

سنگ‌های فسفات ایران و جایگزینی آن‌ها به عنوان کودهای فسفاته در کشت زئوپونیک

Iranian Phosphate Rocks and Their Usage as Phosphate Fertilizers in Zeoponic Culture

مریم ذوالفقاری^۱، مصباح بابالار^۲، روح‌انگیز نادری^۳، محمدعلی عسکری^۴
و حسین یزدانی^۵

- ۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، پردیس کشاورزی دانشگاه تهران
- ۲- استاد، پردیس کشاورزی دانشگاه تهران
- ۳- دانشیار، پردیس کشاورزی دانشگاه تهران
- ۴- مربی، پردیس کشاورزی دانشگاه تهران
- ۵- کارشناس باغبانی، پردیس کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۱۱/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۸/۱۴

چکیده

ذوالفقاری، م.، بابالار، م.، نادری، ر.، عسکری، م. ع. و یزدانی، ح. ۱۳۸۸. سنگ‌های فسفات ایران و جایگزینی آن‌ها به عنوان کودهای فسفاته در کشت زئوپونیک. مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۲۵ (۴): ۴۱۵-۴۰۳.

افزایش رو افزون مصرف کودهای فسفاته همراه با افزایش قیمت آن سبب شده است تا بررسی‌های زیادی در خصوص امکان مصرف مستقیم سنگ‌های فسفات صورت گیرد. بسترهای زئوپونیک از دستاوردهای نوین بشر برای بکارگیری سنگ فسفات (آپاتیت) در کشت و پرورش گیاهان می‌باشد. این تحقیق به منظور بررسی کارایی سنگ فسفات ایران در بسترهای زئوپونیک در کشت رز گلخانه‌ای و در طی سال‌های ۸۵-۱۳۸۴ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران صورت گرفت. در این تحقیق دو نوع از سنگ‌های آپاتیت معادن ایران با خصوصیات متفاوت در پنج بستر کشت، همراه با پنج محلول غذایی مختلف برای تغذیه گل‌های رز به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. درصد سنگ آپاتیت در بسترها، غلظت محلول‌ها و همچنین عنصر فسفر در این تحقیق متغیر بود. نتایج آزمایش نشان داد رشد طولی ریشه و وزن خشک ریشه در بستر فاقد سنگ آپاتیت (شاهد) و بسترهایی که میزان سنگ کمتری داشتند، بیشتر از سایر بسترها بود. محلول‌های غذایی متفاوت، اختلاف معنی‌داری بر طول ریشه نشان ندادند، اما درصد ماده خشک تولید شده ریشه با کاهش غلظت محلول‌ها و حذف فسفر از محلول‌ها، کاهش نشان داد. میزان فسفر ریشه در بسترهایی که درصد سنگ آپاتیت کمتری داشتند، بدون اختلاف آماری معنی‌دار بیشتر از سایر بسترها و بستر شاهد بود. همچنین محلول‌هایی با غلظت بالاتر که حاوی عنصر فسفر بودند میزان فسفر بیشتری را در ریشه در مقایسه با محلول‌هایی با غلظت کمتر و بدون فسفر نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: زئوپونیک، خاک فسفات، آپاتیت، بستر کشت و رز.

مقدمه

فسفر یکی از عناصر ضروری، پر مصرف و غیر قابل جایگزین در موجودات زنده است (Rosa et al., ۱۹۸۹) و باید از لحاظ مقدار مصرف با سایر عناصر غذایی دیگر از جمله نیتروژن و پتاسیم در تعادل باشد. مقدار فسفر قابل جذب خاک توسط فاکتورهایی مثل pH خاک، تراکم ریشه، رطوبت خاک و بافت خاک تعیین می‌شود (Lotfallahi et al., ۲۰۰۰). در حال حاضر سالیانه متجاوز از ۶۵۰ هزار تن کود فسفاته در اراضی کشاورزی ایران مصرف می‌شود. از این مقدار حدود ۲۵۰ هزار تن در داخل کشور تولید و بقیه آن از کشورهای دیگر وارد می‌شود. سنگ فسفات یکی از مواد اولیه مهم در تولید کودهای فسفاته می‌باشد. ایجاد صنایع تولید کود، مستلزم صرف هزینه‌های زیادی می‌باشد که برای همه کشورها ایجاد آن میسر نیست (Malakouti, ۱۹۹۹). به منظور کاهش هزینه‌های تولید کودهای فسفاته و کاربرد مستقیم خاک فسفات، روش‌های متفاوتی توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله این روش‌ها می‌توان به کاربرد خاک فسفات همراه با مواد آلی، گوگرد، اسید، سوپر فسفات، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و یاباکتری‌های تیوباسیلوس اشاره نمود (Rosa et al., ۱۹۸۹).

