نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، مهر – آبان ۱۴۰۰، ص. ۵۴۹-۵۳۵

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 4, Sep.-Dec. 2021, p. 535-549

مقاله پژوهشی

پاسخ پایه‌های مختلف مرکبات به مصرف کمپوست گرانوله گوگردی و نیتروژن

مجتبی محمودی[1*]- شهریار کاظمی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کود کمپوست و نیتروژن بر پایه‌های رایج مرکبات شامل سیترومله، سیترنج و نارنج، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ایستگاه تحقیقات باغبانی قائم‌شهر اجرا شد. تیمارها شامل ماده آلی (صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد وزنی کود کمپوست گرانوله گوگردی) و نیتروژن خالص (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از منبع سولفات آمونیوم بود. شاخص‌های رشد رویشی در نهال‌های یک‌ساله با شرایط مشابه اندازه‌گیری شد. هم‌چنین به‌منظور بررسی تغییرات عناصر غذایی در تیرماه نمونه‌های برگ جمع‌آوری و غلظت عناصر غذایی در بافت برگ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که پس از گذشت یک فصل رشد کامل بعد از اعمال تیمارها، بیش‌ترین غلظت نیتروژن در نهال سیترنج و سیترومله برابر ۲/۹۲ و ۲/۹۷ درصد به ترتیب در نتیجه مصرف ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن و ۲/۵ درصد کمپوست به دست آمد. غلظت آهن و روی برگ سیترومله با افزایش سطح مصرف کمپوست افزایش یافت. در پایه سیترنج روند متفاوت بود و مصرف ۲/۵ درصد کمپوست و ۴۰ میلی‌گرم نیتروژن بیش‌ترین غلظت آهن برگ (۱۵۱ میکروگرم در گرم) را نشان داد. در حالی‌که مصرف ۵ درصد کمپوست و عدم مصرف نیتروژن باعث کاهش غلظت آهن تا سطح ۶۲/۲ میکروگرم در گرم شد. تغییرات غلظت روی در پایه سیترنج مشابه سیترومله بود. در پایه نارنج، تغییرات غلظت آهن در تیمارهای مختلف کمتر بود. به‌طور کلی، نهال سیترنج در جذب عناصر غذایی عملکرد بهتری نسبت به نهال سیترومله و نارنج داشت که علت آن می‌تواند تفاوت‌های ژنتیکی، از جمله تفاوت در توزیع سیستم ریشه در خاک و توانایی جذب عناصر توسط ریشه در خاک باشد. مصرف سطوح ۵ و ۷/۵ درصد کمپوست در پایه نارنج باعث کاهش ارتفاع گیاه و قطر طوقه و سبب ایجاد رزت و افزایش تعداد برگ گردید. مؤثرترین سطح نیتروژن در نارنج مصرف ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن بود. بیش‌ترین رشد رویشی در پایه سیترومله از تیمار مصرف ۲/۵ درصد کمپوست و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن و در پایه‌های سیترنج و نارنج از ۲/۵ درصد کمپوست و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: رشد رویشی، سیترنج، سیترومله، عناصر غذایی برگ، نارنج

مقدمه

محصول مرکبات در ۱۳۴ کشور تولید می‌شود اما به‌طور اقتصادی در ۵۳ کشور تحت کشت و تجارت است. سطح زیر کشت جهانی آن ۱۱/۱۴ میلیون هکتار بوده به‌طوری‌که تولید آن در سال ۲۰۱۹، به ۱۵۷/۹۸ میلیون تن رسیده است. کشورهای چین (۴۴/۰۶ میلیون تن)، برزیل (۱۹/۶۵ میلیون تن)، هند (۱۴/۰۱ میلیون تن) و مکزیک (۸/۷۶ میلیون تن) به ترتیب در رده‌های اول تا چهارم تولید جهانی قرار گرفته‌اند (۱۲). بر اساس آمار سازمان جهانی غذا و کشاورزی، تولید پرتقال، نارنگی، گریپ‌فروت و لیمو در سال ۲۰۱۹ به ترتیب ۵۰/۶، ۳۱/۵، ۶/۷ و ۷/۵ میلیون تن بوده است. ایران با تولید ۴/۰۷ میلیون تن مرکبات در سال، ۲/۵۸ درصد تولید جهانی را به خود اختصاص داده است و دهمین کشور تولیدکننده این محصول در جهان محسوب می‌شود (۱۲). در بین استان‌های کشور، مازندران در رتبه نخست تولید این محصول قرار دارد (۸).

برای دست‌یابی به محصول حداکثری و کیفیت مطلوب، فراهم بودن شرایط تغذیه‌ای مناسب امری ضروری است. کودهای شیمیایی نقش عمده‌ای در افزایش محصول دارند اما استفاده طولانی‌مدت از

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.mahmoudip@areeo.ac.ir
۲- استادیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران
DOI: 10.22067/JSW.2021.70354.1053

آن‌ها منجر به تخریب خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، کاهش نفوذپذیری، جرم مخصوص ظاهری و اختلال در نفوذپذیری ریشه و درنهایت کاهش عملکرد محصول می‌گردد (۱۴). استفاده غیراصولی و نامتعادل از کودهای شیمیایی از یکسو و عدم استفاده از برخی عناصر غذایی کم‌مصرف در ترکیبات کودی از سوی دیگر موجب تشدید برخی از کمبودها و کاهش حاصلخیزی و آلودگی آب و خاک گردیده که به‌موجب آن استفاده از کودهای آلی و کمپوست‌ها توسعه زیادی پیدا کرده است (۱۷ و ۴۰). استفاده از کمپوست پسماندهای شهری و کارخانه‌های چوب، بخشی از منابع تأمین‌کننده مواد آلی خاک و در راستای کشاورزی پایدار است که با فرآوری صحیح آن می‌توان این مواد با ارزش را مجدداً وارد چرخه طبیعت نمود. بنابراین، استفاده از کود کمپوست در اراضی کشاورزی به‌طور عمومی مورد توجه بوده و از آن به بهترین تدبیر زیست‌محیطی یادشده است (۲).

از میان کلیه عناصر غذایی موردنیاز مرکبات، نیتروژن دارای جایگاه ویژه‌ای است که هرساله مقدار زیادی از آن به خاک اضافه می‌گردد. سرعت آزادسازی عناصر غذایی از مواد آلی، به‌ویژه نیتروژن،کم‌تر از سرعت رهاسازی آن‌ها از کودهای شیمیایی است (۳۲).

پایه‌ها نقش کلیدی در رشد و نمو درختان مرکبات دارند. پایه‌ها بر ظرفیت فتوسنتزی رقم پیوند شده مؤثرند که این ظرفیت با چرخه سالانه توزیع کربوهیدرات مرتبط است و عامل تعیین‌کننده‌ای برای رشد رویشی و توسعه زایشی محسوب می‌شود؛ بنابراین پایه رشد، عملکرد و کیفیت میوه ارقام را شدیداً تحت تنظیم خود دارد (۱۹). مطالعات نشان داده‌اند که پایه‌ها بر رشد درخت، گلدهی، عملکرد و کیفیت میوه ارقام نارنگی تأثیر می‌گذارند. همچنین پایه‌ها بر غلظت عناصر غذایی برگ مانگو و پرتقال مؤثر بودند (۷). در آزمایشی در استرالیا برای مقایسه اثر ۱۲ پایه مختلف روی ویژگی های کمی و کیفی پرتقال های نافدار، گزارش شد که پایه سیترومیلو و ترویر سیترنج بیش‌ترین عملکرد را داشتند (۱۱). اثر ارقام مختلف مرکبات روی سه پایه نارنج سه برگ، سیترنج و سیترومیلو بررسی و نتایج نشان داد که ارقام روی این پایه‌ها میوه‌هایی با عملکرد و کیفیت خوب تا عالی تولید می‌کنند (۱۵ و ۳۹). اثر ۱۴ پایه روی رشد رویشی شامل ارتفاع، قطر و حجم تاج درخت نارنگی تانگور مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس پایه اثر معنی‌داری روی ارتفاع درخت نداشت اما قطر درخت به‌طور معنی‌داری تغییر یافت (۱۳).

ازآنجاکه باغ‌های مرکبات شرق مازندران از نظر جذب عناصر غذایی منگنز و روی محدودیت‌هایی دارند (۱) و از طرفی، مصرف مواد آلی در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ضروری می‌باشد، بنابراین، از بررسی منابع چنین استنباط می‌شود که اثر پایه‌ها بر خواص کیفی میوه و تا حدی بر جذب عناصر غذایی بررسی شده است اما برهم‌کنش پایه‌ها رایج مرکبات و کودهای آلی مورد تحقیق قرار نگرفته است. به نظر می‌رسد مصرف کود آلی می‌تواند در جهت افزایش غلظت و قابلیت جذب این مواد مفید بوده و همراه با کاهش مصرف کودهای شیمیایی گامی مؤثر در کاهش نارسایی‌های تغذیه‌ای به‌حساب آید. هدف از این پژوهش بررسی اثر کود آلی کمپوست گرانوله گوگردی و کود شیمیایی سولفات آمونیوم (نیتروژن) بر رشد رویشی و غلظت عناصر برگ در سه پایه مرکبات سیترومیلو، سیترنج و نارنج بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت گلدانی روی پایه‌های رایج مرکبات (نارنج، سیترنج و سیترومیلو)، در ایستگاه تحقیقات باغبانی قائم شهر در سال ۱۳۹۶ به‌مدت یک سال به اجرا درآمد. این ایستگاه در موقعیت ۲۸′N ۳۶° و ۵۳′E ۵۲° واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۵۱ متر است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد آزمایش شامل فاکتور اول: کود آلی (کمپوست گوگردی) در چهار سطح (صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد وزنی خاک مرطوب (با رطوبت ۱۸/۵ درصد) که به ترتیب با نمادهای C1، C2، C3 و C4 نشان داده می‌شود). این کود تولیدی شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران بوده و سالانه بیش از ۴۰ هزار تن از آن تولید می‌شود. مشخصات فیزیکوشیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است). فاکتور دوم: کود نیتروژنی در چهار سطح (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع سولفات آمونیوم که به ترتیب با نمادهای N1، N2، N3 وN4) نشان داده می‌شود.

