

The effect of combined phosphorus-organic matter fertilizer on the morphological and phytochemical characteristics of Moldavian Balm (*Dracocephalum moldavica* L.)

Abstract

Nutrients supply, especially phosphorus (P) can improve the growth and the production of secondary metabolites in medicinal plants. This study aims to investigate the morphological, phytochemical characteristics and absorption of phosphorus, magnesium and nitrogen elements by the Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) in the presence of slow-release combined fertilizer of P and organic matter (OM₀/P, OM₂₅/P, OM₅₀/P and OM₇₅/P) compared to mono-potassium phosphate (KH₂PO₄) and the control sample (without P-fertilizer) in a calcareous soil. The presence of leonardite in the struvite composition increased the uptake of P, magnesium and nitrogen elements by the plant compared to the control and KH₂PO₄ treatments. In addition, the morphological characteristics (dry and wet weight, plant height, stem diameter, chlorophyll and number of leaves) and characteristics including a value of P in plant, phenol, flavonoid and FRAP and DPPH antioxidant activity increased with increasing the amount of organic matter in combined fertilizer and the increasing trend was as follows: OM₀/P < OM₂₅/P < KH₂PO₄ < OM₅₀/P < OM₇₅/P. The dry weight and value of P in Moldavian balm by application of OM₇₅/P increased by 42 and 78%, respectively, compared to the check treatment. The flavonoid content of the plant increased by 33, 47, 71, 100, and 63%, respectively, compared to the control including OM₀/P, OM₂₅/P, OM₅₀/P, OM₇₅/P, and KH₂PO₄. Therefore, the application of combined fertilizer of P and organic matter as a slow-release-P fertilizer leading to plant availability to nutrients, especially P, as a result improve the phytochemical and morphological characteristics of Moldavian balm in calcareous soils.

Keywords: Calcareous soil, Struvite, Organic matter, Phytochemical compounds.

تأثیر کود ترکیبی فسفر و مواد آلی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.)

چکیده

تأمین عناصر غذایی به ویژه فسفر (P)، پارامترهای رشد و متابولیت‌های ثانویه را در گیاهان دارویی بهبود می‌بخشد. این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیتوشیمیایی و میزان جذب عناصر فسفر، منیزیم و نیتروژن گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) در حضور چهار نمونه کود ترکیبی کندرها (OM₀/P, OM₂₅/P, OM₅₀/P, OM₇₅/P) در مقایسه با مونو پتاسیم فسفات (KH₂PO₄) و نمونه شاهد (بدون کود فسفره و ماده آلی) در خاک آهکی انجام شد. نتایج نشان داد حضور ماده آلی لئوناردیت در ترکیب کود فسفاته استروویت موجب افزایش جذب عناصر فسفر، منیزیم و نیتروژن در گیاه در مقایسه با تیمار شاهد و KH₂PO₄ شد. بعلاوه ویژگی‌های مورفولوژیکی (وزن خشک و تر، ارتفاع بوته، قطر ساقه، کلروفیل برگ و تعداد برگ) و ویژگی‌هایی شامل مقدار فسفر در بافت گیاهی، فنول، فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانتی FRAP و DPPH با افزایش مقدار ماده آلی در کود ترکیبی بیشتر شد و روند افزایش بدین صورت است: OM₀/P < OM₂₅/P < KH₂PO₄ < OM₅₀/P < OM₇₅/P. وزن خشک و غلظت فسفر گیاه بادرشبو در حضور OM₇₅/P به ترتیب ۴۲ و ۷۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. میزان فلاونوئید گیاه به ترتیب ۳۳، ۴۷، ۷۱، ۱۰۰، و ۶۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد در حضور تیمارهای کودی شامل OM₀/P, OM₂₅/P, OM₅₀/P, OM₇₅/P و KH₂PO₄ افزایش یافت. بنابراین کاربرد کود ترکیبی فسفر و ماده آلی به عنوان کود فسفاته کندرها در خاک‌های آهکی موجب دسترسی گیاه به عناصر غذایی به ویژه فسفر و در نتیجه بهبود ویژگی‌های فیتوشیمیایی و مورفولوژیکی گیاه بادرشبو گردید.

کلمات کلیدی: خاک آهکی، استروویت، ماده آلی، ترکیبات فیتوشیمیایی.

مقدمه

فسفر یکی از عناصر ضروری پر مصرف و غیرقابل جایگزین در گیاهان است. این عنصر در فرایندهای بیوشیمیایی، رشد گیاه و تکامل اندام‌های زایشی (میوه و بذر) دخیل می‌باشد (Mehra et al., 2015). اما شرایط آهکی خاک‌های منطقه علاوه بر کاهش قابلیت فراهمی عناصر میکرو، منجر به تثبیت فسفر توسط رس‌ها نیز می‌گردد. به طوری که فسفر در خاک‌های آهکی با کلسیم به صورت فلورآپاتیت و هیدروکسی آپاتیت رسوب کرده (Bertrand et al., 2003) و از دسترس گیاه خارج می‌گردد. بیش از ۸۰ درصد فسفر در کودهای