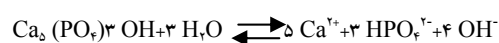
در خاک‌های آهکی ترکیبات فسفاته دارای حلالیت کم و آزادسازی فسفر در این خاک‌ها

نیز اندک است (Salardini, ۱۹۹۲). به دلیل پایین بودن فسفر قابل جذب در سنگ فسفات، همچنین به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن اکثر خاک‌ها، وجود pH بالا، تنش خشکی، وجود بی‌کربنات فراوان در آب‌های آبیاری، کمبود مواد آلی در خاک‌های زراعی کشور، استفاده مستقیم از خاک فسفات در خاک‌های آهکی رایج نیست. ولی نتایج تحقیقات انجام شده توسط محققین مختلف نشان داده است که می‌توان با اعمال تدابیر و روش‌های علمی، قابلیت جذب فسفر را در سنگ فسفات افزایش داد و آن را جایگزین قسمتی از کودهای فسفاته وارداتی نمود.

یکی از این روش‌ها استفاده از روش کشت زئوپونیک می‌باشد که سال‌هاست به طور موفقیت‌آمیزی در کشورهای نظیر کوبا و بلغارستان اجرا می‌شود (Beiersdorfer et al., ۲۰۰۳). روش کشت گیاهی زئوپونیک به عنوان کاشت گیاهان در خاک‌های مصنوعی تعریف شده است که زئولیت‌ها از اجزای اصلی آن هستند. بستر مصنوعی رشد گیاهان که متشکل از زئولیت و فسفات معدنی است، می‌تواند به عنوان یک روش قابل کنترل و احیاشونده کودی برای فراهم ساختن عناصر رشد گیاهی عمل کند. علاوه بر این طبیعت کند رها بودن (Slow releasing) بسترهای زئوپونیک می‌تواند، اثر نامطلوب آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی را که بواسطه آبشویی کودهایی با غلظت و

ساختار آلومینو سیلیکاتی با چارچوب باز دارد، که دارای بارهای منفی است. از خواص مهم زئولیت‌ها، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا (CEC= Cation Exchange Capacity) است (Allen and Andrews, ۱۹۹۷). سنگ فسفات با حلالیت، فسفر خود را آزاد می‌سازد، برای ادامه حلالیت سنگ فسفات باید مواد ناشی از حلالیت آن مثل یون کلسیم از محیط انحلال حذف شود یا اینکه غلظت آن در محلول خاک اطراف ذرات سنگ فسفات پایین نگه داشته شود. اگر در خاک جایگاه‌های تعویض کاتیونی کافی برای جذب یون‌های کلسیم وجود داشته باشد، تا بتواند آن‌ها را از محیط عمل دور کند، فرآیند انحلال سنگ فسفات ادامه می‌یابد و یون فسفات بیشتری آزاد می‌شود (Mackay *et al.*, ۱۹۸۴)؛ (Rajan *et al.*, ۱۹۹۶). بنابراین کاربرد موادی که CEC بالا دارند به حلالیت سنگ فسفات کمک می‌کند. زئولیت دارای CEC بسیار بالایی است (حدود ۲۰۰-۱۰۰ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم) (Shaw and Andrews, ۲۰۰۱) و در نتیجه حضور آن در این بسترها علاوه بر خواص فیزیکی مطلوب، سبب افزایش و ادامه حلالیت سنگ فسفات می‌شود. همچنین به دلیل طبیعت کند رها بودن (Slow releasing) سنگ‌های فسفات، به نظر می‌رسد به کار بردن آنها تحت این شرایط سودمند ر از کودهای فسفاته محلول باشد (Bolland *et al.*, ۱۹۹۵).

حلالیت بسیار بالا، ایجاد شده را کاهش دهد. اندیشه کلی استفاده از روش کاشت زئوپونیک این است که، حلالیت پایینی که توسط آپاتیت نشان داده می‌شود، می‌تواند بوسیله جدا کردن یون کلسیم Ca^{+2} ، بوسیله زئولیت، از طریق تبادل یونی مورد غلبه قرار گیرد. تعادل شیمیایی بین زئولیت، آپاتیت و آب عامل حلالیت آپاتیت می‌شود که یون کلسیم و فسفات را به درون محلول آزاد می‌کند. این واکنش به صورت زیر بیان می‌شود (Beiersdorfer *et al.*, ۲۰۰۳):



همانطور که این واکنش نشان می‌دهد، حلالیت آپاتیت که همان سنگ فسفات است، با کمک زئولیت افزایش می‌یابد.

ناسا (NASA) از ترکیب کلمه زئولیت و هیدروپونیک واژه زئوپونیک را پیشنهاد می‌کند. هدف ناسا از توسعه و ایجاد بسترهای زئوپونیک، استفاده از این بسترها برای پرورش گیاهان در مسافرت‌های فضایی طولانی در سفینه‌های فضایی می‌باشد (Beiersdorfer *et al.*, ۲۰۰۳). با استفاده از تکنولوژی توسعه یافته توسط ناسا می‌توان از این روش ارزشمند در پرورش گیاهان در روی زمین و شرایط نامطلوب نیز بخوبی بهره جست. یکی از استفاده‌های این روش بکارگیری سنگ‌های فسفات است.

