بررسی ویژگی‌های رویشی، فیزیولوژی و زردبرگی نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج در برخی خاک‌های آهکی مازندران

علی اسدی کنگرشاهی[1] و نگین اخلاقی امیری

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران؛ **kangarshahi@gmail.com**

استادیار بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران؛ **neginakhlaghi@yahoo.com**

دریافت: **1400/7/24** و پذیرش: **1401/2/21**

چکیده

در استان مازندران، استفاده از سیترنج‌ها از جمله کاریزوسیترنج به عنوان پایه جایگزین برای مرکبات درحال توسعه و ترویج است. با درنظر گرفتن دامنه تغییرات زیاد آهک و بافت در خاک‌های منطقه، بررسی واکنش این پایه به شرایط خاک‌های منطقه بسیار ضروری است. هدف پژوهش حاضر ارزیابی روند رشد، و تحمل پایه کاریزوسیترنج به خاک‌های آهکی شرق مازندران بود. به این منظور، آزمایشی به مدت دو سال (94-1393) درقالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در هفت خاک با بافت متفاوت از لوم شنی تا رسی و دامنه کربنات کلسیم معادل از 2% تا 45% انجام شد. اندازه‌گیری ها شامل روند رشد رویشی، وزن خشک، شاخص درجه زردی، شاخص فلورسنس، کلروفیل، غلظت عناصر غذایی در برگ و ریشه بود. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین وزن خشک اندام هوایی از خاک‌های با بافت لوم و آهک کل 2% و همچنین خاک‌های با بافت شن لومی و آهک کل 40% حاصل شد. بیشترین درجه زردی برگ از خاک‌های با بافت لوم، آهک 45% و آهک فعال 16% به دست آمد و کمترین درجه زردی از خاک‌های با آهک کل 2% و بدون آهک فعال حاصل شد. میانگین غلظت آهن کل در ریشه‌ها، 8/94 برابر میانگین غلظت آن در برگ‌ها بود که تجمع و رسوب آهن در ریشه‌ها را نشان می‌دهد. مقدار منگنز قابل استفاده برای درختان مرکبات در بیشتر خاک‌ها بیش از حد مطلوب بود اما میانگین غلظت منگنز برگ در بیشتر خاک‌ها کمتر از حد کفایت بود که نشان می‌داد کمبود منگنز در برگ درختان مرکبات به علت کمبود منگنز در خاک نبود بلکه ناشی از انتقال منگنز از ریشه به اندام هوایی بود. به طور کلی، میانگین غلظت منگنز در ریشه، 6/67 برابر میانگین غلظت آن در برگ بود، براساس نتایج، منگنز محدود کننده‌ترین عنصر برای این پایه و پیوندک بود در حالی که تجمع آهن در ریشه بیشتر از منگنز بود. نتایج میانگین مقدار کلروفیل و شاخص فلورسنس کلروفیل (F_v/F_m) برگ‌ها نشان داد که خاک‌های با بافت متوسط و آهک کل کم و همچنین خاک-های با بافت سبک و آهک کل زیاد، بیشترین مقدار کلروفیل و شاخص فلورسنس را داشتند. بر پایه نتایج ، این پایه در خاک‌های با آهک کل بیشتر از 14% علائم زرد برگی و کاهش رشد داشت. نیز، بافت خاک و مقدار آهک در تحمل پایه کاریزوسیترنج به خاک‌های آهکی بیشترین تاثیر را نشان داد به طوری که در خاک‌های با بافت سنگین و متوسط و آهک کل بیشتز از 14% علائم شدید زرد برگی و کاهش رشد نشان می‌داد اما در خاک‌های با بافت سبک و آهک کل 40%، علایم کلروز ظاهر نشد یا بسیار خفیف بود. بنابراین به باغداران توصیه می‌شود در انتخاب این پایه، بافت خاک و مقدار آهک خاک را لحاظ نمایند.

واژه‌های کلیدی: آهن فعال، رشد رویشی، زرد برگی، فلورسنس، مرکبات

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

مقدمه

به طور کلی نتایج پژوهش‌های مختلف در خاک‌های آهکی نشان داده است که شدت زرد برگی (کلروز) ژنوتیپ‌های مختلف درختان میوه در خاک‌ها، فصول و سال‌های مختلف، بسیار متفاوت است و معمولاً بیشترین شدت زرد برگی ناشی از کمبود آهن در فصل تابستان رخ می‌دهد (اسدی کنگرشاهی، 1398). همچنین تغییرات شدت زردی در سال‌های مختلف، عمدتاً ناشی از ویژگی‌های متفاوت خاک به ویژه در لایه‌های زیرین خاک (منطقه ریشه) به علاوه تغییرات شرایط محیطی گزارش شده است که موجب کاهش تهویه خاک و کاهش توسعه ریشه و در نتیجه کاهش قابلیت استفاده و جذب آهن می‌شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397؛ آلکانترا و همکاران، 2012).

یکی از مهمترین ویژگی‌های شیمیایی خاک نیز که در قابلیت استفاده آهن برای گیاهان اختلال ایجاد می‌کند کربنات کلسیم است که در بیش از 30 درصد اراضی جهان وجود دارد (چن و باراک، 1982، لوپرت و همکاران، 1994). در استان مازندران نیز مقدار کربنات کلسیم خاک باغ‌های این منطقه از میانه به طرف شرق به تدریج افزایش می‌یابد به طوری که مقدار کربنات کلسیم خاک‌ها در شرق ساری و نکا به بیش از 40 درصد می‌رسد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1394). آهک کل ممکن است برای پیش‌بینی توسعه کلروز آهن، مناسب نباشد ولی آهک فعال که قادر به تولید و نگهداری غلظت‌های زیاد بی‌کربنات در خاک است، می‌تواند شاخص مناسب‌تری باشد. آهک فعال، معرف بخشی از آهک خاک است که سطح ویژه بالایی (تقریبا معادل رس خاک) داشته و بسیار واکنش‌پذیر می‌باشد. این آهک فعال به طور غیر مستقیم مسئول کاهش رشد و ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی مانند عارضه زرد برگی است (کاستل و نونالی، 2009؛ یانگ و همکاران، 2010). بنابراین گونه‌های مختلف درختان میوه می‌توانند بر اساس سطحی از آهک فعال که شروع به توسعه علائم کلروز می‌کنند، رتبه‌بندی شوند. ژنوتیپ‌های خیلی حساس در سطوح کربنات کلسیم فعال کم‌تر از 0/5 درصد، کلروز نشان می‌دهند، در صورتی‌که بعضی ژنوتیپ‌ها قادرند کربنات کلسیم فعال 10 تا 15 درصد را نیز تحمل کنند (تگلیاونی و رومبلا، 2001).

از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی خاک که در تهویه و جذب آهن نقش دارد بافت خاک است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1394؛ تگلیاونی و رومبلا، 2001). در استان مازندران، در بخش‌های جنوبی منطقه (پایین دست ارتفاعات در امتداد بخش‌های جنوبی) رسوبات لسی قرار دارند و پس از آن، آبرفت‌های رودخانه‌ای با بافت سنگین تا متوسط هستند که تا وسط دشت ادامه دارند و از وسط دشت تا حاشیه دریا، آبرفت-های رودخانه‌ای با بافت متوسط تا سبک قرار دارند در حاشیه سواحل، آبرفت‌های کم عمق رودخانه‌ای با بافت سبک قرار دارند که بر روی رسوبات ساحلی با بافت بسیار سنگین قرار دارند و پس از آن، رسوبات ساحلی با بافت سبک هستند که در امتداد دریای مازندران قرار دارند و حاشیه باریکی را تشکیل میدهند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1399).

تحمل درختان مرکبات به آهک خاک و کلروز، بیشتر به پایه آنها بستگی دارد. پایه کاریزوسینرنج، در سال‌های اخیر به صنعت مرکبات استان مازندران وارد شده است و در این مناطق به شدت در حال گسترش و ترویج است در حالی که مشاهدات میدانی نگارنده‌گان درباغ‌های مرکبات منطقه شرق مازندران و همچنین برخی گزارش‌های از منابع علمی نشان داده است که این پایه در خاک‌های با آهک زیاد، اغلب دچار کلروز ناشی از آهک، کاهش رشد، خشکیدگی سرشاخه‌ها و زوال می‌شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1394؛ لوزدا و همکاران، 2008). گزارش‌های زیادی در مورد کلروز آهن درختان مرکبات در خاک‌های آهکی وجود دارد (مارتینز و همکاران، 45؛ پستانا و همکاران، 2005). کلروز شدید آهن، ممکن است منجربه کاهش یا توقف کامل باردهی

محصول و کاهش سود اقتصادی باغ‌دار شود. به طور معمول روش‌های جلوگیری یا رفع کلروز آهن، غیر قابل اطمینان و گران هستند و مناسب‌ترین روش برای جلوگیری از کلروز آهن، استفاده از پایه مناسب در زمان احداث باغ است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397؛ مورالیس و همکاران، 1998). نتایج پژوهش‌های لوزدا و همکاران (2008) نشان داده است که پایه‌های کاریزوسیترنج در خاک‌های آهکی کلروز آهن نشان می‌دهند و شدت کلروز به تدریج با افزایش سن درختان تشدید و موجب زوال درختان می‌شوند.

به طور کلی مهمترین علایم کمبود آهن در درختان مرکبات، زردی بین رگبرگ‌ها (ابتدا در برگ‌های جوان تر ظاهر می‌شود)، ظاهر شدن و تشکیل برگ‌های نازک (بیشتر در مقابل نور خورشید ظاهر می‌شوند)، خشکیدگی شدید سرشاخه‌ها در پیرامون درختان به ویژه در انتهای درختان، در برخی موارد سفید شدن و سوخته شدن نوک و حاشیه برگ‌ها و همچنین کاهش اندازه و ریزش برگ‌ها است. درختان دارای کمبود، نسبت به درختان طبیعی، گل‌دهی کمتر، تشکیل میوه کمتر و همچنین رنگ میوه ضعیف‌تر دارند. درختان دارای کمبود شدید، سرانجام زوال خواهند یافت، اما بسیاری از آنها قبل از این مرحله، به علت تولید میوه کم و اقتصادی نبودن باغ، توسط باغ‌دار قطع می‌شوند. همچنین کلروز آهن می‌تواند موجب کاهش عملکرد، کیفیت و تأخیر در رسیدن میوه مرکبات شود (اسدی کنگرشاهی، 1398؛ کوارتیز و همکاران، 2007؛ رامهلد، 2000). به طور کلی آهن در بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارند. لذا کمبود آهن می‌تواند موجب کاهش غلظت کلروفیل شود (لاربی و همکاران، 2006؛ مولاسیوتیس و همکاران، 2006).

گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد که مناسب‌ترین روش برای حل چالش کلروز آهن، انتخاب پایه‌های متحمل است (کاستل و همکاران، 2010؛ پستانا و همکاران، 2001). بررسی‌ها برای انتخاب پایه جایگزین نارنج در خاک‌های آهکی جنوب تگزاس نشان داد که سیترنج‌ها پایه مناسبی برای این خاک‌ها نمی‌باشد (لوزدا و همکاران، 2008). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که از برخی پارامترهای فتوسنتز مانند غلظت کلروفیل و شاخص فلورسنس کلروفیل می‌توان برای انتخاب و غربالگری ژنوتیپ‌های مختلف به تنش‌های محیطی استفاده شود، این پارامترهای فتوسنتزی هر گونه تنش و محدودیت در فرآیندهای فتوسنتزی را به خوبی نشان می‌دهند و ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش، تغییرات کمتری در پارامترهای فتوسنتزی در پاسخ به تنش دارند (بلخوجا و همکاران، 1994، میشرا و همکاران، 2011؛ سالیسبوری و روس، 1992). با اندازه‌گیری فلورسنس کلروفیل، می‌توان‌عملکرد دستگاه فتوسنتزی را به خوبی پایش کرد و این فلورسنس در پاسخ به تنش‌ها تغییر می‌کند، بنابراین می‌تواند در ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان به تنش‌های مختلف استفاده شود (پدروس و همکاران، 2008). همچنین نتایج پژوهش‌های اسدی و همکاران (1392) نشان داد که فلورسنس کلروفیل می‌تواند به عنوان یک روش جدید و در حال توسعه برای انتخاب و غربالگری ژنوتیپ‌های مختلف مرکبات به تنش استفاده شود، به طوری که با افزایش تنش، نشر فلورسنس پایه (F_0) افزایش می‌یابد و همبستگی معنی‌داری بین شاخص فلورسنس و تحمل به تنش ماندار ژنوتیپ‌های مختلف وجود دارد.

بنابراین در باغداری، پیش‌بینی امکان توسعه کلروز آهن در زمان احداث باغ از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و اشتباه در این مرحله، موجب کاهش رشد، عملکرد و کیفیت میوه، افزایش هزینه‌های مدیریت باغ می‌شود و در کل موجب کاهش سود اقتصادی باغدار خواهد شد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397؛ لوپرت و همکاران، 1994). در استان مازندران با توجه به گسترش بیماری تریستیزا و حساسیت نارنج به عنوان پایه معمول منطقه به این بیماری، دامنه تغییرات زیاد آهک در خاک‌های منطقه (از صفر تا بیشتر از 40 درصد)، روند افزایش تدریجی آهک در مناطق جلگه‌ای و دشت، از

میانه به طرف شرق و در مناطق دامنه‌ای، میان‌بند و حاشیه جنگل‌ها (جنوب) به طرف منطقه جلگه‌ایی و دشت (شمال) و همچنین روند توسعه و ترویج سیترنج‌ها از جمله کاریزوسیترنج به عنوان پایه جایگزین برای مرکبات در این مناطق (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397؛ تهرانی و همکاران، 1390)، بررسی پاسخ این پایه به مقادیر مختلف آهک در خاک‌های این منطقه بسیار ضروری است. پایه کاریزوسیترنج، هیبرید پرتقال و پونسیروس (*Citrus sinensis Osb.×Poncirus trifoliata L. Raf.*) است که متحمل به تریستیزای مرکبات است و همچنین عملکرد و کیفیت میوه روی این پایه بسیار خوب گزارش شده است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1399؛ سینگ و همکاران، 2002). بنابراین، پژوهش حاضر به ارزیابی روند رشد، پاسخ‌های تغذیه‌ای و تحمل پایه کاریزوسیترنج به کلروز در خاک‌های آهکی شرق مازندران اختصاص داده شد.

مواد و روش‌ها

با توجه نقشه خاک و گزارش‌های خاکشناسی و همچنین مطالعات انجام شده در باغ‌های شرق مازندران (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393)، هفت نمونه خاک به گونه‌ای انتخاب گردید که دارای بافت متفاوت و دامنه وسیعی از کربنات کلسیم (از 2 تا 45 درصد) بودند و همچنین منطقه وسیعی از نظر جغرافیایی (نواحی عمده کشت مرکبات) در برداشتند. خاک‌های آزمایشی از باغ‌های مناطق مختلف شرق مازندران (بابل، قائم‌شهر، ساری و نکا) جمع‌آوری شدند و پس از خشک کردن در هوا، کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها از جمله کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با اسید (باشور و سایه، 2007)، کربنات کلسیم فعال به روش تیتراسیون با پرمنگنات پتاسیم (باشور و سایه، 2007)، رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (گی و بادر، 1986)، واکنش خاک در خمیر اشباع (مکلین، 1982)، ماده آلی به روش والکلی – بلک (نلسون و سامر، 1982)، پتاسیم به روش استات آمونیوم (اسچنیدر، 1997)، فسفر به روش اولسن و سامرز (اولسون و سامرز، 1982)، منگنز ، آهن، و روی به روش دی تی پی ای (لیندسی و نورول، 1978) اندازه‌گیری شد. دامنه آهک معادل خاک‌ها از 2 تا 45 درصد، آهک فعال از صفر تا 16 درصد، رس از 13 تا 41 درصد، سیلت از 18 تا 37 درصد، شن از 34 تا 58 درصد و کربن آلی از 0/65 تا 1/80 درصد متغییر بود (جدول1).

مقدار 30 کیلوگرم خاک ازنمونه‌های خاک مورد نظر، درسطل‌های پلاستیکی ریخته شد. کود نیتروژنی به میزان 60 میلی‌گرم نیتروژن خالص درکیلوگرم خاک به صورت سولفات آمونیوم اضافه گردید (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397). قبل از کاشت، کودهای فسفر (سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (سولفات پتاسیم) فقط به خاک‌هایی افزوده شد که به ترتیب کمتر از 15 میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر قابل استفاده (اولسن و سامرز، 1982) و کمتر از 300 میلی‌گرم درکیلوگرم پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم داشتند. 20میلی‌گرم فسفر و 200 میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره 5 و 25 میلی‌گرم فسفر و 100 میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره هفت افزوده شد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397).

سپس نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج (جدول 2) تقریباً یکسان با ارتفاع حدود 50 سانتی‌متر و قطر حدود یک سانتی‌متر در هر خاک کاشته شد. آزمایش به مدت دو سال و به شکل گلدانی درقالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت خاک با دامنه متفاوت کربنات کلسیم معادل در چهار تکرار با 28 گلدان انجام شد. بعد از کاشت نهال‌ها، درطول دوره رشد، تغذیه به صورت کود آبیاری با کودهای نیترات پتاسیم (1/4 میلی‌مول در لیتر)، سولفات پتاسیم (0/6 میلی‌مول در لیتر)، سولفات منیزیم (یک میلی‌مول در لیتر)، مونوآمونیوم فسفات (0/6 میلی‌مول در لیتر)، سولفات آمونیم (3 میلی‌مول در لیتر)، مولیبدات آمونیوم (یک میکرومول در لیتر) هر دو هفته یک بار انجام شد (بومن و همکاران،

2008) و آبیاری با توزین تصادفی گلدان‌های آزمایشی (فدی و همکاران، 2008) به طور منظم (ضریب تخلیه رطوبت حدود 35 درصد) انجام شد. نمونه‌های برگ در مرداد ماه از برگ‌های میانی سرشاخه‌های فصل جاری در پیرامون هر نهال تهیه شد (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1398). نمونه‌های گیاه ابتدا به روش خشک اکسید شد و سپس غلظت آهن، منگنز، روی و مس توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

آهن فعال

اندازه‌گیری آهن فعال به روش عصاره‌گیری با محلول فنانترولین 1/5 درصد و قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد (باسر، 2003). آهن فعال در برگ و ریشه، معرف بخشی از آهن است که به شکل دو ظرفیتی و از نظر متابولیکی فعال است که با محلول فنانترولین عصاره‌گیری و در طول موج 510 نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (باسر، 2003؛ نیامن و آگاری، 2007).

شاخص فلورسنس: شاخص فلورسنس کلروفیل در برگ‌های جوان کاملا توسعه یافته نهال‌ها در خاک‌های مختلف {F_0: فلورسنس پایه، F_m: فلورسنس حداکثر در اولین پالس اشباع نوری بعد از سازگاری با تاریکی و F_v: تغییرات فلورسنس (F_m-F_0)} با استفاده از فلورومتر پرتابل (Efficiency Analyser, PEA, Hansatech Instrument Ltd., EnglandPlant) بعد از30 دقیقه انطباق تاریکی اندازه‌گیری شد. برای سازگاری با تاریکی، ابتدا بخشی از برگ نهال‌ها (با کلیپ‌های مخصوص) برای مدت زمان 30 دقیقه در تاریکی قرار داده شد. پس از اتمام سازگاری با تاریکی، با قرار دادن سنسور فلورومتر به کلیپ‌ها، ارتباط اندام سازگاری شده با تاریکی و منبع نور تنظیم شده فلورومتر برقرار نموده و پارامترهای فلورسنس کلروفیل قرائت گردید. سپس شاخص تغییرات کلروفیل فلورسنس ($F_v/F_m = (F_m-F_0)/F_m$) محاسبه گردید (آربونا و همکاران،2009؛ مکسول و جانسون، 2000).

