



ضرورت استفاده از سنگ فسفات و میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات در کشت کلزا

علیرضا فلاح نصرت آباد*

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

چکیده

فسفر بعد از نیتروژن از مهمترین عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان به خصوص کلزا می‌باشد. این عنصر نقش‌های زیادی از جمله تولید و انتقال انرژی، در ساختمان غشای سلول، توسعه سیستم ریشه‌ای، کمیت و کیفیت محصول دارد. بهترین pH برای جذب آن حدود ۶/۵ بوده ولی واکنش اکثر خاک‌های کشور ما متاسفانه قلیایی بوده و بیشتر فسفر ورودی به خاک در خاک‌های قلیایی و اسیدی از راه ترکیب با عناصر کلسیم، منیزیم، آهن و آلومینیم ترکیب شده و از دسترس گیاهان خارج می‌گردد. لذا غلظت فسفر محلول در خاک برعکس سایر عناصر ماکرو که در حد میلی‌مولار هستند بسیار کم و در اندازه میکرومولار می‌باشد. تامین فسفر مورد نیاز گیاهان عمدتاً از طریق کودهای شیمیایی انجام می‌گیرد ولی قیمت این کودها روز به روز در حال افزایش بوده و عمدتاً وارداتی بوده و ارز زیادی از کشور خارج می‌کند، همچنین در شرایط تحریم شاید واردات امکان پذیر نباشد. این در حالی است که می‌توان از منابع داخلی سنگ فسفات ارزان قیمت به همراه میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات جهت تامین فسفر گیاهان استفاده کرد. کلزا یکی از گیاهانی است که دارای توانایی تولید اسیدهای آلی در ریشه بوده و از این طریق باعث انحلال سنگ فسفات می‌شود. لذا استفاده از این میکروارگانیسم‌ها و سنگ فسفات در کشت کلزا با ترشح اسیدهای آلی، معدنی و تولید آنزیم فسفاتاز باعث انحلال فسفات‌های معدنی و آلی شده و از رسوب فسفر جلوگیری و غلظت فسفر محلول و جذب شده را افزایش داده و عملکرد کمی و کیفی گیاه را بهبود می‌بخشد.

واژه‌های کلیدی: انحلال، حل‌کننده فسفات، سنگ فسفات، کلزا.

بیان مسئله

فسفر یکی از عناصر مهم و پرنیاز موجودات زنده و گیاهان است که در بسیاری از مناطق جهان از جمله ایران محدودکننده رشد گیاهان می باشد (والپولا و یون، ۲۰۱۲؛ لاما و همکاران، ۲۰۱۴). این عنصر در توسعه سیستم ریشه‌ای و تسریع رشد، پنجه‌زنی، رسیدگی محصول، تشکیل دانه و کیفیت و کمیت گیاهان موثر است (شارما و همکاران، ۲۰۱۳؛ ویکرام و حمزه زرقانی، ۲۰۰۸). اگرچه مقدار فسفر کل در خاکها زیاد است ولی مقدار فسفر قابل دسترس گیاه بسیار کم می باشد (شارما و همکاران، ۲۰۱۳). در برخی گزارشات مقدار فسفر قابل دسترس خاک بسیار پایین است و در حد یک میلی گرم در یک میلیارد (ppb) گزارش شده است (والپولا و یون، ۲۰۱۲؛ خان و همکاران، ۲۰۰۹). جهت تأمین فسفر مورد نیاز گیاه راه کارهایی از جمله آزاد سازی فسفر کل خاک یا اضافه کردن فسفر به صورت کود وجود دارند ولی به علت از دسترس خارج شدن فسفر توسط گیاه، کشاورزان معمولاً هر ساله مقادیر زیادی کودهای شیمیایی فسفاته در خاک مصرف می کنند (کوردل و همکاران، ۲۰۱۱). بخش قابل توجهی از فسفر موجود در این کودها بعد از ورود به خاک، رسوب نموده و تبدیل به اشکال نامحلول فسفر گردیده لذا از دسترس گیاه خارج می شود (کوردل و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین تقریباً تنها ۱۰ تا ۳۰ درصد فسفر اضافه شده به خاکها برای گیاه قابل استفاده خواهد بود (والپولا و یون، ۲۰۱۲). با توجه به اینکه قیمت کودهای فسفاتی با گذشت زمان افزایش می یابد (کوردل و وایت، ۲۰۱۱)، لذا لازم است از منابع ارزان قیمت داخلی استفاده گردد.

