مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۲ شماره ۱ صفحه های ۲۹ تا ۴۰ (۱۴۰۰)
مقاله پژوهشی

واکنش‌های مورفو–فیزیولوژیک برخی پایه‌های همگروهی جنس هلوسا به تنش خشکی[۱]

The Morpho-Physiological Reactions of Some *Prunus* Clonal Rootstocks to Drought Stress

شیرین نصراله‌پورمقدم، غلامرضا ربیعی*، بهروز شیران، حبیب‌الله نوربخش و رودابه راوش[۲]

چکیده

به‌منظور مقایسه تحمل چهار پایه رویشی از جنس هلوسا به تنش خشکی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح به‌طور کامل تصادفی با دو عامل پایه در چهار سطح شامل کادامن، Myrobalan 29c، GF677 و GN15 و خشکی در سه سطح شامل: ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ ٪ از ظرفیت زراعی اجرا شد. ارتفاع، تعداد برگ و قطر پاهنگ در طول تنش و محتوای نسبی آب برگ، کارایی استفاده از آب، محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها، پرولین و قند محلول کل اندازه‌گیری شدند. وزن تر و خشک برگ و ریشه در همه پایه‌ها زیر تأثیر تنش کاهش یافت. در اثر خشکی تعداد برگ پایه GF677 کاهش و تعداد برگ سایر پایه‌ها نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نداشت. ارتفاع پایه Myrobalan 29c نسبت به پایه‌های دیگر بیشتر زیر تأثیر خشکی قرار گرفت. کاروتنوئیدها در پایه کادامن و Myrobalan 29c کاهش یافت، اما در پایه GF677 و GN15 نسبت به شاهد تفاوتی نداشت. واکنش پایه‌ها به خشکی متفاوت بود به‌طوری که میزان پرولین برگ و ریشه، قند محلول برگ و ریشه و کارآیی استفاده از آب در پایه‌های GF677 و GN15 نسبت به کادامن و Myrobalan 29c بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: اسمولیت‌ها، پایه، تنش خشکی، کارایی استفاده از آب.

مقدمه

تنش خشکی یکی از فاکتورهای اصلی تأثیرگذار بر بقا و عملکرد گیاه است و تحمل به خشکی یکی از مهم‌ترین مسائل مورد توجه در زمینه تولید محصول‌های کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. انتخاب درست پایه‌های درختان میوه یکی از روش‌هایی است که می‌تواند تا حدودی اثرهای نامطلوب تنش خشکی را کاهش دهد. با توجه به مشاهده‌ها بیش از ۲۰ نوع ویژگی یک گیاه پیوندی، زیر تأثیر پایه قرار دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به ویژگی‌های رویشی، زایشی، میزان تحمل تنش‌ها و جذب عنصرهای غذایی اشاره نمود (۵). امروزه ارزیابی، اصلاح و گزینش پایه قسمتی از مهم‌ترین برنامه‌های اصلاحی موجود برای درختان میوه می‌باشد. اثرهای پایه روی ویژگی‌های پیوندک (رقم) شامل اثر بر عملکرد، رشد پیوندک، کیفیت محصول، کارایی جذب آب و عنصرهای غذایی، زودرسی و زودباردهی می‌باشد (۲). بیش از ۴۰۰ گونه از درختان و درختچه‌ها از جنس هلوسا[۳] بوده و پایه‌های این جنس به دلیل سازگاری پیوند با ارقام مختلف و مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده نقش مهمی در باغداری مدرن و باغ‌های تجاری دارند (۲۴). برخی گونه‌های جنس هلوسا و دورگه‌های آن‌ها به دلیل مزایایی مانند سازگاری به شرایط مختلف آب و هوایی، خاک و بیماری‌ها و کنترل رشد درخت به‌عنوان پایه استفاده می شوند

۱- تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۵

۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار گروه علوم باغبانی، استاد گروه بیوتکنولوژی دانشگاه شهرکرد، استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد و استادیار گروه بیوتکنولوژی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (Rabiei.hort@gmail.com).

۳- *Prunus sp*

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

(۱۶). ایران دارای تنوع زیستی و سطح زیر کشت بالایی از گونه‌های این جنس می‌باشد (۱۰).

در سال‌های اخیر به دلایل مختلف از جمله یکنواخت‌سازی درختان، به‌جای پایه‌های بذری از پایه‌های رویشی استفاده می‌شود. پایهGF677 دورگه طبیعی بادام و هلو است و جزء اولین پایه‌هایی به شمار می‌رود که به روش رویشی تکثیر شده است (۱۸). از تلاقی بادام گارفی[۱] به‌عنوان والد مادری و هلوی برگ قرمز نمارد[۲] به‌عنوان گرده‌دهنده، پایه گارنم[۳] (GN15) به‌دست آمده است. این پایه به‌عنوان پایه‌ای مطلوب به‌ویژه برای درختان بادام و هلو جهت احداث باغ‌های یکنواخت مورد استفاده قرار می‌گیرد و سازگاری خوبی با شرایط آب و هوایی و خاک‌های ایران نشان داده است (۷). Myrobalan 29c[۴] از مهم‌ترین پایه‌های رویشی آلو و زردآلو می‌باشد که برای خاک‌های سنگین استفاده می‌شود. این پایه خاک‌های فقیر و زهکشی ضعیف را بهتر از پایه‌های هلو و زردآلو تحمل می‌کند و به نماتد مولد گال پاهنگ نیز مقاوم است. پایه کادامن[۵] نیز یکی از پایه‌های پر رشد و پرکاربرد برای هلو، شلیل، آلو و بادام به شمار می‌رود که از مقاومت خوبی در برابر نماتد و تنش غرقابی برخوردار است. پیش از این پژوهشگران طی مطالعه‌ای گزارش کردند که تنش خشکی در دو سطح ملایم و شدید به‌طور معنی‌داری سبب کاهش پتانسیل آب، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل، پرولین و قندهای محلول در گیاه بادام شد (۱۸). در آزمایش دیگر پنج گونه[۶] از جنس هلو سا در شرایط تنش خشکی با هم مقایسه شدند. نتیجه‌ها نشان داد خشکی سبب کاهش معنی‌دار ویژگی‌های رشدی مانند وزن‌تر و خشک اندام‌های گیاه، تعداد برگ، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ در همه گیاهان شد، اما گونه‌های مورد آزمایش از نظر ویژگی‌های مورد بررسی و درنتیجه تحمل تنش خشکی متفاوت بودند (۲۵). آزمایش حاضر با هدف مقایسه میزان تحمل چهار پایه رویشی جنس هلوسا در شرایط کم آبیاری و انتخاب پایه مناسب‌تر از نظر تحمل تنش خشکی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