زئولیت یک کانی معدنی طبیعی که از رسوب خاکسترهای آتشفشانی درون دریا و آب‌های شور حاصل می‌گردد. این ترکیب

وجود منابع عظیم خاک فسفات در کشور- که به گزارش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی حداقل ۶۴۵ میلیون تن تخمین زده می‌شود- وجود معادن زئولیت در ایران، این تحقیق به منظور ارزیابی در زمینه امکان استفاده از سنگ فسفات ایران در بسترهای زئوپونیک صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۵ در گلخانه‌های گروه باغبانی دانشکده کشاورزی کرج به صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و سه گیاه به عنوان واحد آزمایشی انجام شد. پنج سطح محلول غذایی به عنوان کرت اصلی و پنج نوع بستر به عنوان کرت فرعی (جمعاً ۲۵ کرت در هر تکرار) انتخاب شدند. تعداد ۲۲۵ قلمه ریشه‌دار شده شش ماهه رز رقم "Black Magic" که برای رفع نیاز سرمایی به مدت یک ماه در سردخانه با دمای پنج درجه سانتی‌گراد نگهداری شده بودند در تاریخ ۸ دی ۱۳۸۴ در گلدان‌هایی به قطر ۳۰ cm و ارتفاع ۳۰ cm در پنج بستر کشت مختلف کاشته شدند. پنج بستر بکار رفته شامل M_1 : مخلوط وزنی از ۸۹٪ خاک زراعی + ۱۰٪ کلینوپتیلولیت منقطه سمنان + ۱٪ آپاتیت منقطه جیرود، کوه‌های البرز. M_2 : مخلوط وزنی از ۸۲٪ خاک زراعی + ۱۵٪ کلینوپتیلولیت منقطه سمنان + ۳٪ آپاتیت منقطه جیرود، کوه‌های البرز. M_3 : مخلوط وزنی

آلن و آندریوز (Alen and Andrews, ۱۹۹۷) نتیجه گرفتند که مخلوط کلینوپتیلولیت که مهم‌ترین نوع زئولیت می‌باشد، همراه با سنگ فسفات، حلالیت سنگ فسفات را افزایش می‌دهد. کلسیم در محلول پایین‌تر از حد اپتیمم برای رشد گیاه بود که به دلیل حذف یون کلسیم (Ca^{+2}) از محلول بوسیله‌ی جایگاه‌های تعویض یون در ساختمان کلینوپتیلولیت ————— بود (Allen and Andrews, ۱۹۹۷). لای و ابرل (Lai and Ebrel, ۱۹۸۶)، شوارتز و همکاران (Cheworth *et al.*, ۱۹۸۷) و بارباریک و همکاران (Barbarick *et al.*, ۱۹۹۰) نیز افزایش در فسفات آزاد شده از سنگ‌های فسفات را از طریق افزودن کلینوپتیلولیت گزارش دادند. نتایج بررسی اثر بسترهای زئوپونیک و سطوح مختلف محلول‌دهی بر عملکرد و کیفیت گل بنت‌القنوسول نشان داد، بسترهای زئوپونیک عملکرد بهتری نسبت به سایر بسترها داشتند و محلول‌دهی معمول را ۵۰٪ و حتی بیشتر کاهش دادند. آزمایش با گل‌های حنا، جعفری، بنفشه‌فرنگی، شمعدانی و اطلسی نیز نتایج مشابهی داشته است (ZeoponiX Inc, ۲۰۰۰).

با توجه به مطالب ذکر شده و اهمیت نیاز به فسفر برای تغذیه گیاهان و افزایش روزافزون قیمت کودهای فسفاته و کارایی کم این کودها، خروج ارز فراوان از کشور به منظور وارد کردن کودهای فسفاته و از همه مهم‌تر

کشت محلول‌دهی با فواصل زمانی بیشتر و با رشد گیاهان و گرم شدن هوا افزایش یافت (با فاصله زمانی ۲۴ ساعت و به مدت ۱۵ دقیقه). pH محلول‌های غذایی نهایی با استفاده از اسید نیتریک در حد $0/2 \pm 6/5$ تنظیم گردید. به منظور جلوگیری از تجمع نمک در بستر کاشت، عملیات آبخوبی بسترها در مراحل مختلف رشد انجام شد (هر ۱۵ روز یکبار).

در اوایل دوره‌ی کشت جهت تحریک رشد بوته‌ها، سرزنی یا به اصطلاح هرس سبز صورت گرفت. میانگین دمای روزانه در محدوده ۱۵-۳۰ و میانگین شبانه در محدوده ۱۸-۱۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشت. محدوده رطوبت گلخانه ۸۰-۶۰ درصد بود. سایر عملیات داشت نظیر مبارزه با آفات و بیماری‌ها نیز در حد امکان و بصورت مطلوب انجام گردید. این آزمایش در تاریخ ۲۵ خرداد ۸۵، پس از ۶ ماه پایان پذیرفت.