یکی از مهمترین منابع داخلی سنگ فسفات است. از مهمترین معادن سنگ فسفات در کشور می توان به معدن آسفوردی یزد و کهکیلویه و بویراحمد اشاره کرد (قلی‌زاده، ۱۳۸۷). روش‌های متعددی از جمله روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک جهت افزایش واکنش پذیری سنگ فسفات و فسفر محلول آن وجود دارد (فائو، ۲۰۰۶). در روش فیزیکی، با اختلاط سنگ فسفات و کودهای فسفاته محلول یا با کاهش اندازه‌ی ذرات آن، در روش شیمیایی با اسیدی کردن کامل یا جزئی سنگ فسفات و در روش بیولوژیک با استفاده از میکروارگانیسم‌های مختلف، فسفر قابل دسترس سنگ فسفات قابل افزایش است. در روش فیزیکی با افزایش سطح تماس سنگ فسفات (چی یین و منون، ۱۹۹۵؛ چی یین و همکاران، ۱۹۸۷؛ چی یین و منون، ۱۹۹۵). در روش شیمیایی با استفاده از اسیدهای معدنی و آلی (هاموند و همکاران، ۱۹۸۶؛ راجان و مارواها، ۱۹۹۵؛ چی یین، ۲۰۰۳؛ زاپاتا، ۲۰۰۳). در روش بیولوژیک از میکروارگانیسم‌ها، گوگرد، انواع مواد آلی بهره گرفته می شود (هالدر و همکاران، ۱۹۹۰، گائور، ۱۹۹۰، بوجینوا و همکاران، ۱۹۹۷، لئون و همکاران، ۲۰۰۲).

منابع، ذخایر و تولید سنگ فسفات در جهان

مرکز بین‌المللی توسعه کودها (IFDC) منابع سنگ فسفات جهانی را حدود ۲۹۰۰۰۰ میلیون تن تخمین زده است (وانکونبرگ، ۲۰۱۰؛ آبیوی، ۲۰۱۹). حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد سنگ فسفات در کشاورزی مصرف می‌شود (رییس و آلسوپ، ۲۰۱۲) لذا تامین فسفر برای تولید غذا بسیار اساسی می‌باشد. سنگ فسفات در بیشتر از ۴۰ کشور وجود دارد ولی کشورهای کمی سطح تولید بالایی دارند (اکوسانرس، ۲۰۰۸) تعداد ۱۲ کشور حدود ۹۳/۲ درصد تولید سنگ فسفات جهانی را تشکیل می‌دهند. چین در سال ۲۰۱۱، بزرگ‌ترین تولید کننده سنگ فسفات تغلیظ شده جهان بوده و به‌تنهایی ۸۹ میلیون تن (۴/۳ درصد) را تولید کرده است (والان و همکاران، ۲۰۱۴؛ هکن مولر و همکاران، ۲۰۱۴).

انواع سنگ فسفات

اگر چه لغت سنگ فسفات از نظر جهانی پذیرفته شده است، ولی هر ماده زمین‌شناسی طبیعی دارای یک یا چند کانی فسفاتی، ممکن است برای تولید تجاری مناسب نباشد (وانکونبرگ، ۲۰۱۰). پنج نوع سنگ فسفات در جهان وجود دارد که شامل نهشته‌های فسفاتی دریایی، نهشته‌های آذرین، نهشته‌های دگرگونی، نهشته‌های بیوژنیک و نهشته‌های فسفاتی هواپدیده هستند. حدود ۷۵ درصد آن‌ها رسوبی دریایی، ۲۰-۱۵ درصد آذرین هواپدیده و فقط ۱ تا ۲ درصد بیوژنیک حاصل از تجمع بقایای پرندگان و مرغ‌ها هستند (ایمیچ، ۱۹۸۴ و عبد الظاهر، ۲۰۰۸) معمول‌ترین و وسیع‌ترین سنگ فسفات‌ها (۸۷ درصد) با منشأ رسوبی و دریایی هستند (وانکونبرگ، ۲۰۱۰). آپاتیت به‌همراه فلدسپارها غالب‌ترین کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ فسفات‌ها را تشکیل می‌دهند که مقدار P_2O_5 در آن‌ها بین ۵۰ تا ۹۰ درصد می‌باشد (وان استراتن، ۲۰۰۲).