شاخص درجه زردی

برای تعیین درجه زردی برگ‌ها، در سال دوم رشد بر اساس درجه زردی برگ‌های جدید توسعه یافته و شمارش آن‌ها، به هر نهال در هر خاک به طور میانگین درجه‌ای از یک تا پنج (جدول 3) داده شد (اسدی کنگرشاهی، 1397؛ بایرن و همکاران، 1995).

غلظت کلروفیل برگ

در سال دوم آزمایش، نمونه‌های برگ از هر تیمار تهیه شد (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1398). مقدار 0/2 گرم از نمونه برگ‌های هر تیمار به دقت وزن، در هاون چینی ساییده و استون 80 درصد به آن اضافه شد. سپس محلول حاوی کلروفیل نمونه‌ها استخراج و میزان جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. برای این منظور، ابتدا قرائت اسپکتروفتومتر برای استون روی صفر تنظیم شد و میزان جذب محلول در طول موج‌های 645 نانومتر و 663 نانومتر قرائت شد. سپس غلظت کلروفیل محاسبه شد (آبادیا و آبادیا، 1993).

ضریب انتقال

ضریب انتقال[1] عناصر غذایی که توانایی گیاهان برای انتقال عناصر از ریشه به برگ‌ها را نشان می‌دهد از طریق رابطه زیر محاسبه شد (اسدی کنگرشاهی، 1397).

$$TF = C_{NEL} / C_{NE.R}$$

TF= ضریب انتقال

$C_{NE.L}$= غلظت عنصر در برگ

$C_{NE.R}$ = غلظت عنصر در ریشه

1. Translocation Factor

جدول 1- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش

ویژگی	خاک و منطقه						
	1	2	3	4	5	6	7
	جنوب بابل	غرب قائم شهر	جنوب ساری	غرب نکا	شمال نکا	غرب ساری	شرق ساری
رس (درصد)	23	29	19	41	13	37	23
سیلت (درصد)	30	26	35	18	29	29	37
شن (درصد)	47	45	46	41	58	34	40
کلاس بافتی خاک	لوم	لوم رسی	لوم	رسی	لوم شنی	لوم رسی	لوم
آهک کل(درصد)	2	9	14	30	40	25	45
آهک فعال(درصد)	0	3	5	14	7	10	16
کربن آلی (درصد)	1/17	0/95	1/80	1/60	0/65	1/52	1/10
واکنش گل اشباع	6/81	7/45	7/86	7/60	7/77	7/78	7/76
فسفر(میلی‌گرم در کیلوگرم)	26/34	22/21	15/09	17/11	11/20	18/30	9/87
پتاسیم(میلی‌گرم در کیلوگرم)	404	380	360	460	221	325	265
آهن(میلی‌گرم در کیلوگرم)	7/20	6/40	8/80	8/90	4/40	8/22	6/80
منگنز(میلی‌گرم در کیلوگرم)	3/10	4/20	3/96	5/40	3/20	7/71	3/40
روی(میلی‌گرم در کیلوگرم)	2/40	2/50	0/70	0/60	0/91	1/60	1/50

جدول 2- برخی ویژگی‌های پایه* مورد آزمایش

نام	ویژگی		
	هیبرید	واکنش به تریستیزا	واکنش به سرما
کاریزوسیترنج	*C. sinensis. & P. trifoliate* L.	متحمل	متحمل

*منبع(سینگ و همکاران، 2002)

جدول 3- راهنمای تعیین درجه زردی برگ (براساس درجه زردی برگ‌های جدید توسعه یافته و شمارش آن‌ها)

درجه زردی برگ	علائم ظاهری
1	برگ‌ها سبز و بدون هیچ گونه علائمی
2	بین رگبرگ‌ها سبز متمایل به زرد و رگبرگ‌ها سبز
3	بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سبز و رگبرگ‌ها سبز
4	بین رگبرگ‌ها زرد و رگبرگ‌ها سبز
5	بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سفید، رگبرگ‌ها سبز رنگ پریده و مقداری ریزش برگ

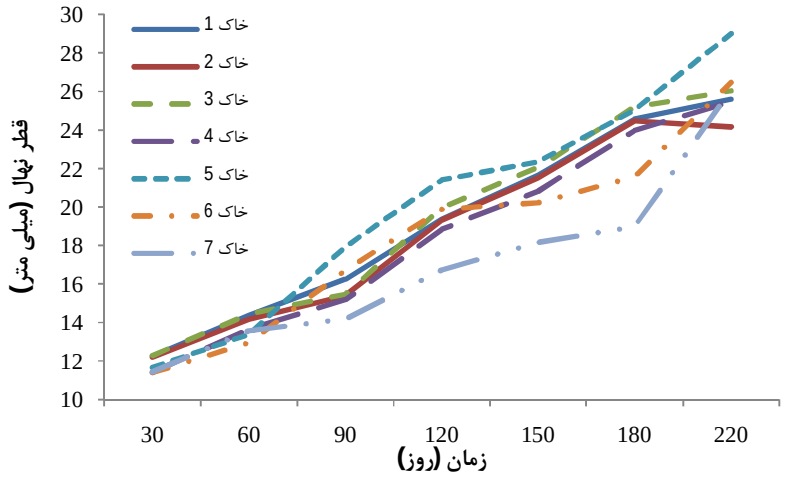
به طور کلی پاسخ‌های گیاهی شامل روند رشد رویشی، وزن خشک، شاخص‌های درجه زردی برگ (بایرن و همکاران، 1995)، رابطه آهک فعال در خاک (باشور و سایه، 2007) با آهن فعال در برگ، غلظت نیتروژن به روش کجلدال (بریمر، 1996)، فسفر به روش مولیبدات وانادات (کیتسون و ملون، 1944)، سولفور به روش کدورت سنجی (جونس و همکاران، 1991)، پتاسیم به روش نشر اتمی (باشور و سایه، 2007)، کلسیم، منیزیم، آهن کل، منگنز، روی و مس به روش جذب اتمی (رایت و استوزنکی، 1996)، آهن فعال به روش عصاره‌گیری با محلول فنانترولین (باسار، 2003) در برگ و ریشه (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1392) بود. در پایان، کلیه داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین پارامترهای مورد مطالعه

با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شدند و توصیه‌های لازم ارائه شد.

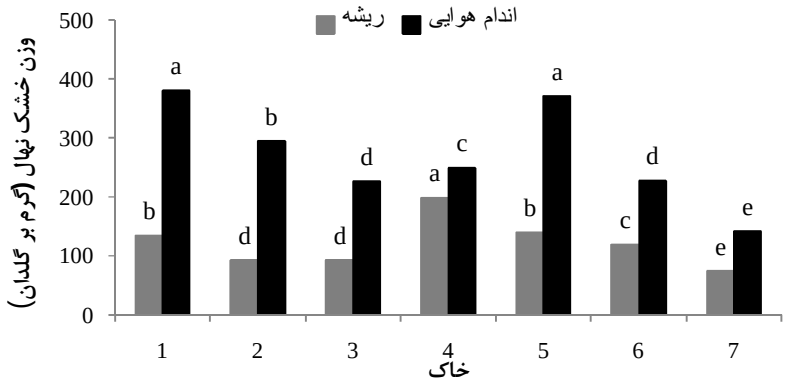
نتایج و بحث

روند رشد رویشی و وزن خشک

نتایج میانگین روند رشد قطری نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های مختلف در طول دوره رشد نشان داد که بیشترین رشد قطری در پایان دوره از خاک پنج با بافت سبک (لوم شنی)، آهک کل 40 درصد و آهک فعال 7 درصد و کمترین رشد از خاک هفت با بافت لوم، آهک کل 45 درصد و آهک فعال16 درصد حاصل شد (شکل1). تأثیر خاک‌های مختلف بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار بود به طوری که نتایج میانگین وزن خشک اندام هوایی و ریشه نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه از خاک یک با آهک کل دو درصد حاصل شد. در مقابل کمترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه از خاک هفت با آهک کل 45 و آهک فعال 16 درصد بود (شکل2).



شکل 1- میانگین روند رشد قطری نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های مختلف



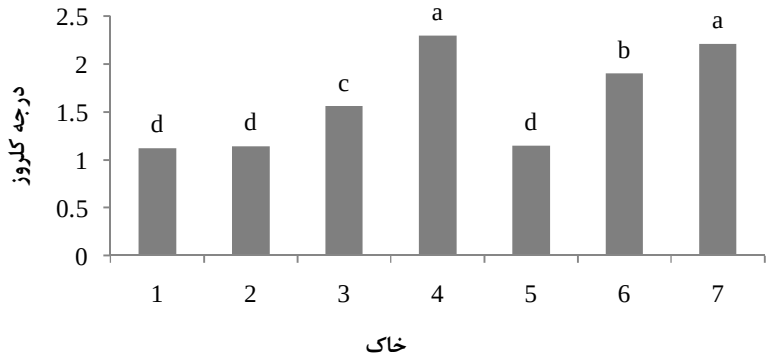
شکل 2- میانگین وزن خشک اندام هوایی و ریشه نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های مختلف

(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

شاخص درجه زردی برگ

نتایج میانگین درجه کلروز نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های مختلف نشان داد که کمترین درجه زرد برگی در خاک‌های 1، 2 و 5 به ترتیب با آهک کل 2(بدون آهک فعال)، 9 (آهک فعال 2درصد) و 40 درصد (آهک فعال 7 درصد) به وقوع پیوست و بیشترین درجه زرد برگی از خاک‌های 4 و 7 با آهک کل 30 (آهک فعال 14 درصد) و 45 درصد (آهک فعال 16 درصد) حاصل شد. میانگین درجه زرد برگی در خاک‌های شش و سه به ترتیب با آهک‌های کل 25 و 14 درصد و آهک فعال 10 و 5 درصد به ترتیب پس از خاک‌های چهار و هفت قرار گرفتند. علائم درجه زردی برگی نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های مختلف در شکل 3 نشان داد شده است. اگرچه کربنات کلسیم کل اغلب در بیان خصوصیات شیمیایی خاک استفاده می‌شود، اما همیشه یک ارتباط خوبی بین مقدار کربنات کلسیم کل و کاهش رشد و زردی ناشی از کمبود آهن در درختان مشاهده نشده است (کاستل و نونالی، 2009).