سوپرفسفات و فسفات آمونیوم در خاک‌های آهکی تثبیت می‌شود و کمتر از ۲۰ درصد آن به مصرف گیاه می‌رسد (Grotz and Guerinot, 2002) بنابراین استفاده از کودهای فسفاته کندرها یکی از ضروریات می‌باشد. از طرفی محدودیت منابع سنگ فسفات در جهان، مدیریت مناسب کودهای فسفاته و یا جایگزین کردن منبع دیگری برای تأمین فسفر مورد نیاز گیاه را ضروری کرده است. لجن فاضلاب حاوی مقادیر زیادی فسفر بوده که با بازیافت آن می‌توان به مشکل کمبود منابع کود فسفاته در کشور کمک کرد. امروزه تصفیه فاضلاب از طریق هضم بی‌هوازی انجام می‌شود که طی آن مواد آلی زیست تخریب پذیر مانند پروتئین، پلی ساکارید و چربی به بیوگاز تبدیل شده و مقدار لجن جامد نهایی که حاوی مواد غیر زیست تخریب پذیر است، دفع می‌گردد. می‌توان از لجن خشک برای تولید کود فسفاته بصورت استروویت^۱ یا منیزیم آمونیوم فسفات ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) استفاده کرد. با توجه به حلالیت کم این کود، از آن به عنوان کود رها یاد می‌شود. حلالیت پایین فسفر در استروویت تولید شده منجر به کاهش دسترسی گیاهان به این عنصر، به ویژه در خاک‌هایی با pH و کربنات کلسیم بالا شده است (Valle et al., 2022). بنابراین کارایی این کود در خاک‌های آهکی بسیار کم بوده و برخی از محققان در مرحله ساخت با افزودن مواد دیگر از جمله بیوچار و لیگنین بصورت فرایند هم رسوب کارایی کود و رهایش فسفر از ترکیب آن را افزایش دادند (Li et al., 2022; Piri and Sepehr, 2022). اسید هیومیک یکی از ترکیبات مهم در بخش تغذیه گیاهان می‌باشد. این پلیمر طبیعی دارای مکان‌های تبادل کاتیونی مربوط به عوامل اسیدی کربوکسیل ($RCOO^-$)، کربونیل (RCO^-) و فنولیک (PhO^-) بوده (Stevenson, 1982) و نقش مهمی در وضعیت خاک و رشد گیاه ایفا می‌کند (Fahramand et al., 2014).

پیشینه پژوهش

Guney و همکاران (۲۰۱۶) در بازیابی فسفر از لجن فاضلاب بیان کردند که با این روش می‌توان کود فسفاته کندرها با کیفیت بالا استخراج کرد. در مطالعه‌ای از بیوچار انگور برای بازیابی فسفر از لجن استفاده شده که نشان می‌دهد پتانسیل خوبی برای افزایش آزادسازی عناصر غذایی داشت (Li et al., 2022). Herzberger و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند گیاهانی که از کود استخراج شده از لجن استفاده کردند زیست توده، غلظت و جذب فسفر بیشتری در مقایسه با گیاهانی داشتند که از کودهای فسفات آمونیوم و سوپر فسفات‌ها استفاده کرده بودند. جذب بیشتر فسفر و نیتروژن توسط ذرت و فستوکا (*Festuca perennis*) در استفاده از کود تولید شده از لجن در کنار افزودن کود نیتروژنه به صورت فسفات‌های آمونیوم گزارش شده است (Szymanska et al., 2019). در مطالعه‌ای اثرات مصرف همزمان اسید هیومیک و کود فسفر بر صفات فیزیولوژیک و فراهمی فسفر در گیاه کلزا مورد بررسی قرار گرفت (جهاندیده و همکاران، ۱۳۹۸)، نتایج نشان داد مواد هیومیک در تعامل با فسفر در خاک، میتواند باعث کاهش تثبیت فسفر و افزایش فسفر در دسترس گیاهان شود. بر اساس نتایج این پژوهش، مصرف ترکیبی فسفر به همراه آبیاری با اسید هیومیک منجر به افزایش فسفر و ترکیبات فیتوشیمیایی از جمله کلروفیل و کارتنوئید در اندام‌های هوایی کلزا شد.

عوارض جانبی داروهای شیمیائی و تمایل بشر به استفاده از محصولات طبیعی به منظور حفظ سلامت خویش، باعث توجه هرچه بیشتر بشر به گیاهان داروئی شده است. گیاه بادرشبو از مهمترین گیاهان متعلق به تیره نعناعیان^۲، بیشتر در مناطق شمال غرب و شمال ایران یافت می‌شود و به دلیل وجود ترکیبات فیتوشیمیایی و معطر، با اهداف دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kruger et al., 2002).

¹ Struvite

² Lamiaceae

مصرف بیشتر سبزیجات که منبع خوبی از ترکیبات فیتوشیمیایی هستند، برای بهبود سلامت انسان و کاهش خطر بیماری‌های مزمن مانند چاقی، اختلالات قلبی عروقی و سرطان توصیه شده است (Mrabti et al., 2023). ترکیبات فنلی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط استفاده از کود نیتروژنه کندرها افزایش می‌یابد (Ahmadi et al., 2020). در مطالعه‌ای Srif Sahandi و همکاران (۲۰۱۹) برای بهبود ویژگی‌های رشدی، فیتوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی نعنای فلفلی از باکتری‌های حل‌کننده فسفات استفاده کردند. در این میان بررسی تأثیر کودهای فسفاته کندرها بر این ترکیبات در گیاهان دارویی ضرورت دارد.

تاکنون اطلاعاتی در مورد بررسی تأثیر استفاده از کود ترکیبی فسفر (استروویت) / ماده آلی (لئوناردیت) بعنوان کود کندرها فسفاته بر ویژگی‌های رشد گیاه بادرشبو و خصوصیات فیتوشیمیایی آن گزارش نشده است. لذا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر نمونه‌های کودی استخراج شده از لجن فاضلاب با درصدهای مختلف ماده آلی (۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد) به عنوان کود فسفاته کندرها بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیتوشیمیایی (فنول و فلاونوئید، فعالیت آنتی‌اکسیدانتی FRAP^۳ و DPPH^۴) و درصد عناصر فسفر، نیتروژن و منیزیم در گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica L.*)، و مقایسه آن ویژگی‌ها با کود فسفاته تجاری مونو پتاسیم فسفات (KH₂PO₄) در یک خاک آهکی انجام شد.