خصوصیات شیمیایی سنگ فسفات

ترکیب شیمیایی سنگ فسفات‌های کشورهای مختلف نشان داده است که آن‌ها دارای عناصر ضروری، عناصر کمیاب و فلزات و شبه فلزات، رادیونوکلئیدها و عناصر خاکی نادر هستند. عناصر ضروری سنگ فسفات‌ها شامل عناصر ماکرو اولیه (فسفر) و عناصر ثانویه (کلسیم، منیزیم) و عناصر میکرو (Mo و B ، Cu ، Zn ، Mn ، Fe) می‌باشند. معادن سنگ فسفات رسوبی معمولاً بین ۳۰ تا ۳۵ درصد و سنگ فسفات‌های آذرین اغلب کمتر از ۵ درصد P_2O_5 دارند. اما می‌توان فسفر آن را تا حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد یا حتی بیشتر تغلیظ و افزایش داد (والان و همکاران، ۲۰۱۴، کرایوس و همکاران، ۱۹۸۴). مقدار P_2O_5 سنگ فسفات‌های بیشتر کشورهای به‌غیر از روسیه که ۱۵ درصد است حدود ۳۰ درصد می‌باشد.

سنگ فسفات در ایران

سنگ فسفات در ایران در مناطق مختلف کشور از جمله یزد، کهگیلویه و بویراحمد، تهران، خوزستان، بوشهر، مازندران، قزوین، زنجان، خراسان جنوبی، البرز و فارس یافت می‌شود. مهم‌ترین معدن آذرین سنگ فسفات در ایران معدن آسفوردی یزد می‌باشد. منابع رسوبی زیادی نیز در کهگیلویه و بویراحمد وجود دارد که هنوز بهره‌برداری نگردیده است.

میکروارگانسیم‌های حل‌کننده فسفات

میکروارگانسیم‌های حل‌کننده فسفات گروهی از میکروارگانسیم‌های مفید هستند که قادرند ترکیبات نامحلول فسفر معدنی و آلی را به محلول تبدیل کنند. در میان این میکروارگانسیم‌ها باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها و جلبک‌ها از مهمترین آنها هستند. از مهمترین جنس‌های باکتریایی، باسیلوس‌ها، سودوموناس و ریزیوم و قارچ‌ها، پنیسیلیوم‌ها و اسپرژیلوس‌ها و میکوریز آربوسکولار بسیار قابل توجه و مهم هستند. میکروارگانسیم‌های حل‌کننده فسفات بیشتر از ریزوسفر گیاهانی که از لحاظ متابولیکی فعال هستند جدا سازی شده‌اند (سلوی و همکاران، ۲۰۱۷؛ خان و همکاران، ۲۰۰۹).

باکتری‌ها

باکتری‌ها نقش مهمی در انحلال فسفر دارند (زونگ و هونگ، ۲۰۰۵). باکتری تیوباسیلوس فراواک سیدانس و مواد تولیدی اسیدی آن برای بیولچینگ سنگ فسفات استفاده شده است (مائوچون و همکاران، ۲۰۰۲). اسیدها، فسفات‌های اسیدی و قلیایی اثرات سینرژیستی در انحلال فسفر دارند. حمدا و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که پنج سویه باکتری حل‌کننده فسفات و سایر تیمارهای محرک رشد گیاه، بیومس را بین ۲۰ تا ۴۰ درصد افزایش دادند.

قارچ‌ها

قارچ‌ها به خصوص اسپرژیلوس‌ها و پنیسیلیوم‌ها که اسیدهای آلی ترشح می‌کنند و به‌طور فراوان جهت حل کردن سنگ فسفات به‌طور مستقیم در خاک استفاده شده‌اند. قارچ *Penicillium aurantiogriseum* و باکتری *Pseudomonas* توانایی بیشتری در انحلال فسفات‌های معمولی دارند (سانتی و همکاران، ۲۰۰۰). اثرات متقابل بین میکروارگانسیم‌های تولیدکننده اسیدآلی با سایر محصولات با سطح کانی‌های آزاد کننده یون‌ها در سطح‌شان به وسیله ریز و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است. هلال و همکاران (۲۰۱۳) کمپوستی از کاه برنج و سنگ فسفات تولید کردند و آنرا با اسپرژیلوس نایجر و تریکودرما ویرید تلقیح و با کود سبز مخلوط کردند. کاه برنج کمپوست شده نسبت به سوپرفسفات تریپل رشد بهتری دارد و قابلیت دسترسی فسفر را نیز بیشتر کرد.