صفتی که در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت شامل طول ریشه که پس از پایان یافتن دوره‌ی کشت، بوته‌ها از گلدان‌ها خارج شده و ریشه گیاه توسط آب مقطر شسته و طول ریشه بوسیله خط‌کش فلزی دقیق اندازه‌گیری شد. درصد ماده خشک ریشه که از تفاضل وزن تر و وزن خشک ریشه خشک شده در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد بمدت ۴۸ ساعت، محاسبه گردید. میزان فسفر ریشه با استفاده از روش عصاره‌گیری و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. اندازه‌گیری میزان

از ۸۹٪ خاک زراعی + ۱۰٪ کلینوپتیلولیت منقطه سمنان + ۱٪ آپاتیت منطقه موندون- شیخ هابیل، کوه‌های زاگرس. M_4 : مخلوط وزنی از ۸۲٪ خاک زراعی + ۱۵٪ کلینوپتیلولیت منقطه سمنان + ۳٪ آپاتیت منطقه موندون- شیخ هابیل، کوه‌های زاگرس. M_5 : خاک زراعی به تنهایی که به عنوان بستر شاهد در نظر گرفته شده است تا بتوان بدون حضور کلینوپتیلولیت و آپاتیت تاثیر این مواد را در بستر کشت بررسی کرد. بسترها در گلدان‌های پلاستیکی ریخته شد و با درصدهای ترکیبی، مقدار بستر ریخته شده در گلدان‌ها حدود ۱۲ کیلوگرم بود.

محلول‌های غذایی مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر بودند:

S_1 : محلول استاندارد کوئیک و لسن (Coïc and Lesaint, ۱۹۷۶) به عنوان محلول شاهد (جدول ۱). S_2 : محلول یک دوم غلظت کوئیک و لسن (جدول ۲). S_3 : محلول یک دوم غلظت کوئیک و لسن بدون عنصر فسفر (جدول ۳). S_4 : محلول با غلظت مشابه غلظت عصاره خاک در شرایط خوب (جدول ۴). S_5 : محلول با غلظت مشابه غلظت عصاره خاک در شرایط خوب بدون عنصر فسفر (جدول ۵). مقدار عناصر کم مصرف در تمام محلول‌های بکار رفته یکسان بود (جدول ۶). بمنظور تسهیل مدیریت محلول‌رسانی، از پمپ‌های مناسب استفاده شد که از طریق تایمر الکتریکی و با زمان‌بندی مناسب محلول غذایی را به قطره چکان‌ها ارسال می‌کردند. در ابتدای دوره‌ی

جدول ۱- محلول غذایی شماره یک (S_۱)

Table ۱. Nutrient solution number one (S_۱)

S _۱	NO _۳	PO _۴	SO _۴	Cl	Total
K	۳٫۸	۰٫۶۰			۵٫۲
Na		۰٫۸۰		۰٫۲	۰٫۲
Ca	۶٫۲				۶٫۲
Mg			۱٫۵		۱٫۵
NH _۴	۲٫۰	۰٫۳۰			۲٫۰
H		۱٫۶۰			۲٫۰
Total	۱۲٫۰	۳٫۳	۱٫۵	۰٫۲	۱۷٫۰

جدول ۲- محلول غذایی شماره دو (S_۲)

Table ۲. Nutrient solution number two (S_۲)

S _۲	NO _۳	PO _۴	SO _۴	Cl	Total
K	۱٫۹	۰٫۳۰			۲٫۶۰
Na		۰٫۴۰		۰٫۱	۰٫۱۰
Ca	۳٫۱				۳٫۱۰
Mg			۰٫۷۵		۰٫۷۵
NH _۴	۱٫۰	۰٫۸۰			۱٫۰۰
H		۰٫۱۵			۰٫۹۵
Total	۶٫۰	۱٫۶۵	۰٫۷۵	۰٫۱	۸٫۵۰

جدول ۳- محلول غذایی شماره سه (S_۳)

Table ۳. Nutrient solution number three (S_۳)

S _۳	NO _۳	PO _۴	SO _۴	Cl	Total
K	۲٫۶				۲٫۶
Na				۰٫۱	۰٫۱
Ca	۳٫۸				۳٫۸
Mg			۱٫۰		۱٫۰
NH _۴	۱٫۰				۱٫۰
H					
Total	۷٫۴	-	۱٫۰	۰٫۱	۸٫۵

جدول ۴- محلول غذایی شماره چهار (S_۴)

Table ۴. Nutrient solution number four (S_۴)