نهال‌های یک‌ساله و هم‌اندازه از پایه‌های سیترومیلو، سیترنج و نارنج در داخل گلدان‌های حاوی هفت کیلوگرم خاک زراعی، پس از اعمال تیمارهای مذکور کشت شدند. برای اعمال تیمارها، ابتدا مقادیر کمپوست و کود سولفات آمونیوم تیمارهای مختلف بر اساس وزن خاک گلدان محاسبه و توزین شد و سپس با خاک گلدان به‌طور یکنواخت مخلوط گردیدند. در ادامه نهال‌های یک‌ساله هم اندازه، سالم و عاری از بیماری که از سال قبل تکثیر و تولید شده بودند در اسفند ماه در گلدان‌ها کاشت شدند. مصرف سایر کودها بر مبنای آزمون خاک و برای همه تیمارها به‌طور یکسان انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است. آبیاری تمام گلدان‌ها با آب چاه تا رسیدن به ظرفیت زراعی (به‌روش وزنی) و عملیات وجین هم برای تمامی تیمارها به‌طور یکنواخت انجام شد.

ارتفاع نهال، قطر طوقه و تعداد برگ در پایان دوره رشد رویشی (بهمن‌ماه) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی از برگ‌های کامل بهاره استفاده گردید. برای این منظور در مردادماه که

غلظت عناصر غذایی در برگ مرکبات به حالت پایداری می‌رسد از تیمارها نمونه‌برداری و تجزیه برگ در آزمایشگاه خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران انجام شد. پس از برداشت نمونه‌های برگ نارنج، سیترنج و سیترومیلو و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون، خشک شده، سپس اندازه‌گیری نیتروژن به روش هضم در بالن ژوژه با اسید سولفوریک- اسید سالیسیلیک- آب اکسیژنه (۳۸) فسفر به روش کالری‌متری (۹) پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (۳۳) و کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، روی و مس به روش جذب اتمی شعله‌ای صورت گرفت (۹). تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel انجام شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی کمپوست صنایع چوب و کاغذ مازندران

Table 1- Physicochemical properties of compost produced by Mazandaran Wood and Paper Industries

pH اسیدیته	$EC*10^3$ هدایت الکتریکی	CCE کربنات کلسیم معادل	Organic Carbon کربن آلی	Total N نیتروژن کل	C/N	Total P فسفر کل	Total K پتاسیم کل	Cd کادمیم	Pb سرب	Total Fe آهن کل	Total Mn منگنز کل	Total Zn روی کل	Total Cu مس کل
	(dSm^{-1})	(%)				(mg kg^{-1})							
7.61	3.18	36	31	1.55	20	0.18	0.3	1.4	19	4431	496	109	29.5

جدول ۲- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورداستفاده

Table 2- Physiochemical properties of the used soil

pH اسیدیته خاک	$EC*10^3$ هدایت الکتریکی	CCE کربنات کلسیم معادل	OC کربن آلی	Total N نیتروژن کل	Sand ماسه	Silt سیلت	Clay رس	Soil Texture بافت خاک	Available P فسفر قابل جذب	Available K پتاسیم قابل جذب	Available Fe آهن قابل جذب	Available Mn منگنز قابل جذب	Available Zn روی قابل جذب	Available Cu مس قابل جذب
	(dSm^{-1})	(%)							(mg kg^{-1})					
7.6	0.53	17	1.3	0.1	48	34	18	Loam	38	133	4. 9	15.6	3.0	0.9

همانطور که داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهند خاک بافت مناسبی برای پرورش نهال مرکبات داشت. مقدار کربن آلی و نیتروژن هم در دامنه مناسبی قرار داشتند. خاک از نظر فسفر غنی ولی سطح پتاسیم خاک پایین بود. بنابراین قبل از اعمال تیمارها ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار (۰/۰۲ گرم در کیلوگرم خاک) به خاک همه تیمارها سولفات پتاسیم اضافه گردید.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی پایه‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ویژگی‌های مورفولوژیکی بررسی شده در پایه‌های سیترومیلو، سیترنج و نارنج تحت تأثیر مصرف هم‌زمان کود کمپوست و کود نیتروژن قرار گرفتند. اثر متقابل برای ویژگی‌های ارتفاع نهال پایه سیترومیلو و ارتفاع نهال و قطر طوقه پایه نارنج در سطح پنج درصد و باقی ویژگی‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳).

ارتفاع گیاه

در پایه سیترومیلو، حداکثر ارتفاع گیاه (۱۰۹ سانتی‌متر) با مصرف ۲/۵ درصد کمپوست و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن (N2C2) با افزایش ۳۵ درصدی نسبت به شاهد به دست آمد. با افزایش سطح مصرف کمپوست (سطوح C3 و C4) کاهش رشد طولی در گیاه مشاهده شد و ارتفاع گیاه در این سطوح با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. مصرف نیتروژن در تمام سطوح کمپوست موجب افزایش ارتفاع گیاه شد (شکل ۱- A).

جدول ۳- میانگین مربعات ویژگی‌های مورفولوژیکی پایه‌های سیترومِلو، سیترنج و نارنج
Table 3- Mean squares for morphological characteristics of citrumelo, citrange and sour orange rootstocks

منبع تغییرات Sources	درجه آزادی Df	تعداد برگ در نهال No. of Leaves per Plant	قطر طوقه Crown Diameter	ارتفاع نهال Plant Height	تعداد برگ در نهال No. of Leaves per Plant	قطر طوقه Crown Diameter	ارتفاع نهال Plant Height	تعداد برگ در نهال No. of Leaves per Plant	قطر طوقه Crown Diameter	ارتفاع نهال Plant Height
		سیترنج Citrange			سیترومِلو Citrumelo			نارنج Sour orange		
کمپوست Compost	3	185.12 ns	1.25**	130 ns	585.8**	2.55**	415*	175.3ns	1.378**	801ns
نیتروژن Nitrogen	3	1545.3**	0.33*	1175 ns	613.1**	0.269 ns	537**	1020.5**	2.025**	190 ns
اثر متقابل کمپوست در نیتروژن *Compost Nitrogen	9	1582.6**	1.35**	409**	3175.1**	2.69**	262*	1093.7**	1.622*	144*
خطا Error	30	3400.5	4.05	170	2847	3.69	113	2397	7.95	295
ضریب تغییرات (درصد) CV		20.6	10.4	11.3	11.6	9.64	11.6	14.2	14.1	18.5

در پایه سیترنج بهترین رشد طولی گیاه در تیمار (N4C4)، با ۴۰ درصد افزایش نسبت به شاهد، معادل ۱۳۱ سانتی‌متر بدست آمد. این تیمار با تیمارهای دیگر مانند تیمار عدم مصرف کمپوست و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن، تیمار عدم مصرف کمپوست و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن و تیمار مصرف ۷/۵ درصد کمپوست و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداد (شکل ۱- B). این بدان معنی است که نیاز پایه سیترنج به نیتروژن در سطوح بالای کمپوست برطرف نشده است و سطوح بالای کمپوست (C3 و C4) در صورتی‌که با مصرف نیتروژن همراه نباشد نیاز گیاه را مرتفع نخواهد کرد. در مقایسه با دو پایه دیگر، سیترنج از رشد طولی بیش‌تری برخوردار و در تمام تیمارها ارتفاع آن از دو پایه دیگر بیش‌تر بود. این تفاوت‌ها آنگونه که در منابع نیز به آن‌ها اشاره شده است، ممکن است ناشی از ژنتیک گیاه (نوع پایه) باشد. صادقی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که میزان جذب نیتروژن در پایه‌های پر رشد مثل پایه نارنج نسبت به پایه‌های دیگر بیشتر است (۲۹). نتایج پژوهش‌های ژو و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که پایه‌های مرکبات تنوع ژنوتیپی قابل توجهی در پارامترهای رشد گیاه شامل زیست توده، ارتفاع نهال، نسبت ریشه به اندام هوایی و صفات‌ریخت شناسی شامل سطح و طول کل جذب ریشه و زیست‌توده ریشه جانبی دوم از خود نشان دادند (۴۲). پایه‌ها بر سیستم جذب آهن در برگ تأثیر می‌گذارند. به نظر می‌رسد پایه تأثیر کلیدی در فعالیت آنزیم ردکتاز کلات آهن و مقدار فعال آهن در برگ‌ها دارد (۲۰). پژوهش رئیسی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که سه پایه سیترومِلو، سیترنج و نارنج تفاوت‌های فاحشی از نظر رفتار تغذیه‌ای و انتقال و تجمع عناصر غذایی در بخش‌های مختلف گیاه از خود نشان می‌دهند. پایه نارنج به لحاظ جذب عناصر غذایی کلیدی بر پایه‌های سیترومِلو و سیترنج برتری دارد (۲۶). همچنین نتایج پژوهشی در ترکیه نشان داد کاریزو سیترنج در جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیوم، منگنز و مس؛ تریور سیترنج در جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن؛ و نارنج در جذب کلسیم، روی و سدیم نسبت به دیگر پایه‌ها ارجحیت داشتند (۳۵).