میکوریزا

در خاک هایی که به آنها میکروارگانیسم اضافه شده است فعالیت میکروبی افزایش می یابد. این میکروارگانیسم ها زمانی که با میکوریزا استفاده شوند، تاثیر بیشتری خواهند داشت. هم چنین میکروارگانیسم های خاک در تشکیل و پتانسیل میکوریز موثر هستند (الگوکیل و هم کاران، ۲۰۰۸). سنگ فسفات در پیای سرخ به همراه کمپوست بقایای گیاهی یا کودهای مرغی و میکروارگانیسم ها می توانند به عنوان یک کود جهت افزایش فسفر و عناصر خاکی نادر در خاک های رسی استفاده شوند و در نتیجه قابلیت دسترس فسفر و جذب آن را توسط گندم افزایش دهند (حاکامادی، ۲۰۱۱). تاثیر کاربرد سنگ فسفات های اورابا و سبایا در عمل کرده و جذب فسفر سویا نشان داد که سنگ فسفات تلقیح شده با باکتری ها و میکوریزا فناوری جدیدی برای استفاده از سنگ فسفات و ضایعات آلی در تولید محصولات با حفظ کشاورزی پایدار می باشد (راشا، ۲۰۱۴).

استفاده مستقیم از سنگ فسفات در کشاورزی

استفاده مستقیم از سنگ فسفات، مزیت های زیادی دارد از جمله اینکه سنگ فسفات ها کانی های طبیعی هستند که به کمترین فرآیند جهت تبدیل نیاز دارند، لذا از آن در کشاورزی پایدار و ارگانیک استفاده می شود. سنگ فسفات در برخی شرایط ممکن است از کودهای محلول در آب موثرتر باشد. زیرا ترکیب سنگ فسفات بسیار متفاوت است، لذا دارای سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه غیر از فسفر نیز می باشند. اما برخی محدودیت ها نیز وجود دارد که از جمله آنها می توان به حلالیت کم آنها، عدم وجود استاندارد مشخص، گران بودن سنگ فسفات های بسیار ریز و داشتن عناصر سمی نام برد (زاپاتا و روی، ۲۰۰۴).

مکانیسم حلالیت فسفر

میکروارگانیسم های حل کننده فسفات می تواند باعث افزایش جذب فسفر به وسیله گیاه می شوند که شامل کاهش pH، کلاته کردن و معدنی کردن هستند.

۱- کاهش pH خاک

مکانیسم اصلی افزایش حلالیت فسفر از طریق کاهش pH با تولید اسیدهای آلی یا تولید پروتون از جام می گیرد (سون و همکاران، ۲۰۰۶، سلوی و همکاران، ۲۰۱۷، یوسفی و همکاران، ۲۰۱۱). میکروارگانیسم های حل کننده فسفات با تولید اسیدهای آلی، pH خاک را کاهش داده و قابلیت دسترس فسفر را افزایش می دهند (ساتیاپراکاش و همکاران، ۲۰۱۷). تولید اسیدهای آلی به همراه کاهش pH باعث انحلال فسفات ها می شود. این اسیدهای آلی در اثر تنفس اکسیداسیونی میکروب ها یا به وسیله تخمیر گلوکز ایجاد می شوند (الم و همکاران، ۲۰۰۲، ساتیاپراکاش و همکاران، ۲۰۱۷). باکتری های گرم منفی نسبت به باکتری های گرم مثبت در

انحلال فسفات‌ها موثرتر هستند، زیرا اسیدهای آلی متنوعی به محیط اطراف ترشح می‌کنند (کومار و همکاران، ۲۰۱۸).