از جنس هلوسا چهار پایه GF677، GN15 (مرکز تولید نهال‌های رویشی درختان میوه شهرستان سامان، شهرکرد)، کادامن و Myrobalan 29c (مرکز تولید نهال‌های رویشی ایتاصدرا، شیراز) انتخاب و ۱۵ عدد نهال رویشی یک‌ساله و یکنواخت از نظر ظاهری از هر پایه، در گلدان‌های هفت لیتری حاوی آمیخته‌ای از خاک مزرعه و ماسه به نسبت برابر کشت شدند (یک گیاه در هر گلدان). پایه‌ها به مدت دو ماه در گلخانه‌ای در مرکز تولید نهال‌های رویشی درختان میوه در شهرستان سامان با دمای ۵ ±۲۸ درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی ۴۷/۷ درصد و شدت نور میانه روز ۱۰± ۴۳ کیلولوکس نگهداری و آبیاری شدند. پس از سازگاری با محیط رشد، پایه‌ها به‌صورت هم‌زمان برای یکنواخت سازی شرایط رشد از ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری بالاتر از محل پاهنگ سربرداری شدند و پس از گذشت یک ماه، تنش خشکی با ایجاد محدودیت در میزان آب آبیاری در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ ٪ ظرفیت زراعی خاک به مدت ۴۰ روز اعمال شد. جهت محاسبه ظرفیت زراعی، آبیاری گلدان‌های حاوی بستر (در ۱۰ تکرار) تا حد اشباع و خروج آب از زیر گلدان انجام شد. سپس به وسیله پلاستیک روی گلدان‌ها پوششی قرار داده شد تا از تبخیر سطحی جلوگیری شود. پس از گذشت ۱۲ ساعت گلدان‌ها وزن شدند و این عمل هر ۱۲ ساعت یک‌بار به‌طور مکرر تا زمانی که کمترین تغییر در وزن گلدان‌ها در دو وزن متوالی مشاهده شود انجام شد. سپس از تکرارها میانگین گرفته شد و به‌عنوان ظرفیت زراعی بستر آزمایش گزارش گردید. برای اندازه‌گیری درصد رطوبت وزنی خاک، وزن تر خاک در حالت ظرفیت زراعی، در پنج دیسک نمونه‌گیری شده اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در آون در دمای ۱۰۵درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک و وزن خشک آن‌ها نیز مشخص شد، یک وزن برای حالت ظرفیت زراعی و یک وزن برای خاک خشک با میانگین‌گیری از تکرارها برآورد و با استفاده از رابطه زیر درصد رطوبت وزنی درحالت ظرفیت زراعی محاسبه شد.

۱۰۰× (وزن خاک خشک شده در آون) - (وزن خاک تر در حالت ظرفیت زراعی) = درصد رطوبت وزنی درحالت ظرفیت زراعی

پس از محاسبه مقدار آب مورد نیاز برای رساندن خاک به حالت ظرفیت زراعی، حجم معادل آن را محاسبه و با محدود نمودن حجم آب آبیاری، گیاهان در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد زیر تیمار خشکی قرار گرفتند.

۱- Garfi ۲- Nemared ۳- Garnem ۴- *Prunus cerasifera* ۵- *P. davidiana* × *P. persica*

۶- *P dulcis*, *P. eburnea*, *P. eleagnifolia*, *P. haussknechti*, *P. scoparia*

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

طی دوره تنش خشکی در سه مرحله (پیش از شروع تنش، ۲۰ و ۴۰ روز پس از شروع تنش) شاخص‌های رویشی شامل ارتفاع ساقه، تعداد برگ و قطر پاهنگ اندازه‌گیری شد. در پایان تنش به‌منظور بررسی وزن تر و میزان تولید ماده خشک، گیاهان هر تکرار برداشت و در سه قسمت برگ، ساقه و ریشه توزین و برای اندازه‌گیری وزن خشک، در پاکت‌های کاغذی بسته‌بندی و در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفته و پس از خشک شدن، وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد.

محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها به‌طور تصادفی از برگ‌های بالغ و جوان هر گیاه در سه تکرار نمونه‌برداری شد و میزان کلروفیل *a*، *b* و کلروفیل کل با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۷) از راه عصاره‌گیری با استون ۸۰ ٪ اندازه‌گیری شد. میزان جذب نور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (PG Instruments, T80 UV/VIS) در طول موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و محتوای رنگدانه‌ها با استفاده از رابطه‌های زیر بر اساس میلی‌گرم در گرم وزن خشک گیاه محاسبه شد.

$$Chla\ (mg.g\text{-}1\ fw) = \{12.25\ (A663.2) - 2.79\ (A646.8)\} \times V/1000 \times W$$
$$Chlb\ (mg.g\text{-}1\ fw) = \{25.51(A646.8) - 5.10\ (A663.2)\} \times V/1000 \times W$$
$$ChT\ (mg.g\text{-}1\ fw) = Chlb + Chla$$
$$Car\ (mg.g\text{-}1\ fw) = [(1000\ (A470) - 3.27\ (Chla) - 104\ (Chlb)\ /229]$$

A: میزان جذب خوانده شده V: حجم استون مصرف شده W: وزن خشک نمونه (گرم)

محتوای نسبی آب برگ[۱]

برای اندازه‌گیری میزان آب نسبی برگ، ابتدا ۱۰ عدد دیسک به قطر ۰/۵ سانتی‌متر از پهنک برگ بالغ و جوان به صورت تصادفی گرفته شد و پس از توزین (FW) داخل شیشه‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۴ ساعت در دمای صفر تا ۴ درجه سلسیوس در تاریکی قرار داده شدند تا یاخته‌های برگ به حالت تورژسانس کامل درآیند. پس از حذف رطوبت سطحی، وزن تورژسانس (TW) ثبت و نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و وزن خشک دیسک‌ها (DW) نیز اندازه‌گیری و با استفاده از فرمول ۱ محاسبه RWC انجام شد (۴).

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$ فرمول ۱

کارایی استفاده از آب[۲]

برای محاسبه کارایی استفاده از آب (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، مجموع میزان آب مصرفی برای هر گلدان در مدت زمان آزمایش و وزن خشک کل گیاه ثبت و با استفاده از فرمول ۲ محاسبه گردید (۲۳).

$$WUE = DW/UW$$ فرمول ۲

DW = کل ماده خشک تولیدشده در پایان آزمایش (گرم)

UW = میزان آب مصرف‌شده در طول آزمایش (میلی‌لیتر)

پرولین

برای استخراج پرولین، ۰/۵ گرم بافت تازه (برگ و ریشه) را با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ ٪ در هاون چینی کوبیده و عمل استخراج انجام شد. محلول به‌دست آمده به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. برای تعیین غلظت پرولین یک میلی‌لیتر از عصاره الکلی بالا با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق گردید و ۵ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن اضافه شد. سپس این محلول به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب گرم (۹۵ درجه سلسیوس) قرار گرفت. پس از خارج کردن نمونه‌ها از حمام آب گرم و خنک کردن آن‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر بنزن به آن‌ها اضافه و با همزن مکانیکی مخلوط شدند تا پرولین وارد فاز بنزن شود. نمونه‌ها ۳۰ دقیقه به حال سکون رها شدند، سپس میزان جذب با

۱- Relative water content / RWC ۲- Water use efficiency / WUE

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

اسپکتروفتومتر (*PG Instruments, T80 UV/VIS*) در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (۲۰). پس از تهیه استانداردهای پرولین نیز با استفاده از ال-پرولین در غلظت‌های صفر، ۳۱/۲۵، ۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و اندازه‌گیری جذب آن‌ها جهت رسم منحنی استاندارد، مقدار پرولین بر اساس میلی‌گرم در یک گرم از وزن خشک گیاه گزارش شد.