روش‌شناسی پژوهش

تهیه کود ترکیبی فسفر / ماده آلی از لجن فاضلاب خانگی

برای ساخت کود ترکیبی فسفر و ماده آلی (OM₀/P، OM₂₅/P، OM₅₀/P و OM₇₅/P) از روش Stuttgart Process استفاده شد (Meyer et al. 2019). به‌طور خلاصه، بعد از تهیه لجن فاضلاب خانگی و خشک کردن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد از الک یک میلی‌متری عبور داده و برخی ویژگی‌های آن با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). برای تهیه کودها در مرحله اول با افزودن اسید سولفوریک (۰/۲ نرمال) به محیط لجن، فسفرهای موجود در لجن خشک شده به حالت محلول تبدیل شد. در مرحله دوم فرایندهای رسوب و تراکم استروویت اتفاق می‌افتد. برای جلوگیری از ورود فلزات سنگین به ساختار کودها قبل از فرایند رسوب اسید سیتریک (C₆H₈O₆) به‌عنوان عامل کلات کننده افزوده شد. فرایند روش استخراج فسفر از لجن فاضلاب در پژوهش دیگر گزارش شده است (Piri and Sepehr, 2022). تهیه کودها در نسبت های مولی Mg²⁺/PO₄³⁻/NH₄⁺ ۱:۱:۱ و رسوب در pH برابر ۸/۵ انجام شد. بطوری که از منیزیم کلرید (MgCl₂.6H₂O) به عنوان منبع منیزیم برای استخراج فسفر از لجن فاضلاب خانگی در حضور اسید سولفوریک استفاده شد. برای تهیه کود ترکیبی، مقادیر مختلف ماده آلی (لئوناردیت) به طور جداگانه قبل از مرحله افزایش pH به محلول افزوده شد، سپس محلول ۳۰ دقیقه هم زده و ۲۴ ساعت (دمای محیط) استراحت داده و و سپس با افزودن سود و ایجاد شرایط تهیه رسوب فاز محلول رویی جدا شد (Hu et al., 2019). لئوناردیت مورد استفاده دارای اندازه ذرات کوچکتر از ۰/۲ میلی متر، سطح ویژه ۱۷/۵ m²/g، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) ۶۷ cmol/kg و مقدار دارای ماده آلی آن ۵۴/۴ درصد می‌باشد.

جدول ۱. ویژگی‌های لجن فاضلاب شهری

| Mg | Na | K | PO ₄ ³⁻ -P | TP | NH ₄ ⁺ -N | TN | TOC | EC | pH |
|---------------------|------|-------|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-----|------|-----|
| | | | mg/kg | | | | % | dS/m | - |
| ۶۵۱۳ | ۳۹۶۷ | ۱۱۲۰۶ | ۵۲۰۴ | ۱۵۹۲۷ | ۹۰۴ | ۱۸۶۰۵ | ۴۸ | ۱/۷۹ | ۶/۶ |
| Total metal (mg/kg) | | | | | | | | | |

³ Ferric reducing antioxidant power

⁴ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----|-------|-------|------|-------|------|-----|------|------|-----|
| Ag | Ni | Ca | Fe | Zn | Al | Cr | As | Cu | Cd | Pb |
| ۲/۳ | ۳۰ | ۸۰۹۷۴ | ۱۳۲۳۰ | ۷۳۱ | ۲۱۰۶۳ | ۱۸ | ۱/۹ | ۱۷۹ | ۰/۳۲ | ۵۷ |
| Allowable limit of heavy metals | | | | | | | | | | |
| | Ni | As | | Zn | | Cr | | Cu | Cd | Pb |
| | ۴۲۰ | ۴۱ | | ۲۸۰۰ | | ۱۲۰۰ | | ۱۵۰۰ | ۳۹ | ۳۰۰ |

EC: قابلیت هدایت الکتریکی; TOC: ماده آلی کل; TN: ازت کل; NH_4^+-N : نیترژن آمونیاکی; TP: فسفر کل; $PO_4^{3-}-P$: اورتوفسفات

برخی ویژگی های کودهای ترکیبی (OM/P) شامل pH، شوری (EC)، شاخص شوری (SI) و مقادیر عناصر فسفر، منیزیم، نیتروژن و عناصر سنگین شامل نیکل، مولیبدن، آرسنیک، مس، سرب و کادمیوم با استفاده از روش های استاندارد و با استفاده از دستگاه ICP اندازه گیری و آنالیز XRF نمونه ها انجام شد (جدول ۲). نتایج ویژگی های فیزیکی و شیمیایی کود ترکیبی فسفر در حضور مقادیر مختلف ماده آلی در جدول ۲ نشان داده شده است. میزان حلالیت کودهای ترکیبی (OM/P) مطابق پروتکل های استاندارد صنایع شیمیایی کود اندازه گیری شد (HG-2598-94). به طوری که بر روی یک گرم از نمونه ها به طور مجزا ۱۵۰ میلی لیتر (۱) HCl نیم مولار (۲) اسید سیتریک (۲۰ گرم بر لیتر) (۳) آب دیونیزه افزوده شده و به مدت ۸۰ دقیقه در ۱۸۰ rpm (دمای ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس) تکان داده شدند. سپس بعد از صاف کردن با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ غلظت فسفر در آن تعیین شد. به علاوه نتایج مربوط به کدرها بودن کودهای ترکیبی ساخته شده قبلا گزارش شده است (Piri et al., ۲۰۲۳).

جدول ۲. ویژگی های کودهای ترکیبی فسفر / ماده آلی (OM/P)