شاخص رشد رویشی ارتفاع در پایه نارنج در تیمار N4C2 نسبت به تیمار N1C1 (شاهد) با حدود ۴۰ درصد افزایش بیش‌ترین مقدار را نشان داد. در این پایه افزایش سطح مصرف کمپوست از ۲/۵ به ۵ و ۷/۵ درصد موجب کاهش رشد طولی شد. به‌طور کلی، بهترین رشد ارتفاعی در هر سه پایه در سطح مصرف ۲/۵ درصد کمپوست و مصرف ۴۰ یا ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن بدست آمد و بین تیمارهای ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن تفاوت معنی‌دار نبود.

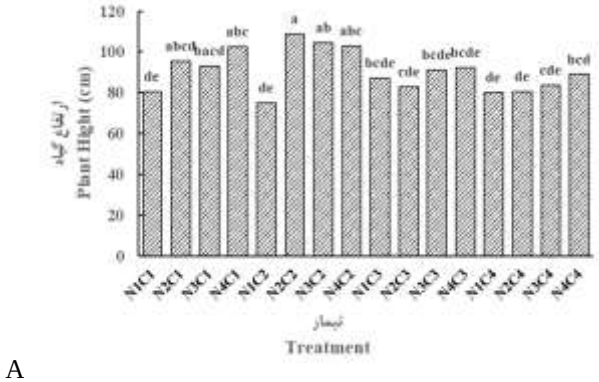
قطر طوقه

بیش‌ترین قطر طوقه در پایه سیترومِلو در تیمار مصرف ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن و عدم مصرف کمپوست (N4C1) بدست آمد و حداقل این ویژگی در تیمار عدم مصرف نیتروژن و

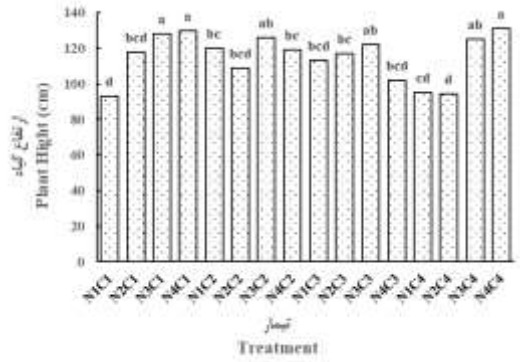
مصرف ۵ و ۷/۵ درصد کمپوست (N1C4 و N1C3) مشاهده شد. مطابق داده‌های شکل ۲–A افزایش سطح مصرف نیتروژن به ازای مقادیر ثابت کمپوست (به‌استثنای سطح ۲/۵ درصد کمپوست) موجب افزایش قطر پایه سیترومولو گردید.

در پایه سیترنج روند تغییرات قطر طوقه متفاوت بود. مصرف سطوح مختلف نیتروژن (در سطوح ثابت کمپوست) ابتدا موجب افزایش و سپس کاهش قطر طوقه شد (شکل ۲ –B). در این پایه، بیشترین قطر طوقه در تیمار مصرف ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن و ۷/۵ درصد کمپوست (N3C4) با مقدار ۲/۶ سانتی‌متر مشاهده شد. مطابق شکل ۲–C، مصرف نیتروژن در سطوح پایین کمپوست موجب افزایش قطر طوقه نارنج شد اما در سطح C3 و C4 نیتروژن ابتدا افزایش و سپس کاهش قطر طوقه را سبب شد.

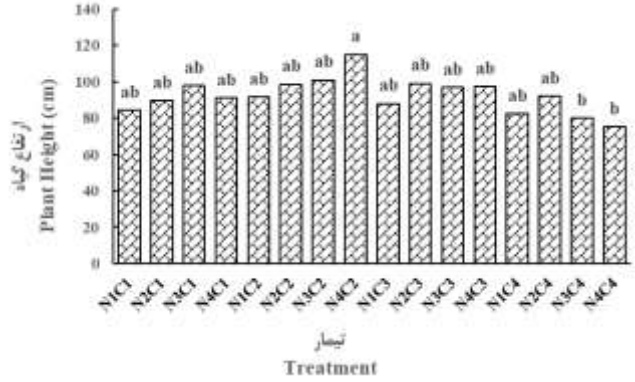
در بین پایه‌ها، بیشترین قطر طوقه در پایه سیترومولو (۲/۷ سانتی‌متر) مشاهده شد. روند داده‌ها (شکل ۲) نشان می‌دهد که در سطوح پایین کمپوست (C1 و C2) قطر طوقه سیترومولو بیشتر از قطر طوقه سیترنج اما در سطوح C3 و C4 قطر طوقه سیترنج بیشتر از قطر طوقه سیترومولو بود. قطر طوقه نارنج با مصرف توأم نیتروژن و کمپوست نوسانات زیادی نشان داد اما در تیمارهای مصرف ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن و ۷/۵ درصد کمپوست کاهش محرزی نشان داد. بیشترین قطر طوقه در تیمار مصرف ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن و عدم مصرف کمپوست گرانوله گوگردی معادل ۲/۶۱ سانتی‌متر مشاهده شد. همانگونه که ذکر شد با افزایش سطح کمپوست قطر طوقه نارنج کاهش یافت و این تیمار با تمام تیمارهای سطح ۷/۵ درصد کمپوست تفاوت آماری معنی‌داری نشان داد.



A



B



C

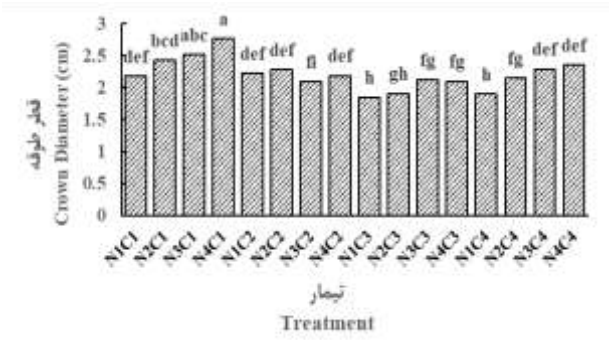
شکل ۱- اثر متقابل نیتروژن و کمپوست بر ارتفاع گیاه در سه پایه سیترومولو (A)، سیترنج (B) و نارنج T(C)

(N1، N2، N3 وN4 به ترتیب عبارتند از ۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن خالص و C1، C3،C2 و C4 به ترتیب ۰، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد کمپوست)

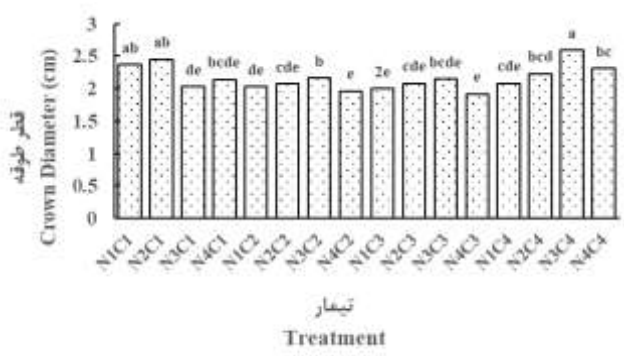
Figure 1- The interaction effect of nitrogen and compost on plant height in citrumelo (A), citrange (B) and sour orange (C) rootstocks

(N1, N2, N2, and N4 are equal to 0, 20, 40, and 80 mg kg^{-1} net nitrogen and C1, C2, C3, C4 equal to 0, 2.5, 5, and 7.5% compost levels, respectively.

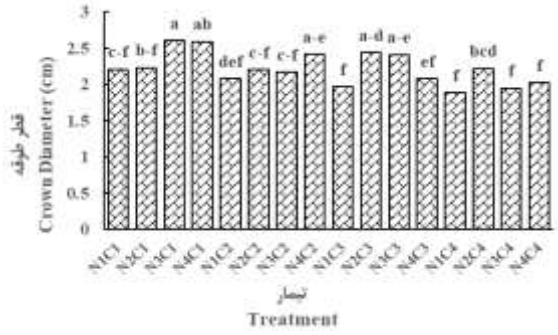
A



B



C



شکل ۲- اثر متقابل نیتروژن و کمپوست بر قطر طوقه در سه پایه سیترومولو(A)، سیترنج (B) و نارنج (C)،

(N1، N2، N3 وN4 به ترتیب عبارتند از ۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن خالص و C1، C3،C2 و C4 به ترتیب ۰، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد کمپوست)

Figure 2- The interaction effect of nitrogen and compost on crown diameter in citrumelo (A), citrange (B) and sour orange (C) rootstocks

