به تیمار PRD (۱۹/۱ درصد) معنی‌دار نبود، ولی نسبت به آبیاری کامل معنی‌دار (۴۴/۶ درصد) بود. همچنین با بیشتر شدن سایه (تیمار HshPRD) کارایی مصرف آب نسبت به آبیاری کامل کمی (نامعنی‌دار و ۱۷/۳ درصد) افزایش یافت ولی نسبت به PRD چندان تفاوتی نداشت (شکل ۵).



شکل ۵. کارایی مصرف آب در تیمارهای آبیاری کامل، پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه و دو تیمار پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه همراه با سایه‌اندازی متوسط و بالا. حرف‌های ناهمسان روی میانگین‌ها بیانگر تفاوت معنی‌دار بین آن‌هاست.

Figure 5. Water use efficiency (WUE) in full irrigation (FI), Partial root zone drying (PRD), Medium shade + PRD (MShPRD) and High shade + PRD (HShPRD). Different letters indicate significant differences between the treatments.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در این آزمایش تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری به روش پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه به تنهایی و همراه با سایه‌اندازی‌های متوسط و بالا روی دانهال‌های دوسالهٔ نارنج اجرا شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد، پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه بدون سایه‌اندازی (PRD)، در همهٔ شاخص‌های رشد گیاه، جز در یکی از آن‌ها، وضعیت همسان با دیگر تیمارها داشت. تیمار سایه‌اندازی بالا همراه با پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه (HShPRD) سبب کاهش معنی‌دار بسیاری از شاخص‌های مهم رشد گیاه شد. سایه‌اندازی با تراکم بافت متوسط همراه با پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه ((MShPRD)، بدون کاهش معنی‌دار در ویژگی‌های مهم رشد دانهال‌های مرکبات، سبب کاهش مصرف آب به میزان ۳۶/۲ درصد و افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب به میزان ۴۴/۶ درصد نسبت به آبیاری کامل شد. همچنین کارایی مصرف آب در این تیمار ۱۹ و ۲۳/۳ درصد به‌ترتیب بیش از PRD و HShPRD بود. بنابراین به‌منظور مصرف بهینهٔ آب در مناطق هم‌اقلیم دیگر با محل اجرای این پژوهش، تیمار سایه‌اندازی متوسط همراه با پاره‌خشکیدگی ناحیهٔ ریشه قابل توصیه است.

سپاسگزاری

از مسئولان و محققان پژوهشکدهٔ مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری که این پژوهش را پشتیبانی کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

1. Abouatallah, A., Salghi, R., Elfadl, A., Hammouti, B., Zarrouk, A., Atroui, A. & Ghnizar, Y. (2012). Shading nets usefulness for water saving on citrus orchards under different irrigation doses. *Current world environment*, 7(1), 13-22.
2. Alarcon, J. J., Ortuno, M. F., Nicolas, E., Navarro, A. & Torrecillas, A. (2006). Improving water-use efficiency of young lemon trees by shading with aluminised-plastic nets. *Agricultural water Manage*ment, 82, 387-398.
3. Allen, L. H. & Lemon, J. E. (1974). Carbon dioxide exchange and turbulence in a Costa Rica tropical rain forest. In: J. L. Monteith, (Ed), *Vegetation and the atmosphere*. (pp. 99–110.) Academic press, New York.
4. Bravdo, B. A. (2005). Physiological mechanisms involved in the production of non-hydraulic root signals by partial rootzone drying-a review. *Acta Horticulturae*, 689, 267-276.
5. Chang, K. (1992). The evaluation of citrus demand and supply. In: Proceedings of *International society citriculture*, 3, 1153-1155.
6. Cohen, S., Moreshet, S., Le Guillou, L., Simon, J. C. & Cohen, M. (1997). Response of citrus trees to modified radiation regime in semi-arid conditions. *Journal of Experimental Botany*, 48, 35-44.
7. Davies, W. J., Wilkinson, S. & Loveys, B. (2002). Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist*, 153, 449-460.
8. Ganjeali, A., Palta, J. & Turner, N. C. (2007). Spatial and temporal patterns of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) root growth under water logging stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 5(2), 343-355. (In Farsi)
9. Hajabbasi, M. A. (2001). Tillage effects on soil compactness and wheat root morphology. *Journal of Agricultural. Science and Technology*, 3, 67-77.
10. Hutton, R. J. & Loveys, B. R. (2011). A partial root zone drying irrigation strategy for citrus-Effects on water use efficiency and fruit characteristics. *Agricultural Water Management*, 98, 1485-1496.
11. Jifon, J. L. & Syvertsen, J. P. (2003). Moderate shade can increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. *Tree physiology*, 23, 119-127.
12. Jones, H. G. (2014). *Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology*. (3rd ed.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 407p.
13. Khalili-Rad, R., Mirnia, S. K. & Bahrami, H. A. (2010). Assessing different soil water contents on corn root development. *Journal of water and soil*, 24(3), 557-564. (in Farsi)
14. Klien, I., Ben-tal, Y., Lavee, S., Demalach, Y. & David, I. (1993). Saline irrigation of cv. Manzanillo and Uovo di Piccione trees. *Acta Horticulturae*, 286, 176-180.
15. Kriedmann, P. E. & Goodwin, I. (2003). *Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying (Irrigation insights number 4*). Land and Water Australia, Canberra, 102p.
16. Kusakabe, A., Melgar, J. C., Dunlop, J. & Syvertsen, J. P. (2009a). Alternate and fixed partial root zone drying save water in citrus. In: Abstracts of Presentations from *the Annual Conference of the ASHS*. 24–28July, Missouri, USA.