قندهای محلول

به‌منظور تعیین قندهای محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره تهیه‌شده در اتانول (عصاره الکلی تهیه‌شده برای پرولین) با ۳ میلی‌لیتر از آنترون تازه تهیه شده (۲۰۰ میلی‌گرم آنترون به‌علاوه ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ ٪) مخلوط شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده شد و پس از خنک شدن، جذب آن در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد (۱۳). منحنی استاندارد از گلوکز خالص در غلظت‌های صفر، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۵۰۰، ۱۷۵۰، ۲۰۰۰، ۲۲۵۰ و ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه شد و جذب آن‌ها جهت محاسبه محتوای قند محلول اندازه‌گیری و مقدار نهایی بر اساس میلی‌گرم در یک گرم از وزن خشک گیاه گزارش شد.

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با دو عامل پایه در چهار سطح و تنش خشکی در سه سطح با سه تکرار و پنج نمونه در هر تکرار اجرا شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۵) و مقایسه بین میانگین‌ها با ا ستفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ ٪ صورت گرفت. در آزمایش حا ضر شاخص‌های ارتفاع، تعداد برگ و قطر پاهنگ در طول زمان اعمال تنش اندازه‌گیری شد و برای ارائه بهتر نتیجه‌های تجزیه و تحلیل آماری در هر پایه به‌صورت جداگانه با دو فاکتور (زمان و تنش) انجام شد.

نتایج

بر اساس نتیجه‌های این آزمایش بیشترین وزن تر برگ (۱۴/۷ گرم) و ساقه (۱۵/۵ گرم) و بیشترین وزن خشک ساقه (۸/۹ گرم) و ریشه (۷/۸ گرم) در پایه GF677 وجود داشت و از این نظر با پایه GN15 تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین وزن تر (۹/۵ گرم) و خشک برگ (۵/۳ گرم) و وزن خشک ریشه (۵/۴ گرم) در پایه Myrobalan 29c مشاهده شد و از نظر وزن تر ساقه و ریشه و وزن خشک ساقه با پایه کادامن اختلاف معنی‌داری نداشت. وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه در اثر تنش خشکی نسبت به شاهد به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. برهمکنش پایه و تنش خشکی بر شاخص‌های وزن خشک برگ، وزن تر ساقه و وزن تر و خشک ریشه اثر معنی‌دار داشت. به‌طوری‌که بیشترین میزان وزن خشک برگ در سطح خفیف تنش خشکی در دو پایه GN15 (۱۰/۱ گرم) و GF677 (۹/۴ گرم) و در سطح شدید تنش در پایه GN15 (۸/۷ گرم) مشاهده شد و در شرایط تنش خشکی شدید بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به پایه GN15 (۶/۷ گرم) بود (جدول ۱).

جدول ۱- اثرهای ساده و برهمکنش سطوح آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه) و پایه‌های هلوسا (کادامن، Myrobalan 29c، GF677 و GN15) بر وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه.

Table 1. Simple and interaction effects of irrigation levels (100, 75, and 50% FC) and *Prunus* rootstocks (Cadaman, Myrobalan 29c, GF677 and GN15) on fresh and dry weights of leaf, stem and root.

پایه Rootstock	سطح خشکی Drought level	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g)	وزن تر ساقه Stem fresh weight (g)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
Cadamanکادامن		11.5 B	12.6 B	10.5 B	6.4 B	7.2 AB	6.4 B
Myrobalan 29c		9.5 C	12.2 B	10.8 B	5.3 C	6.6 B	5.4 C
GF677		14.7 A	15.5 A	11.7 AB	9.4 A	8.9 A	7.8 A
GN15		14.0 A	13.8 AB	12.6 A	9.8 A	7.4 AB	7.3 AB
	شاهد Control	16.1 A	18.8 A	15.8 A	9.7 A	10.4 A	9.6 A
	تنش خفیف Mild stress	12.6 B	12.1 B	11.1 B	7.8 B	6.5 B	5.8 B

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

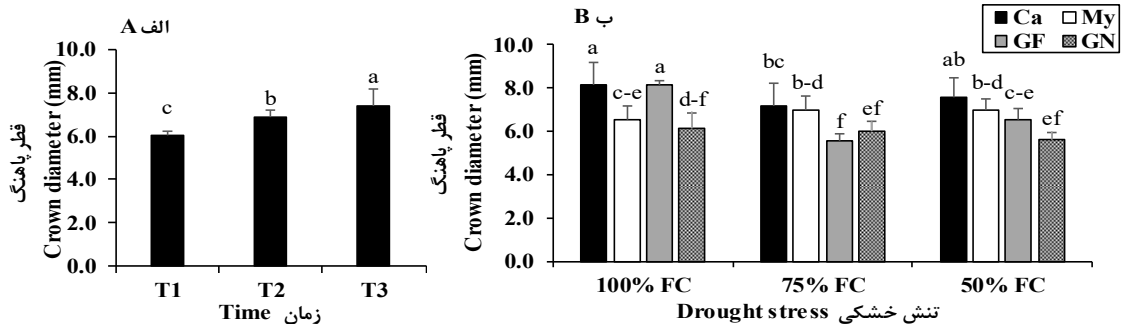
تنش شدید Severe stress		8.6 C	9.7 C	7.3 C	5.7 C	5.6 B	4.7 C
کادامن Cadaman	شاهد Control	15.2	15.2 b	13.7 cd	8.1 d	9.7	8.8 b
	تنش خفیف Mild stress	11.5	13.5 bc	11.0 ef	6.5 ef	6.6	6.1 cd
	تنش شدید High stress	7.8	9.2 c	6.8 h	4.7 g	5.4	4.4 de
Myrobalan 29c	شاهد Control	14.7	16.2 b	16.0 b	7.9 de	8.1	8.8 b
	تنش خفیف Mild stress	9.0	10.9 c	10.3 ef	5.1 fg	6.0	4.5 de
	تنش شدید High stress	4.6	9.5 c	6.0 h	2.8 h	5.6	3.0 e
GF677	شاهد Control	17.5	22.8 a	18.6 a	12.2 a	13.0	11.7 a
	تنش خفیف Mild stress	15.6	13.4 bc	11.9 de	9.4 be	7.1	6.8 c
	تنش شدید High stress	11.0	10.3 c	7.3 gh	6.6 ef	6.6	4.8 de
GN15	شاهد Control	16.9	21.0 a	15.0 bc	10.5 b	11.0	9.2 b
	تنش خفیف Mild stress	14.1	10.7 c	11.0 ef	10.1 bc	6.2	5.9 c-e
	تنش شدید High stress	11.0	9.7 c	9.1 fg	8.7 ce	5.0	6.7 c
پایه Rootstock		**	*	**	***	*	***
خشکی Drought		***	***	***	***	***	***
خشکی × پایه R × D		ns	*	*	*	ns	*

† Means followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level by Duncan multiple range test. †† No letter indicates the nonsignificant effect of the treatments on the difference between the means.

† میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نیستند.†† عدم حروف‌دهی نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اثر تیمارها بر ایجاد تفاوت بین میانگین‌ها می‌باشد.