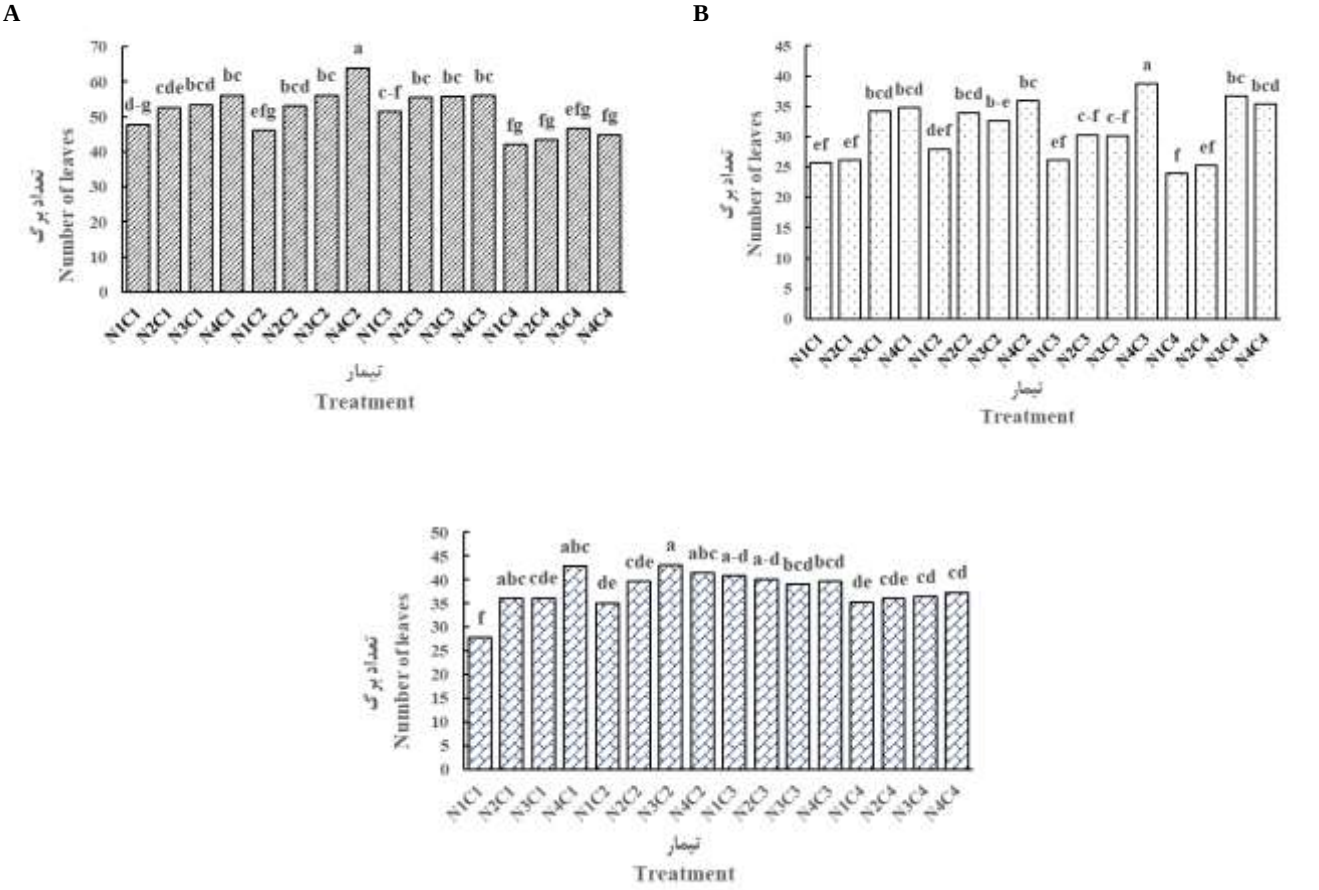
(N1, N2, N2, and N4 are equal to 0, 20, 40, and 80 mg kg^{-1} net nitrogen and C1, C2, C3, C4 equal to 0, 2.5, 5, and 7.5% compost levels respectively.

تعداد برگ

در پایه سیترومولو، در هرکدام از سطوح کمپوست، افزایش سطح نیتروژن باعث افزایش تعداد برگ شد (شکل ۳-A). مصرف ۷/۵ درصد کمپوست (C4) به‌طور معنی‌داری باعث کاهش تعداد برگ گردید به‌طوری‌که در این سطح، تعداد برگ‌ها با تعداد برگ‌های شاهد (N1C1) تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. بیشترین تعداد برگ در تیمار (N4C2) مشاهده شد. همانند پایه سیترومولو، در پایه سیترنج نیز روند افزایش تعداد برگ‌ها درنتیجه افزایش سطح نیتروژن مشاهده شد. در این پایه بیشترین تعداد برگ در تیمار (N4C3) مشاهده شد.

در پایه نارنج بیشترین تعداد برگ در تیمار مصرف ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن و ۲/۵ درصد کمپوست (N3C2) به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۵۵ درصد افزایش نشان می‌دهد. مصرف ۷/۵ درصد کمپوست (C4) کاهش محسوس و معنی‌داری ازنظر تعداد برگ نسبت به سایر تیمارهای بکار رفته نشان داد.

در گزارشی، کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش فاکتورهای رشدی (ارتفاع ساقه، تعداد و سطح برگ، قطر ساقه و طوقه) را در گیاه نارنج نسبت به شاهد در پی داشت و غلظت ۲۵ درصد حجم خاک گلدان بهترین غلظت کود برای افزایش رشد مرکبات معرفی گردید (۲۱). درمجموع چنین به نظر می‌رسد که مصرف سطوح بالاتر از ۵ درصد کمپوست (به‌استثنای قطر طوقه و ارتفاع گیاه در پایه سیترنج) یا تأثیری روی شاخص‌های رشد رویشی نداشت و یا منجر به کاهش مقدار این شاخص‌ها گردید. دلیل این امر احتمالاً به نسبت C/N این کود مربوط می‌شود. با توجه به داده‌های جدول ۱، نسبت مذکور در کمپوست تولیدی شرکت چوب و کاغذ مازندران معادل ۲۰ می‌باشد و بنابراین می‌توان چنین استنتاج کرد که با افزایش حجم مصرف این کود بین باکتری‌های تجزیه‌کننده مواد آلی و ریشه گیاه برای دسترسی به نیتروژن رقابت ایجادشده و نیتروژن کافی به گیاه نمی‌رسد. غلظت عناصر غذایی در محیط ریشه تحت تأثیر فرآیندهایی نظیر اسیدی شدن و تغییرات نسبت C/N، در طول دوره رشد به‌عنوان تابعی از دما و فعالیت میکروارگانیسم‌های دخیل در آمونیوم‌سازی و نیترات‌سازی، می‌باشد که به‌واسطه وجود غلظت‌های مختلف مواد آلی در محیط رشد ریشه تغییر می‌نماید (۴ و ۳۴).



شکل ۳- اثر متقابل نیتروژن و کمپوست بر تعداد برگ در سه پایه سیترومله(A)، سیترنج (B) و نارنج (C)

(N1، N2، N3 وN4 به ترتیب عبارتند از ۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن خالص و C1، C2،C3 و C4 به ترتیب ۰، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد کمپوست)

Figure 3- The interaction effect of nitrogen and compost on number of leaves per plant in citrumelo (A), citrange (B) and sour orange (C) rootstocks

(N1, N2, N2, and N4 are equal to 0, 20, 40, and 80 mg kg^{-1} net nitrogen and C1, C2, C3, C4 equal to 0, 2.5, 5, and 7.5% compost levels respectively.

غلظت عناصر غذایی در برگ

عناصر پرمصرف

نتایج تجزیه واریانس داده‌های غلظت عناصر غذایی برگ در پایه سیترومله نشان داد که هیچ‌کدام از منابع تغییرات بر غلظت عناصر کلسیم و منیزیم اثر معنی‌داری نداشتند؛ اما اثر متقابل کمپوست و نیتروژن بر غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، مس ($P\leq$۰/۰۵) و آهن و روی ($P\leq$۰/۰۱) معنی‌دار بود (جداول ۴ و ۵). اثر ساده کود کمپوست بر غلظت نیتروژن معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) و باعث افزایش غلظت نیتروژن برگ گردید. همچنین اثر ساده کود نیتروژن بر غلظت پتاسیم برگ معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) و با افزایش سطح مصرف نیتروژن روند کاهشی نشان داد.

بیشترین غلظت نیتروژن برگ سیترومله با مصرف ۲/۵ درصد کمپوست و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن (N3C2) برابر با ۲/۹۲ درصد و کمترین میزان غلظت آن در تیمار شاهد (N1C1) برابر ۱/۹ درصد ثبت گردید. این تیمار با تیمارهای مصرف ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد کمپوست و عدم مصرف نیتروژن، تفاوت آماری نداشت (جدول ۴). مصرف توأم سطوح مختلف کمپوست و نیتروژن موجب افزایش غلظت فسفر در تمام تیمارها نسبت به شاهد شد اما این افزایش تنها در تیمارهای N2C2 و N1C3 معنی‌دار بود. با توجه به داده‌ها، بیشترین غلظت پتاسیم برگ (۱/۷۱ درصد) با اختلاف معنی‌دار در تیمار N1C4 مشاهده شد (جدول ۴). این تیمار با تیمار مصرف ۲/۵ درصد کمپوست و عدم مصرف نیتروژن (N1C2)، تفاوت آماری نداشت. همچنین داده‌ها نشان دادند که با فزایش سطح نیتروژن (در هر چهار سطح کمپوست) غلظت پتاسیم برگ کاهش پیدا کرده است.