| Composites | P | N | Mg | K | EC (1:10) | pH (1:10) | SI | | | |
|---|--------------------------|-------|------------------|-----------------|-------------------|--------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|
| | % | | | | (dS/m) | | | | | |
| OM ₀ /P | ۱۲/۶۷ | ۸/۲۲ | ۱۰/۷۶ | ۱/۱۵ | ۳/۹۷ | ۷/۶۹ | ۵/۹۷ | | | |
| OM ₂₅ /P | ۱۰/۳۶ | ۷/۱۲ | ۸/۵۱ | ۰/۲۶ | ۳/۸۷ | ۷/۶۹ | ۵/۸۲ | | | |
| OM ₅₀ /P | ۹/۳۸ | ۵/۸۰ | ۷/۴۷ | ۰/۳۷ | ۳/۷۶ | ۷/۵۴ | ۵/۶۶ | | | |
| OM ₇₅ /P | ۶/۲۷ | ۴/۲۰ | ۶/۵۱ | ۰/۶۴ | ۲/۴۹ | ۷/۱۷ | ۳/۷۵ | | | |
| Heavy metal concentration | Ni | Mo | As | Zn | Cu | Pb | Cd | | | |
| Unit | mg/kg | | | | | | | | | |
| OM ₀ /P | ۷ | ۰/۷۹ | ۳۲/۱ | ۸۷۰ | ۲۰ | ۵ | ۱/۲۹ | | | |
| OM ₂₅ /P | ۱۲ | ۰/۸۱ | ۳۲/۱ | ۱۰۱۱ | ۳۳ | ۵ | ۱/۲۶ | | | |
| OM ₅₀ /P | ۱۳ | ۰/۸۳ | ۳۳/۹ | ۱۱۳۲ | ۳۳ | ۵ | ۱/۳۱ | | | |
| OM ₇₅ /P | ۱۵ | ۱/۷۰ | ۳۷/۴ | ۱۳۲۱ | ۳۷ | ۶ | ۱/۴۲ | | | |
| Permissible concentration limit of heavy metals in fertilizer (Muys et al., 2021) | ۱۰۰ | - | ۴۰ | ۱۵۰۰ | ۶۰۰ | ۱۲۰ | ۶۰ | | | |
| Chemical characteristics (XRF) | BaO and TiO ₂ | CaO | K ₂ O | SO ₃ | Na ₂ O | MgO | Fe ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ |
| Unit | % | | | | | | | | | |
| OM ₀ /P | <۰/۰۵ | ۱۳/۸۸ | ۱/۳۹ | ۱/۳۸ | ۱/۹۴ | ۱۷/۸۴ | <۰/۰۵ | ۳۱/۶۵ | <۰/۰۵ | ۰/۵۳ |
| OM ₂₅ /P | <۰/۰۵ | ۱۲/۲۹ | ۰/۳۲ | ۱/۸۹ | ۱/۴۸ | ۱۴/۱۲ | ۰/۴۴ | ۲۴/۶۰ | ۰/۵۶ | ۱/۳۶ |
| OM ₅₀ /P | <۰/۰۵ | ۸/۳۲ | ۰/۴۵ | ۱/۹۹ | ۱/۴۵ | ۱۲/۴۰ | ۰/۹۵ | ۱۶/۲۹ | ۰/۷۵ | ۱/۷۲ |
| OM ₇₅ /P | <۰/۰۵ | ۴/۷۲ | ۰/۷۸ | ۱/۸۰ | ۰/۸۰ | ۱۰/۸۸ | ۱/۷۱ | ۸/۶۲ | ۰/۴۴ | ۳/۴۳ |

بررسی تأثیر کودهای ترکیبی OM/P بر رشد گیاه بادربشو در یک خاک آهکی

آزمایش گلخانه‌ای

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه در شهریور ۱۴۰۱ انجام شد. یک نمونه خاک آهکی از خاک های زراعی آذربایجان غربی تهیه و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک پس از هوا خشک و الک کردن اندازه‌گیری شد. از جمله pH و شوری (EC) در عصاره اشباع، بافت خاک به روش هیدومتری (Gee and Bauder 1986)، فسفر به روش بی‌کربنات سدیم نیم مولار pH ۸/۵ (Olsen and Sommers 1982) کربن آلی به روش والکلی بلک (Walkly and Black 1934)، میزان پتاسیم قابل دسترس با استفاده از استات آمونیوم و عناصر ریز مغذی در خاک با استفاده از روش DTPA-TEA اندازه‌گیری شدند (۱۹۷۸) قابل دسترس با استفاده از استات آمونیوم و عناصر ریز مغذی در خاک با استفاده از روش DTPA-TEA اندازه‌گیری شدند (۱۹۷۸) (Lindsay and Norvell). میزان آهک براساس کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید (Rayment and Higginson 1992) اندازه‌گیری و نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. برخی ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

| P-Olsen (mg/kg) | EC (dS/m) | pH | OC (%) | CCE (%) | Texture | Sand % | Silt % | Clay % |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|--------|--------|--------|
| ۳/۴ | ۰/۸۹ | ۷/۹۸ | ۰/۶۵ | ۲۲ | لومی شنی | ۳۸ | ۵۳ | ۹ |
| Available K (mg/kg) | Zn (mg/kg) | Cu (mg/kg) | Mn (mg/kg) | Fe (mg/kg) | Total N (%) | | | |
| ۱۶۰ | ۱/۱۴ | ۲/۶ | ۷/۴ | ۸/۴ | ۰/۰۶ | | | |

قبل از کاشت کودهای K_2SO_4 ، $Fe-EDDHA.H_3BO_3$ ، $CuSO_4$ ، $MnSO_4$ ، $ZnSO_4$ در مقادیر ۱۵، ۱۵، ۲/۵، ۲/۵، ۱۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به خاک گلدان‌ها اضافه شد. کود اوره (۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم) نیز به صورت سرک در سه مرحله (بعد از مرحله دو برگی و در فاصله ۱۵ روز یک بار) در طول رشد رویشی به گیاه داده شد. مقدار فسفر لازم برای رسیدن به غلظت تعادل ۰/۳ میلی گرم در لیتر به عنوان نیاز استاندارد فسفر (SPR) با استفاده از ایزوترم جذب تعیین شد (Samadi، 2006). برای اعمال تیمار کودهای فسفاته، ۵ کیلوگرم خاک به هر گلدان به ابعاد ۳۵ در ۲۵ ریخته شد. تیمارها شامل شاهد (بدون مصرف کود فسفاته)، ۴ نوع کود ترکیبی فسفر/ ماده آلی (صفر٪ ماده آلی + ۱۰۰٪ کود فسفر استرووایت (OM₀/P)، ۲۵٪ ماده آلی + ۷۵٪ کود فسفر (OM₂₅/P)، ۵۰٪ ماده آلی + ۵۰٪ کود فسفر (OM₅₀/P) و ۷۵٪ ماده آلی + ۲۵٪ کود فسفر (OM₇₅/P) و کود مونو پتاسیم فسفات (KH₂PO₄) در سه تکرار در فاصله ۵ سانتی متری از سطح خاک جایگذاری شدند. در طول دوره رشد دمای گلخانه بین ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی گراد کنترل و آبیاری براساس ظرفیت زراعی مزرعه انجام گردید. در هر گلدان تعداد ۱۵ بذر کاشته شد که بعد از تنک کردن در مرحله دو برگی، ۶ بوته نگه‌داشته و پس از ۴۵ روز برداشت انجام شد.