S _۴	NO _۳	PO _۴	SO _۴	Cl	Total
K	۱٫۰	۰٫۲۰	۰٫۲۵		۱٫۷۵
Na		۰٫۳۰		۰٫۱	۰٫۱۰
Ca	۱٫۵				۱٫۵۰
Mg			۰٫۷۵		۰٫۷۵
NH _۴		۰٫۱۰			

H		۰,۶۰			۰,۷۰
Total	۲,۵	۱,۲	۱,۰	۰,۱	۴,۸۰

جدول ۵- محلول غذایی شماره پنج (S_۵)Table ۵. Nutrient solution number five (S_۵)

S _f	NO _۳	PO _۴	SO _۴	Cl	Total
K	۱,۵		۰,۲۵		۱,۷۵
Na				۰,۱	۰,۱۰
Ca	۲,۲				۱,۵۰
Mg			۰,۷۵		۰,۷۵
NH _۴					
H					۰,۷۰
Total	۳,۷	-	۱,۰	۰,۱	۴,۸۰

جدول ۶- مقادیر عناصر غذایی کم مصرف

Table ۶. Micro nutrient content

عناصر غذایی کم مصرف Micro nutrient	mg/L
H _۳ BO _۳	۱,۵۰
CuSO _۴ ·۵H _۲ O	۰,۲۵
ZnSO _۴ ·۷H _۲ O	۱,۰۰
MnSO _۴	۲,۰۰
(NH _۴) _۶ MO _۷ O _{۲۴} ·۴H _۲ O	۰,۰۵
EDTA-Fe	۱۰,۰۰

نیترژن ریشه با استفاده از روش کج‌لدال صورت گرفت. میزان کلسیم و پتاسیم ریشه با استفاده از روش عصاره‌گیری و توسط دستگاه فلیم فتومتر قرائت شد.

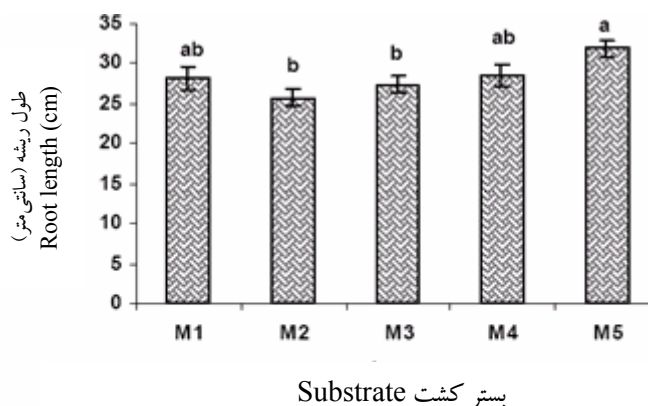
تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و SAS، و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰.۵٪ و رسم نمودارها و جداول با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری رشد طولی ریشه‌ها نشان داد که اثر محلول‌های غذایی مختلف بکار رفته در آزمایش بر رشد طولی ریشه معنی‌دار نبود. اما اثر بسترهای کشت بر طول ریشه تفاوت معنی‌داری داشتند. بر اساس مقایسه میانگین‌ها بستر M_۵ (شاهد) بیشترین طول ریشه را در بوته‌های رز ایجاد کرد و نتایج

حاصل از بسترهای M_1 و M_4 با نتیجه بستر شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند. بسترهای M_2 و M_3 کمترین رشد طولی ریشه را ایجاد کردند (شکل ۱).

اثر متفاوت محلول‌های غذایی و همچنین بسترهای کشت بر درصد ماده خشک ریشه



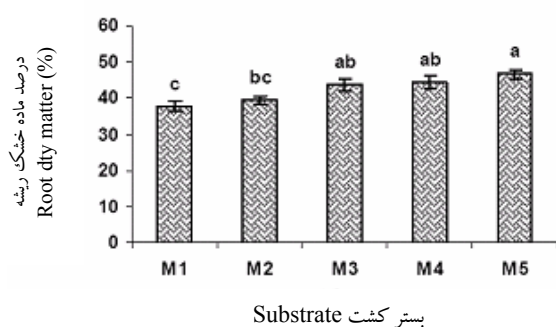
شکل ۱- اثر بسترهای کشت بر طول ریشه (سانتی‌متر)

Fig. ۱. Effect of different substrates on root length

ماده خشک در ریشه باشد. در مقایسه نتایج رشد ریشه در بسترهای مختلف کشت، رشد طولی و درصد ماده خشک تولید شده در ریشه در بستر شاهد که تنها شامل خاک زراعی است و هیچ یک از مواد کلینوپتیلولیت و آپاتیت را ندارد، بیشتر و رشد ریشه در بسترهای دیگر کمتر بوده و ریشه توانایی نفوذ عمقی در این بسترها را نداشته است. از آنجا که موادی که به بستر کشت تحت عنوان مواد زئوپونیک افزوده شده (مخلوط کلینوپتیلولیت و آپاتیت) دارای چگالی بالا هستند و برای عملکرد بهتر در ابعاد بسیار ریز (۱ میلی‌متر) استفاده شدند، ممکن است سبب سنگین شدن بیش از حد بستر کشت شده باشند و اجازه رشد بیشتر و نفوذ عمقی را به ریشه نداده باشند در نتیجه رشد آنها در مقایسه با بستر شاهد که خاک زراعی با بافت خوب است، کمتر شده است (البته این موضوع در آزمایشی دیگر که در ادامه طرح در حال انجام است، با تغییر مقدار درصد وزنی ترکیبات بکار رفته و اضافه کردن پرلیت برای افزایش