نتیجه‌های مقایسه میانگین‌ها نشان داد که قطر پاهنگ در طول زمان افزایش یافت و بیشترین میزان آن در زمان سوم (T3= ۴۰ روز پس از اعمال تنش) مشاهده گردید (شکل ۱، الف). در ارتباط با قطر پاهنگ برهمکنش تنش خشکی و پایه معنی‌دار بود. قطر پاهنگ در پایه GF677 در هر دو سطح خفیف و شدید از تنش خشکی به‌طور معنی‌داری نسبت به سطح شاهد کمتر بود، اما در پایه‌های دیگر تفاوتی بین سطوح تنش خشکی در مقایسه با شاهد از نظر قطر پاهنگ وجود نداشت (شکل ۱، ب).

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

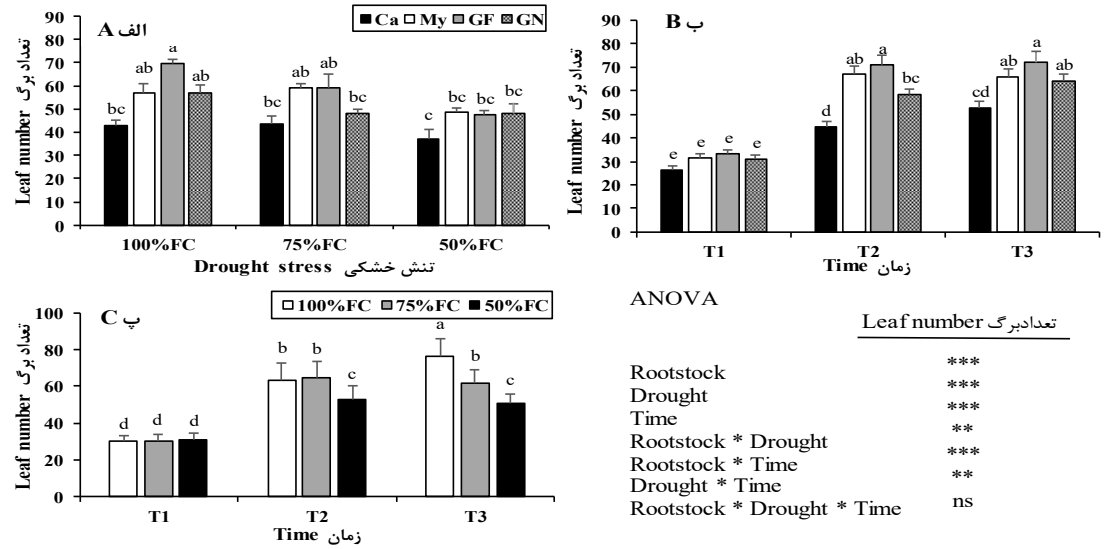


ANOVA

Rootstock	Drought	Time	R * D	R * T	D * T	R * D * T
***	***	***	***	ns	ns	ns

Fig. 1. Influence of different levels of drought stress (control, mild, and severe levels equal to 100%, 75%, and 50% FC, respectively) and time (T1 = 0, T2 = 20, and T3 = 40 days after stress) on the crown diameter of Cadaman (Ca), Myrobalan 29c (My), GF677 (GF), and GN15 (GN) rootstocks.

شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی (شاهد: ۱۰۰ درصد، تنش خفیف: ۷۵ درصد و تنش شدید: ۵۰ درصد از ظرفیت خاک مزرعه) و زمان (T1 = ۰، T2 = ۲۰ و T3 = ۴۰ روز پس از شـــروع تنش) بر قطر پاهنگ پایه‌های کادامن (Ca)، Myrobalan 29c (My)، GF677 (GF) و GN15 (GN).



ANOVA

	Leaf number تعدادبرگ
Rootstock	***
Drought	***
Time	***
Rootstock * Drought	**
Rootstock * Time	***
Drought * Time	**
Rootstock * Drought * Time	ns

Fig. 2. Influence of different levels of drought stress (control 100%, Mild 75% and Severe 50% FC) and time (T1 = 0, T2 = 20 and T3 = 40 days after stress) on the leaf number of Cadaman (Ca), Myrobalan 29c (My), GF677 and GN15 rootstocks.

شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی (شاهد: ۱۰۰ درصد، تنش خفیف: ۷۵ درصد و تنش شدید: ۵۰ درصد از ظرفیت خاک مزرعه) و زمان (T1 = ۰، T2 = ۲۰ و T3 = ۴۰ روز پس از شـــروع تنش) بر تعداد برگ پایه‌های کادامن (Ca)، Myrobalan 29c (My)، GF677 (GF) و GN15 (GN).

تعداد برگ زیر تأثیر برهمکنش بین تنش خشـــکی با پایه، زمان با پایه و زمان با تنش خشـــکی قرار گرفت. تنش خشـــکی تعداد برگ پایه GF677 را نسـبت به شـاهد کاهش داد، اما شـمار برگ پایه‌های کادامن، Myrobalan 29c و GN15 نسـبت به شاهد کاهش معنی‌داری ندا شت. از سویی، بین پایه‌های ا ستفاده شده در این آزمایش از نظر تعداد برگ تفاوت معنی‌داری در شـرایط تنش خشـکی وجود نداشـت (شـکل ۲، الف). در طول زمان تعداد برگ پایه‌ها افزایش یافت و با شـاهد دارای اختلاف

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

معنی‌دار بود (شـــکل ۲، ب). کمترین تعداد برگ مربوط به پایه کادامن بود و پایه‌های Myrobalan 29c، GF677 و GN15 در طول زمان از نظر تعداد برگ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشـتند (شـکل ۲، ب). در طول زمان تعداد برگ در سـطح شـاهد افزایش یافت و بیشترین تعداد برگ در سطح شاهد مشاهده گردید. در زمان سوم (۴۰ روز پس از اعمال تنش) تعداد برگ در سطح خفیف و شدید تنش نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر بود (شکل ۲، پ).

ارتفاع در پایه Myrobalan 29c زیر تأثیر تنش خشـکی کاهش یافت (شـکل ۳، الف). با گذشـت زمان ارتفاع پایه‌ها افزایش یافت و بیشترین ارتفاع مربوط به زمان سوم و پایه GN15 و کمترین ارتفاع مربوط به پایه Myrobalan 29c بود (شکل ۳، ب). بر ا ساس نتیجه‌های به‌د ست‌آمده بیشترین ارتفاع در زمان سوم و سطح شاهد وجود دا شت که با تنش خفیف و شدید دارای اختلاف معنی‌دار بود (شکل ۳، پ).