گرچه این کاهش در برخی موارد معنی‌دار نبود. با توجه به روند داده‌ها، در پایه سیترومِلو، تیمار مصرف ۷/۵ درصد کمپوست و عدم مصرف نیتروژن (N1C4) سبب ایجاد بیشترین غلظت پتاسیم برگ گردید که این امر دلالت بر تأثیر سطح مصرف کمپوست در افزایش غلظت این عنصر در برگ داشته و از طرفی احتمالاً برهم‌کنش عنصر نیتروژن با پتاسیم را نیز نشان می‌دهد. به عبارتی با افزایش سطح مصرف نیتروژن، از غلظت عناصر پتاسیم برگ کاسته شده است. کاربرد کودهای نیتروژنی باعث افزایش غلظت نیتروژن در برگ گیاهان می‌شود، مخصوصاً استفاده از آمونیوم غلظت نیتروژن برگ را نسبت به نیترات بیشتر افزایش می‌دهد (۲۴). کودهای آلی حاوی بار منفی در سطح خود هستند که باعث آزاد شدن پتاسیم تثبیت‌شده در خاک شده و درنتیجه باعث افزایش جذب پتاسیم توسط ریشه‌های گیاه می‌شوند (۳). افزایش سطح مصرف کمپوست به ۲/۵ و ۵ درصد افزایش معنی‌دار غلظت فسفر برگ (نسبت به شاهد) را سبب شده است. این امر می‌تواند به دلیل افزایش قابلیت جذب فسفر به واسطه اثر اسیدی شدن موضعی خاک و افزایش جمعیت میکربی خاک توسط کمپوست باشد (۵ و ۱۰).

بر اساس داده‌های جدول ۴، مصرف توأم کمپوست و نیتروژن در بسیاری از تیمارها موجب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن برگ پایه سیترنج شد. بیشترین غلظت نیتروژن برگ سیترنج (۲/۹۷ درصد) در تیمار مصرف ۲/۵ درصد کمپوست و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن (N4C2) مشاهده شد. همچنین حداقل غلظت نیتروژن برگ در سیترنج مشابه سیترومِلو در تیمار شاهد (N1C1) ایجاد شد. مصرف توأم کمپوست و نیتروژن در بیشتر تیمارها موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر برگ شده است. در این پایه بیشترین غلظت فسفر با اختلاف معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) در تیمار N1C3 مشاهده شد. غلظت پتاسیم نیز روند مشابه پایه سیترومِلو نشان داد. در تیمار N1C4 غلظت پتاسیم به بیشترین حد خود (۱/۸۳ درصد) رسید.

در پایه نارنج، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب در تیمارهای N4C2، N1C4 و N1C4 بیشترین مقدار را نشان داد. بررسی دقیق‌تر داده‌ها نشان داد که کاهش شاخص‌های رشد (ارتفاع گیاه، قطر طوقه و تعداد برگ) در سطح مصرف ۷/۵ درصد کمپوست و سطوح ۴۰،۲۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن با غلظت عناصر غذایی پرمصرف در برگ نارنج همخوانی دارد (جدول ۴). در مجموع بر اساس نتایج، در هر سه پایه بیشترین غلظت فسفر و پتاسیم در سطوح بالای کمپوست و عدم مصرف نیتروژن وجود داشت.

جدول ۴- اثر متقابل نیتروژن و کمپوست بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف در پایه‌های سیترومِلو، سیترنج و نارنج

Table 4- The interaction effect of nitrogen and compost on macronutrients concentration in citrumelo, citrange and sour orange rootstocks

نیتروژن Nitrogen (mg/kg)	کمپوست Compost (%)	سیترنج Citrange			سیترومِلو Citrumelo			نارنج Sour Orange		
		نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
		(%)								
0	0	1.91 ^{d}	0.15 ^{b}	1.30^{bcd}	2.62^{c}	0.17^{c}	1.30 ^{cd}	1.81 ^{hi}	0.22 ^{b}	1.10 ^{e}
20	0	2.25 ^{bcd}	0.17 ^{ab}	1.25^{d-e}	2.81^{ab}	0.18^{ab}	1.39 ^{c}	2.02 ^{efg}	0.19 ^{bc}	1.17 ^{cd}
40	0	2.62 ^{abc}	0.19 ^{ab}	1.04^{cde}	2.74^{bc}	0.19^{bc}	1.04 ^{fg}	2.42 ^{ab}	0.20 ^{bc}	0.87 ^{ij}
80	0	2.35 $^{a-d}$	0.17 ^{ab}	0.83^{e}	2.69^{bc}	0.17^{bc}	0.84 ^{i}	2.21 ^{cd}	0.19 ^{bcd}	0.66 ^{k}
0	2.5	2.10 ^{cd}	0.20 ^{ab}	1.40^{abc}	2.78^{bc}	0.20^{abc}	1.40 ^{bc}	1.93 ^{gh}	0.216 ^{b}	1.14 ^{de}
20	2.5	2.37 $^{a-d}$	0.22 ^{a}	1.07^{cde}	2.81^{bc}	0.22^{ab}	0.98 ^{gh}	2.31 ^{bc}	0.20 ^{bc}	0.96 ^{gh}
40	2.5	2.92 ^{a}	0.20 ^{ab}	0.98^{cde}	2.80^{bc}	0.21^{abc}	0.89 ^{hi}	2.32 ^{bc}	0.17 ^{cde}	1.18 ^{cd}
80	2.5	2.53 ^{abc}	0.19 ^{ab}	1.12^{b-e}	2.97^{a}	0.20^{abc}	1.21 ^{de}	2.54 ^{a}	0.16 ^{de}	0.96 ^{gh}
0	5	2.15 ^{bcd}	0.22 ^{a}	1.50^{ab}	2.76^{bc}	0.25^{a}	1.51 ^{b}	1.97 ^{fg}	0.17 ^{cde}	1.30 ^{b}
20	5	2.39 $^{a-d}$	0.17 ^{ab}	0.91^{de}	2.89^{ab}	0.19^{bc}	0.91 ^{hi}	2.14 ^{de}	0.15 ^{de}	0.83 ^{j}
40	5	2.49 $^{a-d}$	0.18 ^{ab}	1.06^{cde}	2.80^{bc}	0.18^{bc}	1.12 ^{ef}	2.13 ^{de}	0.17 ^{cde}	0.92 ^{hi}
80	5	2.72 ^{ab}	0.18 ^{ab}	1.12^{b-e}	2.88^{ab}	0.20^{abc}	0.98 ^{gh}	2.12 ^{def}	0.16 ^{ced}	1.03 ^{f}
0	7.5	2.15 ^{cd}	0.20 ^{ab}	1.71^{a}	2.70^{bc}	0.20^{abc}	1.83 ^{a}	1.70 ^{i}	0.26 ^{a}	1.62 ^{a}
20	7.5	2.55 ^{abc}	0.20 ^{ab}	0.93^{de}	2.88^{ab}	0.22^{ab}	1.12 ^{de}	2.45 ^{ab}	0.15 ^{de}	0.91 ^{hi}
40	7.5	2.54 ^{abc}	0.18 ^{ab}	1.25^{b-e}	2.88^{ab}	0.18^{bc}	1.15 ^{df}	1.98 ^{fg}	0.14^{e}	0.99 ^{fg}
80	7.5	2.69 ^{abc}	0.17 ^{ab}	1.09^{b-e}	2.90^{ab}	0.18^{bc}	0.09 ^{fg}	2.07 ^{defg}	0.16 ^{de}	1.22 ^{c}

بر اساس مطالعات، آمونیوم ممکن است از سیستم انتقال پتاسیم استفاده کند، آمونیوم به انتقال‌دهنده پتاسیم وصل شده و باعث تغییر شکل آن می‌شود، هرچند گزارش‌هایی نیز وجود دارند که بیان کردند هیچ رقابتی در جذب بین آمونیوم و پتاسیم وجود ندارد (۲۸). افزایش معنی‌دار غلظت فسفر برگ (۰/۲۶ میکروگرم در گرم) در سطح ۷/۵ درصد کمپوست و عدم مصرف نیتروژن درخور توجه است زیرا اثر شیمیایی و زیستی کمپوست در افزایش انحلال و افزایش سطح فسفر قابل جذب را نشان می‌دهد (۵ و ۳۶). از طرف دیگر مصرف توام کمپوست (در سطح ۷/۵ درصد) و نیتروژن (۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) موجب کاهش سطح فسفر برگ شده است (جدول ۴). این نتیجه احتمالاً به دلیل افزایش غلظت یون آمونیوم در محلول خاک و تبدیل آن به یون نیترات به‌واسطه فعالیت باکتری‌های تولید کننده نیترات می‌باشد. ریشه مرکبات جذب یون نیترات را به یون آمونیوم ترجیح می‌دهد (۶ و ۲۵)، در این تیمارها غلظت نیتروژن برگ نسبت به تیمار ۷/۵ درصد کمپوست و عدم مصرف نیتروژن افزایش یافته است. افزایش غلظت نیترات در محیط ریشه باعث ایجاد رقابت با یون منفی فسفات شده و در نتیجه از جذب فسفات جلوگیری می‌شود (۲۵). در میان عوامل فیزیکی که بر نیتراتسازی تأثیر می گذارد، در دسترس بودن ماده اولیه (آمونیوم) برای باکتری‌های تولید کننده نیترات بسیار حیاتی است (۳۰). ژاهو و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که افزودن سولفات آمونیوم، اوره و بی‌کربنات آمونیوم باعث تحریک نیتراتسازی شد (۴۱).

