Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 51, No 4, Winter 2021 (925-937)
DOI: 10.22059/ijhs.2019.284902.1675

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹ (ص ۹۳۷-۹۲۵)

پیش‌بینی پتانسیل رشد با مطالعه صفات رویشی در برخی پایه‌های سیب دورگه

داریوش آتشکار[1*]، روح اله حق جویان[1]، مریم دودانگه بالاخانی[2] و اصغر سلیمانی[2]
۱ و ۲. استادیار پژوهش و کارشناس، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۳۱۵۸۵، صندوق پستی ٤١١٩، کرج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/٤/١٦ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/٦/٥)

چکیده

انتخاب نتاج امید بخش در مراحل اولیه پروژه اصلاح پایه‌های رویشی درختان میوه یکی از روش‌های دستیابی زود هنگام به پایه‌های مورد نظر می‌باشد. در این پژوهش صفات رویشی مرتبط با قدرت رشد در تعداد ۱۱ ژنوتیپ امید بخش پایه سیب به همراه پایه رویشی سیب MM111 به عنوان شاهد بررسی شد. نتایج نشان داد بین ژنوتیپ پایه‌های مورد مطالعه به لحاظ صفات رویشی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. بر اساس قدرت رشد این ژنوتیپ‌ها به سه دسته کلی تقسیم شدند: ۱- ژنوتیپ‌های کم‌رشد (پاکوتاه) AR4, AR8, AR11 که دارای کمترین بیوماس، کمترین سرعت رشد و بیشترین تراکم روزنه در واحد سطح برگ بودند، ۲- ژنوتیپ‌های پر رشد AR1، AR3، AR6، AR7 و AR9 که دارای بیشترین بیوماس، بیشترین سرعت رشد و کمترین تراکم روزنه در واحد سطح برگ بودند و ۳- ژنوتیپ‌های متوسط رشد AR2، AR5، AR10 و MM111 که دارای مقدار متوسط بیوماس، سرعت رشد و تراکم روزنه در واحد سطح برگ بودند. ژنوتیپ‌های کم رشد بیشترین و ژنوتیپ‌های پر رشد کمترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره را داشتند. گسترش رشد طولی ریشه در ژنوتیپ‌های سیب با قدرت رشد پایه‌ها ارتباط مستقیمی نداشت، اما با گسترش افقی در آن‌ها رابطه عکس داشت. ژنوتیپ‌های AR1, AR4, AR5, AR10 که گسترش طولی ریشه بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند، گسترش افقی ریشه کمتری داشتند و ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR3, AR8 که گسترش طولی کمتری داشتند، گسترش افقی بیشتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: **به‌نژادی پایه، رشد، روزنه، ریشه، ساقه.**

Predicting the growth potential in some apple (*Mallus domestica* Borkh.) hybrid rootstocks by study of vegetative characteristics

Dariush Atashkar[1*], Rohollah Haghjooyan[1], Maryam Dodangeh Balakhani[2] and Asghar Soleimani[2]
1, 2. Assistant Professor and Instructor, Department of Horticulture, Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extention (AREEO), P.O. Box. 4119, Karaj, 31585, Iran
(Received: Jul. 07, 2019- Accepted: Aug. 27, 2019)

ABSTRACT

The selection of promising progenies in the early stages is one of the methods for rootstock breeding of fruit trees. In this study, vegetative traits in 11 apple genotypes with MM111 as control were investigated. The results showed that there was a significant difference between the genotypes of the studied bases in terms of vegetative traits and were classified into three general categories based on their growth potentials: 1. AR4, AR8, AR11, as dwarf genotypes with the lowest biomass, the lowest growth rate and the highest stomatal density per leaf area unit. 2. AR1, AR3, AR6, AR7, AR9 as vigorous genotypes had the highest biomass, the highest growth rate and the lowest stomatal density per leaf area. 3. AR2, AR5, AR10, MM111 had an average amount of biomass, growth rate and stomatal density per leaf area. Dwarf genotypes had the highest and vigorous genotypes had the lowest ratio of dry weight of root to shoots. Longitudinal growth of root growth in genotype of apple rootstocks had no direct relation with rootstock vigor, but there was a reverse correlation with horizontal extension. AR1, AR4, AR5, AR10 genotypes had longer roots than other genotypes of rootstocks, with lowest horizontal extension of roots and AR2, AR3, and AR8 genotypes with highest horizontal extension hed lowest longitudinal root growth.

Keywords: Breeding, growth, rootstock, root, stem, stomat.

* Corresponding author E-mail: datashkar2002@yahoo.com

مقدمه

جهت استفاده بهینه از منابع ارزشمند آب و خاک، بالا بردن تولید، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری، امروزه احداث باغ‌های متراکم و نیمه متراکم با استفاده از پایه‌های رویشی پاکوتاه کاملاً ضروری است. از یک قرن پیش تاکنون روند توسعه صنعت سیب کاری در دنیا از احداث باغ‌های استاندارد و پایه‌های بذری به‌طرف استفاده از پایه‌های پاکوتاه و باغات متراکم تغییریافته است (Khanizadeh *et al.,* 2000) با توجه به شرایط اقلیم خشک و خاک‌های به‌طور عمده آهکی مناطق پرورش سیب در ایران، استفاده از پایه‌های رویشی خارجی که در شرایط ویژه‌ای اصلاح و انتخاب شده‌اند، ممکن است مشکلاتی را برای صنعت سیب‌کاری کشور بوجود بیاورد، لذا استفاده از ژنوتیپ‌های پاکوتاه بومی و یا نتاج حاصل از آن‌ها می‌تواند سازگاری بهتری با این مناطق داشته باشد (Atashkar *et al.,* 2015). تنها راه‌کار در خصوص خاک‌های خشک و آهکی استفاده از پایه‌های متحمل است (Webster, 2002). هدف اصلی به‌نژادی پایه‌های رویشی سیب، بهبود ویژگی‌های خزانه‌ای، باغی و افزایش تحمل تنش‌های زنده و غیر زنده می‌باشد (Jakubowski *et al*., 2003). هر کشور با توجه به شرایط اقلیمی خود دارای پایه‌های رویشی خاصی می‌باشد، در بسیاری از کشورهای میوه خیز برنامه‌های دورگ‌گیری بین ژنوتیپ‌های بومی خود و پایه‌های بین‌المللی اجرا شده است و پایه‌های متناسب با اقلیم خود به‌دست آورده‌اند (Khanizadeh *et al*., 2005). برنامه اصلاح پایه‌های رویشی سیب در اکثر کشورهای پرورش‌دهنده سیب اجرا شده است. نخستین برنامه اصلاحی پایه سیب در ایستگاه تحقیقاتی ایست مالینگ در کنت انگلستان در سال ۱۹۱۲ با جمع آوری پایه‌هایی تحت عنوان پارادیس و دوسین از اطراف دنیا جهت تعیین هویت و شناسایی آنها شروع شد. ولینگتون کاررا آغاز کرد و توسط هاتون دنبال شد، هاتون ۷۱ کلکسیون را از ۳۵ منبع به‌دست آورد. هاتون برای اینکه پایه‌های مشخص شده دوباره با هم اشتباه نشوند پیشنهاد کرد، هر پایه با اعداد رومی از ۱ تا ۲۴ نامگذاری شوند. درسال ۱۹۱۷ نخستین برنامه اصلاحی پایه سیب شروع شد. برای ایجاد پایه مقاوم به شته مومی انستیتوی جان اینس و ایستگاه تحقیقات ایست مالینگ برنامه‌های مشترکی را در این زمینه شروع کردند، سری‌های مرتون ایمیون مثل MI793, MI.778 در دهه ۱۹۳۰ معرفی شدند و به دنبال آن سری‌های مالینگ مرتون (MM) مثل MM115، MM101 در سال ۱۹۵۲ به بازار عرضه شدند (Radnia, 1997).در برنامه اصلاح پایه سیب در لهستان سیب رقم آنتونوکا با M9 تلاقی داده شد و بعد از گزینش اولیه ۲۸ کلون انتخاب گردید از میان آن‌ها چهارپایه پس از دو فصل آزمایش زمستانه با مشخصات پاکوتاه کنندگی، مقاومت به سرما و مقاومت فراوان به پوسیدگی طوقه انتخاب و تحت عنوان سری P معرفی گردید (Zagaja *et al.,* 1989). برنامه دورگ‌گیری بین ژنوتیپ‌های بومی شامل آزایش اصفهان و مربایی مشهد به‌عنوان والد مادری و پایه‌های تجارتی سیب شامل B9, M9, M27 به‌عنوان والد پدری طراحی و اجرا گردید که ماحصل این پژوهش دستیابی به ۲۷ ژنوتیپ پایه امیدبخش از میان ۴۰۰۰ دانهال هیبرید بود (Atashkar *et al.,* 2015). با توجه به هزینه و زمان‌بربودن پروژه به‌نژادی پایه‌های رویشی سیب غربال شدید و کاهش تعداد نتاج در مراحل مختلف، یک اصل مهم در دستورالعمل به‌نژادی پایه به شمار می‌رود. پس از ارزیابی قابلیت تکثیر رویشی، بررسی قدرت پاکوتاه کنندگی و ارزیابی قدرت رشد نتاج از مهم ترین شاخص های انتخاب پایه‌های رویشی امید بخش به شمار می رود(Johnson, 2000). بهترین روش برای ارزیابی قدرت رشد پایه‌ها، پیوند رقم های سیب روی آنها و ارزیابی در باغ است، اما این روش زمان‌بر و پرهزینه است. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی قدرت رشد پایه‌ها بدون انجام پیوند پیشنهاد شده است شامل: قدرت رشد، ساختار آوندی، پارانشیم ریشه، سطح برگ و خصوصیات بیوشیمیایی بافت پوست می‌باشد (James *et al.,* 1983). ارتفاع گیاه یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رشد گیاه است. تفاوت‌های ژنتیکی از نظر ارتفاع، طول میان گره، طول و سطح گسترش سیستم ریشه در اکثر گیاهان گزارش‌شده است (Kafi *et al*., 2010). داشتن