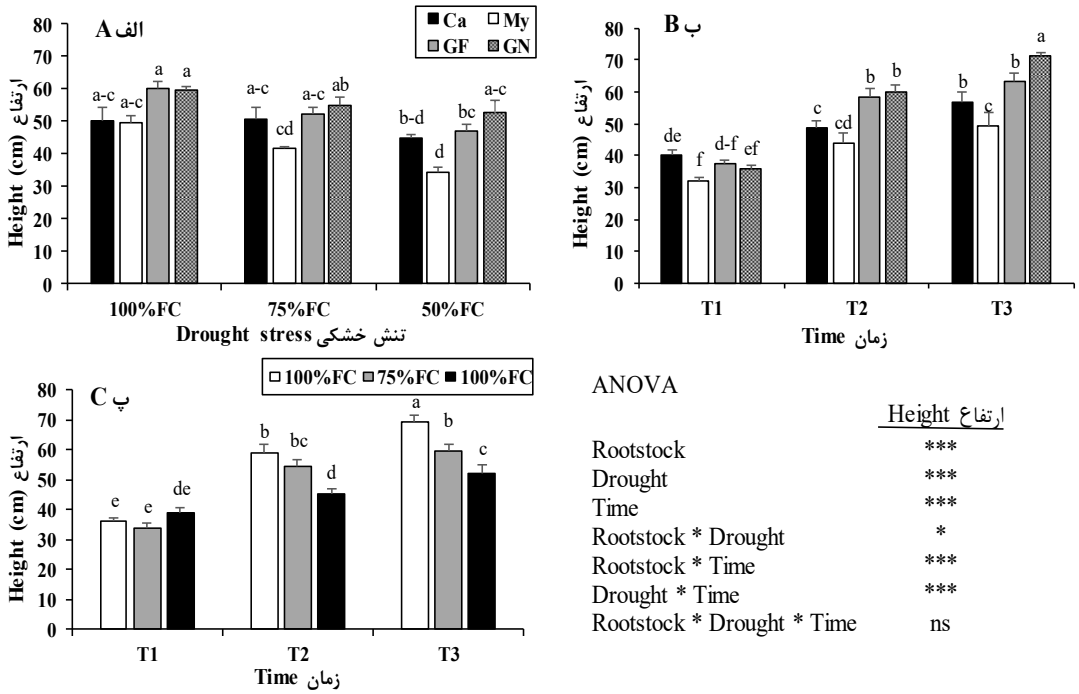


Fig. 3. Influence of different levels of drought stress (control 100%, mild 75% and severe 50% FC) and time (T1 = 0, T2 = 20 and T3 = 40 days after stress) on the height of Cadaman (Ca), Myrobalan 29c (My), GF677 and GN15 rootstocks.

شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی (شاهد: ۱۰۰ درصد، تنش خفیف: ۷۵ درصد و تنش شدید: ۵۰ درصد از ظرفیت خاک مزرعه) و زمان (T1 = ۰، T2 = ۲۰ و T3 = ۴۰ روز پس از شـروع تنش) بر ارتفاع پایه‌های کادامن (Ca)، Myrobalan 29c (My)، GF677 (GF) و GN15 (GN).

محتوای کلروفیل a زیر تأثیر پایه و تنش خشـــکی و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت. به‌طوری که میزان کلروفیل a در پایه‌ها با یکدیگر متفاوت بود و بیشترین مقدار آن در پایه کادامن و Myrobalan 29c وجود داشت. در اثر تنش خشکی میزان کلروفیل a کاهش یافت و کمترین مقدار کلروفیل a در سطح تنش شدید با میانگین ۴/۲ میلی‌گرم در گرم وزن خ شک دیده شد (جدول ۲). از محتوای کلروفیل *b* در اثر تنش خشکی کاسته شد و بین سطوح تنش اختلاف معنی‌داری از این نظر وجود داشت. نسبت کلروفیل *a/b* زیر تأثیر تیمارها قرار نگرفت. اثر ســـاده پایه و برهمکنش پایه با تنش خشـــکی بر محتوای کاروتنوئیدها معنی‌دار بود. پایه‌های کادامن و Myrobalan 29c و پایه‌های GF677 و GN15 به ترتیب بیشترین و کمترین میزان کاروتنوئید را داشتند. نتیجه‌های برهمکنش پایه با تنش خشکی نشان داد مقدار کاروتنوئیدها در اثر تنش خشکی در پایه کادامن و Myrobalan 29c کاهش یافت، اما در پایه GF677 و GN15 نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲).

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

جدول ۲- اثرهای اصلی و برهمکنش سطوح آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصدظرفیت مزرعه) و پایه‌های هلوسا (کادامن، Myrobalan 29c، GF677 و GN15) بر محتوای کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئیدهای (میلی‌گرم در گرم وزن خشک) برگ.

Table 2. Main and interaction effects of irrigation levels (100, 75, and 50% FC) and *Prunus* rootstocks (Cadaman, Myrobalan 29c, GF677 and GN15) on chlorophyll a, b, total chlorophyll and carotenoids content in leaf (mgg^{-1} dw).

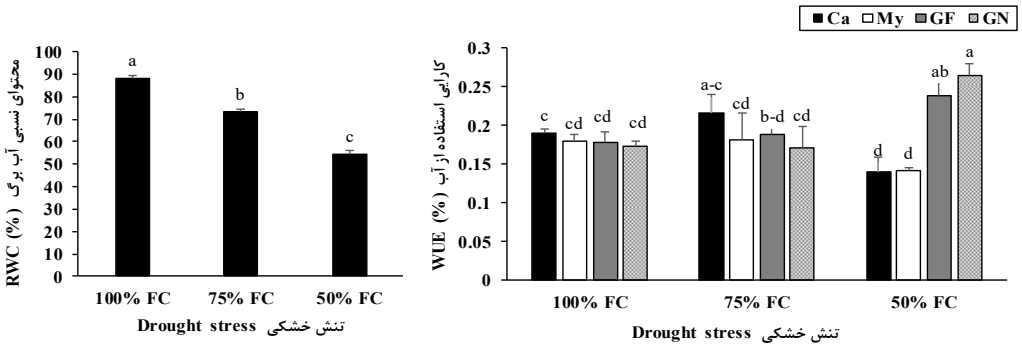
پایه Rootstock	سطح خشکی Drought level	کلروفیلa Chl *a* (mg g^{-1} dw)	کلروفیلb Chl *b* (mg g^{-1} dw)	نسبت کلروفیل Chl *a*/*b*	کاروتنوئیدها Car (mg g^{-1} dw)
کادامن Cadaman		5.4 A	2.0	2.9	3.1 A
Myrobalan 29c		5.3 A	1.9	2.9	2.5 B
GF677		4.3 C	1.8	2.5	2.4 B
GN15		4.8 C	1.7	2.9	2.6 B
شاهد Control		5.8 A	2.2 A	2.7	2.8
تنش خفیف Mild stress		4.9 B	1.8 B	2.9	2.6
تنش شدید Severe Stress		4.2 C	1.6 B	2.9	2.5
کادامن Cadaman	شاهد Control	6.3 b	2.6	2.5	3.4 a
	تنش خفیف Mild stress	5.6 c	1.9	3.1	3.2 ab
	تنش شدید High stress	4.2 fg	1.3	3.2	2.6 c-e
Myrobalan 29c	شاهد Control	7.1 a	2.2	3.2	2.8 b-d
	تنش خفیف Mild stress	5.1 c-e	1.6	3.2	2.2 de
	تنش شدید High stress	3.8 h	1.9	2.3	2.5 c-e
GF677	شاهدControl	4.4 e-g	2.1	2.2	2.2 e
	تنش خفیف Mild stress	4.5 d-g	1.9	2.6	2.6 c-e
	تنش شدید High stress	3.9 h	1.5	2.8	2.3 de
GN15	شاهدControl	5.2 cd	1.8	3.0	2.9 bc
	تنش خفیف Mild stress	4.5 d-g	1.8	2.6	2.3 c-e
	تنش شدید High stress	4.8 d-f	1.5	3.2	2.8 b-e
پایه Rootstock		***	ns	ns	***
خشکی Drought		***	**	ns	ns
خشکی × پایه R × D		***	ns	ns	*

† Means followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level by Duncan multiple range test. †† Lack of letters indicates the insignificance effect of the treatments on the difference between the means.

† میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه ازنظر آماری بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نیستند. ††عدم حروف‌دهی نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اثر تیمارها بر ایجاد تفاوت بین میانگین‌ها می‌باشد.

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

محتوای نسبی آب برگ تنها زیر تأثیر تنش قرار گرفت و تأثیر پایه و برهمکنش پایه با تنش خشکی روی این شاخص معنی‌دار نبود. در اثر تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت و کمترین مقدار آن در سطح تنش شدید وجود داشت (شکل ۴، الف). واکنش پایه‌ها در ارتباط با کارآیی استفاده از آب متفاوت بود به‌طوری‌که در پایه‌های کادامن و Myrobalan 29c زیر تنش خشکی کارایی استفاده از آب کاهش یافت و در پایه‌های GF677 و GN15 این شاخص افزایش یافت و بیشترین مقدار کارایی استفاده از آب در پایه‌های GF677 و GN15 وجود داشت (شکل ۴، ب).



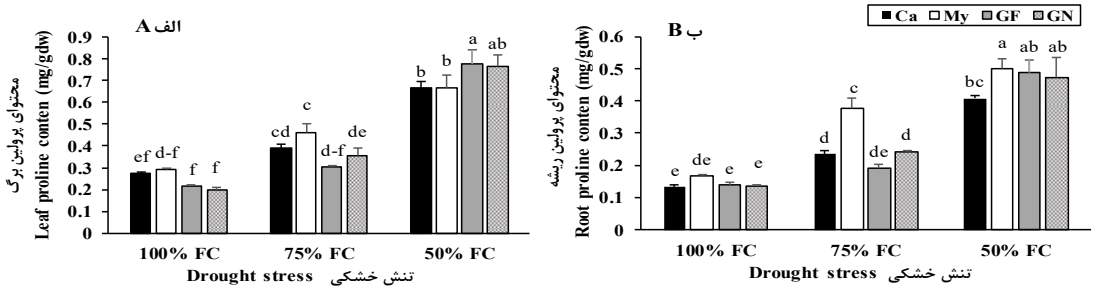
ANOVA

	Rootstock	Drought	Rootstock * Drought
RWC	ns	***	ns
WUE	*	ns	***

Fig. 4. Influence of different levels of drought stress (control 100%, mild 75% and severe 50% FC) on the relative water content (RWC) and water use efficiency (WUE) of Cadaman (Ca), Myrobalan 29c (My), GF677 and GN15 rootstocks.

شکل ۴- تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی (شاهد: ۱۰۰ درصد، تنش خفیف: ۷۵ درصد و تنش شدید: ۵۰ درصد از ظرفیت خاک مزرعه) بر محتوای نسبی آب (محتوای نسبی آب برگ) و کارآیی استفاده از آب (WUE) پایه‌های کادامن (Ca)، Myrobalan 29c (My)، GF677 (GF) و GN15 (GN).

در شرایط تنش خشکی محتوای پرولین برگ در چهار پایه استفاده شده در این آزمایش افزایش یافت که نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بود. میزان افزایش محتوای پرولین برگ در سطح تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) در پایه‌های GF677 و GN15 نسبت به پایه‌های کادامن و Myrobalan 29c بیشتر بود (شکل ۵، الف). پرولین ریشه در اثر تنش خشکی افزایش یافت و کمترین مقدار پرولین ریشه در پایه کادامن مشاهده گردید، اما در سطح شدید تنش خشکی تفاوت معنی‌داری بین پایه‌های Myrobalan 29c، GF677 و GN15 از نظر محتوای پرولین ریشه وجود نداشت (شکل ۵، ب).



ANOVA

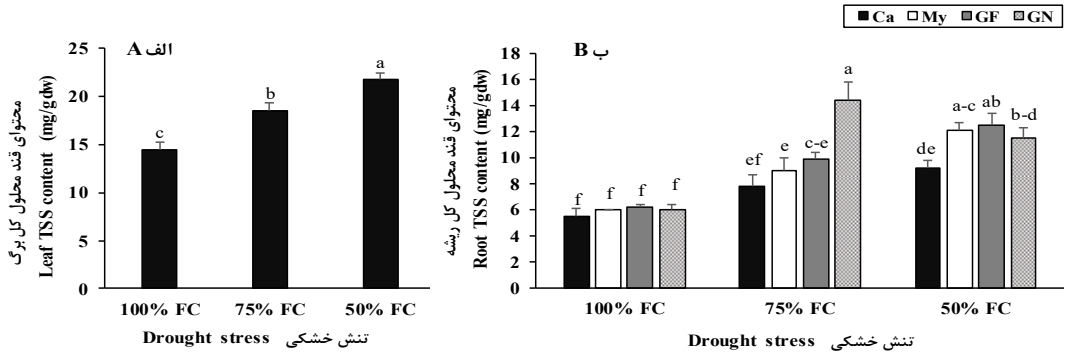
	Rootstock	Drought	Rootstock * Drought
Leaf proline content	ns	***	**
Root proline content	***	***	**

Fig. 5. Influence of different levels of drought stress (control 100%, mild 75% and severe 50% FC) on the leaf and root proline content of Cadaman (Ca), Myrobalan 29c (My), GF677 and GN15 rootstocks.

شکل ۵- تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی (شاهد: ۱۰۰ درصد، تنش خفیف: ۷۵ درصد و تنش شدید: ۵۰ درصد از ظرفیت خاک مزرعه) بر محتوای پرولین برگ و ریشه پایه‌های کادامن (Ca)، Myrobalan 29c (My)، GF677 (GF) و GN15 (GN).

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

مجموع قندهای محلول برگ تنها زیر تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و با افزایش شدت تنش، بر میزان انباشت آن‌ها افزوده شد، به‌طوری‌که با شاهد دارای تفاوت معنی‌دار بود (شکل ۶، الف). اثر متقابل پایه با تنش خشکی بر میزان قندهای محلول ریشه معنی‌دار بود. با تشدید تنش خشکی قندهای محلول کل ریشه در همه پایه‌ها افزایش یافت و بیشترین مقدار آن در پایه GN15 و سطح تنش ۷۵ ٪ ظرفیت مزرعه وجود داشت و در سطح ۵۰ ٪ ظرفیت مزرعه تفاوت معنی‌داری بین پایه‌های Myrobalan 29c، GF677 و GN15 مشاهده نشد (شکل ۶، ب).