ویژگی‌های عملکردی و مورفولوژیکی

پس از برداشت، صفات عملکردی و مورفولوژیکی گیاهان شامل وزن خشک و تر، کلروفیل برگ، ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد برگ در هر بوته اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی گیاهان از محل طوقه جدا شده، ابتدا وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری و سپس گیاهان به مدت ۷۲ ساعت در آون در حرارت ۷۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. مقدار کلروفیل (رنگدانه سبز) با دستگاه کلروفیل متر (شاخص SPAD)، ارتفاع با خط‌کش و قطر ساقه گیاهان با دستگاه کولیس اندازه‌گیری شد.

آنالیز شیمیایی گیاه بادرشو

پس از برداشت و شست و شوی گیاهان، نمونه‌ها در ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس آسیاب شدند. هضم نمونه گیاهی برای اندازه‌گیری عنصر نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کجلدال به انجام رسید (امامی، ۱۳۷۵). هضم نمونه‌های گیاهی برای اندازه‌گیری عناصر فسفر و منیزیم به روش اکسایش خشک انجام شد. در عصاره صاف شده غلظت P به روش مولیبدات وانادات توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و غلظت عنصر منیزیم به روش تیتراسیون انجام گرفت (امامی، ۱۳۷۵).

ویژگی‌های فیتوشیمیایی بادرشو

مقدار فنول کل به روش گالیک اسید و با معرف فولین سیوکالتو (Aminifard and Amiri, 2020) اندازه‌گیری شد. به این منظور مقدار مشخصی عصاره با ۱۸۰ میکرولیتر آب مقطر و ۱۲۰۰ میکرو لیتر فولین ۱۰ درصد مخلوط و سپس ۹۶۰ میکرو لیتر کربنات سدیم ۷ درصد به آن اضافه و پس از ۳۰ دقیقه نگاه‌داشتن در تاریکی، در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. مقدار فلاونوئید کل به روش کلرید آلومینیوم (Yoo et al., 2008) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و بر اساس روش رنگ سنجی اندازه‌گیری شد. به این منظور مقدار مشخصی عصاره با ۱۵۰ میکرو لیتر نیتريت سدیم ۵ درصد مخلوط شده و پس از ۵ الی ۱۰ دقیقه استراحت، ۳۰۰ میکرو لیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد و ۱۰۰۰ میکرو لیتر استات سدیم ۶ درصد به آن اضافه شد. سپس با آب مقطر به حجم ۵ میلی لیتر رسیده و در طول موج ۵۶۵ نانومتر قرائت گردید. برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی اکسیدانی، برای هر نمونه به ترتیب ۲ و ۳ میلی لیتر محلول DPPH و FRAP استفاده و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری گردید. (Turkmen et al., 2005). تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و رسم نمودارها در نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های کودهای ترکیبی فسفر / ماده آلی (OM/P)

نتایج تجزیه شیمیایی کود ترکیبی با استفاده از طیف‌نگار فلورسانس پرتوایکس (XRF) نشان داد بیشترین ترکیب کود فسفر/ ماده آلی از اکسید فسفر (P_2O_5) تشکیل شده است بطوری که مقدار آن در حضور نسبت‌های مختلف ماده آلی OM₅₀/P، OM₂₅/P، OM₀/P به ترتیب ۳۲، ۲۴، ۱۶ و ۸ درصد بدست آمد (جدول ۲). تفاوت نمونه‌های کودی می‌تواند بدلیل حضور آهن، سدیم، آلومینیوم و ماده آلی باشد (Rahman et al. 2013; Shiba and Freeman, 2016). بعلاوه مقدار اکسید منیزیم (MgO) با افزایش مقدار ماده آلی

کاهش یافت. محققان مقدار P_2O_5 بازیابی شده از لجن فاضلاب را در شرایط مختلف آزمایشگاهی ۱۴ تا ۳۲ درصد گزارش کردند (Shiba and Ntuli 2016). در کودهای نیتروژنه، فسفات و پتاسیمی مقدار اکسید فسفر (P_2O_5) بایستی در محدوده ۱۸ تا ۲۰ درصد باشد (Adam, 2009). به علاوه مقادیر فلزات سنگین در کودهای ترکیبی فسفر/ ماده آلی کمتر از حد مجاز قابل قبول برای کودها می باشد. نتایج بررسی حلالیت فسفر از کودهای ترکیبی فسفر / ماده آلی در آب مقطر، اسید سیتریک (۲۰ g/L) و اسید کلریدریک نیم مولار نشان داد حضور ماده آلی در ترکیب کود فسفات بازیافت شده از لجن، موجب افزایش رهاسازی فسفر می شود و بیشترین میزان فسفر رها شده در ترکیب OM_{75}/P به دست آمد (جدول ۴). بنابراین حضور ماده آلی در ترکیب کود فسفات موجب رهایش فسفر می گردد.