ریشه‌های عمیق و ضخیم به گیاه اجازه می‌دهد که آب را از اعماق پایین جذب نمایند و مقاوم به خشکی شوند (Farooq *et al*., 2009).

اولین مطالعه برای پیش‌بینی قدرت رشد نتاج حاصل از برنامه اصلاحی پایه سیب در سال ۱۹۴۰ با مطالعه ۸ ژنوتیپ پایه جدید به همراه پایه رویشی M9 به عنوان شاهد پاکوتاه و پایه رویشیM7 به عنوان شاهد نیمه پابلند با استفاده از صفات مربوط به ریشه شامل: نسبت پوست به چوب ریشه، فراوانی آوند چوبی، فیبر، بافت پارانشیم آوندی و اشعه آوندی انجام گرفت در این مطالعه پایه‌های پاکوتاه مشابه پایه رویشیM9 دارای اشعه آوندی و پارانشیم بیشتر و آوند چوب کمتری نسبت به پایه‌های پابلندتر بودند (Beakbane *et al*., 1944). دلیل پاکوتاه کنندگی پایه‌های رویشی هلو به واسطه کوچک بودن آوندهای چوبی گزارش شده است (Bruckner *et al*., 2014). گزینش نتاج پاکوتاه در جمعیت حاصل از دورگ گیری بین پایه پاکوتاه M9 و پایه پررشد روبوستا ۵ با استفاده از نشانگرهای مولکولی انجام شده است (Rushome *et al*., 2008). اتکینسون و همکاران با بررسی هدایت هیدرولیکی محل پیوند در پایه‌های پاکوتاه کننده و پا بلند نتیجه گیری کردند در پایه‌های پاکوتاه کننده هدایت هیدرولیکی کمتر از پایه‌های پر رشد بود (Atkinson *et al*., 2003). بررسی قدرت رشد با استفاده از مقایسه صفات رویشی و نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره در نتاج اهمیت فراوانی دارد، در پایه‌های پاکوتاه کننده نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره از پایه‌های پا بلند بیشتر است (Atkinson *et al*., 2000). یکی از شاخص های پیش‌بینی قدرت رشد در جمعیت نتاج پایه‌های رویشی سیب تراکم روزنه‌ای برگ است. تراکم روزنه در پایه‌های مختلف متفاوت بوده و بستگی به ژنتیک رقم دارد، پایه‌های پر رشد دارای تعداد روزنه بیشتری در واحد سطح نسبت به پایه‌های پاکوتاه هستند (Pathak *et al*., 1976; Beakbane *et al*., 1975). مطالعه تراکم روزنه و صفات رویشی در ۱۵ گونه سیب کرب نشان داد، قدرت رشد و تراکم روزنه در گونه های مختلف متفاوت بود، اما بین تراکم روزنه و قدرت رشد پایه‌ها ارتباط مستقیم وجود نداشت (Sharma *et al*., 1982). بررسی پتانسیل رشد در ۱۲ ژنوتیپ پایه سیب اوتاوا با استفاده از۱۰ شاخص رشد نشان داد که بهترین شاخص برای پیش‌بینی قدرت رشد پایه‌ها، وزن خشک برگ ژنوتیپ پایه‌ها است، ژنوتیپ پایه‌هایی دارای سطح برگ بیشتر جزو پایه‌های پر رشد و ژنوتیپ پایه‌های با سطح برگ کمتر، جزو پایه‌های پاکوتاه طبقه‌بندی می‌شوند (Miller *et al*., 1977).

مواد و روش‌ها

به‌منظور دستیابی به پایه‌های رویشی سیب سازگار با شرایط خاک کشور، تلاقی‌های هدفمندی بین ژنوتیپ‌های سیب پاکوتاه بومی ایران (آزایش اصفهان و مربایی مشهد) به‌عنوان والد مادری و پایه‌های رویشی (M9، M27 و B9) به‌عنوان والد پدری، از سال۱۳۸۴ لغایت سال۱۳۸۷ انجام گرفت. ارزیابی‌های مقدماتی نتاج حاصل از تلاقی‌ها و گرده‌افشانی آزاد جهت گزینش پایه رویشی سیب با قابلیت تکثیر رویشی آسان و همچنین مقاومت ظاهری به شته مومی انجام گرفت. از مجموع ۳۰۳۲ دانهال، تعداد ۲۱۸ ژنوتیپ با قابلیت تکثیر رویشی آسان در شرایط خوابانیدن کپه‌ای و مقاومت ظاهری نسبت به شته مومی انتخاب شدند (غربال اولیه). جهت اطمینان بیشتر از سهل ریشه‌زا بودن نتاج در شرایط گلخانه با قلمه‌های خشبی و سیستم پاگرما (غربال ثانویه)، تعداد ۲۷ ژنوتیپ سهل ریشه‌زا با تعداد و طول ریشه و حجم کالوس‌زایی بیشتر، انتخاب شدند (Atashkar *et al.*, 2015). به‌منظور گروه‌بندی نتاج امید بخش سهل ریشه‌زای سیب به لحاظ قدرت رشد و انتخاب پایه یا پایه‌های پاکوتاه، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر روی گیاهان گلدانی یک‌ساله در گلخانه و آزمایشگاه پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی انجام گرفت. در این آزمایش از ۱۱ ژنوتیپ امیدبخش سهل ریشه‌زا حاصل از غربال گری مراحل اول و دوم شامل AR1 تا AR11 و پایه رویشی MM111 به‌عنوان شاهد استفاده شد (جدول ۱). برای این منظور در دی‌ماه، تعداد ۱۰ عدد قلمه به طول ۲۵ و قطر۱/۵