۲- کلاته کردن

اسیدهای آلی و معدنی تولید شده بوسیله میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، فسفات‌های خاک را از طریق کلاته کردن کاتیون‌ها و رقابت با فسفات‌ها جهت جذب سطحی روی سطح خاک حل می‌کنند (پرادان و سوگلا، ۲۰۰۹، خان و سوگلا، ۲۰۰۵). ۲-کتوگلوکونیک‌اسید کلات قوی کلسیم می‌باشد (والپولا و یون، ۲۰۱۲). اسیدهای معدنی تولید شده شامل سولفوریک (رودریگز و همکاران، ۱۹۹۹؛ خان و همکاران، ۲۰۰۷)، نیتریک اسید و کربنیک اسید (رودریگز و همکاران، ۲۰۰۷) هستند. اسیدنیتریک و سولفوریک با فسفات کلسیم واکنش داده و آنها را به شکل محلول تبدیل می‌کنند (خان و همکاران، ۲۰۰۷).

۳- معدنی شدن

مکانیسم دیگر انحلال فسفر، معدنی شدن است. اشکال فسفر آلی شامل اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدها، فسفات‌های قندی، اسیدفیتیک، پلی‌فسفات‌ها و فسفونات‌ها هستند (خان و همکاران، ۲۰۰۹). میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات فسفر آلی خاک را از طریق آنزیم‌های فسفاتاز مانند فیتاز (عصری و همکاران، ۲۰۰۹، سلوی و همکاران، ۲۰۱۷، طرفدار و همکاران، ۲۰۰۳) هیدرولیز کرده و فسفر معدنی آن را آزاد کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهند. برخی میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات با تولید سیدروفور فسفر آلی را هیدرولیز کرده و قابلیت دسترسی فسفر را افزایش می‌دهند (کومار و همکاران، ۲۰۱۸، دودور و طباطبایی، ۲۰۰۳).

چگونگی تحریک رشد گیاهان توسط میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات

میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات حاصل‌خیزی خاک‌های غیر حاصل‌خیز و کم حاصل‌خیز را مجدداً به خاک برمی‌گردانند (گیانشوار و همکاران، ۲۰۰۲). میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات رشد گیاهان را از طریق تولید فیتوهورمون مانند اکسین، جیبرلین، سیتوکسین، پلی‌آمیدها افزایش می‌دهند (سانتانا و همکاران، ۲۰۱۶، میتال و همکاران، ۲۰۰۸، ویکرام و حمزه زرقانی، ۲۰۰۸). میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات هم‌چنین به‌طور غیرمستقیم از طریق تولید سیدروفور، افزایش تثبیت نیتروژن و تولید HCN (هیدروژن سیانید) و متابولیت‌های ضدقارچی رشد گیاه را افزایش می‌دهند (رودریگز و فراگا، ۱۹۹۹، وانی و همکاران، ۲۰۰۷، ها جام و چر کویی، ۲۰۱۷).

کلزا و نقش فسفر در تغذیه آن

کلزا در میان دانه‌های روغنی در جهان بیشترین میزان تولید را در دهه‌های اخیر داشته و امروزه مقام سوم را پس از سویا و نخل روغنی در فراورده‌های روغن نباتی به دست آورده است (بری و اسپینک، ۲۰۰۶). با توجه به مطالعات انجام شده (عسگری و مرادی بالینی، ۲۰۰۷، فنایی و همکاران، ۲۰۰۷) کلزا سازگاری خوبی با خصوصیات آب و هوایی کشور ما دارد. بیشترین نیاز مواد غذایی در شروع رشد گیاه و در بهار تا زمان گلدهی است (حجازی، ۱۳۷۹). حد بحرانی فسفر در خاک‌های زیر کشت کلزا برابر ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (نور قلی پور و همکاران، ۱۳۹۳).

واکنش کلزا به مصرف کودهای فسفاتی تحت تاثیر چندین عامل قرار می‌گیرد که عمدتاً به سیستم توسعه و توزیع ریشه‌های فعال، مقدار فسفر قابل جذب خاک، رطوبت خاک، در صد کربنات کلسیم و مواد آلی خاک بستگی دارد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۲). میزان فسفر گیاه کلزا در مراحل اولیه رشد بسیار بالا (حدود ۰/۵ درصد وزن خشک) می‌باشد (رضایی و ملکوتی، ۱۳۷۹). فسفر همچنین در ساختمان مولکول‌های DNA و RNA نقش موثری داشته و باعث پیوند بازهای تشکیل دهنده این اسیدهای نوکلئیک می‌شود (خلدبرین، ۱۳۸۰). کمبود فسفر در کلزا به سختی قابل تشخیص بوده و کمبود آن، ریشه و اندام هوایی را ضعیف می‌کند و در نتیجه سیستم ریشه‌ای ضعیف، ساقه‌های با انشعاب کم و برگ‌های باریک به وجود می‌آید (خادمی و همکاران، ۱۳۷۹).