عناصر کم‌مصرف

در پایه سیترومولو بیشترین غلظت آهن در تیمار N1C4 برابر با ۱۲۵/۳ میکروگرم در گرم و کمترین میزان غلظت آن در N4C2 (مصرف ۲/۵ درصد کمپوست و ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کود نیتروژن) معادل ۶۲ میکروگرم در گرم، مشاهده شد (جدول ۵). از سویی غلظت روی در تیمارهای N3C4 و N4C4 به بیشترین حد خود رسید. به نظر می‌رسد مصرف سطوح بالای کمپوست و نیتروژن غلظت روی برگ سیترومولو را افزایش داده است. بیشترین غلطت مس در تیمار N1C3 معادل ۱۶/۴ میکروگرم در گرم با اختلاف معنی‌دار نسبت به شاهد (۱۰/۵ میکروگرم در گرم) مشاهده شد ($P\leq$۰/۰۵). با افزایش سطح کمپوست و نیتروژن این مقدار کاهش یافت به‌طوری که در تیمار مصرف ۷/۵ درصد کمپوست و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن به کمترین مقدار خود رسید و اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار مذکور پیدا کرد و با شاهد در یک گروه قرار گرفت.

در پایه سیترنج بیشترین غلظت آهن برگ با مصرف ۲/۵ درصد کمپوست و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کود نیتروژن (N3C2) برابر با ۱۵۱ میکروگرم در گرم و کمترین غلظت آن با مصرف ۵ درصد کمپوست و عدم مصرف کود نیتروژن (N1C3) برابر ۶۲/۲ میکروگرم در گرم به‌دست آمد. روند تغییرات غلظت روی در پایه سیترنج شبیه سیترومولو بود. در این پایه نیز در تیمارهای N3C4 و N4C4 غلظت روی برگ به بیشترین مقدار رسید با این تفاوت که این تیمارها با تیمار N3C2 تفاوت معنی داری نداشتند. مشابه سیترومولو، بیشترین غلظت مس برگ با مصرف پنج درصد کمپوست و بدون مصرف نیتروژن برابر با ۱۵/۲۴ میکروگرم در گرم بود و کمترین میزان غلظت آن با مصرف ۷/۵ درصد کمپوست و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کود نیتروژن، ۸/۸۴ میکروگرم در گرم اندازه‌گیری شد (جدول ۵).

در پایه نارنج تغییرات غلظت آهن برگ در تیمارهای مختلف کمتر بود. بیشترین غلظت آهن برگ در تیمار مصرف ۲/۵ درصد کمپوست و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کود نیتروژن (N2C2) معادل ۸۳/۸۲ میکروگرم در گرم و کمترین غلظت آن در تیمار عدم مصرف دو کود (N1C1) برابر با ۶۱/۰۲ میکروگرم در گرم مشاهده شد. بیشترین غلظت روی در برگ بدون مصرف کمپوست و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کود نیتروژن (۲۸/۱۴ میکروگرم در گرم) و کمترین غلظت بدون اعمال دو کود برابر با ۱۹/۹۱ میکروگرم در گرم بود. بیشترین غلظت مس برگ با مصرف ۲/۵ درصد کمپوست و بدون تأثیر کود نیتروژن برابر ۱۱/۰۶ میکروگرم در گرم بود و کمترین غلظت آن از اعمال ۷/۵ درصد کمپوست و ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کود نیتروژن (۷/۸۶ میکروگرم در گرم) به دست آمد.

مطالعه برهمکنش کود آلی به همراه آمونیوم بر غلظت فسفر برگ پسته نشان داد که آمونیوم بدون وجود کود آلی باعث افزایش غلظت فسفر برگ گردید که با آزمایش‌های سرنا و همکاران (۳۱) روی پاسخ به تیمار آمونیوم در مرکبات مطابقت دارد. مطالعات نشان می‌دهد که افزایش جزیی در جذب پتاسیم توسط گیاه می‌تواند ناشی از تغییر شکل پتاسیم از اشکال غیرقابل جذب به اشکال قابل جذب باشد (۲۵).

در پژوهشی، قابلیت جذب منیزیم و منگنز در سیترومولو کمتر از پایه‌های نارنج، کاریزو سیترنج ثبت گردید (۲۹). در رابطه با عناصر کم‌مصرف نیز مقدار آهن، روی و بور در برگ پیوندک روی پایه‌های موردبررسی در حد مطلوب، منگنز روی پایه لیمو کم‌تر از حد مطلوب و مس در تمام پایه‌ها بیشتر از حد مطلوب گزارش شد (۲۳). روی عنصری ضروری و کم‌مصرف است که در ساختار آنزیم‌هایی مانند اکسیدو-ردوکتازها، ترانس فرازها، لیازها، ایزومرازها، هیدرولازها و لیگازها شرکت داشته و در سنتز پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم سلول، محافظت غشا از رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها، نقش ایفا می‌کند (۱۶).

جدول ۵- اثر متقابل نیتروژن و کمپوست بر غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف در پایه‌های سیترومِلو، سیترنج و نارنج

Table 5- The interaction effect of nitrogen and compost on micronutrients concentration in citrumelo, citrange and sour orange rootstocks

نیتروژن Nitrogen (mg/kg)	کمپوست Compost (%)	سیترنج Citrange			سیترومِلو Citrumelo			نارنج Sour Orange		
		آهن Fe	روی Zn	مس Cu	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	آهن Fe	روی Zn	مس Cu
		($\mu g.g^{-1}$)								
0	0	116.8 ab	10.76 b	10.50 b	123 bc	8.07 f	11.54 e	61.02 j	19.91 g	9.92 a-d
20	0	80.60 cde	10.79 b	14.63 ab	94.5 e	10.79 bcd	14.63 ab	68.88 fg	24.13 ef	10.27 abc
40	0	64.58 de	8.07 b	12.23 ab	71.0 fg	8.07 f	12.23 cde	64.29 hi	28.14 a	9.34 c-f
80	0	65.04 de	9.72 b	14.61 ab	65.0 gh	7.87 f	14.61 ab	69.39 kg	23.63 ef	9.66 b-e
0	2.5	84.43 cde	11.08 b	12.67 ab	89.1 e	11.08 bcd	12.67 b-e	72.65 de	26.52 abc	11.06 a
20	2.5	93.56 bcd	9.78 b	12.65 ab	131 b	12.58 b	12.56 b-e	83.82 a	27.41 ab	8.88 d-g
40	2.5	114.2 ab	16.32 a	14.23 ab	138 a	16.12 a	14.23 abc	62.66 ij	21.10 g	7.99 g
80	2.5	62.08 e	11.45 b	11.34 b	66.6 gh	9.60 def	11.34 e	70.15 ef	24.85 cde	9.88 a-d
0	5	62.20 e	9.51 b	16.39 a	62.2 gh	8.17 f	15.24 a	74.28 d	22.97 f	9.83 a-d
20	5	64.13 de	10.48 b	11.74 ab	64.1 gh	10.48 cde	11.74 e	78.19 c	26.00 bcd	8.44 efg
40	5	68.20 de	8.90 b	11.76 ab	68.3 gh	8.93 ef	11.76 e	81.85 ab	24.80 c-f	9.08 c-g
80	5	66.64 de	7.97 b	14.19 ab	62.1 h	7.973 f	14.19 abc	71.30 ef	24.27 def	9.39 c-f
0	7.5	125.3 a	11.59 b	13.40 ab	118 c	11.59 bc	13.40 a-de	70.70 ef	24.05 ef	10.94 ab
20	7.5	77.84 cde	10.06 b	14.05 ab	77.8 c	12.49 b	14.05 a-d	64.62 hi	27.09 ab	8.19 hg
40	7.5	97.54 bc	15.32 a	10.72 b	107 d	14.65 a	8.840 f	79.68 bc	20.01 g	7.87 g
80	7.5	88.58 b-e	14.93 a	12.02 ab	105 d	14.93 a	12.02 de	66.84 gh	23.77 ef	8.94 d-g

افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فعالیت فسفوانیول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز در بافت‌های گیاهی و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور عنصر روی را سبب می‌شود (۲۷ و ۳۷). در بررسی اثر تلفیقی دو کود آلی (گوسفندی) و شیمیایی (نیتروژن) در برگ پرتقال تامسون روند افزایشی برای عنصر آهن گزارش شد (۱۴). لی‌یانگ و همکاران (۱۸) گزارش کردند که افزایش قابلیت دسترسی روی و آهن در خاک، باعث افزایش فراهمی این عناصر توسط گیاه می‌شود. در پژوهش دیگری، اثر تیمارهای کودی (آزولا، آزوکمپوست، کود گاوی و ورمی‌کمپوست و نیز کود شیمیایی کامل) بر مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در برگ و میوه کیوی معنی‌دار بود و در تمام تیمارهای کودی نسبت به شاهد (تیمار بدون کود) افزایش نشان داد. غلظت اکثر عناصر غذایی در برگ کیوی تیمار شده برای کودهای آلی (با استثناء کاربرد آزولا) بیشتر از تیمار کود شیمیایی بود (۲۲).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی استفاده همزمان از کود نیتروژن (سولفات آمونیوم) و کود کمپوست صنایع چوب و کاغذ مازندران باعث بهبود شاخص‌های رشد رویشی در دو پایه سیترنج و سیترمِلو شد. در پایه سیترومِلو، رشد ارتفاعی با افزایش سطح مصرف نیتروژن در سطوح مختلف کمپوست افزایش یافت. از روند کلی داده‌ها می‌توان دریافت که مصرف ۲/۵ درصد کمپوست بهترین رشد ارتفاعی را در این پایه ایجاد کرد.