سانتی‌متر از هر ژنوتیپ پایه تهیه و پس از تیمار با هورمون IBA با غلظت ۳۰۰۰ قسمت در میلیون در بستر پرلیت مجهز به پاگرما با دمای بستر ۲۱ درجه سانتی‌گراد ریشه‌دار شدند. قلمه‌های ریشه‌دارشده ۴۵ روز بعد به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر حاوی بستر کاشت (خاک‌برگ، خاک، ماسه‌بادی و پیت‌ماس به نسبت ۱:۱:۱:۱) انتقال یافت. پس از سه ماه رشد در شرایط نرمال، میزان رشد در ابتدا و انتهای دوره آزمایش، طول و قطر گیاه توسط خط‌کش وکولیس اندازه‌گیری شد و پس از قراردادن داده‌ها در فرمول ذیل درصد رشد گیاهان محاسبه شد.

$$\text{میزان رشد} = \frac{\text{رشد ابتدایی- رشد انتهایی}}{\text{رشد انتهایی}} \times ۱۰۰$$

با شمارش و تفاضل تعداد برگ در انتهای زمان آزمایش و شروع آزمایش نسبت برگ‌دهی در مدت زمان آزمایش و تعداد نهایی برگ‌ها محاسبه شد. سپس طول، عرض و سطح پهنک برگ از طریق عکس برداری از برگ‌ها و به‌کمک نرم‌افزار آنالیز تصویر (Image J، نسخه 1.32 j) اندازه‌گیری گردید. با تقسیم وزن خشک برگ به سطح برگ وزن مخصوص برگ محاسبه شد. برای اندازه‌گیری تراکم روزنه از هرگیاه تعداد سه برگ انتخاب (پنجمین برگ از نوک شاخه) و با استفاده از لاک ناخن شفاف از قسمت میانی سطح رویی وزیرین برگ اسلایدهایی برداشت گردید سپس با استفاده از میکروسکوپ نوری روی لام مدرج تعداد روزنه‌ها در میدان دید با لنز شماره ۴۰ شمارش گردید. در هر میدان دید ۶۴ مربع کوچک از لام مدرج (مساحت هر مربع کوچک ۰/۰۰۲۵ میلی‌مترمربع) در کاتالوگ ذکر شده است. مطابق رابطه ۰/۱۶=۰/۰۰۲۵×۶۴ مساحت میدان دید ۰/۱۶ میلی‌مترمربع می‌باشد. با قراردادن تعداد روزنه‌ها در سطح مذکور تعداد روزنه در یک میلی‌مترمربع محاسبه و در جدول‌ها وارد گردید. در پایان آزمایش و در مهرماه گیاهان با دقت از گلدان خارج شده و پس از شستشوی کامل ریشه با استفاده از خط‌کش، سطح گسترش طولی و افقی ریشه‌های هر یک از ژنوتیپ پایه‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک برگ و شاخساره‌های این ژنوتیپ‌ها با ترازوی دیجیتالی توزین شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌ها، طبق دستورالعمل (Liu *et al*., 2011) نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس توزین شدند. در پایان آزمایش داده‌های ثبت‌شده با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.1) تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، ژنوتیپ پایه‌ها، بر اساس صفات رویشی شامل وزن تر و خشک برگ‌ها، سطح برگ، وزن مخصوص برگ، تعداد برگ نهایی، میزان افزایش تعداد برگ، تعداد روزنه، وزن تر و خشک اندام هوایی، درصد افزایش ارتفاع، وزن تر و خشک ریشه‌ها، عمق و سطح گسترش ریشه، تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ نشان دادند (جدول ۲).

جدول ۱. ژنوتیپ پایه‌های سیب موردمطالعه و والدین آن‌ها

Table 1. Genotype of studied apple rootstocks and their parents

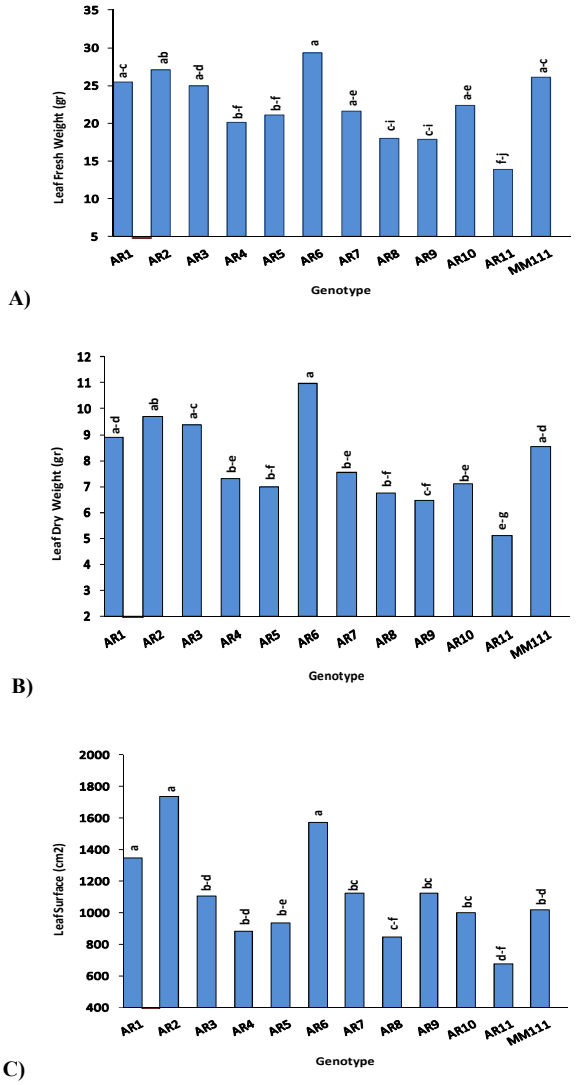
Rootstock genotype	Matenal parent	Patenal parent	Seed number	Plantlet number	Selected progeny number (First stage)	Selected progeny number (Second stage)	Root number	Root length (cm)	Rooted section area (cm)
AR1	Azayesh $_{(OP)}$	OP	4500	470	39	7	11.8	18.69	10
AR2	Azayesh $_{(OP)}$	OP	1460	264	10	1	11.4	14.36	7.68
AR3	M9$_{(OP)}$	OP	3300	800	25	1	10.83	21.5	7.66
AR4	M9$_{(OP)}$	OP	4100	340	12	2	7.22	17	8.11
AR5	Azayesh	M_9	350	52	9	2	9.9	16	9.2
AR6	Azayesh	M_9	400	65	18	1	6.5	14.66	9.3
AR7	Azayesh	B_9	320	46	10	2	7.3	13	10.3
AR8	Azayesh	B_9	430	61	17	6	10.21	9.2	10.2
AR9	Azayesh	M_{27}	1200	74	3	2	8.3	3.6	8
AR10	Azayesh	M_{27}	140	27	3	1	8	10.63	9.54
AR11	Morabaei	M_9	1375	104	4	2	20.2	15	9.4
MM111	Northrn spy	Merton$_{793}$	-	--	-	-	19	14	8

وزن تر و خشک و سطح برگ‌ها

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ وزن‌تر و خشک برگ‌ها تفاوت معنی‌داری با هم داشتند، ژنوتیپ پایه‌های AR1، AR2، AR3، AR6، AR7 و MM111 دارای بیشترین وزن‌تر وخشک کل برگ‌ها و ژنوتیپ پایه‌های AR5، AR9 و AR10 در گروه دوم و ژنوتیپ پایه‌های AR4، AR8 و AR11 در گروه سوم دارای کمترین وزن‌تر وخشک کل برگ‌ها بودند، بیشترین سطح برگ کل مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR1، AR2، AR6، AR7 و AR9 در گروه اول ژنوتیپ پایه‌های AR3، AR5، AR10 و MM111 در گروه دوم و ژنوتیپ پایه‌های AR4، AR8 و AR11 در گروه سوم قرار گرفته است (شکل A-۱).