Archive of SID

www.SID.ir

17. Kusakabe, A., Melgar, J. C., Dunlop, J. & Syvertsen, J. P. (2009b). Partial root zone drying with and without salinity affects water use efficiency of citrus. In: *Proceedings of Florida. State Horticultural Society*, 122, 60-62.
18. Liu, F., Jensen, C. R., Shahnazari, A., Andersen, M. N. & Jacobsen, S. E. (2005). ABA regulated stomatal control and photosynthetic water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) during progressive soil drying. *Plant Science*, 168, 831-836.
19. Lo Bianco, R., Talluto, G. & Farina, V. (2011). Effects of partial rootzone drying and rootstock vigour on dry matter partitioning of apple trees (*Malus domestica* cvar Pink Lady). *Journal of Agricultural Science*, 150, 75-86.
20. Loveys, B., Dry, P., Hutton, R. & Jerie, P. (1999). *Improving the Water Use Efficiency of Horticultural Crops*. (Final report of NPIRD project CDH1, Australia).
21. Loveys, B. R., Stoll, M., Dry, P. R. & McCarthy, M. G. (2000). Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta Horticulturae*, 537, 187-197.
22. Medina, C. L., Souza, R. P., Machado, E. C., Ribeiro, R. V. & Silva, J. A. B. (2002). Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets. *Scientia Horticulturae*, 1821, 1-11.
23. Melgar, J. C., Dunlop, J. M.& Syvertsen J. P. (2010). Growth and physiological responses of the citrus rootstock Swingle citrumelo seedlings to partial rootzone drying and deficit irrigation. *Journal of Agricultural Science*, 148, 593-602.
24. Nicolas E., Barradas, V. L., Ortuno, M. F., Navarro, A., Torrecillas, A. & Alarcon, J. J. (2008). Environmental and stomatal control of transpiration, canopy conductance and decoupling coefficient in young lemon trees under shading net. *Environmental and Experimental Botany*, 63, 200-206.
25. Page, T. & Awarau, W. (2012). Performance of agarwood (Aquilaria crassna) seedling transplants improved by shade and fertilizer. *Forest Ecology and Managemen*, 265, 258-269
26. Raveh, E., Cohen, S., Raz, T., Yakir, D., Grava, A. & Goldschmidt, E. E. (2003). Increased growth of young citrus trees under reduced radiation load in a semi-arid climate. *Journal of Experimental Botany*, 54(381), 365-373.
27. Romero-Conde, A., Kusakabe, A. & Melgar, J. C. (2014). Physiological responses of citrus to partial rootzone drying irrigation**.***Scientia Horticulturae*, 169, 234-238.
28. Sepaskhah, A. R. & Ahmadi, S. H. (2010). A review on partial root-zone drying irrigation. *International Journal of Plant Production*, 4 (4), 241-258.
29. Shirgure, P. S. (2013). Research review on Irrigation scheduling and water requirement in citrus. *Scientific Journal of Review*, 2(4), 113-121.
30. Spiegel-Roy, P. & Goldschmidt, E. E. (1996). *Biology of horticultural crops: biology of citrus*. Cambridge University Press.
31. Tennant, D. (1975). A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*, 63, 995-1001.
32. Wakrim, R., Wahbi, S., Tahi, H., Aganchich, B. & Serraj, R. (2005). Comparative effects of partial root dying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 106(2), 275-287.

Archive of SID

www.SID.ir