تاثیر سنگ فسفات و حل کننده‌های فسفات در کلزا

نتایج تحقیقات انجام شده توسط محققین مختلف نشان داده که می‌توان با اعمال تدابیر و روش‌های علمی، قابلیت جذب فسفر را در این ماده افزایش و در برخی گیاهان از جمله گیاهان دانه روغنی به خصوص کلزا آن را جایگزین قسمتی از کودهای فسفره وارداتی نمود. مطالعات زیادی در زمینه نحوه استفاده از سنگ فسفات در گیاهان دانه روغنی انجام شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

حیاتی و همکاران (۱۳۹۰) تاثیر سنگ فسفات و باکتری حل کننده فسفات را در آزمایش گلخانه‌ای بر روی کلزای رقم هایولا ۴۰۱ بررسی کردند. نتایج آزمایشات نشان داد که اثر متقابل باکتری و منابع مختلف فسفات بر ارتفاع، درصد فسفر، جذب فسفر کل و اثر بخشی زراعی نسبی بر اساس جذب فسفر کل کلزا معنی‌دار ($P < 0/05$) بود. آذرمی و همکاران (۱۳۹۴) تأثیر کاربرد هم‌زمان باکتری سودوموناس فلوروسنس به‌عنوان حل کننده فسفات و کودهای فسفاتی بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در دانه کلزا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تلقیح با باکتری، عملکرد دانه و کاه کلزا را به ترتیب ۲۹/۸۰ و ۳۰/۵۶ درصد نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد. بیشترین عملکرد دانه و کاه به ترتیب برابر با ۱۰/۲۲ و ۲۹/۹۹ گرم در گلدان بود که از

تیمار سوپرفسفات تریپل + سودوموناس به دست آمد. به طور کلی همزمان باکتری سودوموناس فلورو سنس و کودهای فسفاتی تأثیر مثبت و معنی داری بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در کلزا داشت. با توجه به نتایج حاصل شده، کاربرد سودوموناس همراه با کود فسفاتی می تواند دسترسی و کارایی آنها را افزایش دهد. سلیم پور و همکاران (۱۳۸۹) تحقیق مزرعه‌ای با هدف استفاده مستقیم از خاک فسفات به منظور تأمین فسفر مورد نیاز کلزا، در یک خاک آهکی اجرا کردند. بیشترین عملکرد دانه و گاه از تیمار سوپرفسفات تریپل تیمار به دست آمد که در مقایسه با شاهد عملکرد دانه و گاه را به ترتیب ۶۰ و ۹۲ درصد افزایش داد. در مجموع تیمارهای حاوی گوگرد در مقایسه با تیمارهای بدون گوگرد درصد روغن بیشتری داشتند و این برتری در مورد برخی از تیمارها معنی دار بود.

معرفی دستاورد

دستاورد حاضر به بررسی روش‌های تأمین فسفر مورد نیاز کلزا در شرایط خاک‌های قلیایی می پردازد. این دستاورد نشان می دهد که استفاده مستقیم از سنگ فسفات در خاک‌ها نتایج مثبتی ندارد ولی با اعمال روش‌هایی از جمله روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک می توان انحلال آن را افزایش داد. ضمناً استفاده از برخی ژنوتیپ‌های کلزا باعث افزایش کارایی استفاده از آن می شود.

توصیه ترویجی

سنگ فسفات قبل از استفاده در کشت گیاهان بایستی تغلیظ شده و با روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیست فناوری و سپس استفاده شود و استفاده مستقیم آن در خاک کارایی چندانی ندارد. ضمناً پی‌شهاد می شود در منطقه فعالیت ریشه گیاهان و به همراه میکروارگانیسم‌ها استفاده گردد. در روش فیزیکی با خرد کردن ذرات سنگ فسفات و مخلوط کردن آن با کودهای شیمیایی فسفات محلول باعث افزایش رشد ریشه در ابتدای کشت گردیده و کارایی استفاده از سنگ فسفات افزایش می یابد. اسیدی کردن سنگ فسفات با اسیدهای معدنی و آلی نیز باعث افزایش کارایی می گردد. در صورتی که بتوان سنگ فسفات را در کنار ریشه گیاه قرار داد توانایی جذب فسفر توسط گیاه افزایش می یابد.