به طور کلی نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که دو شکل اصلی کربنات (کلسیت و دولومیت) در خاک وجود دارد، کلسیت عمدتاً در سیلت ریز و رس درشت و دولومیت در سیلت و شن ریز حضور دارد (باشور و سایه، 2007). حلالیت کلسیت حدود 100 برابر دولومیت می‌باشد، به علت اینکه فسفات خاک و همچنین بیشتر اسیدهای آلی تولید شده توسط گیاهان و ریزجانداران به آسانی روی سطح کلسیت جذب می‌شوند، بنابراین مانع یا موجب کاهش رشد طبیعی بلورهای کلسیت می‌شوند. لذا ذرات کلسیت به صورت بلورهای ریز و به شکل دانه‌های کروی هستند و مرمر (مارال) عموماً به صورت بلورهای الماسی شکل با ساختمان به خوبی مشخص می‌باشد (باشور و سایه، 2007؛ بای و همکاران، 1390). یکی از ویژگی‌های خاک‌ها که معمولاً برای تشخیص حساسیت زردی ناشی از کمبود آهن گیاهان در خاک‌های آهکی استفاده می‌شود آهک فعال می‌باشد، که یک شاخص غیر مستقیم از توزیع اندازه ذرات یا سطح ویژه کربنات کلسیم است و به طور غیر مستقیم مسئول کاهش رشد و ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی مانند زردی ناشی از کمبود آهن می‌باشد. براساس پژوهش‌های انجام شده، خاک‌های با مقدار کربنات کلسیم کل برابر، ممکن است کربنات کلسیم فعال متفاوتی داشته باشند. خاک‌های حاصل از سنگ‌های آهکی سخت نسبت به خاک‌های حاصل از سنگ‌های آهکی نرم یا مارل، آهک فعال کمتری دارند (باشور و سایه، 2007؛ یانگ و همکاران، 2010).



شکل 3- میانگین درجه زردی برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های مختلف

(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

غلظت عناصر پر مصرف در برگ و ریشه

نتایج میانگین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد در ریشه و برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج به ترتیب در جدول‌های دو و سه نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که غلظت فسفر در ریشه و برگ تقریبا یکسان است اما غلظت گوگرد در ریشه بیشتر از غلظت آن در برگ است به طوری که میانگین غلظت گوگرد در ریشه 0/49 درصد و در برگ‌ها 0/21 درصد بود که نشان داد میانگین غلظت آن در ریشه حدود 2/31 برابر غلظت در برگ است. میانگین غلظت نیتروژن، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در ریشه کمتر از غلظت این عناصر در برگ بود به طوری که میانگین غلظت آن‌ها در برگ به ترتیب حدود 1/37، 1/49، 2/33، 2/09 برابر غلظت آن‌ها در ریشه بود. نتایج نشان داد که منیزیم از بیشترین اختلاف غلظت بین ریشه و برگ برخوردار بود. میانگین ضریب انتقال عناصر پر مصرف نشان داد که گوگرد به علت تحرک پایین در درختان مرکبات، کمترین ضریب انتقال و منیزیم بیشترین ضریب انتقال از ریشه به اندام هوایی را داشتند و عناصر کلسیم، پتاسیم، نیتروژن و فسفر به ترتیب پس از منیزیم قرار داشتند (اسدی کنگرشاهی، 1398). به طور کلی دامنه این میانگین ضرایب انتقال برای عناصر پر مصرف از 0/43 تا 2/33 متغیر بود که نشان دهنده تفاوت در روند تجمع و تخلیه عناصر در ریشه است (شکل 4).

جدول 4- میانگین غلظت عناصر پر مصرف (درصد) برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های مختلف

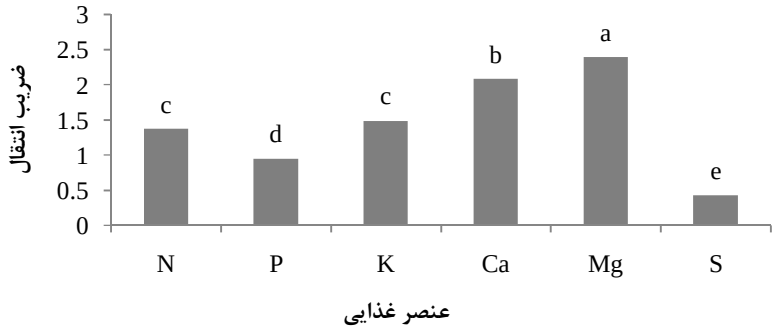
خاک	غلظت عناصر پرمصرف در برگ (درصد بر اساس وزن خشک)*					
	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سولفور
1	2/71a	0/141a	1/31a	3/11c	0/642b	0/177d
2	2/43c	0/141a	1/22b	6/77a	0/507cd	0/235b
3	2/54b	0/140a	0/99cd	3/24c	0/655b	0/251a
4	2/39cd	0/127b	1/22b	6/21a	0/411d	0/188d
5	2/36d	0/137ab	1/36a	3/18c	0/592c	0/234b
6	2/23e	0/123b	1/08c	4/67b	0/802a	0/200c
7	2/40c	0/106c	0/96d	1/58d	0/307e	0/200c
میانگین	2/44	0/131	1/16	4/11	0/559	0/212

*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول 5- میانگین غلظت عناصر پر مصرف (درصد) ریشه نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های مختلف

خاک	غلظت عناصر پرمصرف در ریشه (درصد بر اساس وزن خشک)*					
	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سولفور
1	1/30d	0/177a	0/778c	2/15b	0/243b	0/829a
2	2/00a	0/109d	0/603e	1/31d	0/183d	0/300d
3	1/97ab	0/138b	0/634de	1/81c	0/203c	0/656b
4	1/61c	0/115c	1/029b	1/71c	0/163d	0/358cd
5	1/64c	0/182a	1/145a	2/86a	0/403a	0/443c
6	1/90b	0/128b	0/668d	1/68c	0/253b	0/440c
7	2/03a	0/114c	0/602e	2/28b	0/233b	0/402cd
میانگین	1/78	0/138	0/780	1/97	0/240	0/489

*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



شکل 6- میانگین ضریب انتقال عناصر پرمصرف از ریشه به اندام هوایی نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج
(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

غلظت عناصر کم مصرف در برگ و ریشه

نتایج میانگین غلظت آهن کل، آهن فعال، منگنز، روی و مس در ریشه و برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج در جدول‌های چهار و پنج نشان داده شده. نتایج میانگین غلظت آهن فعال در ریشه و برگ نشان داد که غلظت آهن فعال در برگ و ریشه در خاک‌های مختلف متفاوت بود به طوری که کمترین غلظت آهن فعال ریشه از خاک هفت با آهک 45 درصد حاصل شد که حدود 20 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. اما بیشترین غلظت آهن فعال ریشه از خاک‌پنج با بافت سبک و آهک 40 درصد حاصل شد که حدود 48 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد غلظت آهن فعال در برگ و ریشه تحت تأثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد. به طور کلی میانگین غلظت آهن فعال در ریشه حدود 36/57 و در برگ حدود 34/71 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. میانگین غلظت آهن کل در ریشه‌ها 1359 و در برگ‌ها 152 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد غلظت آهن کل در ریشه، بسیار بیشتر از غلظت آن در برگ است. همچنین میانگین ضریب انتقال آهن کل و فعال نشان داد که آهن کل کمترین ضریب انتقال و آهن فعال بیشترین ضریب انتقال از ریشه به اندام هوایی را دارد. میانگین غلظت آهن کل در ریشه در خاک‌های مختلف در حدود 8/94 برابر غلظت آهن برگ بود که نشان می‌دهد بیشتر آهن جذب شده از خاک‌ها در ریشه‌ها تجمع و رسوب کرده است که با نتایج دیگر پژوهشگران در خاک‌های آهکی مطابقت دارد که گزارش کردند بیشتر آهن جذب شده در آپوپلاست سلول‌های ریشه رسوب و ذخیره می‌شود (مارتینز و همکاران، 2017؛ مورالس و همکاران، 1998). نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه معنی‌داری بین مقدار آهن قابل استفاده خاک با غلظت آهن ریشه و برگ و همچنین بین غلظت آهن ریشه و برگ وجود نداشت که نشان داد که غلظت آهن کل نمی‌تواند شاخص مناسبی برای تشخیص کلروز آهن در این پایه باشد و این نتایج با گزارش‌های مارتینز و همکاران (2017) و اسدی کنگرشاهی (1397) مطابقت دارد (154 و 45). بنابراین اندازه‌گیری مقدار آهن قابل استفاده در خاک (به روش DTPA)، شاخص مناسبی برای پیش‌بینی درجه زرد برگی در درختان مرکبات یا حداقل در این پایه و پیوندک نمی‌باشد. ناهنجاری کلروز آهن در برگ‌ها، عمدتا به علت اختلال در جذب آهن توسط ریشه‌ها و انتقال آن از ریشه به برگ‌ها است (مارتینز و همکاران، 2017). برگ‌های دارای کلروز در خاک‌های آهکی ممکن است دارای غلظت بیشتری از آهن نسبت به برگ‌های بدون علائم کلروز باشند بنابراین کلروز آهن تنها به علت اختلال در جذب آهن توسط ریشه‌ها و انتقال آن از ریشه به اندام هوایی نیست بلکه راندمان آهن در برگ‌ها نیز بستگی دارد و آهن ممکن است در برگ‌ها غیرمتحرک شود به طوری که نتایج این پژوهش نشان داد که حدود 2/69 درصد آهن ریشه و 22/83 درصد آهن

برگ به شکل فعال بود و حدود 93 درصد آهن در ریشه و 72 درصد آن در برگ‌ها از نظر فیزیولوژی و بیوشیمیایی به شکل غیر قابل استفاده هستند که اصطلاحا تضاد آهن نامیده می‌شود (آربنا و همکاران، 2009؛ سالیبوری و روس، 1992). کمبود آهن در اوایل رشد در هنگام ظاهر شدن فلش‌های بهاره، منجر به کند شدن رشد برگ‌های جدید و کاهش اندازه برگ‌ها می‌شود اما اگر کمبود آهن در هنگام توسعه برگ‌ها رخ دهد موجب کاهش غلظت کلروفیل و زردی می‌شود بنابراین‌در خاک‌های آهکی، کاهش اندازه برگ‌ها و ریز بودن آن‌ها از علائم کمبود آهن می‌باشد (کاستل و نونالی، 2009؛ مارتینز و همکاران، 2017).