جدول ۴. حلالیت فسفر در کودهای ترکیبی فسفر / ماده آلی

| OM/P | OM/P | | |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | H ₂ O | 20 g/L acid citric | HCl 0.5 M |
| | Dissolution rate (%) | Dissolution rate (%) | Dissolution rate (%) |
| OM_0/P | ۱/۱۵d | ۶۶/۶۲d | ۸۹/۰۱d |
| OM_{25}/P | ۱/۳۸c | ۶۴/۹۹c | ۸۹/۴۰c |
| OM_{50}/P | ۱/۴۵b | ۷۳/۸۵b | ۹۵/۲۲b |
| OM_{75}/P | ۲/۱۱a | ۹۰/۰۱a | ۹۸/۲۸a |

ویژگی های عملکردی و مورفولوژیکی گیاه بادرشو

نتایج تجزیه واریانس تأثیر کودهای ترکیبی فسفر/ ماده آلی (OM_0/P ، OM_{25}/P ، OM_{50}/P و OM_{75}/P) و KH_2PO_4 در مقایسه با تیمار شاهد (Check) بر روی ویژگی های عملکردی و مورفولوژیکی گیاه بادرشو در جدول ۵ و میانگین این ویژگی ها نیز در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵. تجزیه واریانس ویژگی های عملکردی و مورفولوژیکی گیاه بادرشو تحت تأثیر کودهای مختلف فسفره

| میانگین مربعات (MS) | | | | df | S.O.V | | |
|---------------------|-----------------|----------|-------------|---------|----------|------------|---------------------|
| تعداد برگ | عدد کلروفیل متر | قطر ساقه | ارتفاع بوته | وزن خشک | وزن تر | درجه آزادی | منابع تغییرات |
| ۴۸/۵۷** | ۶۴/۸۶** | ۰/۲۲** | ۸۳/۶۹** | ۶۲/۵۸** | ۳۶۶/۲۶** | ۵ | کودهای فسفره |
| ۲/۷۶ | ۳/۱۶ | ۰/۰۱ | ۵/۰۰ | ۵/۲۷ | ۳/۹۹ | ۱۰ | خطای آزمایشی |
| ۲/۵۸ | ۳/۷۵ | ۲/۳۵ | ۴/۵۳ | ۴/۹۱ | ۲/۴۵ | | ضریب تغییرات (%) CV |

** نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک درصد می باشد.

جدول ۶. تأثیر تیمارهای کودی فسفات بر ویژگی های عملکردی و مورفولوژیکی بادرشو

| Morphological characteristics | | | | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------------|--------------------|------------|----------------------------|
| Samples | FW (gr/pot) | DW (gr/pot) | Plant height (cm) | Stem diameter (cm) | SPAD value | Number of leaves per plant |
| Check | ۶۳/۶ e* | ۳۰/۵ c | ۳۹/۱ e | ۳/۸ d | ۲۳/۲ e | ۶۷/۶ e |
| OM_0/P | ۷۳/۵ d | ۳۶/۹ e | ۴۸/۴ d | ۴/۱ c | ۲۸/۵ d | ۸۳/۸ d |
| OM_{25}/P | ۸۳/۲ c | ۴۰/۵ d | ۵۱/۴ c | ۴/۲ b | ۳۱/۸ c | ۱۲۷/۹ c |

| | | | | | | |
|---------------------------------|---------|--------|---------|-------|---------|---------|
| OM ₅₀ /P | ۸۷/۶ b | ۴۱/۳ b | ۵۲/۴ ab | ۴/۳ b | ۳۴/۲ ab | ۱۶۰/۵ b |
| OM ₇₅ /P | ۹۴/۳ a | ۴۳/۲ a | ۵۳/۳ a | ۴/۶ a | ۲۶/۳ a | ۱۷۶/۲ a |
| KH ₂ PO ₄ | ۸۶/۳ bc | ۴۰/۶ b | ۵۲/۲ ab | ۴/۳ b | ۳۲/۴ c | ۱۳۸/۸ c |

* The same letter indicates no significant different ($p \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test; fresh weight (FW); dry weight (DW)

استفاده از کودهای ترکیبی و KH₂PO₄ موجب افزایش معنی دار وزن خشک (DW)، وزن تر (FW)، ارتفاع بوته، قطر ساقه، کلروفیل برگ (SPAD value) و تعداد برگ گیاه بادرشبو در مقایسه با تیمار شاهد شده است. بیشترین افزایش در این ویژگی‌ها با کاربرد نمونه کودی OM₇₅/P بدست آمد. وزن تر، وزن خشک، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، مقدار کلروفیل و تعداد برگ در شرایط استفاده از OM₇₅/P به ترتیب ۴۸، ۴۲، ۳۶، ۲۱، ۵۶ و ۱/۶ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. کود ترکیبی با مقدار مختلف بیوپچار بقایای هرس انگور موجب افزایش مقدار صفات موفولوژیکی گیاه ذرت کشت شده در خاک آهکی شد (Piri and Sepehr, ۲۰۲۲). مقدار کلروفیل بالا در گیاه کاهو تحت تیمار کودی بازیافت شده از لجن در مقایسه سوپرفسفات تریپل گزارش شده است (Jama-Rodzenska et al. 2022). در فرمول کودی منیزیم آمونیوم فسفات حضور منیزیم و آمونیوم نیز می تواند موجب افزایش میزان کلروفیل در مقایسه با تیمار سوپرفسفات تریپل و شاهد شود (Jama-Rodzenska et al. 2022). اخیراً در مطالعاتی تأثیر مثبت معنی داری در افزایش عملکرد، وزن خشک گیاهانی مانند ذرت و یونجه و در سبزیجاتی مانند کلم و کاهو در استفاده از کود استخراج شده از فاضلاب به عنوان کود فسفات در مقایسه با کودهای تجاری مانند سوپر فسفات تریپل گزارش شده است (Jama-Rodzenska et al. 2022; Ryu and Lee 2016).