میزان افزایش تعداد برگ (برگ‌دهی)

ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ میزان افزایش تعداد برگ در طول زمان اجرای آزمایش با هم تفاوت معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که بیشترین برگ‌دهی مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR6, MM111 با ۱۱/۶۶، ۲۳، ۱۵ برگ و کمترین نسبت افزایش آن در ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR7, AR8, AR11 با ۲/۳۳، ۱/۳۳، ۵/۳۳، ۳/۶۶ برگ ثبت شد (شکل A-۲).



شکل ۱. مقایسه میانگین وزن تر برگ (A)، وزن خشک برگ (B) و سطح برگ (C) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب

Figure 1. Mean comparison of leaf surface (A), final leaf number (B) and leaf production rate and leaf surface in different apple rootstock genotypes

تعداد برگ نهایی

ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR2, AR6, AR7 به‌ترتیب با ۶۷/۳۳، ۷۵/۶۶، ۷۰/۳۳ و ۷۳/۶۶ برگ دارای بیشترین تعداد برگ و ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR4, AR5, AR8, AR10, AR11, MM111 با ۳۸/۶۰، ۴۶، ۳۲/۱۶، ۳۳/۳۳، ۳۶/۶۶، ۳۳/۶۶، ۳۲/۶۳ برگ به‌ترتیب دارای کمترین تعداد برگ بود (شکل B-۲).

وزن مخصوص برگ (میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع)

ژنوتیپ پایه‌هایAR3، AR4، AR10، AR11 و MM111 دارای بیشترین وزن مخصوص برگ در گروه اول، ژنوتیپ پایه‌های AR5 و AR8 در گروه دوم و ژنوتیپ پایه‌های AR1، AR2، AR6، AR7 و AR9 با کمترین وزن مخصوص برگ در گروه سوم قرار گرفتند (شکل A-۳).

تراکم روزنه (در سطح ۱ میلی‌مترمربع)

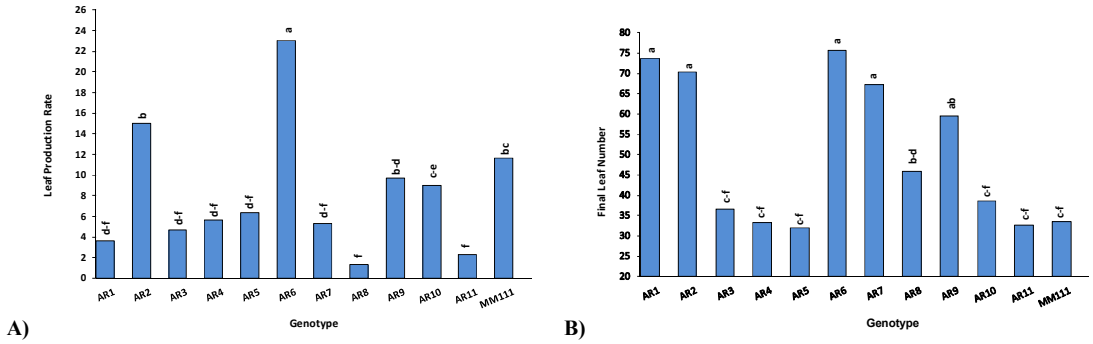
ژنوتیپ پایه‌هایAR11, AR4, AR8 به‌ترتیب با ۳۱۲، ۲۶۸، ۲۵۲ روزنه در میلی‌مترمربع دارای بیشترین تراکم روزنه سطح زیرین برگ در گروه اول، ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR6, AR5, MM111, AR3, AR10 به‌ترتیب با ۲۲۴، ۲۰۸، ۲۰۰، ۱۹۶، ۱۹۲، ۱۹۲ روزنه در میلی‌مترمربع در گروه دوم و ژنوتیپ پایه‌های AR7, AR9, AR6 به‌ترتیب با ۱۶۸، ۱۶۴، ۱۴۸ روزنه در میلی‌مترمربع در گروه سوم قرار گرفتند (شکل‌های B-۳ و ۴). یکی از شاخص های پیش‌بینی قدرت رشد در جمعیت نتاج پایه‌های رویشی سیب تراکم روزنه‌ای برگ است. تراکم روزنه سطح زیرین برگ در پایه‌های مختلف متفاوت بوده و بستگی به ژنتیک رقم دارد (Pathak *et al*., 1976; Beakbane *et al*., 1975). ژنوتیپ پایه‌های مورد بررسی به لحاظ تراکم روزنه در سطح زیرین برگ تفاوت معنی‌داری نشان دادند، ژنوتیپ‌هایی که به لحاظ سطح برگ، سرعت رشد و بیوماس در گروه ژنوتیپ‌های پر رشد قرار گرفتند یعنی AR1, AR3, AR6, AR7, AR9 دارای کمترین تراکم روزنه و ژنوتیپ‌های کم‌رشد AR4, AR8, AR11 دارای بیشترین تراکم روزنه‌ای بودند. مقایسه نتایج این پژوهش با سایر پژوهش‌ها که نشان می‌دهد تراکم روزنه‌ای با قدرت رشد پایه رابطه مستقیم ندارد هماهنگی دارد. مطالعه تراکم روزنه و صفات رویشی در ۱۵ گونه سیب کرب نشان داد، قدرت رشد و تراکم روزنه در گونه های مختلف متفاوت بود، اما بین تراکم روزنه و قدرت رشد پایه‌ها ارتباط مستقیم وجود نداشت (Sharma *et al*., 1982).

وزن تر و خشک اندام هوایی (شاخساره)

ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ وزن تر ساقه و شاخه تفاوت معنی‌داری با هم نشان دادند، بیشترین وزن‌تر ساقه و شاخه مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR2, AR6, AR7, AR9 با ۲۸/۶۳، ۳۸/۷۵، ۴۵/۱۳، ۳۰/۱۰، ۴۴/۰۳ گرم و کمترین وزن‌تر ساقه و شاخه را ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR8, AR10, AR11 با ۱۴/۵۶، ۱۹/۷۳، ۱۹/۲۶، ۱۸/۰۵گرم در بین ژنوتیپ پایه‌های سیب داشتند (شکل A-۵). ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ وزن خشک ساقه و شاخه تفاوت معنی‌داری باهم نشان می‌دهند. بیشترین وزن خشک ساقه و شاخه مربوط به ژنوتیپ پایه‌های سیب AR1, AR2, AR6, AR7, AR9 با ۱۴/۹۶، ۱۹/۷۸، ۲۲/۰۵، ۴۲/۸۳، ۲۲/۱۴ گرم و کمترین وزن خشک ساقه و شاخه مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR4, AR8, AR10, AR11 با ۷/۵۲، ۹/۶۶، ۹/۶۳، ۸/۵۸ گرم بوده است (شکل B-۵). رشد گیاه ناشی از اثرات متقابل فرایندهای درونی گیاه از قبیل فتوسنتز، تنفس، انتقال، روابط آبی، میزان تورژسانس و تعادل عناصر غذایی می‌باشد (Taiz *et al*., 2006). سطح سبز به عنوان مهمترین معیار قدرت رشد در پایه‌های سیب رصد می‌شود. بهترین شاخص برای پیش‌بینی قدرت رشد پایه‌ها، وزن خشک برگ ژنوتیپ پایه‌ها است، ژنوتیپ پایه‌هایی دارای سطح برگ بیشتر جزء پایه‌های پر رشد و ژنوتیپ پایه‌های با سطح برگ کمتر، جزء پایه‌های پاکوتاه طبقه‌بندی می‌شوند (Miller *et al*., 1977). در این پژوهش نیز ژنوتیپ پایه‌ها به لحاظ سطح برگ، نسبت برگ‌دهی، تعداد برگ نهایی، وزن تر و خشک برگ‌ها و ضخامت برگ (وزن مخصوص)، سرعت رشد و بیوماس تولیدی ونسبت وزن خشک ریشه به شاخساره تفاوت معنی‌داری نشان دادند.گرچه ضخامت برگ به‌عنوان معیار قدرت رشد ارزیابی نمی شود، اما صفت مهمی در تحمل به خشکی پایه‌ها می‌باشد. افزایش سرعت رشد و تولید بیوماس بیشتر حاصل سطح سبز بزرگ‌تر، فتوسنتز