نتایج میانگین غلظت روی در ریشه و برگ نشان می‌دهد که بیشترین غلظت روی ریشه از خاک یک با آهک دو درصد حاصل شد به طوری که غلظت روی ریشه در این خاک 115 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در برگ، بیشترین غلظت روی از خاک دو با آهک 9 درصد حاصل شد. میانگین غلظت روی در ریشه و برگ در خاک‌های مختلف به ترتیب حدود 114/5 و 23/7 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میانگین غلظت روی در ریشه حدود 4/83 برابر میانگین غلظت روی در برگ بود. نتایج میانگین غلظت منگنز نشان داد که ریشه‌ها در خاک پنج با آهک 40 درصد بیشترین غلظت منگنز را داشتند و غلظت منگنز آن‌ها 107 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. اما میانگین غلظت منگنز برگ در همه خاک‌ها پایین بود به طوری که میانگین آن در خاک‌های مختلف از 6/7 تا 19/8 میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود که کمتر از غلظت بهینه منگنز در برگ نارنگی‌های انشو می‌باشد (اسدی و ملکوتی، 2003). به طور کلی میانگین غلظت منگنز در ریشه نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های مختلف 65/43 میلی‌گرم در کیلوگرم و در برگ 10/26 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میانگین غلظت منگنز در ریشه 6/67 برابر میانگین غلظت منگنز برگ است. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت منگنز در برگ نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج در همه خاک‌های آزمایشی کمتر از حد بهینه بود. نتایج میانگین غلظت مس در ریشه و برگ نشان می‌دهد که ریشه‌ها در خاک با آهک 40 درصد بیشترین غلظت مس (49/1 میلی‌گرم در کیلوگرم) داشتند. کمترین غلظت مس در ریشه حدود 14/13 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که در خاک با آهک 45 درصد حاصل شد. اما بیشترین و کمترین غلظت مس در برگ به ترتیب 7/1 و 4/6 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که از خاک‌های با آهک 9 و 2 درصد به دست آمد به طور کلی میانگین غلظت مس در ریشه حدود 4/15 برابر میانگین غلظت مس در برگ بود. میانگین ضرایب انتقال عناصر کم مصرف در خاک‌های مختلف نشان داد که ضریب انتقال عناصر مس، روی و منگنز به ترتیب پس از آهن فعال قرار داشتند و دامنه این میانگین ضرایب انتقال برای عناصر کم مصرف از 0/11 تا 0/95 متغیر بود (شکل6).

گزارش‌های اسدی کنگرشاهی (1397) نشان می‌دهد که حد کفایت منگنز و روی قابل استفاده در خاک (عصاره‌گیر DTPA) برای درختان مرکبات به ترتیب حدود 2/5 و 2 میلی‌گرم در کیلوگرم است (اسدی کنگرشاهی، 1397). از طرفی دامنه منگنز قابل استفاده خاک‌های آزمایشی از 3/10 تا 7/71 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که بیشتر از حد کفایت است. همچنین حد کفایت منگنز و روی در برگ درختان نارنگی انشو به ترتیب 25 تا 80 و 25 تا 50 میلی‌گرم در کیلوگرم است (اسدی کنگرشاهی، 1397؛ اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1390). نتایج آزمون برگ در این آزمایش نشان داد که دامنه غلظت منگنز برگ در خاک‌های آزمایشی از 9/3 تا 13/8 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. نتایج این پژوهش با یافته‌های پژوهشگرهای دیگر مطابقت دارد که گزارش کردند بیشتر از 90 درصد باغ‌های مرکبات شرق مازندران کمبود منگنز دارند (اسدی و ملکوتی، 1379 و1380). کمبود منگنز در خاک‌های آهکی با ماده آلی زیاد و همچنین خاک‌های رسی سیلتی با آهک و ماده آلی زیاد و زهکشی ضعیف

بسیار شایع است (اسدی کنگرشاهی، 1398؛ مورودت و همکاران، 1991). همچنین اسدی کنگرشاهی (1398) گزارش کردند که کمبود منگنز در برگ درختان مرکبات در خاک‌های با کربنات کلسیم و مواد آلی زیاد مانند اغلب باغ‌های شرق مازندران مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج این پژوهش، بین قابلیت استفاده منگنز در خاک با غلظت آن در ریشه و برگ و همچنین بین غلظت منگنز در ریشه با غلظت آن در برگ رابطه معنی‌داری وجود ندارد و بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کمبود منگنز در برگ درختان مرکبات شمال کشور، به علت کمبود منگنز در خاک نیست بلکه ناشی از انتقال منگنز از ریشه به اندام هوایی است که با وجود غلظت زیاد منگنز در خاک و ریشه، غلظت منگنز برگ در همه خاک‌ها در دامنه کمبود قرار داشت که با گزارش‌های اسدی کنگرشاهی (1398) و اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (1399) مطابقت دارد.

قابلیت فراهمی روی در خاک تحت تأثیر خواص شیمیایی خاک است در خاک‌های با پ‌هاش بالا رابطه بین مقدار روی خاک با روی برگ درختان بسیار ضعیف است (سلاتو و همکاران، 2018). با توجه به حد کفایت روی قابل استفاده برای مرکبات (اسدی کنگرشاهی، 1398؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393)، در این آزمایش مقدار روی قابل استفاده در خاک‌های 3، 4و 5 به ترتیب با آهک 14، 30 و 40 درصد کمتر از حد کفایت، در خاک‌های 6 و 7 به ترتیب با آهک 25 و 45 درصد در حد کفایت و در خاک‌های 1 و 2 به ترتیب با آهک 2 و 9 درصد بیش از حد کفایت بود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1394). نتایج این آزمایش نشان داد که غلظت روی برگ در خاک‌های با آهک دو درصد در حد کفایت و در سایر خاک‌ها کمتر از حد کفایت است که نشان می‌دهد ارتباط معنی‌داری بین مقدار روی قابل استفاده خاک و غلظت روی در برگ درختان در این آزمایش وجود ندارد. اما به طور کلی در خاک‌های با مواد آلی زیاد، واکنش روی با اسیدهای هیومیک و هیومین ممکن است موجب تشکیل کمپلکس‌های پایدار روی با وزن مولکولی زیاد شوند که می‌تواند موجب کاهش قابلیت استفاده روی شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393؛ مورودت و همکاران، 1991). همچنین افزایش آهک فعال خاک و pH محلول خاک به طور کلی موجب افزایش جذب روی توسط اجزای ساختمانی خاک، رسوب و همچنین کاهش انتقال روی از محلول خاک به سطح ریشه می‌شوند که در کل می‌توانند قابلیت استفاده روی را کاهش دهند (اسدی کنگرشاهی، 1397؛ اسدی کنگرشاهی و ملکوتی، 1382).

جدول 6- میانگین غلظت عناصر کم مصرف (میلی‌گرم برکیلوگرم) در برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های مختلف

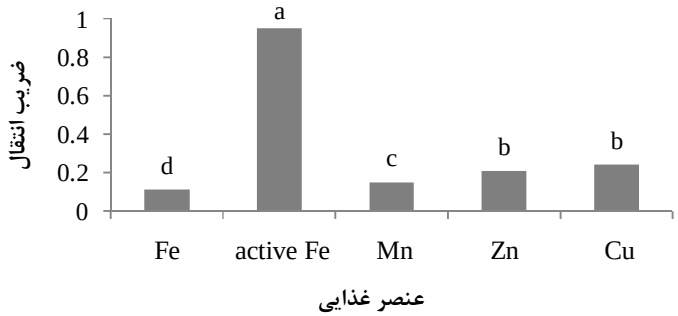
خاک	غلظت عناصر کم مصرف در برگ (میلی‌گرم برکیلوگرم بر اساس وزن خشک)*				
	آهن	آهن فعال	منگنز	روی	مس
1	137bc	54a	6/7d	19b	4/6c
2	135bc	31bc	6/3d	30a	7/1a
3	206a	27c	9/0c	21b	5/8b
4	157b	34bc	9/2c	26ab	5/6b
5	127c	29c	9/4c	27ab	5/7b
6	157b	32bc	11/4b	17b	4/0c
7	145bc	36b	19/8a	26ab	7/0a
میانگین	152	34/7	10/3	23/7	5/7

*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول 7- میانگین غلظت عناصر کم مصرف (میلی‌گرم برکیلوگرم) در ریشه نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های مختلف

خاک	غلظت عناصر کم مصرف در ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم بر اساس وزن خشک)*				
	آهن	آهن فعال	منگنز	روی	مس
1	1379d	39b	56c	115b	18/16c
2	877f	32c	36d	60d	16/13cd
3	1052e	37b	48c	97c	28/20b
4	917f	40b	53c	115b	22/16bc
5	2079a	48a	107a	237a	49/10a
6	1711b	40b	94ab	88c	17/13c
7	1499c	20d	85b	89c	14/13d
میانگین	1359	36/6	68/4	114/5	23/6

*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



شکل 5- میانگین ضریب انتقال عناصرکم مصرف از ریشه به اندام هوایی نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج
(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