عناصر فسفر، منیزیم و نیتروژن در گیاه بادرشبو

جدول ۷ نتایج درصد عناصر فسفر، منیزیم و نیتروژن گیاه بادرشبو در تیمارهای ترکیبات مختلف کود فسفات و آلی شامل OM₀/P، OM₂₅/P، OM₅₀/P و OM₇₅/P و KH₂PO₄ در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می دهد. افزایش غلظت فسفر در مقایسه با تیمار شاهد ۷۸، ۴۳، ۲۱، ۱۱ و ۳۹ درصد به ترتیب از OM₇₅/P، OM₅₀/P، OM₂₅/P، OM₀/P و KH₂PO₄ بدست آمد. غلظت منیزیم نیز با کاربرد کودهای ترکیبی فسفر/ ماده آلی و KH₂PO₄ افزایش معنی داری نشان داد و بیشترین میزان افزایش (۱/۶۲ برابر شاهد) در تیمار OM₇₅/P ثبت شد. غلظت نیتروژن در بادرشبو در کودهای استفاده شده در این پژوهش روند مشابهی با عناصر فسفر و منیزیم نشان داد.

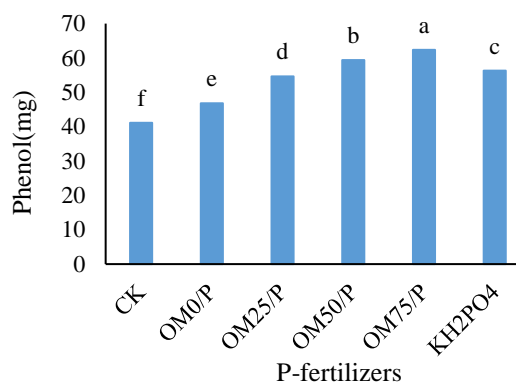
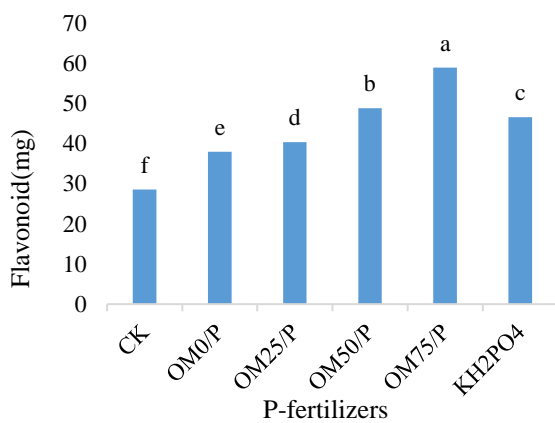
جدول ۷. تأثیر تیمارهای کودی فسفات بر درصد عناصر فسفر (P)، نیتروژن (N) و منیزیم (Mg)

| Treatments | %P | %N | %Mg |
|---------------------------------|--------|-------|-------|
| Check | ۰/۲۸cd | ۲/۹۹e | ۰/۳۵e |
| OM ₀ /P | ۰/۳۱c | ۳/۳۳d | ۰/۴۴d |
| OM ₂₅ /P | ۰/۳۴c | ۳/۸۷c | ۰/۴۸c |
| OM ₅₀ /P | ۰/۴۰b | ۴/۲۲b | ۰/۵۳b |
| OM ₇₅ /P | ۰/۵۰a | ۴/۹۳a | ۰/۵۷a |
| KH ₂ PO ₄ | ۰/۳۹b | ۴/۱۴b | ۰/۵۱b |

از آنجا که درصد عناصر فسفر، نیتروژن و منیزیم در گیاه بادرشبو در حضور کودهای ترکیبی فسفر/ ماده آلی بیشتر از کود KH_2PO_4 شده است این نتایج بیانگر آن است که فراهمی این عناصر در حضور ماده آلی افزایش یافته است. اخیراً گزارش شده است که حضور ماده آلی با تغییر در فعالیت یون‌هایی مانند کلسیم، آهن و آلومینیوم باعث کاهش رسوب فسفر با این عناصر می‌گردد (Shi et al. 2023; Wang et al. 2022). Shi و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند استفاده از مواد آلی باعث تغییر در فعالیت یون کلسیم در خاک شده و موجب افزایش قابلیت دسترسی فسفر، نیتروژن و منیزیم در گیاه می‌گردد. جهان‌دیده و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که استفاده همزمان کودهای تجاری به همراه اسید هیومیک غلظت عناصر غذایی از جمله فسفر را در کلزا افزایش می‌دهد، مواد هیومیک در تعامل با فسفر در خاک، میتواند باعث کاهش تثبیت فسفر و افزایش قابلیت دسترسی گیاه به فسفر شود. گروه‌های عاملی مواد آلی مانند کربوکسیل، فنول و کربونیل می‌توانند با تشکیل کمپلکس با نیتروژن و کنترل رهایش آن باعث افزایش قابلیت دسترسی گیاه به این عنصر شوند (Bakshi et al. 2021).

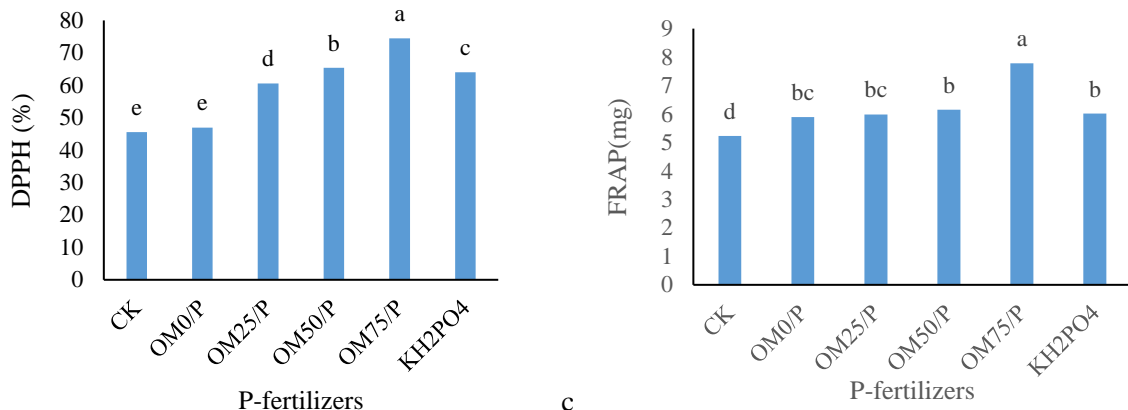
خصوصیات فیتوشیمیایی (فلاونوئید، فنول، DPPH و FRAP)