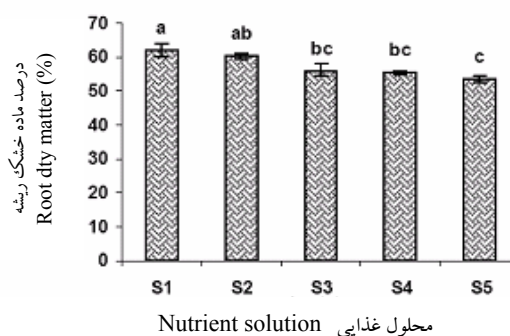
معنی‌دار بود. در بین محلول‌ها، محلول غذایی S_1 (شاهد) بیشترین درصد ماده خشک ریشه را ایجاد کرده و محلول غذایی S_2 تفاوت معنی‌داری با آن نشان نداد. محلول غذایی S_5 کمترین درصد ماده خشک ریشه را داشت (شکل ۲). در بین بسترها بستر M_5 (شاهد) بیشترین درصد ماده خشک ریشه را نشان داد، اما نتایج بسترهای M_3 و M_4 نیز مشابه با بستر شاهد بود و بستر M_1 کمترین درصد ماده خشک ریشه را در بین سایر بسترها ایجاد نمود (شکل ۳).

در بررسی اثر محلول‌های غذایی متفاوت بر شاخص‌های رشد ریشه، محلول‌های غذایی اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند و فقط درصد ماده خشک ریشه با تغذیه محلول غذایی S_1 بیشتر و با تغذیه محلول غذایی S_5 کمتر بود که دلیل آن، بالاتر بودن غلظت محلول غذایی S_1 و بالاتر بودن میزان فسفر در این محلول غذایی در مقایسه با سایر محلول‌ها می‌باشد که می‌تواند اثر تغذیه مطلوب و کامل عناصر را بر تجمع



شکل ۳- تاثیر بسترهای کشت در درصد ماده خشک ریشه

Fig. ۳. Effect of different substrates on % root dry matter



شکل ۲- تاثیر محلول‌های غذایی بر درصد ماده خشک ریشه

Fig. ۳. Effect of different Nutrient solution on % root dry matter

معنی داری داشت. به طوری که با تغذیه محلول غذایی S_۵ بالاترین مقدار کلسیم ریشه و با تغذیه محلول غذایی S_۳ کمترین مقدار کلسیم در ریشه اندازه گیری شد (جدول ۷). مقدار پتاسیم ریشه در تیمارهای مختلف محلول غذایی و بسترهای کشت تفاوت معنی داری نشان داد. محلول غذایی S_۴ بیشترین مقدار پتاسیم ریشه و محلول غذایی S_۵ کمترین مقدار پتاسیم ریشه را داشت (جدول ۷). در مقایسه بین بسترها با بستر M_۵ (شاهد) بیشترین و با بسترهای M_۳ و M_۴ کمترین مقدار پتاسیم ریشه را نشان داد (جدول ۸). مقدار نیتروژن ریشه در اثر تیمار محلول غذایی S_۱ (شاهد) بیشترین و محلول غذایی S_۳ کمترین بود. ولی سایر محلول‌های غذایی از نظر تأثیر بر مقدار نیتروژن ریشه، تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۷).

مقدار نیتروژن ریشه در بستر M_۳ بیشترین و در بستر M_۴ در مقایسه با سایر بسترها کمترین بود (جدول ۸). بین محلول‌های غذایی S_۱ و S_۵ تفاوت معنی داری در میزان فسفر ریشه مشاهده

نمود پذیرد بسترهای مورد نظر تصحیح شده است).