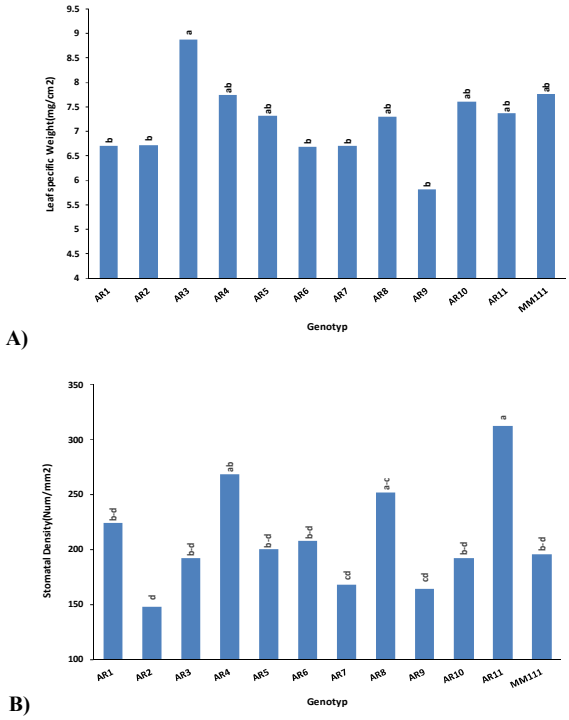
بیشتر و در نهایت قدرت رشد بیشتری می‌باشد. بر اساس سطح برگ، بیوماس و سرعت رشد ژنوتیپ پایه‌های مورد بررسی به سه دسته تقسیم شدند: ۱- ژنوتیپ‌های AR1, AR3, AR6, AR7, AR9 دارای بیشترین سطح برگ بودند به تبع آن دارای بیشترین افزایش ارتفاع و وزن تر و خشک ساقه و شاخساره بودند، ۲- ژنوتیپ‌های AR4, AR8, AR11 دارای کمترین سطح برگ، افزایش ارتفاع و وزن تر و خشک ساقه و شاخساره بودند، ۳- ژنوتیپ‌های AR2, AR5, AR10, MM111 دارای مقدار متوسط سطح برگ، وزن تر و خشک ساقه و شاخساره و سرعت رشد بودند.

نتایج به‌دست آمده از سایر پژوهش ها نیز نشان داد در ژنوتیپ پایه‌های پر رشد با سطح برگ بزرگتر، فتوسنتز، تبادلات گازی و تعرق نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها بیشتر است (Atashkar *et al*., 2018). پایه‌های کم‌رشد در سیب نسبت به پایه‌های پر رشد از سطح برگ کمتری برخوردارند و در شرایط آبیاری یکسان پتانسیل آب برگ در پایه‌های پر رشد منفی تر از پایه‌های کم رشد است، زیرا با داشتن سطح برگ بیشتر دارای تعرق بیشتری نسبت به پایه‌های کم رشد می‌باشند (Alabasi *et al.,* 2016; Atkinson *et al*., 2000).



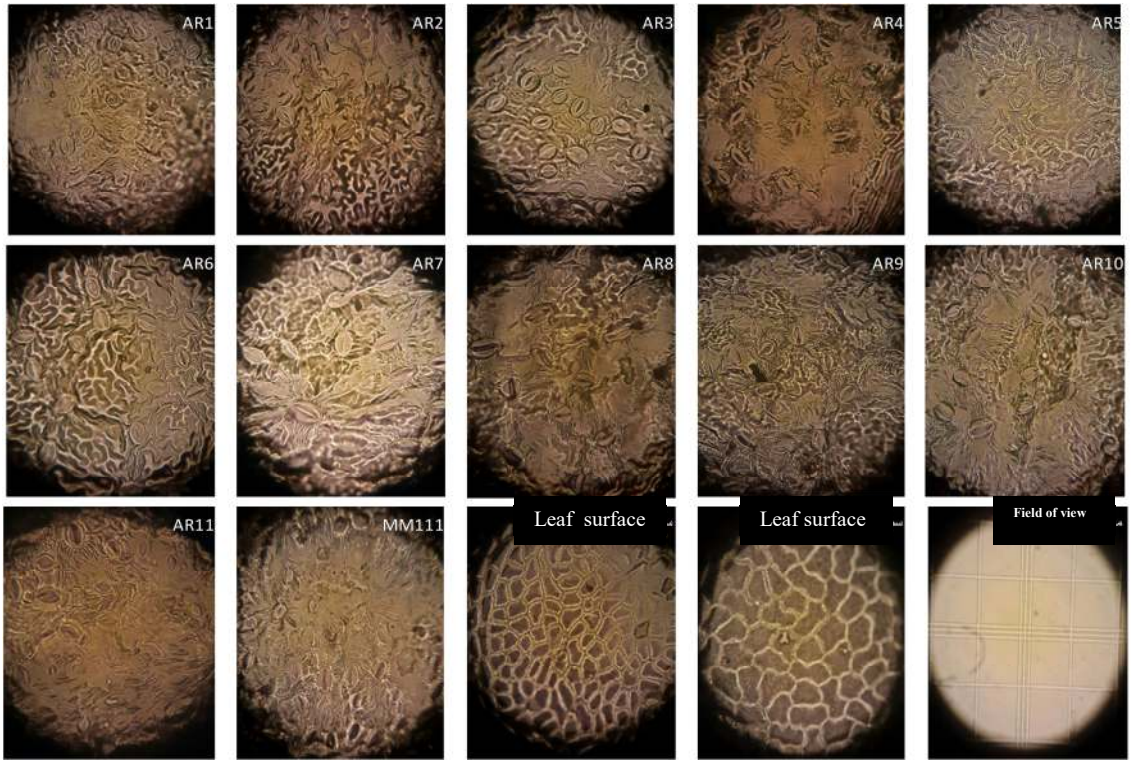
شکل ۲. مقایسه میانگین نسبت برگ‌دهی (A) و تعداد برگ نهایی (B) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب

Figure 2. Mean comparison of leaf production rate (A) final leaf number (B) in different apple rootstock genotypes



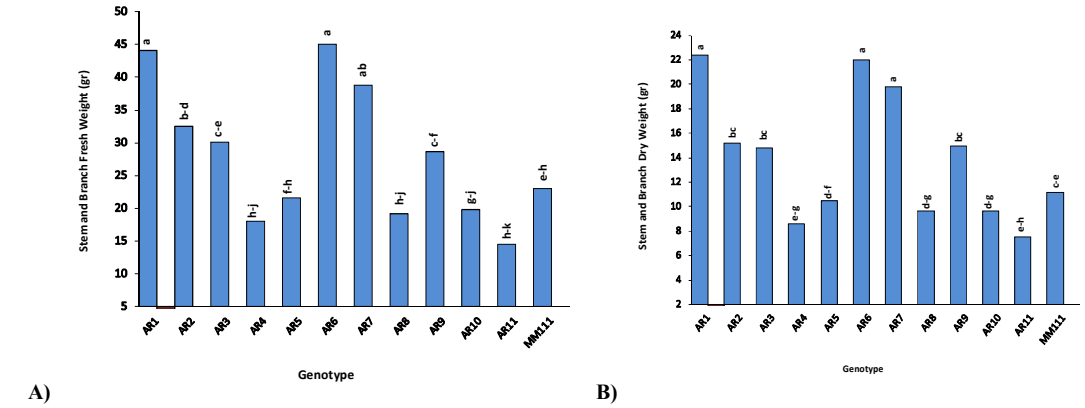
شکل ۳. مقایسه میانگین وزن مخصوص (A) و تراکم روزنه در سطح زیرین برگ (B) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب

Figure 3. Mean comparison of leaf specific weight (A) stomatal density (B) in different apple rootstock genotypes



شکل ۴. تراکم روزنه در سطح زیرین برگ ژنوتیپ پایه‌های سیب، اپیدرم رویی برگ فاقد روزنه و میدان دید میکروسکوپ (۰/۰۱۶mm^2)

Figure 4. Stomatal density on the underside of leaf of apple rootstockes genotype, upper leaves epidermis without stomata and field of view of microscope (0. 016 mm^2)



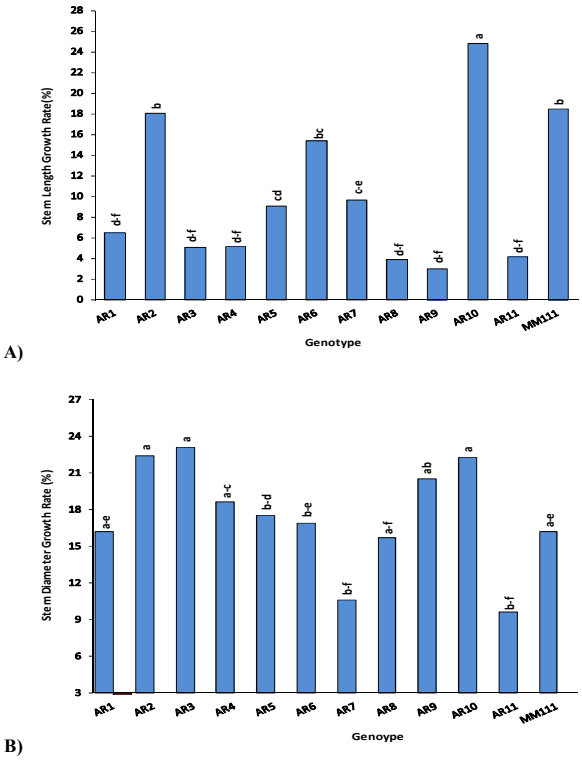
A) B)

شکل ۵. مقایسه میانگین وزن تر ساقه و شاخه (A) و وزن خشک ساقه و شاخه (B) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب

Figure 5. Mean comparison of stem and branch fresh weight (A), stem and branch dry weight (B) in different apple rootstock genotypes

نسبت افزایش ارتفاع و قطر تنه

ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ نسبت ۴ افزایش ارتفاع در طول زمان اجرای آزمایش با هم تفاوت معنی‌داری نشان دادند، به‌طوری‌که بیشترین نسبت افزایش ارتفاع در ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR6, AR10, MM111 با ۱۸/۵۰، ۲۴/۸۴، ۱۵/۴۰، ۱۸/۶ درصد و کمترین نسبت افزایش ارتفاع مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR11, AR4, AR3, AR8, AR9, با ۲، ۴/۳، ۳/۹۵، ۵/۱۸، ۵/۰۶ درصد بود. ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ نسبت افزایش قطر تنه در طول زمان اجرای آزمایش با همدیگر تفاوت معنی‌داری نشان ندادند، اما بیشترین افزایش قطر ساقه مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR10، AR2، AR3 و AR9 وکمترین افزایش قطر در ژنوتیپ پایه‌های AR1، AR7 و AR11 ثبت گردید (شکل A, B-۶).



شکل ۶. مقایسه میانگین نسبت افزایش ارتفاع (A) و نسبت افزایش قطر تنه (B) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب

Figure 6. Mean comparison of stem length growth rate (A), stem diameter growth rate (B) in different apple rootstock genotypes

وزن تر و خشک ریشه‌ها

ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ وزن‌تر ریشه با هم تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۲). بیشترین وزن تر ریشه در ژنوتیپ پایه‌ها AR1, AR2, AR7, AR9 با ۳۸/۲۳، ۳۴/۹۶، ۳۵/۱۰، ۴۶/۱۵ گرم و کمترین وزن‌تر ریشه در ژنوتیپ پایه‌های AR3, MM111 ,AR4 با ۲۳/۴۳، ۸۰/۵۸، ۲۴/۲۵گرم ثبت گردید (شکل A-۷). ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ وزن خشک ریشه نیز تفاوت معنی‌داری باهم داشته اند. بیشترین وزن خشک ریشه در ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR7, AR9 با ۸/۵۰، ۷/۷۵، ۱۰/۹۸ گرم و کمترین وزن خشک ریشه در ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR4, MM111 با ۵/۱۱، ۴/۴۸، ۵/۲۰ گرم بود (شکل B-۷).

گسترش عمودی ریشه

ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ گسترش عمودی ریشه‌ها با هم تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول۲). بیشترین گسترش عمودی ریشه‌ها مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR4, AR5, AR10 با ۶۲/۶۶، ۷۶/۶۷، ۷۰/۵۰، ۷۰ سانتی‌متر و کمترین گسترش عمودی ریشه‌ها در ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR3, AR8 با ۵۱/۰۶، ۴۸ و ۴۵/۱۰ سانتی‌متر بود (شکل A-۸).

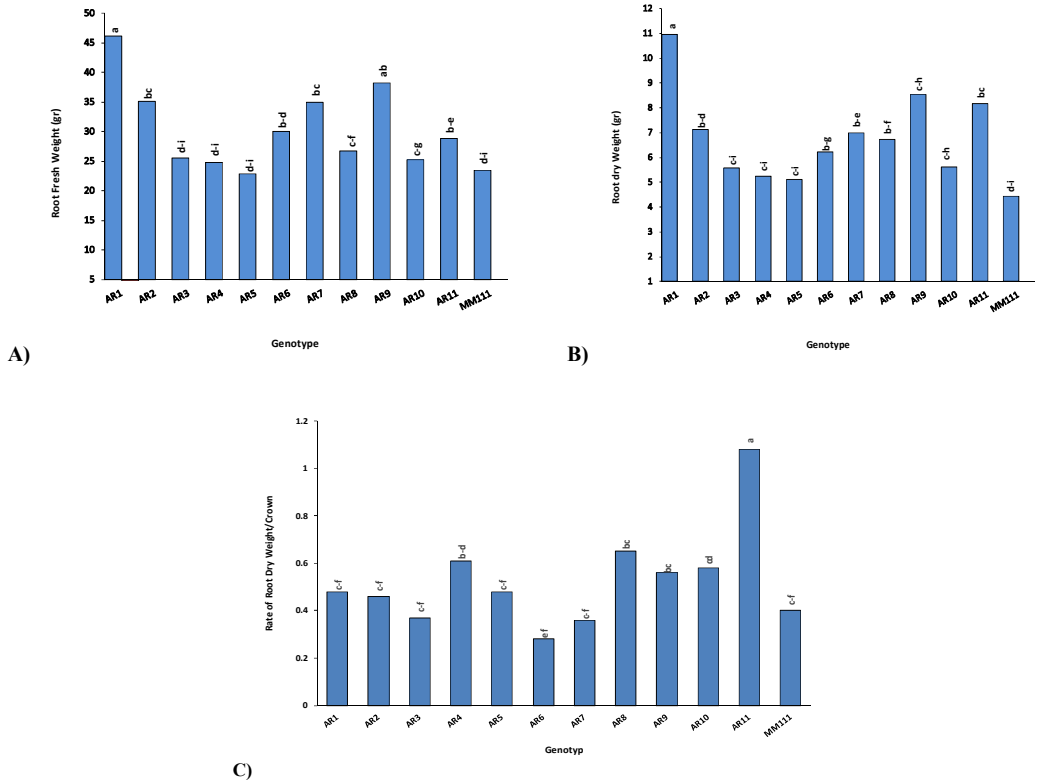
گسترش افقی ریشه

گسترش رشد طولی ریشه در ژنوتیپ پایه‌های سیب با گسترش افقی در آن‌ها رابطه عکس داشت، در ژنوتیپ پایه‌هایی که دارای حداکثر رشد طولی بودند، گسترش افقی در آن‌ها اندک بود، ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR4, AR5, AR10 که گسترش طولی بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها داشتند، گسترش افقی ریشه کمتری داشتند و ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR3, AR8 که گسترش طولی کمتری داشتند گسترش افقی بیشتری داشتند (شکل B-۸). مقایسه وزن تر و خشک وگسترش طولی و افقی ریشه در ژنوتیپ پایه‌های مختلف نشان داد که بین قدرت رشد پایه و صفات مربوط به رشد ریشه ارتباط مستقیمی و