لازم است کشاورزان عزیز به نکات زیر در استفاده از سنگ فسفات توجه فرمایند:

در صورت خام بودن سنگ فسفات مقادیر بیشتری استفاده شود. هرچقدر فسفر محلول در آب کود بیشتر باشد مقدار کمتری از آن در هکتار استفاده نمایید.
سعی کنید سنگ فسفات را در نزدیک ریشه گیاه استفاده نمایید. سنگ فسفات را به نسبت مساوی با گوگرد مخلوط و با حل کننده‌های فسفات یا تیوباسیلوس استفاده نمایید.

سنگ فسفات اسیدی شده تاثیر بیشتری در رشد عمل کردی گیاه دارد. استفاده از سنگ فسفات در خاک‌های اسیدی موثرتر از خاک‌های آهکی با pH بالا می‌باشد. سنگ فسفات را حداقل یک ماه قبل از کشت گیاه به خاک اضافه نمایید. استفاده از سنگ فسفات به همراه کودهای آلی و مخلوط با آنها توصیه می‌شود.

منابع

- آذرمی، ف. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر تلقیح میکروارگانسیم‌های حل‌کننده فسفات در افزایش کارایی کودهای فسفاتی در کلزا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. خاکشناسی. دانشگاه تربیت مدرس.
- حجازی، ا. ۱۳۷۹. زراعت کلزا. انتشارات روزنه. تهران. ایران.
- حیاتی، م. قلیزاده، ع. ل. فلاح، ع. ر. و رضوانی، م. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر باکتری باسیلوس کوآگولانس و منابع مختلف سنگ فسفات بر گیاه کلزا. مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۱. شماره ۱. صفحات ۱۲۸-۱۳۶.
- خادمی، ز. ح. رضایی، م. ملکوتی و پ. میلانی. ۱۳۷۹. تغذیه بهینه کلزا. "گامی موثر در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت روغن". نشر آموزش کشاورزی، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی، سازمان وزارت کشاورزی، کرج، ایران.
- رضایی، ح. م. ملکوتی. ۱۳۷۹. چگونگی تامین نیاز غذایی دانه‌های روغنی قسمت دوم: مصرف بهینه کود در زراعت کلزا. نشریه فنی ۱۱۶. نشر آموزش کشاورزی، معاونت تات وزارت کشاورزی، کرج، ایران.
- سلیم پور، س. خاوازی، ک. نادیان، ح. و بشارتی، ح. ۱۳۸۹. تأثیر خاک فسفات همراه با گوگرد و ریزجانداران بر عملکرد و ترکیب شیمیایی کلزا. مجله پژوهش‌های خاک. جلد ۲۴ شماره ۱ صفحات ۱۰-۱۹.
- سماوات، س. ۱۳۹۲. دستیابی به روش تولید کود آلی فسفره با استفاده از دو نوع سنگ فسفات داخلی و کود دامی. گزارش نهایی، موسسه تحقیقات خاک و آب.
- قلی زاده، ع. ل. ۱۳۸۷. بررسی راهکارهای افزایش کارایی خاک فسفات معادن یزد و یاسوج در برخی خاکهای شمال کشور، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران.
- ملکوتی، م. ز. خادمی، پ. مهاجرمیلانی. ۱۳۸۲. توصیه بهینه کودی برای کلزا در کشور. تغذیه بهینه دانه‌های روغنی (مجموعه مقالات). انتشارات خانیان. تهران. ایران.
- ملکوتی، م. ج. ف. مشیری. م. غیبی. ۱۳۸۴. حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در خاک در برخی از محصولات زراعی و باغی. نشریه فنی شماره ۴۰۵ موسسه تحقیقات خاک و آب. انتشارات سنا. تهران. ایران.
- نورقلی پور، ف. ح. رضایی، ک. میرزاشاهی، ح. حقیقت‌نیا، م. ر. رمضان پور، م. ح. ارزانش، ه. اسدی رحمانی، م. ه. میرزاپور، ص. ع. زمانی، ص. محمدی کیا و م. افضلی. ۱۳۹۳. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه کلزا. نشریه فنی، موسسه تحقیقات خاک و آب.