ANOVA

	Rootstock	Drought	Rootstock * Drought
Leaf TSS content	ns	***	ns
Root TSS content	***	***	**

Fig. 6. Influence of different levels of drought stress (control 100%, mild 75% and severe 50% FC) on the leaf and root total soluble sugars (TSS) content of Cadaman (Ca), Myrobalan 29c (My), GF677 and GN15 rootstocks.

شکل ۶- تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی (شاهد: ۱۰۰ درصد، تنش خفیف: ۷۵ درصد و تنش شدید: ۵۰ درصد از ظرفیت خاک مزرعه) بر محتوای قندهای محلول کل برگ و ریشه پایه‌های کادامن (Ca)، Myrobalan 29c (My)، GF677 (GF) و GN15 (GN).

بحث

خشکی از تنش‌های مهم غیرزیستی است که اثرهای متنوعی بر شاخص‌های رشدی گیاهان دارد. ویژگی تحمل کم‌آبی در بین پایه‌ها و رقم‌های مختلف، متفاوت است. درختان میوه واکنش‌های مورفولوژیکی متنوعی در شرایط دشوار محیطی از خود نشان داده که در مقابله با تنش‌های مختلف مانند تنش خشکی سبب زنده ماندن آن‌ها می‌شود (۲۱). از آن جمله می‌توان به کاهش سطح برگ، رشد رویشی، مجموع وزن خشک و تر اندام هوایی و ریشه اشاره نمود. در شرایط تنش خشکی میزان آب قابل استفاده از خاک کم می‌شود و به دنبال آن روزنه‌ها بسته شده و سرعت فتوسنتز کاهش می‌یابد. نتیجه‌های این آزمایش نشان داد وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه، ارتفاع و قطر پاهنگ در اثر تنش خشکی کاهش یافت، زیرا زمانی که گیاهان در شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرند، به علت محدودیت آب، اغلب انعطاف‌پذیری دیواره یاخته‌های در حال رشد اندام‌ها کم می‌شود و توسعه یاخته‌ای و رشد را کاهش می‌دهد و در نتیجه کاهش وزن خشک گیاه، ارتفاع و قطر گیاه اتفاق می‌افتد. افزون بر آن، رشد افقی و عمودی ریشه و تراکم ریشه در واحد حجم خاک نیز تغییر می‌کند و منجر به کاهش وزن ریشه می‌گردد (۱). از طرفی تنش خشکی رشد گیاه را در تمام سطوح (یاخته تا گیاه کامل) زیر تأثیر قرار می‌دهد و به علت کمبود آب، از دست دادن آب و کاهش حجم یاخته‌ای در شاخه‌ها بیش‌تر از ریشه‌ها رخ داده و به‌عبارت دیگر در شرایط کم‌آبی، رشد شاخه‌ها بیش‌تر از رشد ریشه‌ها زیر تأثیر قرار می‌گیرد؛ بنابراین برخی گیاهان در پاسخ به تنش، میزان جذب آب را از راه حفظ نسبی رشد ریشه افزایش می‌دهند و به‌این‌ترتیب مقدار آب خاک بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. همچنین گزارش‌شده در تنش خشکی پتانسیل اسمزی محلول خاک منفی می‌شود که منجر به کاهش جذب آب و توقف رشد می‌شود (۸). مطالعه صورت گرفته روی هشت رقم تجاری بادام در شرایط گلدانی و بررسی‌آن‌ها از نظر تحمل به خشکی نشان داده که رقم‌های مختلف از نظر محتوای نسبی آب برگ، کارایی استفاده از آب، رشد رویشی و سرعت فتوسنتز تفاوت داشتند که

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

نتیجه‌های آزمایش ما با این یافته‌ها همسو است (۶). منفی شدن پتانسیل اسمزی محلول خاک روی پتانسیل اسمزی برگ و محتوای نسبی آب برگ تأثیر گذاشته و باعث کاهش آن می‌گردد (۱۲). گزارش‌شده تا زمانی که گیاه در برابر تنش خشکی قرار نگیرد محتوای نسبی آب برگ کاهش نمی‌یابد، بنابراین رقم‌هایی که زیر تنش خشکی بتوانند محتوای نسبی آب برگ خود را در سطح بالاتری نگه دارند، می‌توانند به‌عنوان رقم متحمل معرفی شوند (۹).

فتوسنتز یکی از فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی است که شدت آن در تنش خشکی کاهش پیدا می‌کند. دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ زیر تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی تحمل تنش است. نتیجه‌های آزمایش ما نشان داد محتوای کلروفیل a و b در اثر تنش کاهش یافت. گزارش شده است که تنش خشکی باعث تولید انواع اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود. در اثر تنش، به علت افزایش فعالیت کلروفیلاز، کلروفیل‌ها در کلروپلاست تجزیه می‌شوند و ساختار تیلاکوئید ناپدید می‌گردد (۱۲).

پرولین در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون یاخته گیاهی نقش بسزایی دارد. پرولین به‌عنوان یک محلول سازگار عمل می‌کند که به‌طور طبیعی در سیتوسول وجود دارد و افزون بر تنظیم اسمزی یاخته از ماکرومولکول‌ها محافظت می‌کند و سبب حفظ ساختارهای یاخته‌ای طی تنش اسمزی می شود (۳). افزایش میزان پرولین در تنش خشکی یک مکانیسم دفاعی برای مقابله با تنش است و از آثار زیان‌بار تنش خشکی بر فعالیت‌های سوخت‌وساز یاخته جلوگیری می‌کند. گزارش‌ها زیادی در ارتباط با افزایش انباشت پرولین در گیاه در شرایط تنش خشکی وجود دارد که نتیجه‌های پژوهش حاضر با آن‌ها در یک راستا می‌با شد (۱۴، ۱۹، ۲۵). تنش خشکی همچنین باعث انباشت قندهای محلول در گیاهان مختلف می شود، زیرا تنش خشکی رشد را بیشتر از فتوسنتز محدود می‌کند و در چنین شرایطی کربوهیدرات‌های غیرساختاری تمایل به تجمع دارند. این قندهای محلول اغلب آب‌دوست‌اند و در سطح پروتئین‌ها یا غشا، جانشین آب می‌شوند و همانند ترکیب‌های با وزن مولکولی پایین عمل می‌کنند (۲۲). واکنش پایه‌های استفاده شده در این آزمایش در برابر تنش خشکی متفاوت بود به‌طوری‌که میزان پرولین برگ و ریشه، قند محلول برگ و ریشه و کارایی استفاده از آب پایه‌های GF677 و GN15 نسبت به پایه‌های کادامن و Myrobalan 29c بیشتر بود. مطالعه‌های پیشین نشان داده است که درجه سازگاری به تنش خشکی در جنس هلوسا بین رقم‌های مختلف متفاوت است (۱۱). همچنین گزارش شده است که تفاوت بین پایه‌ها در سازگاری به تنش زیر کنترل ژنتیکی است (۱۵).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی در اثر تنش خشکی شاخص‌های وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه، تعداد برگ، کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدها و محتوای نسبی آب برگ کاهش و کارایی استفاده از آب، میزان پرولین و قند محلول برگ و ریشه افزایش یافت. اگرچه نوع واکنش پایه‌ها به تنش خشکی متفاوت بود، اما بین دو پایه GF677 و GN15 از نظر میزان تحمل به خشکی تفاوت چندانی وجود نداشت. همچنین ضمن بررسی نتیجه‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری برخی شاخص‌ها از جمله وزن تر و خشک، کارایی استفاده از آب و محتوای پرولین، مشخص شد که دو پایه GF677 و GN15 نسبت به پایه‌های کادامن و Myrobalan 29c تحمل بیشتری در برابر تنش خشکی از خود نشان دادند.