جود ندارد. با وجود این که پایه‌های AR3, MM111 جزو پایه‌های با بیوماس بیشتر و پر رشد تقسیم بندی شدند، اما نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها، کمترین وزن تر وخشک ریشه را نشان دادند. همین‌طور ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR4, AR5, AR10 که به لحاظ قدرت رشد در درجات متفاوتی قرار دارند، دارای بیشترین گسترش طولی ریشه بودند. گسترش طولی ریشه با گسترش افقی در پایه‌ها رابطه عکس داشت، ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR4, AR5, AR10 که گسترش طولی ریشه بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها داشتند، گسترش افقی ریشه کمتری داشتند و ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR3, AR8 که گسترش طولی کمتری داشتند گسترش افقی بیشتری داشتند.

نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره

ژنوتیپ پایه‌های سیب به لحاظ نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره با هم تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۲). بیشترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره مربوط به ژنوتیپ پایه‌های AR8, AR10, AR11 با ۰/۹۷، ۰/۷۱، ۰/۵۷ و کمترین آن در ژنوتیپ پایه‌های AR3, AR6, AR7 با ۰/۳۰، ۰/۲۵، ۰/۳۲ بود (شکل D–۷). بررسی قدرت رشد با استفاده از مقایسه نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره در نتاج اهمیت فراوانی دارد، در این پژوهش ژنوتیپ پایه‌های کم‌رشد AR4, AR8, AR11 بیشترین و ژنوتیپ پایه‌های پررشد AR1, AR3, AR6, AR7, AR9 کمترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره نشان دادند. نتیجه قابل‌توجه این که ژنوتیپ پایه‌های کم رشد دارای بیشترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره و ژنوتیپ پایه‌های پر رشد دارای کمترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره بودند. نتایج سایر بررسی‌ها نیز نشان داده است که در پایه‌های پاکوتاه‌کننده نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره از پایه‌های پابلند بیشتر است (Atkinson *et al*., 2000).



شکل ۷. مقایسه میانگین وزن تر ریشه (A)، وزن خشک ریشه (B) و نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره (C) در ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب

Figure 7. Mean comparison of root fresh weight (A) root dry weight (B), and Rate of root dry weight to crown in different apple rootstock genotypes

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های رویشی ۱۲ ژنوتیپ پایه سیب

Table 2. Results of variance analysis of vegetative characteristic of apple rootstocks genotypes

Source of variation	df	Mean of squaers								
		Stem and branch dry weight	Stem and branch fresh weight	Leaf specific weight	Stomatal density	Leaf production rate	Final leaf number	Leaf surface	Leaf dry weight	Leaf fresh weight
Rootstock	11	106.85**	426.89**	3.96**	1.07**	8.28**	1287.57**	331382.30**	12.51**	86.89**
Rep	2	1.36^{ns}	6.90^{ns}	0.85^{ns}	0.23^{ns}	14.35^{ns}	66.93^{ns}	17612.28^{ns}	0.11^{ns}	0.51^{ns}
Error	46	41.5	19.03	0.69	0.001	3.19	92.51	50706.5	2.55	18.41
C.V. (%)		20.46	18.97	11.09	9.1	19.05	21.68	24.14	23.50	22.83

*، ** و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly difference at 5 and 1% of probability levels, and non-significant, respectively.

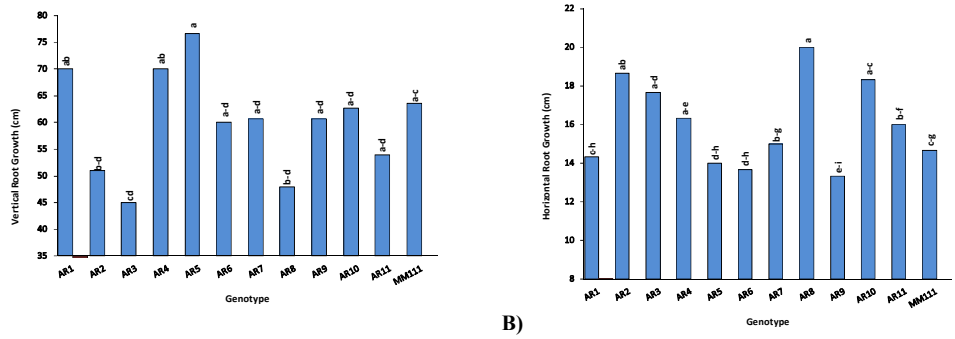
ادامه جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های رویشی ۱۲ ژنوتیپ پایه سیب

Continued table 2. Results of variance analysis of vegetative characteristic of apple rootstocks genotypes

Source of variation	df	Mean of squaers						
		Vertical root growth	Horizontal root growth	Root fresh weight	Root dry weight	Rate of Root/Crown	Stem length growth rate	Stem diameter growth rate
Rootstock	11	349.58**	7.69^{ns}	142.70**	6.74**	0.225**	8.68**	32.24^{ns}
Rep	2	209.26^{ns}	14.88^{ns}	86.04^{ns}	7.42^{ns}	0.016^{ns}	20.67^{ns}	0.063^{ns}
Error	46	142.71	4.42	34.36	2.36	0.021	0.66	0.85
C.V.(%)		21.74	14.99	24.99	29.95	29.06	21.97	27.48

*، ** و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly difference at 5 and 1% of probability levels, and non-significant, respectively.



شکل ۸. مقایسه میانگین گسترش طولی ریشه (A) و گسترش افقی ریشه‌ها (B) ژنوتیپ پایه‌های مختلف سیب

Figure 8. Mean comparison of root vertical growth (A) root horizontal growth (B) in different apple rootstock genotypes

نتیجه‌گیری کلی

صفات رویشی مربوط به بیوماس خارج از خاک ژنوتیپ‌ها معیار قابل توجهی برای مقایسه قدرت رشد در پایه‌ها محسوب می شود، زیرا سرعت رشد گیاهان با میزان بیوماس تولیدی هماهنگی مناسبی نشان داد. ژنوتیپ پایه‌های مورد مطالعه به لحاظ بیوماس تولیدی و قدرت رشد به سه دسته کلی تقسیم شدند: ۱- ژنوتیپ پایه‌های کم‌رشد (پاکوتاه) AR4, AR8, AR11 که دارای کمترین بیوماس وکمترین سرعت رشد، ۲- ژنوتیپ پایه‌های پر رشد AR1, AR3, AR6, AR7, AR9 دارای بیشترین بیوماس، بیشترین سرعت رشد، ۳- ژنوتیپ پایه‌های متوسط رشد AR2, AR5, AR10, MM111 دارای مقدار متوسط بیوماس و سرعت رشد بودند. بیوماس داخل خاک در پایه‌ها با قدرت رشد آنها رابطه مستقیمی نداشت، اما نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره با قدرت رشد در ژنوتیپ‌ها نسبت عکس دارد، ژنوتیپ پایه‌های کم رشد بیشترین و ژنوتیپ پایه‌های پر رشدکمترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره را داشتند. گسترش رشد طولی ریشه در ژنوتیپ پایه‌های سیب با قدرت رشد پایه‌ها ارتباط مستقیمی نداشت، اما با گسترش افقی ریشه در آن‌ها رابطه عکس داشت، ژنوتیپ پایه‌های AR1, AR4, AR5, AR10 که گسترش طولی ریشه بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ پایه‌ها