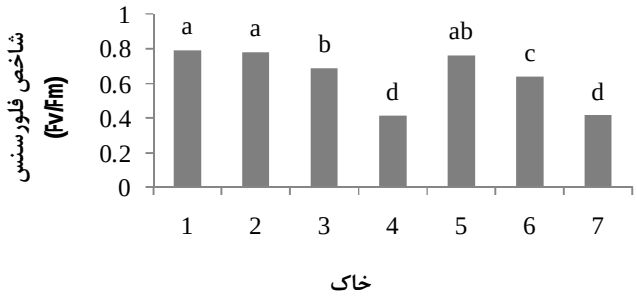
شاخص فلورسنس: نتایج این پژوهش نشان داد که نهال‌های نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج در خاک-های یک، دو و پنج، بیشترین شاخص فلورسنس کلروفیل (Fv/Fm) را داشتند و در مقابل کمترین شاخص از خاک-های چهار و هفت حاصل شد (شکل6). شاخص فلورسنس کلروفیل در خاک‌های بدون آهک و آهک کم به طور متوسط حدود 0/79 بود که نشان می‌دهد درختان در این خاک‌ها، حداقل تنش داشتند (شرایط غیر تنش) و اعداد کمتر از آن نشان دهنده افزایش تنش است، این نتیجه با یافته‌های دیگر محققان (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1392؛ پستانا و همکاران، 2005) تقریباً همخوانی دارد که عدد مناسب شاخص فلورسنس کلروفیل، را برای درختان مرکبات را حدود 0/83 گزارش کرده‌اند و اعداد کمتر از آن را نشان دهنده وجود تنش دانستند. همچنین نتایج این پژوهش با گزارش‌های مارتینز و همکاران (2017) مطابقت دارد که نشان دادند کمبود آهن در برگ‌ها موجب کاهش کلروفیل و شاخص فلورسنس کلروفیل می‌شود (مارتینز و همکاران، 2017). به طور کلی گزارش‌های مختلف نشان داده است که شاخص فلورسنس کلروفیل، یک شاخص حساسیت برای راندمان عملکرد دستگاه فتوسنتزی است و نشر فلورسنس کلروفیل با فتوسنتز رابطه معکوس دارد و تحت شرایط تنش، تولید گرما در بافت‌های گیاهی(برای اتلاف زیادی انرژی) افزایش می‌یابد. اگر چه در برخی موارد، در مراحل اولیه تنش، نشر فلورسنس ممکن است به طور

موقت کاهش (افزایش موقتی شاخص فلورسنس) یابد. اما همواره یک تعادل نسبی بین سه مکانیسم عمده مصرف و اتلاف انرژی (فتوسنتز، تولید گرما و نشر فلورسنس کلروفیل) وجود دارد این تعادل، الگوی واقعی پایش فلورسنس کلروفیل را در تنش‌های مختلف تعیین می‌کند (مارتینز و همکاران، 2017؛ سالیبری و همکاران، 1992).

کلروفیل برگ

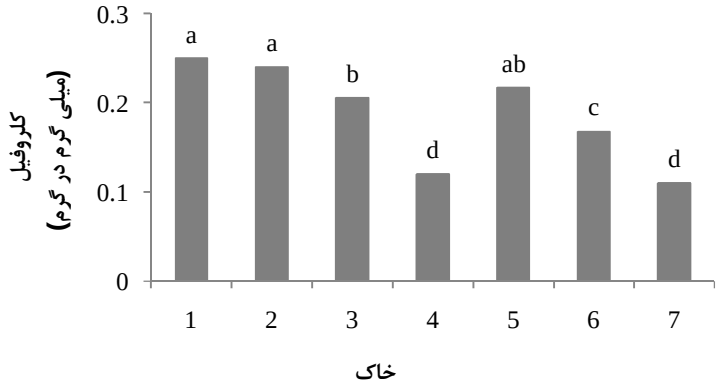
نتایج اثر خاک‌های مختلف بر میانگین غلظت کلروفیل برگ نشان داد که بیشترین میانگین غلظت کلروفیل از خاک‌های یک و دو حاصل شد و کمترین میانگین غلظت کلروفیل از خاک هفت به دست آمد. میانگین غلظت کلروفیل در خاک‌های سه، شش، چهار و هفت به ترتیب پس از خاک دو قرار گرفتند (شکل7). به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش کربنات کلسیم فعال خاک، میانگین غلظت آهن فعال برگ‌ها کاهش یافت و با کاهش میانگین غلظت آهن فعال برگ، میانگین غلظت کلروفیل برگ‌ها کاهش نشان داد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های گذشته مطابقت دارد که گزارش کردند کمبود آهن بر بیوشیمی، مورفولوژی و فیزیولوژی برگ درختان مرکبات تاثیر دارد، زیرا آهن یک کوفاکتور مهم برای بسیاری از آنزیم‌ها است که برخی از این آنزیم‌ها در بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارند، بنابراین کمبود آهن می‌تواند موجب کاهش غلظت کلروفیل برگ می‌شود و با کمبود آهن، غلظت کلروفیل کاهش می‌یابد (مارتینز و همکاران، 2013 و 2017).

مهمترین علت کمبود آهن در خاک‌های آهکی، زیادی یون بی‌کربنات می‌باشد که موجب افزایش پ‌هاش خاک و کاهش قابلیت استفاده آهن می‌شود که به زردی ناشی از آهک معروف است (پستانا و همکاران، 2011 و 2005). درختان مرکبات با پایه کاریزوسیترنج که در این خاک‌های با آهک زیاد کشت می‌شوند اغلب علائم کمبود شدید آهن یا زردی ناشی از کمبود آهن نشان می‌دهند که به علت قابلیت استفاده کم آهن در این خاک‌ها می‌باشد. کمبود آهن بر بیوشیمی، مورفولوژی و فیزیولوژی درختان مرکبات اثر می‌گذارد زیرا آهن یک کوفاکتور مهم برای بسیاری از آنزیم‌ها می‌باشد که برخی از این آنزیم‌ها در بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارند، بنابراین کمبود آهن موجب کاهش غلظت کلروفیل می‌شود (لاربی و همکاران، 2006؛ منگل، 1995). کمبود آهن همچنین موجب کاهش تعداد سرشاخه‌های جدید می‌شود، با کمبود آهن غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاربوتنوئیدها نیز کاهش می‌یابد و کلروز با زرد شدن نوک برگ‌ها شروع می‌شود و تا زرد شدن کل سر شاخه‌های جدید ادامه پیدا می‌کند. کمبود آهن موجب چندین خسارت بیوشیمیایی و ریزساختاری می‌شود که مانند دیگر تنش‌های زنده و غیر زنده، تولید گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد. تولید این گونه‌های اکسیژن فعال پیامد تغییر در زنجیره انتقال الکترون، خسارت فراساختاری به کلروپلاست‌ها و کاهش بیوسنتز کاروتنوئیدها می‌شود (ماتینز و همکاران، 2017؛ منگل، 2001).



شکل 6- میانگین شاخص فلورسنس برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج

(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

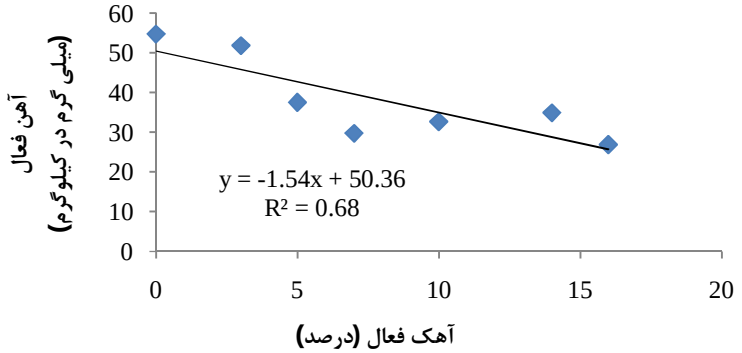


شکل 7- میانگین غلظت کلروفیل کل برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج

(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

رابطه آهک فعال خاک با غلظت آهن فعال برگ

نتایج این پژوهش نشان داد بین آهک فعال خاک‌ها و غلظت آهن فعال برگ نهال‌های نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج، همبستگی منفی معنی‌داری وجود دارد و با افزایش آهک فعال خاک‌ها، غلظت آهن فعال برگ کاهش یافت (شکل 8). به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین علائم زرد برگی (کلروز) در خاک چهار و هفت با آهک کل 30 و 45 درصد و آهک فعال 14و 16 درصد وجود داشت (شکل3). حد کفایت آهن قابل استفاده در خاک (با عصاره‌گیر DTPA) برای درختان مرکبات حدود 4 تا 5 میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397). دامنه آهن قابل استفاده خاک‌های آزمایشی از 4/40 تا 8/90 میلی‌گرم در کیلوگرم بود بنابراین مقدار آهن قابل استفاده خاک‌ها بیشتر از حد کفایت است. در خاک‌های یک و پنج که کمترین علائم زرد برگی را داشتند مقدار آهن قابل استفاده آن‌ها به ترتیب 7/20 و 4/40 میلی‌گرم در کیلوگرم بود، اما در مقابل بیشترین درجه زرد برگی در خاک‌های چهار و هفت با آهک کل 30 و 45 درصد مشاهده شد که مقدار آهن قابل استفاده آن‌ها به ترتیب 8/90 و 6/80 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. لذا زرد برگی نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج به عواملی دیگر غیر از مقدار آهن قابل استفاده خاک بستگی دارد. بافت خاک، آهک خاک، بی‌کربنات محلول خاک، ویژگی‌های بیولوژیکی و فیزیکی خاک نیز از عوامل اصلی کنترل کننده غلظت آهن در محلول خاک هستند که نقش زیادی در فراهمی آهن برای درختان در خاک‌های آهکی دارند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1399). اما نتایج این تحقیق نشان داد که تنها بین مقدار آهک فعال با غلظت آهن فعال در برگ همبستگی منفی معنی‌داری (شکل8) وجود داشت و بین سایر ویژگی خاک‌ها و غلظت آهن فعال برگ رابطه معنی‌داری حاصل نشد. لذا مقدار آهک فعال مهمترین ویژگی خاکی برای پیش‌بینی درجه کلروز برای پایه کاریزوسیترنج است. بنابراین در کل نتایج این تحقیق نشان داد که درختان نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های آهکی با بافت متوسط و سنگین و آهک بیشتر از 14 درصد یا آهک فعال بیشتر از 5 درصد علائم زرد برگی نشان می‌دهند اما در خاک‌های با بافت سبک و آهک حدود 40 درصد زردبرگی نداشتند یا علایم بسیار ضعیفی داشتند (شکل 9).