طبق نتایج این آزمایش مقدار فسفر ریشه با تغذیه محلول S_۱ (شاهد) که بیشترین غلظت را در بین محلول‌های غذایی داشته، بالاترین مقدار بود و با کاهش غلظت محلول‌های غذایی و حذف عنصر فسفر از محلول در تیمارها، مقدار فسفر ریشه نیز کاهش یافت به طوری که با تغذیه محلول غذایی S_۵ که محلولی با کمترین غلظت و بدون عنصر فسفر بود، کمترین مقدار فسفر را نشان داد اما تفاوت مشاهده شده بین تیمارها از لحاظ آماری معنی دار نبود (جدول ۷). در بررسی مقدار فسفر ریشه در بسترهای کشت متفاوت، مقدار فسفر ریشه در بسترهای M_۱ و M_۳ در مقایسه با سایر بسترها بیشتر بود اما تفاوت بین این بسترها با دیگر بسترها از لحاظ آماری معنی دار نبود (جدول ۸). مقدار کلسیم ریشه تحت تأثیر تیمار بسترهای کشت تفاوت معنی داری نشان نداد اما محلول‌های غذایی مختلف بر مقدار کلسیم تأثیر

جدول ۷- تغییرات میزان عناصر غذایی ریشه گیاه در محلول‌های مختلف غذایی

Tabla ۷. Variation in nutrient content in roots with different to nutrient solutions

محلول غذایی Nurtrient solution	فسفر (درصد کل) Phosphorous content (% total)	پتاسیم (درصد کل) Potassium content (% total)	کلسیم (درصد کل) Calcium content (% total)	نیترژن (درصد کل) Nitrogen content (% total)
S۱	۰,۲۸۶a	۱,۶۹۱a	۰,۹۹۵b	۲,۳۸۲a
S۲	۰,۲۷۴a	۱,۶۷۲a	۰,۹۵۴bc	۱,۹۳۱b
S۳	۰,۲۵۳a	۱,۷۸۰a	۰,۷۲۳c	۱,۴۷۰c
S۴	۰,۲۶۱a	۱,۸۳۱a	۱,۱۰۰b	۱,۹۷۰b
S۵	۰,۲۱۸a	۱,۲۰۱b	۱,۴۱۰a	۱,۹۷۴b

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the ۵% of probability level-using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۸- تغییرات میزان عناصر ریشه گیاه در بسترهای مختلف کشت

Tabla ۸. Variation in nutrient content in roots with different substrate

بستر Substrate	فسفر (درصد کل) Phosphorous content (% total)	پتاسیم (درصد کل) Potassium content (% total)	کلسیم (درصد کل) Calcium content (% total)	نیترژن (درصد کل) Nitrogen content (% total)
M۱	۰,۲۸۶a	۱,۲۷۰b	۱,۰۹۴a	۱,۹۹۲b
M۲	۰,۲۳۳a	۱,۴۴۱ab	۱,۱۰۲a	۲,۰۸۱a
M۳	۰,۲۷۵a	۱,۰۹۱c	۰,۹۷۹a	۲,۰۸۴a
M۴	۰,۲۵۶a	۱,۲۳۰bc	۱,۰۹۱a	۱,۴۹۰c
M۵	۰,۲۴۲a	۱,۶۹۰a	۰,۹۲۱a	۲,۰۸۰a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the ۵% of probability level-using Duncan's Multiple Range Test.

لحاظ آماری معنی‌داری نبود. احتمالاً تغذیه با محلول‌های غذایی کامل توانسته است کمبود فسفر در بسترهایی با مقدار کمتر آپاتیت را جبران کند. اما بدلائل دیگر شاید بتوان قضاوت دیگری از نتایج حاصل از میزان فسفر ریشه

نشد. در بررسی میزان عناصر در ریشه تحت تأثیر تیمارهای مختلف بسترهای کشت، هر چند میزان فسفر ریشه در بسترهای M_۱ و M_۳ که مقدار سنگ آپاتیت بیشتری دارند بالاتر از سایر بسترهای کشت بود. اما تفاوت بین بسترها از

که حلالیت سنگ‌های فسفات با افزایش pH تا حدود ۵/۵ کاهش می‌یابد و سرعت کاهش حلالیت با افزایش pH بالاتر از ۵/۵ بسیار بیشتر بود. مقدار سایر عناصر در بستر شاهد بیشتر از سایر بسترهاست که نشان از جذب سریع و آسان تر عناصر توسط ریشه در خاک زراعی بود.

سپاسگزاری

از صندوق حمایت از پژوهشگران دانشگاه تهران جهت تامین اعتبار این طرح تحقیقاتی مدیریت محترم گروه علوم باغبانی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران جهت تامین امکانات و همکاران وزارت صنایع و معادن برای در اختیار قرار دادن سنگ‌های آپاتیت و زئولیت سپاسگزاری می‌شود.