- Bojinova, D., Velkova, R., Grancharov, I. and Zhelev, S. 1997. The bioconversion of Tunisian phosphorite using *Aspergillus niger*. *Nut. Cyc. Agroecosys.*, 47: 227–232.
- Chien, S.H. and Menon, R.G. 1995. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fert. Res.*, 41: 227–234.
- Chien, S.H., Menon, R.G. and Billingham, K.S. 1996. Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water-soluble phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60: 1173–1177.
- Cordell D, Rosemarin A, Schröder JJ, Smit AL .2011. Towards global phosphorus security: a systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere* 84:747–758
- Dennis, C. 2013. Arianne Resources Inc. – A Phosphate Rock Star. Toronto: Dundee Securities Ltd. [Http://Research.DundeeCapitalMarkets.Com/En/~~/Media/Dcm/Publications/CoveragelistSearch/2013/March/D/Dan031313.Ashx](http://Research.DundeeCapitalMarkets.Com/En/~~/Media/Dcm/Publications/CoveragelistSearch/2013/March/D/Dan031313.Ashx). [Accessed July 27, 2015].
- FAO. 2006. Use of phosphate rock for sustainable agriculture. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin No. 13. Rome.
- Halder, A.K., Mishra, A.K., Bhattacharyya, P. and Chakrabartty, P.K. 1990. Solubilization of rock phosphate by *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*. *J. Gen. App. Microbiol.*, 36: 81–92.
- Hammond, L.L., Chien, S.H. and Easterwood, G.W. 1986a. Agronomic effectiveness of Bayovar phosphate rock in soil with induced phosphorus retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 1601–1606.
- Heckenmüller, M., Narita, D., and Klepper, G. 2014. Global Availability of Phosphorus and Its Implications for Global Food Supply: An Economic Overview. Kiel Working Paper No. 1897 Kiel Institute for The World Economy. Germany.
- ICL, 2013. Website of Israel Chemicals Ltd. (ICL). [Http://www.Icl-Group.Com/Abouticl-Segments/General/3df4fef5-4e7b-44b3-88b4-99f67dedd60a.AspX](http://www.Icl-Group.Com/Abouticl-Segments/General/3df4fef5-4e7b-44b3-88b4-99f67dedd60a.AspX).
- Lema, M. W., Ijumba, J. N., Njau, K. N., and Ndakidemi, P. A. 2014. Environmental Contamination by Radio-Nuclides and Heavy Metals through the Application of Phosphate Rocks during Farming and Mathematical Modelling of their Impacts to the Ecosystem. *Int. J. Eng. Res. General Sci.* 2 (4): 852-863.
- Rajan, S.S.S. and Marwaha, B.C. 1993. Use of partially acidulated phosphate rocks as phosphate fertilisers. *Fert. Res.*, 35: 47–59.
- Reyes T, Allsopp M .2012. Phosphorus in agriculture, problems and solutions Greenpeace Research Laboratories, Technical Report (Review)
- Sharma, S. B., R. Z. Sayyed, M. H. Trivedi, and T. A. Gobi .2013. “Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils,” SpringerPlus, vol. 2, p. 587,.
- Van Kauwenbergh S.J. 2010. World phosphate rock reserves and resources. International Fertilizer Development Center (IFDC).

- Vikram, A., and H. Hamzehzarghani .2008, “Effect of phosphate solubilizing bacteria on nodulation and growth parameters of greengram (*Vigna radiata* L. Wilczek),” *Research Journal of Microbiology*, vol. 3, pp. 62–72,.
- Walan, P., Davidsson, S., Johansson, S., and Höök, M. 2014. Phosphate Rock Production and Depletion: Regional Disaggregated Modelling and Global Implications. *Resources, Conservation and Recycling*, 93: 178-187
- Walpole, B. C. and Yoon, M. 2012. Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils: a review, .. *African Journal of Microbiology Research*, 6: pp. 6600–6605.
- Zapata, F. 2003. FAO/IAEA research activities on direct application of phosphate rocks for sustainable crop production. In S.S.S. Rajan and S.H. Chien, eds. *Direct application of phosphate rock and related technology: latest developments and practical experiences*. Proc. Int. Meeting, Kuala Lumpur, 16–20 July 2001. Muscle Shoals, USA, IFDC. 441 pp.