شکل 8- رابطه بین کربنات کلسیم فعال خاک با غلظت آهن فعال در برگ نهال‌های نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج

به طور کلی درختان مرکبات با اسیدی کردن ریزوسفر، کاهش آهن سه ظرفیتی (H^+-ATP_{ase}) و آنزیم-های احیاء کننده کلات‌های آهن سه ظرفیتی می‌توانند موجب افزایش فراهمی و جذب آهن توسط ریشه در شرایط کمبود آهن شوند (ایوانو و همکاران، 2012؛ مارتینز، 2013). آهن عمدتا به شکل دو ظرفیتی و سه ظرفیتی در محلول خاک وجود دارد و مقدار نسبی آن‌ها به pH و pe (پتانسیل اکسید و احیا) محلول خاک بستگی دارد. بخش عمده آهن به شکل دو ظرفیتی توسط ریشه درختان مرکبات جذب می‌شود. آنزیم رداکتاز آهن، که در کاهش آهن سه ظرفیتی به آهن دو ظرفیتی نقش دارد در غشای خارجی (پلاسمالما) نوک ریشه‌ها وجود دارد، فعالیت این آنزیم به pH بستگی دارد با افزایشpH، فعالیت آن کاهش می‌یابد (اماری و منگل، 2006؛ مارتینز و همکاران، 2017). به طور کلی pH بالای محلول خاک و همچنین محلول آپوپلاست سلول‌های ریشه و قدرت بافری زیاد آن‌ها در خاک‌های آهکی، موجب کاهش فعالیت آنزیم رداکتاز آهن و رسوب آهن در دیواره سلول‌های ریشه می‌شود (مارتینز و همکاران، 2013). لذا امکان دارد قابلیت استفاده آهن در خاک، فراهمی و غلظت آن در محلول خاک و همچنین آپوپلاست سلول‌های ریشه زیاد باشد اما گیاهان از کمبود آهن رنج ببرند (اماری و منگل، 2006). نتایج این پژوهش نیز نشان داد میانگین غلظت آهن کل در ریشه حدود 8/94 برابر میانگین غلظت آهن کل در برگ بود که تجمع و رسوب آهن در آپوپلاست سلول‌های ریشه را نشان می‌دهند و در خاک‌های با آهک کل بیشتر از 14 درصد، با وجود مقدار آهن قابل استفاده بیش از حد کفایت در خاک، علائم زرد برگی به وضوح در درختان نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج وجود داشت (اماری و منگل، 2006؛ چن و باراک، 1982). این نتایج با نتایج دیگر پژوهشگران در خاک‌های آهکی مطابقت دارد (مارتینز و همکاران، 2013؛ منگل و کربی، 2001).

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، تأثیر زیادی در پاسخ‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی پایه کاریزوسیترنج دارد. به طوری که بیشترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه نارنگی انشو میاگاوا با پایه کاریزوسیترنج از خاک-های با بافت متوسط و سنگین و آهک کمتر از 14 درصد حاصل شد. اما بیشترین رشد قطری از خاک پنج با بافت سبک و آهک کل 40 درصد و کمترین رشد از خاک هفت با آهک کل 45 درصد حاصل شد. همچنین با افزایش آهک فعال در خاک‌ها، غلظت آهن فعال در برگ کاهش یافت. بنابراین براساس نتایج این تحقیق در خاک-های با بافت متوسط و سنگین، این پایه برای خاک‌های با آهک کل تا حدود 14 درصد یا آهک فعال حدود 5 درصد توصیه می‌شود، اما در خاک‌های با بافت سبک، این پایه آهک حدود 40 درصد را نیز به خوبی تحمل کرده و رشد خوبی داشت. در کل نتایج این پژوهش نشان داد که درختان نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های

آهکی با بافت متوسط یا سنگین و آهک بیشتر از 14 درصد یا آهک فعال بیشتر از 5 درصد علائم زرد برگی نشان دادند اما در خاک‌های آهکی با بافت سبک، این پایه مقدار آهک کل بسیار بیشتری را نیز به خوبی تحمل می‌کند. بنابراین توصیه می‌شود در خاک‌های با بافت متوسط و سنگین و آهک کل بیشتر از 14 درصد از پایه کاریزوسیترنج استفاده نشود. اما در خاک‌های با بافت سبک، استفاده تاز این پایه در خاک‌های با آهک 40 درصد نیز امکان‌پذیر است.

شکل 9- علائم زردی برگی نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج در خاک‌های آهکی
ویژگی خاک‌ها در جدول 1 تعریف شده است)

فهرست منابع:

1. اخلاقی امیری، ن. 1399. هرس درختان مرکبات. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.
2. اسدی کنگرشاهی، ع. 1398. مدیریت کوددهی درختان بارده مرکبات. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.
3. اسدی کنگرشاهی، ع. 1398. بررسی وضعیت مدیریت منگنز متناسب با مراحل رشد و تأثیر آن بر عملکرد و کیفیت مرکبات شرق مازندران. مجله پژوهش‌های خاک، جلد 9 شماره 5، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
4. اسدی کنگرشاهی، ع. 1397. روند رشد، واکنش تغذیه‌ای و تحمل ترویرسیترنج به خاک‌های آهکی. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، جلد 9 شماره 2، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
5. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن اخلاقی امیری. 1399. بررسی مقدار رشد و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه سی-35 در چند خاک آهکی . مجله پژوهش‌های خاک، جلد 32، شماره 2، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
6. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1397. مدیریت احداث باغ پایدار مرکبات. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.
7. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری و علیرضا فلاح. 1397. راهنمای نمونه‌برداری و تفسیر نتایج تجزیه خاک و برگ برای درختان مرکبات. نشریه فنی 561، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
8. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1394. بررسی شاخص درجه زردی پایه‌های مختلف مرکبات در خاک‌های آهکی شرق مازندران. چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، کرمان، ایران.
9. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1393. تغذیه پیشرفته و کاربردی مرکبات. جلد اول، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.
10. اسدی کنگرشاهی، ع.، غ.ر. ثواقبی، م. سمر و م. فرحبخش. 1392. امکان استفاده از فلورسنس کلروفیل برای ارزیابی تحمل تعدادی از پایه‌های مرکبات به تنش ماتداب. مجله به زراعی کشاورزی، جلد 15، شماره 4، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
11. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری و م. ج. ملکوتی. 1390. تأثیر مصرف چهار ساله روی بر عملکرد و کیفیت پرتقال سانگین. مجله علوم خاک و آب. جلد 42، شماره 1، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
12. اسدی کنگرشاهی، ع. و م. محمودی. 1379. ضرورت مصرف عناصر روی و منگنز در باغ‌های مرکبات شرق مازندران. مجله علمی پژوهش خاک و آب (ویژه نامه باغبانی)، موسسه تحقیقات خاک و آب. جلد 12 شماره 8، تهران، ایران.
13. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری، م. محمودی و م. جعفر ملکوتی. 1381. شناخت ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در مرکبات مازندران (محدودیت‌ها و توصیه‌ها): قسمت دوم ـ عناصر ریزمغذی. نشریه فنی شماره 269. نشر آموزش کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.
14. اسدی کنگرشاهی، ع.، م.ج. ملکوتی و ع. چراتی. 1385. کالیبراسیون منگنز تحت شرایط مزرعه‌ایی و نقش آن در عملکرد سویا. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد 37، شماره 5، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
15. اسدی کنگرشاهی، ع. و م.ج. ملکوتی. 1386. تاثیر مصرف روی در رشد، غلظت و جذب روی توسط سویا. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد 38، شماره 2، دانشگاه تهران، تهران، ایران، صفحه 328 – 321.
16. اسدی کنگرشاهی، ع.، م.ج. ملکوتی و ع. چراتی. 1385. کالیبراسیون روی تحت شرایط مزرعه‌ایی و نقش آن در عملکرد سویا. مجله علوم خاک و آب. جلد 17، شماره 2، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

17. طهرانی، م.م.، م. پسندیده و م.ح. داودی. 1390. تعیین پراکنش و توصیه عناصر کم مصرف در اراضی تحت کشت آبی استان های گیلان، مازندران، همدان، کرمانشاه، آذربایجان غربی و اصفهان. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. نشریه شماره 1618.
18. Abadia, J. and A. Abadia. 1993. Iron and plant pigments. In: Barton, L.L. & Hemming, B.C., eds. Iron chelation in plants and soil microorganisms. New York, Academic Press, 327-343.
19. Alcantara, E., I. Montilla, P. Ramirez, P. Garcia-Molina and F.J. Romera. 2012. Evaluation of quince clones for tolerace to iron chlorosis on calcareous soil under field conditions. Scientia Horti. 138: 50 – 54.
20. Ammari, T. and K. Mengel. 2006. Total soluble Fe in soil solution of chemically different soils. Geoderma.136: 876 – 885.
21. Arbona, V., M.F. Lopez-Climent, R.M. Perez-Clement and A.Gomez-Cadenas. 2009. Maintenance of a high photosynthetic performance is linked to flooding tolerance in citrus. Environmental and Experimental Botany. 66: 135 – 142.
22. Basar, H. 2003. Analytical methods for evaluating chlorosis in peach trees. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 34: 327-341.
23. Bashour, I. and A.A. Sayegh. 2007. Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-Arid Regions. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. P. 49-53.
24. Belkhodja, R., F. Morales, A. Abadia, J. Gomes and J. Abadia. 1994. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in Barley (Hordeum vulgare L.). Plant Physiol. 104: 667-673.
25. Boman, B.J., T.A. Obreza and K.T. Morgan. 2008. Citrus Best Management practices: Fertilizer rate recommendation and precision application in Florida. Proceeding of The 11th International Society of Citriculture. pp. 573 – 578.
26. Bremmer, J.M. 1996. Total Nitrogen. P.1085-1122. In: D. L. Sparks et al. (eds.) Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI.
27. Bui, E.N., R.H. Loeppert and L.P. Wilding. 1990. Carbonate Phases in calcareous soils of western United States. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 39- 45.
28. Byrne, D.H., R.E. Rouse and J. Sudahono. 1995. Tolerance to citrus rootstocks to lime-induced iron chlorosis. Subtrop. Plant Science. 47: 7 – 11.
29. Castle, B. and E. Stover. 2001. Update on use of swingle citromelo rootstock. University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences.
30. Castle, W.S. and J. Nunnallee. 2009. Screening citrus rootstocks and related selections in soil and solution culture for tolerance to low-iron stress. HortScience. 44: 638-645.
31. Castle, W.S., J.W. Grosser, F.G. Gmitter, R.J. Schnell, T. Ayala – Silva, J.H. Crane and K.D. Bowman. 2004. Evaluation of new citrus rootstocks for Tahiti lime production in Southern Florida. Proceeding of the Florida State Horticultural Society. 117: 174 -181.
32. Castle, W.S., J.C. Baldwin and R.P. Muraro. 2010. Rootstocks and the performance and economic returns of' 'Hamlin' sweet orange trees. HortScience.45: 875-881.
33. Chen, Y. and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. Adv. Agron. 35: 217 – 240.
34. Fadl, A., M. El-Otmani, M.C. Benismail, A. Abouatallah and E. Jaouhari. 2008. Optimizing irrigation water supply in a young citrus orchard. Proceeding of The 11th International Society of Citriculture. pp. 573 – 578.
35. Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. P. 383 – 411. In: A. Klute, (ed.) Methods of Soil Analysis. Part1. SSSA, Madison, WI.
36. Ivanov, R., T. Brumbarova and P. Bauer. 2012. Fitting into the harsh reality: regulation of irondeficiencyresponses in dicotyledonous plants. Molecular Plant. 5: 27–42.