داشتند، گسترش افقی ریشه کمتری داشتند و ژنوتیپ پایه‌های AR2, AR3, AR8 که گسترش طولی کمتری داشتند گسترش افقی بیشتری داشتند. تراکم روزنه در برگ با قدرت رشد رابطه عکس نشان داد، ژنوتیپ پایه‌های پر رشد دارای تراکم کم و ژنوتیپ پایه‌های کم‌رشد دارای بیشترین تراکم روزنه در واحد سطح بودند. بنابراین می توان نتیجه گیری کرد که نتاج امید بخش حاصل از برنامه اصلاح پایه‌های رویشی سیب، دارای قدرت رشد متفاوتی بوده و ارزیابی قدرت رشد درآنها با استفاده از صفات رویشی و تراکم روزنه در واحد سطح زیرین برگ امکان پذیر می‌باشد، اما برای اطمینان کامل و تکمیل شناسنامه تحقیقاتی در آنها مطالعه تکمیلی با استفاده از پیوند یک رقم مشخص سیب روی این ژنوتیپ‌ها به همراه پایه‌های رویشی تجارتی شاهد و ارزیابی درختان حاصله در باغ مفید خواهد بود.

REFERENCES

1. AL-Abasi, K.M. & Archbol, D. (2016). Apple tree responses to deficit irrigation combined with periodic applications of particle film or abscisic acid. *Horticulture,* 2(16), 2-12.
2. Atashkar, D., Pirkhezri, M. & Taghizadeh, A. (2015). Production and primary evaluation of apple (*Mallus domestica* Borkh.) hybrid rootstocks. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 47(2), 329-335. (in Farsi)
3. Atashkar, D., Ershadi, A., Abdollahi, H. &Taheri, M. (2019). Screening for drought tolerance in some hybrid apple rootstocks based on photosynthesis characteristics. *Iranian Journal of Horticultural Sciences,*49(4), 1013-1024. (in Farsi)
4. Atkinson, C.J., Policarpo, M., Webster, A.D. & Kingswell, G. (2000). Drought tolerance of clonal *Malus* determined from measurements of stomatal conductance and leaf water potential. *Tree Physiology*, 20, 557-563.
5. Atkinson, C.J., Else, M. A., Taylor, L. & Dover, C.J. (2003). Root and stem hydraulic conductivity as determinants of growth potential in garted trees of apple (*Malus Pumila* Mill). *Journal of Experimental Botany*, 54(385), 1221-1229.
6. Beakbane, A.B. & Thompson, E.C. (1944). Anatomical studies of stems and roots of hardy fruit treesII. The internall structure of the roots of some vigorous and some dwarfing apple rootstocks, and correlation of structure with vigour. *Journal of Pomology and Horticultural Science*, 141-149.
7. Beakbane, A.B. & Majumder, P. K. (1975). A relationship between stomatal density and growth potential in apple rootstocks. *Journal of Horticultural Science*, 50(4), 285-289.
8. Bruckner, C. H. & Dejong, T. M. (2014). Proposed pre-selection method for identification of dwarfing peach rootstocks based on rapid shoot xylem vessel analysis. *Scintia Horticulturae*, 165, 404-409.
9. Eleving, D.C., Schecter, I. & Hatchinson, A. (1993). The history of the Vineland (v.) apple rootstocks. *Fruit Varieties Journal*, 47, 52-59.
10. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212.
11. Fisher, M. (1996). Semi dwarf apple rootstock from dersen-pilinitz. Eucapia symposium on fruit breeding and genetics. *Acta Horticulturae*, 484, 183-187.
12. Granger, R.L., Rousselle, G.L., Meheriuk, M. & Quamme, H.A. (1991). Promising winter hardy apple rootstocks from a breeding program at Morden, Manitoba. *Fruit Varieties Journal (USA)*, 45, 185-187.
13. Jakubowski, T. (1996). Preliminary evaluation of new apple rootstocks clones. In *Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics* 484. (pp. 97-100).
14. Jakubowski, T. & Zagaja, S.W. (2003). 45 years of apple rootstock breeding in poland. *Fruit Varieties Journal*, 47, 137-142.
15. James, N.C. & Aldwinckle, H. (1983). Breeding Rootstocks, *Plant Breeding Reviews*, 1, 295-394.
16. Janick, J., Cummins, J.H., Brown, S.K. & Hemmat, M. (1996). *Temperate Fruit Crop Breeding, Apples*. pp: 1-77
17. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. & Nabati, J. (2010). *Physiology of environmental stresses in plants*. Mashhad Daneshgahei Jehad Publications. 502. (in Farsi).
18. Khanizadeh, S., Groleau, Y., Granger, R., Cousineau, J. & Rousselle, G.L. (2000). New hardy rootstock from the Quebec apple breeding program. *Acta Horticulturae*, 2, 719-721.
19. Khanizadeh, S., Groleau, Y., Levasseur, A., Granger, R., Rousselle, G.L. & Davidson, C. (2005). Development and evaluation of St Jean-Morden apple rootstock series. *HortScience*, 40, 521-522.

20. Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y. & Yang, R. (2011). Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Botany*, 71(2), 174-183.
21. Miller, S. R. (1977). Selection criteria in the seedling stage for predicting apple rootstock vigor. *Canadian Journal of Plant Science*, 57(3), 667-674.
22. Pathak, R. K., Pandey, D. & Pandey, V.S. (1976). Stomatal distribution as an index for predicting the growth potential of apple stocks. *Journal of Horticultural Science*, 51(3), 429-431.
23. Radnia, H. (1997). *Rootstocks for fruit crops*. Nashr Amouzsh Keshavrzi, pp. 637. (in Farsi)
24. Roy C. R, Robert F. C. (1987). *Rootstocks for fruit crops*. Wiley, New York. Apple Rootstocks. 604p.
25. Sharma, D.P., Sharma, Y.D. & Rana, H.S. (1982). Stomatal and tree growth characteristics of some crab apples. *Scientia Horticulturae*, (17), 327-331.
26. Soejima, J., Bessho, H., Komori, S. & Tsuchiya, S. (1996). New apple rootstocks, ARM 1, ARM 7 and ARM 8. In *Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics* 484. (pp. 217-220).
27. Pilcher, R. R., Celton, J. M., Gardiner, S. E. & Tustin, D. S. (2008). Genetic markers linked to the dwarfing trait of apple rootstock 'Malling 9'. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(1), 100-106.
28. Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology*. (4th Ed.). Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts.
29. Webster, T., Tobutt, K., & Evans, K. (2000). Breeding and evaluation of new rootstocks for apple, pear and sweet cherry. *Compact Fruit Tree*, *33*(4), 100-104.
30. Univer, T. (2000). *The breeding of af apple rootstocks in Estonia*. Transactions of the Estonia Agricultural University. 208p.
31. Webster, T. (2002). Dwarfing rootstocks: Past, present and future. 45th Annual IDFTA Conference, *The Compact Fruit Tree*, 35:67-72.
32. William, C. Johnson. (2000). Methods and results of screening for disease and insect apple rootstocks. *The Compact Fruit Tree*, 33, 108-111
33. Zagaja, S. W., Jakubowski, T., Pieklo, A. & Przybyla, A. (1989). Preliminary evaluation of new clones of apple rootstocks. *Fruit Science Reports*, 16(4), 205-213.