منابع

References

1. Fattahi, M. and A. Mohammadkhani. 2019. Effects of deficit irrigation on some morphological characteristics of grape (*Vitis vinifera* cv. 'Asgari') symbiosis with arbuscular mycorrhizal. Hort. Sci. 32: 581-592. (in persian).
2. Kamali, H. 2007. Characteristics of almond rootstocks and their effects on water and nutrient uptake. Growth, fruiting. The first national conference on strategies for achieving sustainable development in the agricultural sections. Natural resources and the environment yeild and product quality. (in persian).
3. Ashraf, M. and M.R. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. Exp. Bot. 59: 206-216.
4. Bastam, N., B. Baninasab and C. Ghobadi. 2012. Improving salt tolerance by exogenous application of salicylic acid in seedlings of pistachio. Plant Growth Regul. 18: 206-211.
5. Davies, F.S and L.G. Albrigo. 1994. Citrus. CAB International. 345 Pp.
6. De Herralde, F., R. Save, C. Biel, I. Batlle and F.J. Vargas. 2000. Differences in drought tolerance in two almond cultivars: ''Lauranne and Masbovera''. XI Grempa. Seminar on Pistacios and Almonds. Turkey, 1-4 Sep., 56: 149.

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

7. Felipe, A.J. 2009. 'Felinem', 'Garnem', and 'Monegro' Almond × Peach hybrid rootstocks. Sci. Hort. 44:196–197
8. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. P. 257-270, In: Kuo, C.G (ed), adaptation of food crop to temperature and water stress. AVRDC, Shanhua, Taiwan.
9. Flexas, J and H. Medrano. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitation revisited. Ann. Bot. 89:183-189.
10. Zamani, Z., Shahi-Gharahlar, A., Fatahi, R. and A. Khadivi-Khub. 2010. A survey on *Prunus* species from subgenus *Cerasu*s naturally growing in Iran. International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC). III International Symposium on 918: 731-734.
11. Germana, C. 1997. Experiences on the response of almond plants (*Amygdalus communis* L.) to water stress. Acta Hort. 449: 497-503.
12. Heiydari, S.A.H. 2001. Plant and salinity. Research institute of forests and rangelands. 71 page.
13. Irigoyen, J.J., D.W. Emerich and M.D. Sanchie. 1992. Water stress induced changes concentrations of prolin and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiol. Plant. 84: 67-72.
14. Jimenez, S., J. Dridi, D. Gutierrez, D. Moret, J. Juan, M. Irigoyen, A. Moreno and Y. Gogorcena. 2013. Physiological, biochemical and molecular responses in four *Prunus* rootstocks submitted to drought stress. Tree Physiol. 33: 1061–1075.
15. Karimi, H.R., A. Ebadi, Z. Zamani and R. Fatahi. 2011. Effect of water salinity on growth indices and physiological parameters in some pistachio rootstocks. J. Plant Nutr. 34: 935-944.
16. Lee, S. and J. Wen. 2001. A phylogenetic analysis of *Prunus* and the Amygdaloideae (Rosaceae) using ITS sequences of nuclear ribosomal DNA. Am. J. Bot. 88: 150-160.
17. Lichtenthaler, H.K. and A. R. Wellburn. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extract in different solvents. Biochem Soc Trans. 11: 591-592.
18. Moreno, M.A. and R. Cambra. 1994. Adarcias: an almond × peach hybrid rootstock. Hort. Sci. 29: 925-930
19. Muhammad, S., H.M. Mahantesh, M. Kurjogi, M. Khalil-ur-Rehman, T. Pervez, J. Songtao, M. Fiaz, S. Jogaiah, C. Wang and J. Fangshowless. 2018. Drought stress revealed physiological, biochemical and gene-expressional variations in 'Yoshihime' peach (*Prunus persica* L) cultivar. J. Plant Interact. 13: 83-90.
20. Paquin, R and P. Lechasseur. 1979. Observations sur une method dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. Can J. Bot. 57: 1851-1854.
21. Turkan, I., M. Bor, F. Ozdemir and H. Koca. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Plant Sci. 168: 223-231.
22. Wu, Q.S. and Y.N. Zou. 2009. Arbuscular mycorrhizal symbiosis improves growth and root nutrient status of citrus subjected to salt stress. Sci. Asia. 35: 388–391.
23. Zeinalabedini, M., P. Majidian, J. Dezhampour, M. Khakzad and M. Farsi. 2016. First report of a set of genetic identities in *Prunus* rootstocks by SSR markers. Mol. Breed. 4: 17-25
24. Zlatev, Z.S., F.C. Lidon, J.C. Ramalho and I. T. Yordanov. 2006. Comparison of resistance to drought of three bean cultivars. Biol. Plant. 50: 389-394.
25. Zokaee-khosroshahi, M., M. Esna-Ashari, A. Ershadi and A. Imani. 2014. Morphological changes in response to drought stress in cultivated and wild almond species. Int. J. Hort. Sci. Technol. 1: 79-92.

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 22 (1): 29 - 40 (2021)
Research article

The Morpho-Physiological Reactions of *Prunus* Clonal Rootstocks to Drought Stress

Sh. Nasrolahpour-moghadam, G. Rabiei*, B. Shiran, H. Noorbakhsh and R. Ravash[1]

In order to evaluate drought tolerance of four clonal rootstocks of *Prunus* an experiment was conducted in a completely randomized design with two factors. The first factor was four rootstocks including Cadaman, Myrobalan 29c, GF677, and GN15 and the second factor contained three levels of drought stress, including 100, 75, and 50% of field capacity. Height, leaf number and crown diameter were recorded during the treatments, whereas leaf relative water content, chlorophyll and carotenoids contents were measured at the end of the experiment. Fresh and dry weight of leaves and roots decreased for all rootstocks by applying drought stress. Leaf number of GF677 decreased under drought conditions, compared with the control, while its reduction was not significant for other rootstocks. The height of Myrobalan 29c plants was more affected by drought compared with the other rootstocks. Moreover, carotenoids decreased more for Cadaman and Myrobalan 29c rootstocks under drought stress, while GF677 and GN15 did not differ significantly from the control. The rootstocks responded to drought stress differently, so that leaf and root proline content, leaf and root soluble sugars and water–use efficiency (WUE) were higher for GF677 and GN15 compared with Cadaman or Myrobalan 29c.

Keywords: Osmolytes, Rootstock, Drought stress, Water–use efficiency.

1. Ph.D. Student and Assistant Professor of Department of Horticultural Science, Professor of Department of Biotechnology, Assistant Professor of Research Center of Agricultural and Natural Resources and Assistant Professor of Department of Biotechnology, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, respectively.
* Corresponding Author, Email: (rabiei.hort@gmail.com).

[DOR: 20.1001.1.16807154.1400.22.1.7.8]