37. Jones, J.B., B. Wolf and H.A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide. Macro-Micro Pub. Inc., Athens, GA.
38. Kitson, R.E. and M.G. Mellon. 1944. Colorimetric determination of P as a molybdovanadate phosphoric acid. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 16: 379-383.
39. Larbi, A., A. Abadia, J. Abadia and M. Morales. 2006. Down co-regulation of light absorption, photochemistry and carboxylation in Fe-deficient plants growing in different environment. Photosynth. Res. 89: 113-126.
40. Lindsay, W.L. and W.A. Norvel. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal. 42: 421-428.
41. Loeppert, R.H., L.C. Wei and W.R. Ocumpaugh. 1994. Soil factors influencing the mobilization of iron in calcareous soils. In: Manthey, J.A., Crowley, D.A., Luster, D.G. (Eds.), Biochemistry of Metal Micronutrients in the Rhizosphere. Lewis Publishers. Boca Raton. PP. 343 – 360.
42. Louzada, E.S., H.S. Rio, M. Setamou, J.W. Watson and D.M. Swietlik. 2008. Evaluation of citrus rootstocks for the high pH, calcareous soils of South Texas. *Euhytica*. 164: 13 – 18.
43. Martıinez-Cuenca, M.R., A. Quinones, E. Primo-Millo and M.A. Forner-Giner. 2015. Flooding impairs Fe uptake and distribution in citrus due to the strong down-regulation of genes involvedin strategy I responses to Fe deficiency in roots. PLOS ONE 10: e0123644
44. Martinez-Cuenca, M.R., M.A. Forner-Giner, D.J. Iglesias, E. Primo-Millo and F. Legaz. 2013. StrategyI responses to Fe-deficiency of two Citrus rootstocks differing in their tolerance to ironchlorosis. Scientia Horticulturae 153:56–63.
45. Martinez-Guenca, M.R., A. Primo-Capella, A. Quinones, A. Bermejo and M.A. Froner-Giner. 2017. Rootstock influence on iron uptake responses in citrus leaves and their regulation under the Fe paradox effect. Peer J. 5:e3553 https://doi.org/10.7717/peerj.3553
46. Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. Journal of Experimental Botany. 51: 659-668.
47. Mclean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. P. 199- 224. In: A.L. Page et al. (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. SSSA. Madison, WI.
48. Mengel, K. and E. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5th edition, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.
49. Mengel, K. 1995. Iron availability in plant tissues-iron chlorosis in calcareous soils, in: J. Abadia (Ed.), *Iron Nutrition in Soils and Plant*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 389-397.
50. Mishra, A., K.B. Mishra, H. Hoermiller, A.G. Heyer and L. Nedbal. 2011. Chlorophyll fluorescence emission as a reporter on cold tolerance in Arabidopis thaliana accession. Plant Signaling and Behavior. 6: 301-310.
51. Molassiotis, A., G. Tanoa, G. Diamantidis, A. Patakas and I. Therios. 2006. Effect of 4-month Fe deficiency exposure on Fe reduction mechanism, photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and antioxidant defense in two peach rootstocks differing in Fe deficiency tolerance. J. Plant Physiol. 163: 176-186.
52. Morales, F., R. Grasa, A. Abadia and J. Abadia. 1998. Iron chlorosis paradox in fruit trees, Journal of Plant Nutrition. 24: 815-825.
53. Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch. 1991. Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
54. Neaman, A. and L. Aguirre. 2007. Comparison of different methods for diagnosis of iron deficiency in avocado. Journal Plant Nutrition. 30: 1098 – 1108.

55. Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1982. Total cabon, organic carbon, and organic matter.P. 539 – 579. In: A.L. Page et al. (eds.), Methods of Soil Analysis. Part II. 2th ed. ASA, SSSA, Madison, WI.
56. Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. In: A.L. Page et al., (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Monograph no 9. (pp. 403-430). Amrican Agronomy, Madison, WI.
57. Pedros, R., I. Moya, Y. Goulas and S. Jacquemoud. 2008. Chlorophyll fluorescence emission spectrum inside a leaf. Photochemical and Photobiological Sciences 7: 498-502.
58. Pestana, M., P.J. Correia, M. David, A. Abadia, J. Abadia and A. Varennes. 2011. Response of five citrus rootstocks to iron deficiency. J. Plant Nutr. And Soil Sci. 174: 837 – 846.
59. Pestana, M., M. David, A. de Varennes, J. Abadia and E. A. Faria. 2001. Responses of Newhall orange trees to iron deficiency in hydroponics: effects on leaf chlorophyll, photosynthetic efficiency and root ferric chelate reductase activity. Jounal of Plant Nutrition. 24: 1609-1620.
60. Pestana, M., A. de Varrnnes, J. Abadia and E. Araujo Faria. 2005. Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution. Scientia Horticulturae. 104: 25 – 36.
61. Qrtiz, P.R., B.J.C. Meza, F.R. Garza Requena, G.M. Flores and J.D. Etchevers Barra. 2007. Evaluation of different iron compound in chlorotic Italian lemon. Plant Physiology and Biochemistry. 45: 330-334.
62. Romheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation in leaves as a secondary eventin Fe deficiency chlorosis. Journal of Plant Nutrition.23:1629–1643.
63. Salisbury, F.B. and C.W Ross. 1992. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California. 682 pp.
64. Sallato, B., T. DuPont and D. Granatstein. 2018. Tree fruit soil fertility and plant nutrition in cropping orchards in central Washington. WSU Extension.
65. Schneider, A.1997. Release and fixation of potassium by a loamy soil as affected by initial water content and potassium status of soil samoles.European Journal of Soil Science. 48: 263 – 271.
66. Singh. A., S. Naqvi and S. Singh. 2002. Citrus Germplasm Cultivar and Rootstocks. Natural Research Centre for Citrus, Kalyani publishers. New Delhi, India.
67. Tagliavini, M. and A.D. Rombola. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. Eur. J. Agron. 15: 71– 92.
68. Wright, R.J. and T.I. Stuczynski. 1996. Atomic absorption and flame emission spectroscopy. In: Methods of Soil Analysis. Sparks, D.L. (Ed.), Part III, Chemical Methods, SSSA Book Series No.5, SSSA, Madison, WI. P. 65–91.
69. Yang, L., G. Li, Q. Lin and X. Zhao. 2010. Active carbonate of chestnut soils in different lands. Ecology Environmental Science. 19: 428 – 432.

Evaluation of Vegetative, Physiological, and Chlorosis Characteristics of Satsuma Mandarin on Carrizo Citrange Rootstock in Some Calcareous Soils

A. Asadi Kangarshahi[1] and N. Akhlaghi Amiri
Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran; E-mail: kangarshahi@gmail.com
Assistant Professor, Agronomy and Horticultural Science Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran;
E-mail: neginakhlaghi@yahoo.com

Received: October, 2021, and Accepted: May, 2022

Abstract

In Mazandaran Province, use of Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb. × *Poncirus trifoliata* L. Raf.) as an alternative rootstock for citrus is expanding. Also, due to great changes in lime content of the soils (0- 45%) and soil texture, it is necessary to study the response of this rootstock to the soils conditions. Therefore, the present study aimed to evaluate the growth trend and tolerance of this rootstock to calcareous soils of East Mazandaran. To this end, an experiment was conducted for two years (2014-2015) in a randomized complete block design in seven soils with different textures (sandy to clay loam) and calcium carbonate content (2- 45%). Measurements included vegetative growth trend, dry weight, chlorosis rate, fluorescence index (Fv/Fm), and nutrient concentration in leaves and roots. The results showed that the highest dry weight of aerial parts was obtained from soils with loam texture and total lime of 2% and soils with loamy sand texture and total lime of 40%. The highest chlorosis rate was obtained from soils with loam texture and 45% lime with 16% active lime and the lowest chlorosis rate was obtained from active- lime-free soils and 2% total lime. The average of Fe concentration in the roots was about 8.94 times the average concentration in the leaves, indicating accumulation and deposition of iron in the roots. In most soils, the amount of manganese available for citrus trees was excessive, but the mean concentration of leaf was less than adequate. The overall mean Mn concentration in the roots was about 6.67 times more than its mean concentration in leaf. The most limiting element for Carrizo citrange rootstock and scion was Mn and its low transfer efficiency from root to leaf. The results of mean chlorophyll content and chlorophyll fluorescence index (Fv / Fm) of leaves showed that soils with loam texture and low total lime and soils with light texture and high total lime had the highest amount of chlorophyll and fluorescence index. According to the results, soil texture influenced tolerance of Carrizo citrange rootstock in calcareous soils and, in relatively medium and heavy texture soils, the use of this rootstock in soils with total lime less than 14% is recommended, but in light-textured soils, its use in soils with total lime about 40% is also recommended. Therefore, in choosing this rootstock, it is recommended to consider soil texture and lime content.

Keywords: Active iron, Chlorosis, Citrus, Fluorescence, Vegetative growth.

[1.] Corresponding author: Soil and Water Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.