در پایه‌های سیترومِلو و سیترنج، همراه با افزایش سطح نیتروژن روند افزایشی در تعداد برگ‌ها مشاهده شد. در پایه سیترومِلو و سیترنج بیشترین تعداد برگ، در نتیجه ترکیبی از تیمارهای کود کمپوست گرانوله گوگردی و نیتروژن به دست آمد. این نتایج مشابه گزارش‌های چاپ شده سایر محققین می‌باشد. در حالی‌که در پایه نارنج مصرف سطوح بالای کمپوست (۵ و ۷/۵ درصد) موجب کاهش شاخص‌های رشد رویشی شد. حساسیت پایه نارنج به غلظت‌های بالای کمپوست گرانوله گوگردی ممکن است به دلیل وجود ترکیبات مضری از قبیل فلزات سنگین در این کود باشد که ضرورت بررسی و تحقیق در این مورد را نشان می‌دهد.

غلظت نیتروژن برگ سیترومِلو با غلظت نیتروژن برگ در پایه‌های سیترنج و نارنج متفاوت بود و بیشترین غلظت آن در ترکیب تیماری کمپوست و نیتروژن متمایزی به‌دست آمد. داده‌های این تحقیق نشان دادند که پایه‌ها بر غلظت عناصر غذایی برگ موثر هستند. این نتیجه با نتایج سایر پژوهش‌های انجام شده روی مرکبات در تطابق است. این امر به‌وضوح تفاوت‌های ژنتیکی پایه‌ها بویژه تفاوت در توسعه سیستم ریشه‌ای و توان جذب عناصر غذایی را نشان

می‌دهد.

با توجه به شاخص‌های رشد رویشی و غلظت عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در برگ، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای رسیدن به رشد رویشی حداکثر در پایه سیترومیلو می‌توان ۲/۵ درصد وزنی کود کمپوست تولیدی شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران و ۴۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم خاک نیتروژن مصرف کرد. همچنین در پایه‌های سیترنج و نارنج مصرف ۲/۵ درصد کود کمپوست و ۸۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم خاک نیتروژن بیشترین رشد رویشی در شرایطی مشابه با شرایط این پژوهش را به همراه خواهد داشت.

مصرف ۸۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم خاک نیتروژن، معادل ۱/۸ گرم سولفات آمونیوم، برای هر گلدان ۴/۵ کیلوگرمی (وزن تر) می‌باشد. با فرض ۱۴ هزار گلدان در هر هکتار، برای هر مرحله مصرف کود، به ۲۵/۲ کیلوگرم کود سولفات آمونیوم نیاز می‌باشد.

بنابراین بکارگیری این نتایج و پرهیز از روش مصرف سنتی و بدون محاسبه کود، می‌تواند مصرف بهینه کود نیتروژنی را در نهالستان‌های مرکبات تضمین کرده، از آبشویی و ایجاد آلودگی‌های نیتراتی آب‌های زیر زمینی ممانعت نماید. ضمن اینکه نهال‌های شاداب و عاری از کمبودهای عناصر غذایی تولید خواهد شد که به‌عنوان پایه نقش بسیار مفید و موثری در رشد رویشی و عملکرد پیوندک (ارقام مختلف مرکبات که روی این پایه‌ها پیوند زده می‌شوند) ایفا خواهد نمود.

سپاسگزاری

از کارکنان محترم ایستگاه تحقیقات باغبانی قائم‌شهر که در فراهم نمودن امکانات جهت اجرای این پژوهش همکاری لازم را مبذول داشتند تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Asadi Kangarshahi A., Malakouti M.J., and Emdad M.R. 2004. Effect of Irrigation Methods and Balanced Fertilization on The Yield and Water Use Efficiency of Citrus in Mazandaran. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 18(2): 193-197. (In Persian with English abstract)

2- Bhogal A., Nicholson F.A., Chambers B.J., and Shepherd M.A. 2003. Effects of past sewage sludge additions on heavy metal availability in light textured soils: implications for crop yields and metal uptakes. Environmental Pollution 121(3): 413-423.

3- Blake L., Mercik S., Koerschens M., Goulding K.W.T., Stempen S., Weigel A., Poulton P.R., and Powlson D.S. 1999. Potassium content in soil, uptake in plants and the potassium balance in three European long-term field experiments. Plant and Soil 2: 1-14.

4- Cáceres R., Malińska K., and Marfà O. 2018. Nitrification within composting: a review. Waste Management 72: 119-137.

5- Ch'ng H.Y., Haruna A.O., Majid N.M.N.A., and Jalloh M.B. 2019. Improving soil phosphorus availability and yield of *Zea mays* L. using biochar and compost derived from agro-industrial wastes. Italian Journal of Agronomy 141: 34-42.

6- Chen H., Jia Y., Xu H., Wang Y., Zhou Y., Huang Z., Yang L., Li Y., Chen L.-S., and Guo J. 2020. Ammonium nutrition inhibits plant growth and nitrogen uptake in citrus seedlings. Scientia Horticulturae 272: 1-10.

7- Dubey A.K., and Sharma R.M. 2016. Effect of rootstocks on tree growth, yield, quality and leaf mineral composition of lemon *(Citrus limon* (L.) Burm). Scientia Horticulturae 200: 131-136.

8- Ebadzadeh H., Ahmadi K., Mohammadinia Afrozi S., Abbastaghani R., Abbasi M., and Yari S. 2018. Agricultural Statistics of 2014-2015 Crop Year. Retrieved Aguset 29, 2020. Ministry of Agriculture Jihad. Tehran. Iran, from: https://maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/amarnamehj2-96-site.pdf (In Persian with English abstract)

9- Emami A. 1996. Methods of Plant Analysis (Vol. 2). Soil and Water Research Institute, 282p. (In Persian)

10- Estrada-Bonilla G.A., Durrer A., and Cardoso E.J. 2021. Use of compost and phosphate-solubilizing bacteria affect sugarcane mineral nutrition, phosphorus availability, and the soil bacterial community. Applied Soil Ecology 157: 103760. 1-9.

11- Florissen P. 1999. New Valencia Clones, Common Orange Varieties and Rootstocks for Improved Fresh Juice Production. Gordon, N.S.W: Horticultural Research and Development Corporation, 124p.

12- Food and Agriculture Organization. 2020. FAOSTAT. Crops country data. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available from: http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx.

13- França N.d.O., Girardi E.A., Amorim M.D.S., Gesteira A.D.S., Passos O.S., and Soares Filho W.D.S. 2018. Plant growth, yield and fruit quality of *Piemonte tangor* grafted onto 14 rootstocks on the northern coast of the state of Bahia, Brazil. Revista Brasileira de Fruticultura 40(4): 1-8.

14- Gran Malik S., Shahsavani S., and Gharanjik S. 2017. Study on the effect of chemical fertilizer and manure on the chemical properties of orange leaf (Thompson Novel). Soil Management and Sustainable Production 7(3): 91-106. (In Persianwith English abstract)

15- Hartmann H.T., and Kester D. E. 2010. Plant Propagation: Principles and Practices. 8th Ed. Pearson Prentice-Hall, 880p.