داشت. مثلاً به دلیل انحلال پایین خاک فسفات و انحلال‌پذیری آن در شرایط خاصی مثل pH پایین و دوره زمانی طولانی‌تر، شاید بتوان گفت که خاک فسفات بکار رفته در بسترهای کشت در این پژوهش نتوانست در دوره‌ی کشت بوته‌های رز که تقریباً کوتاه (شش ماه) بود، فسفر خود را آزاد سازد. هدلی و بولان (Hedley and Bolan, ۲۰۰۳) گزارش دادند قبل از اینکه سنگ‌های فسفات به طور موثری شروع به فعال شدن کنند، ممکن است یک تأخیر زمانی وجود داشته باشد. اجزای تشکیل‌دهنده بسترهای کشت شامل خاک زراعی، کلینوپتیلولیت و آپاتیت دارای pH حدود ۸ بودند که بالا بودن سطح pH در بسترها خود از موارد ایجادکننده اختلال در امر حلالیت سنگ‌های آپاتیت است. بولان و هدلی (Bolan and Hedley, ۱۹۹۰) نشان دادند

References

- Allen, E. R., and Andrews, R. ۱۹۹۷. Space Age Soil Mix uses Centuries-old Zeolites, Golf Course Management.
- Barbarick, K. A., Lai, T. M., and Ebrel, D. D. ۱۹۹۰. Exchange Fertilizer (Phosphate Rock plus Ammonium-Zeolite) Effects on Sorghum-Sudangrass. Soil Science Society of America Journal Abstract.
- Beiersdorfer, R. E., Ming, D. W., and Galindo, C. ۲۰۰۳. Solubility and cation exchange properties of Zeoponic substrate. Elsevier Science Direct ۶۱. Issues ۱-۳: ۲۳۱-۲۴۷.

- Bolan, N. S., and Hedly, M. J. ۱۹۹۰.** Dissolution of phosphate rocks in soils. ۲. Effect of pH on the dissolution and plant availability of phosphate rock in soil with pH dependent charge. Fertilizer Research ۲۴: ۱۲۵-۱۳۴.
- Bolland, M. D. A., Clarke, M. F., and Yeates, J. S., ۱۹۹۵.** Effectiveness of rock phosphate, coastal super phosphate and triple super phosphate for pasture on deep sandy soils. Fertilizer Research ۴۱: ۱۲۹-۱۴۳.
- Cheworth, W., Straaten, P. V., Smith, P., and Sandra, S. ۱۹۸۷.** Applied clay Science Abstract.
- Coic, Y., and Lesaint, C. ۱۹۷۶.** Influence de la modalité de deficiencia en phosphore sur l'équilibre photosynthèse protidosynthèse. Academic d'agriculture de France: ۱۲۵۱-۱۲۵۶.
- Greener, J. E., Ming, D. W., Henderson, K. E., and Galindo, C. Jr. ۲۰۰۳.** Common ion effects in zeoponic substrates: Wheat Plant Experiment. Elsevier Science Direct. Microporous and Mesoporous Materials ۶۱. Issue ۱-۳: ۲۲۳-۲۳۰.
- Hedley, M. J., and Bolan, N. S., ۲۰۰۳.** Key outputs from reactive phosphate rock research in New Zealand. Latest developments and practical experiences. Proceedings of International Meeting Kuala Lumpur, ۱۶-۲۰ July ۲۰۰۱. Muscle Shoals, USA, IFDC. ۴۴۱ pp.
- Lai, T. M. and Ebrel, D. D. ۱۹۸۶.** Zeolites. ۱۲۹ pp.
- Lotfallahi, M., Malakouti, M. J., Khavazi, K., and Besharati, H. ۲۰۰۰.** Methods of direct use of phosphate rocks in increasing Maize yield in Karaj. Soil & Water ۱۲ (۱۱): ۵۵-۵۹.

- Mackay, A. D., Sayres, J. K., and Gregg, P. E. H. ۱۹۸۴.** Ability of chemical extraction procedures to assess the agronomic effectiveness of phosphate rock materials. *New Zealand Journal of Agricultural Research* ۲۷: ۲۱۹-۲۳۰.
- Malakouti, M. J. ۱۹۹۹.** Sustainable agriculture and yield increasing with optimization fertilizer use in Iran (۲nd Edition). Agriculture Education Publication. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Karaj, Iran.
- Nourqolipour, F. ۲۰۰۴.** Investigation the effect of phosphate rock, sulphur and Tiobasillus on quantitative yield, oil and protein of soybean grains. Proceeding of First Iranian Congress of Oil Industry.
- Rajan, S. S. S., Watkinson, J. H., and Sinclair, A. G. ۱۹۹۶.** Phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy* ۵۷: ۷۸-۱۵۹.
- Rosa, M. C., Muchovej, J. J., and Alvarez, M. V. H. ۱۹۸۹.** Temporal relations of phosphorous fractions in an oxisol amended with rock phosphate and Thiobacillus thiooxidans. *Soil Science Society of America Journal* ۵۳: ۱۰۹۶-۱۱۰۰.
- Salardini, A. A. ۱۹۹۲.** Soil fertility. Tehran University Publications. No. ۱۷۳۹.
- Shaw, J. W., and Andrews, R. D. ۲۰۰۱.** Cation exchange capacity affects green turf growth. *Golf Course Management*.
- Zeoponix, Inc. and Boulder Innovative Technologies, Inc. ۲۰۰۰.** Zeoponix@zeoponix.com.