16- Hemantaranjan A. 2009. Physiology and biochemical significance of zinc in plants. In: Hemantaranjan A. (Ed.), Advancement in Micronutrient Research, Scientific Publishers 151-178.
17- Hemmat A., Aghilinategh N., Rezainejad Y., and Sadeghi M. 2010. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. Soil and Tillage Research 108(1): 43-50.
18- Liang Yongchao Jin Si, Miroslav Nikolic Yu Peng, Wei Chen and Yun Jiang. 2005. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. Soil Biology and Biochemistry 37(6): 1185-1195.
19- Martínez-Cuenca M.-R., Primo Capella A., and Forner-Giner M. 2016. Influence of Rootstock on Citrus Tree Growth: Effects on Photosynthesis and Carbohydrate Distribution, Plant Size, Yield, Fruit Quality, and Dwarfing Genotypes. In: E. Rigoblo (Ed.), Plant Growth, IntechOpen 107-129.
20- Martinez-Cuenca M.R., Primo-Capella A., Quinones A., Bermejo A., and Forner-Giner M.A. 2017. Rootstock influence on iron uptake responses in Citrus leaves and their regulation under the Fe paradox effect. PeerJ, 5:1-25.
21- Mousavi Dehmoradi S.Z., Gholami M., and Boninasab B. 2015. Investigating the effect of vermicompost fertilizer on the growth of sour orange (*Citrus aurantium*) rootstock. In: Proceedings of the 9th Horticulture Congress, 25-28 January., Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, pp. 212-214.
22- Naranjboni F.H., Ebrahimi R., Moradi B., and Raiesi T. 2018. Effect of fertilizer type and its source on nutrients distribution in kiwifruit leaves and fruit. Journal of Water and Soil 32(1): 59-72. (In Persian with English abstract)
23- Obreza T.T., and Morgan K.T. 2008. Nutrition of Florida Citrus Trees. 2nd Ed. EDIS, Florida, 100p.
24- Padmavathiamma P., Li, L., and Kumari U. 2008. An experimental study of vermi-biowaste composting for agricultural soil improvement. Bioresource Technology 99: 1672-1681.
25- Quaggio J.A., Souza T.R., Bachiega Zambrosi F.C., Marcelli Boaretto R., and Mattos Jr D. 2014. Nitrogen-fertilizer forms affect the nitrogen-use efficiency in fertigated citrus groves. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 1773: 404-411.
26- Raiesi T., Asadi Kangarshahi A., and Golmohammadi M. 2018. Evaluation of nutrient accumulation and translocation indices in three citrus rootstocks. Journal of Land Management 5(2): 137-150. (In Persian)
27- Ravi S., Channal H., Hebsur N., and Dharmatti P. 2010. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Karnataka Journal of Agricultural Sciences 21(3): 382–385.
28- Roosta H.R., Sajjadinia A., Rahimi A., and Schjoerring J.K. 2009. Responses of cucumber plant to NH_4+ and NO_3−nutrition: the relative addition rate technique vs. cultivation at constant nitrogen concentration. Scientia Horticulturae 121(4): 397-403.
29- Sadeghi H., Ali M., and Firouzjaei H. 2018. Effect of citrange, citromello and sour orange rootstocks on some morphological and physiological characteristics and minerals absorbance of limequat. Journal of Crops Improvement 20(1): 101-112. (In Persian with English abstract)
30- Sahrawat K. 2008. Factors affecting nitrification in soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 399(10): 1436-1446.
31- Serna M., Borras R., Legaz F., and Primo-Millo E. 1992. The influence of nitrogen concentration and ammonium/nitrate ratio on N-uptake, mineral composition and yield of citrus. Plant and Soil 147(1): 13-23.
32- Sikora L.J., and Szmidt R.A. 2001. Nitrogen sources, mineralization rates, and nitrogen nutrition benefits to plants from composts. In: P. J. Stoffella and A. K. Brian (Eds.), Compost utilization in horticultural cropping systems, CRC Press, pp.287-305.
33- Soil survey laboratory staff. 1996. Soil Survey laboratory methods manual. Version 3. Soil Survey investigation. Rep. No. 42. USDA. NRCS. Lincoln, NE. p. 643.
34- Song Y., Song C., Hou A., Ren J., Wang X., Cui Q., and Wang M. 2018. Effects of temperature and root additions on soil carbon and nitrogen mineralization in a predominantly permafrost peatland. Catena 165: 381-389.
35- Toplu C., Uygur V., Kaplankıran M., Demirkeser T.H., and Yıldız E. 2012. Effect of citrus rootstocks on leaf mineral composition of ‘okitsu’, ‘clausellina’, and ‘silverhill‘.mandarin cultivars. Journal of Plant Nutrition 35: 1329–1340.
36- Turrión M.B., Bueis T., Lafuente F., López O., San José E., Eleftheriadis A., and R. Mulas 2018. Effects on soil phosphorus dynamics of municipal solid waste compost addition to a burnt and unburnt forest soil. Science of The Total Environment 642: 374-382.
37- Vojodi Mehrabani L., Valizadeh Kamran R., and Hassanpouraghdam M.B. 2017. The Effects of Relative Substitution of Organic Fertilizers on Elementes Content, Some Physiological Traits and Yield of *Lepidium sativum* L., Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 27(3): 63-72. (In Persian with English abstract)
38- Waling I., Van Vark W., Houba V.J.G., and Van der Lee J.J. 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi: Part 7. Plant Analysis Procedures Wageningen Agriculture University.
39- Wutscher H., and Bowman K. 1999. Performance of Valencia'Orange on 21 Rootstocks in Central Florida.

HortScience 34(4): 622-624.
40- Xiao R., Awasthi M.K., Li R., Park J., Pensky S.M., Wang Q., and Zhang Z. 2017. Recent developments in biochar utilization as an additive in organic solid waste composting: a review. Bioresource Technology 246: 203-213.
41- Zhao W., Cai Z., and Xu Z. 2007. Does ammonium-based N addition influence nitrification and acidification in humid subtropical soils of China? Plant and Soil 297(1): 213-221.
42- Zhou X., Jia Z., and Wang D. 2018. Effects of limited phosphorus supply on growth, root morphology and phosphorus uptake in citrus rootstocks seedlings. International Journal of Agriculture and Biology 202: 431-436.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 4, Sep.-Dec. 2021, p. 535-549

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، مهر – آبان ۱۴۰۰، ص. ۵۴۹-۵۳۵

Response of Different Citrus Rootstocks to Sulfur Granular Compost and Nitrogen

M. Mahmoudi[1*]- Sh. Kazemi[2]
Received: 08-06-2021
Accepted: 05-09-2021

Introduction: The consumption of inorganic fertilizers in agricultural ecosystems led to the destruction of soil physical, chemical, and biological characteristics and severely affected the quality of the products. Therefore, the application of compost fertilizers in agricultural lands has been widely considered, and it has been mentioned as the best environmental measure. Rootstock plays a crucial role in the growth of citrus trees. Among all the nutrients needed by citrus, nitrogen has a vital role, and a large amount of this macronutrient is supplied in the soil every year. The release of nutrients from organic matter, especially nitrogen, is slower than the nitrogen release from chemical fertilizers. Rootstock affects the photosynthetic capacity of the transplanted cultivar, which is related to the annual carbohydrate redistribution and is a determining factor for vegetative growth and reproductive development. The growth, yield and fruit quality of cultivars are, therefore, strongly regulated by rootstock. In the recent study, the effects of compost and nitrogen fertilizers on common rootstocks in Mazandaran province, including citrange, citrumelo, and sour orange, were investigated.

Materials and Methods: An experiment was conducted as a completely randomized design at Qaemshahr Horticultural Research Station. The treatments included sulfur granular compost (0, 2.5, 5, and 7.5%), produced by Mazandaran Wood and Paper Industries Company, and pure nitrogen (0, 20, 40, and 80 mg kg^{-1}) in the form of ammonium sulfate. Vegetative growth, including plant height, crown diameter, and the number of leaves, were measured. Also, to study the changes in leaf nutrient concentration, leaf samples were collected, in July and the concentration of nutrients in leaf tissue was measured. A randomized complete block design was conducted at Qaemshahr Horticultural Research Station in 2017. The treatments included sulfur granular compost (0, 2.5, 5, and 7.5%), produced by Mazandaran Wood and Paper Industries Company, and pure nitrogen (0, 20, 40, and 80 mg kg^{-1}) in the form of ammonium sulfate. One-year-old seedlings of the same size from citrange, citrumelo, and sour orange were planted in 7- kg pots containing arable soil and the treatments. The applied soil was analyzed, and its physical and chemical properties were determined. Irrigation of all pots until reaching the field capacity (weight method) was performed uniformly for all treatments. At the end of the growth period, vegetative growth parameters, including plant height, crown diameter, and the number of leaves, were measured. Also, to study the changes in leaf nutrient concentration, fully developed leaves samples were collected, in July and the concentration of nutrients was analyzed. Nitrogen was determined by the Kjeldahl method with a sulfuric acid-hydrogen peroxide mixture. Phosphorus by calorimetric, potassium using a flame photometer, and calcium, magnesium, iron, manganese, zinc, and copper were measured using the flame atomic absorption method.

Results and Discussion: Results showed that the highest nitrogen concentrations in citrange and citrumelo seedlings were 2.92 and 2.97% due to 40 and 80 mg kg^{-1} N and 2.5% compost, respectively. In citrumelo rootstock, plant height increased with enhancing nitrogen application levels at different compost levels. Compost levels did not show a significant increase in citrange height, but the highest height growth was observed at 40 and 80 mg kg^{-1} nitrogen. In the sour orange rootstock, consumption of high levels of compost and nitrogen significantly reduced plant height. In all three rootstocks, the highest concentrations of potassium were observed in high levels of compost and no nitrogen application. The concentration of iron and zinc in citrumelo leaves increased with increasing compost levels. The trend was different in citrumelo so that consumption of 2.5% compost and 40 mg nitrogen fertilizer showed the highest concentration of leaf iron (151 µg g^{-1}), while the application of 5% compost without nitrogen reduced the concentration of iron to 62.2 µg g^{-1}. Changes in citrange zinc concentration were similar to citrumelo. In sour orange, iron concentration changed limitedly and ranged from 83.8 µg g^{-1} in 2.5% compost and 20 mg kg^{-1} nitrogen fertilizer to 61 µg g^{-1} in control. In this rootstock, the

۱- Research Assistant Professor, Soil and Water Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sari, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.mahmoudip@areeo.ac.ir)
۲- Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Iran
DOI: 10.22067/JSW.2021.70354.1053

highest concentration of zinc was obtained from no compost application and 40 mg kg^{-1} nitrogen (28.14 µg g^{-1}), whereas the lowest concentration of iron was observed in control. Citrange seedlings performed better in nutrient uptake than citrumelo and sour orange seedlings. Consumption of 5 and 7.5% levels of compost in sour orange rootstock reduced plant height and crown diameter and caused rosette, led to an increase in the number of leaves. The most effective level of nitrogen in sour oranges was 80 mg kg^{-1} nitrogen. Application of 80 mg kg^{-1} nitrogen and 2.5% compost, and 80 mg kg^{-1} nitrogen and 5% compost led to the highest number of leaves in citrumelo and citrange rootstocks, respectively.

Conclusion: According to vegetative growth and concentration of nutrients data, especially from the nitrogen concentration point of view, maximum vegetative growth was obtained in citrumelo rootstock from 2.5% compost and 40 mg kg^{-1} nitrogen treatment and in citrange and sour orange rootstocks from 2.5% compost and 80 mg kg^{-1} nitrogen treatment.

Keywords: Citrange, Citrumelo, Leaf nutrient composition, Sour orange, Vegetative growth