نتایج نشان داد میزان فنول بادرشبو در تیمارهای مختلف در محدوده ۴۱ تا ۶۲ میلی گرم که حداقل مقدار آن در تیمار شاهد و حداکثر مقدار آن در تیمار OM_{75}/P به دست آمد (شکل ۱). میزان فلاونوئید بادرشبو در حضور تیمارهای کودی فسفات شامل OM_{25}/P ، OM_{50}/P و OM_{75}/P به ترتیب ۳۳، ۴۷، ۷۱، ۱۰۰ و ۶۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. بزرگترین متابولیت‌های ثانویه ترکیبات فنولی شامل فنول‌ها و فلاونوئید هستند که در بیشتر فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه مانند رشد سلولی نقش موثری دارند (Polatoglu et al., 2013). در طب سنتی محتویات فنلی و عناصر غذایی گیاهان دارویی برای اهداف درمانی مهم است. سایر محققان نیز گزارش کردند ترکیبات شیمیایی گیاهان ممکن است بر اساس شرایط خاک تغییر کند (Gürkan Eser and Adiloğlu, 2020; Joshi, 2014). در همین راستا، فعالیت آنتی‌باکتری گیاه ریحان در حضور کاربرد کود کلات آهن نیز تحت تأثیر قرار گرفت (Gürkan and Adiloğlu, 2021).



b

a



شکل ۱. تغییرات میزان فنول (a)، فلاونوئید (b)، فعالیت آنتی اکسیدانتی FRAP (c) و DPPH (d) در گیاه بادرشبو در حضور تیمارهای کودی فسفر شاهد CK، %۱۰۰+ استروویت (OM۰/P)، %۲۵+ لئوناردیت (OM۲۵/P)، %۷۵+ استروویت (OM۷۵/P)، %۵۰+ لئوناردیت (OM۵۰/P)، %۷۵+ لئوناردیت + %۲۵ استروویت (OM۷۵/P) و مونوفتاسیم فسفات (KH₂PO₄)

در ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه بادرشبو به روش های DPPH و FRAP مشاهده شد در تیمارهای کودهای فسفاته مورد مطالعه در این تحقیق استفاده از نمونه های کودی ترکیبی OM/P و KH₂PO₄ باعث افزایش معنی دار فعالیت آنتی اکسیدانتی (DPPH و FRAP) گیاه بادرشبو در مقایسه با تیمار شاهد می گردد. بطوری که با کاربرد OM₀/P، OM₂₅/P، OM₅₀/P، OM₇₅/P و KH₂PO₄ مقدار فعالیت آنتی اکسیدانتی با ارزیابی DPPH به ترتیب ۳، ۴۴، ۳۳، ۶۳ و ۴۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. تغییرات فعالیت آنتی اکسیدانتی با ارزیابی روش FRAP نیز در حضور کودهای مختلف بصورت OM₀/P < OM₂₅/P < KH₂PO₄ < OM₅₀/P < OM₇₅/P و حداکثر فعالیت اکسیدانتی در تیمار OM₇₅/P بدست آمد. برخی محققان گزارش کردند با افزایش ترکیبات فنولی فعالیت اکسیدانتی نیز افزایش می یابد (Ahmadi et al., ۲۰۱۶; Mazaraie et al., 2018). مقدار ترکیبات فنولی مستقیماً با مقاومت گیاه در برابر آفات و بیماری ها در ارتباط است (Zheng et al., ۲۰۱۶). بنابراین با استفاده از کودهای کندرها فسفاته در خاک های آهکی می توان موجب کاهش خطرات زیست محیطی استفاده از آفت کش ها شد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

کاربرد کودهای ترکیبی فسفر / ماده آلی (OM/P) به عنوان کودهای فسفاته کندرها با درصد های مختلف ماده آلی باعث افزایش ویژگی های موفولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه بادرشبو شد. ویژگی های عملکردی شامل وزن تر و خشک نیز در حضور کودهای ترکیبی OM/P نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش یافتند. تاثیر تیمارهای کودی OM/P بر فعالیت آنتی اکسیدانتی (DPPH و FRAP) و تغییرات غلظت عناصر فسفر، نیتروژن و منیزیم در گیاه بادرشبو معنی دار بود و روند افزایش این ویژگی ها بصورت مقابل بدست آمد: OM₀/P < OM₂₅/P < KH₂PO₄ < OM₅₀/P < OM₇₅/P. بنابراین حداکثر افزایش پارامترهای رشدی و فعالیت آنتی اکسیدانتی گیاه بادرشبو در خاک آهکی با کاربرد OM₇₅/P بدست آمد. بنابراین کاربرد کودهای ترکیبی فسفر / ماده آلی به ویژه با درصد ماده آلی بالا می تواند در افزایش تولید متابولیت های ثانویه (فنول و فلاونوئید) و فعالیت های آنتی اکسیدانتی گیاه بادرشبو کشت شده در خاک های آهکی موثرتر از کودهای تجاری فسفاته باشد.

“هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.”

منابع

جهاندیده، آمنه؛ بارانی مطلق، مجتبی؛ دردی پور، اسماعیل و قربانی نصرآبادی، رضا (۱۳۹۸). اثر اسید هیومیک بر فراهمی کود فسفر و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه کلزا. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۳ (۶)، ۸۸۳-۸۷۳. <https://sid.ir/paper/364914/fa>.

امامی، عاکفه (۱۳۷۵). روشهای تجزیه گیاه (جلد اول). نشریه فنی شماره ۹۸۲، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

REFERENCES

- Adam, C., Peplinski, B., Michaelis, M., Kley, G., & Simon, F. (2009). Thermochemical treatment of sewage sludge ashes for phosphorus recovery. *Waste Management*, 29, 1122–1128.
- Ahmadi, F., Samadi, A., & Rahimi, A. (2020). Improving growth properties and phytochemical compounds of *Echinacea purpurea* (L.) medicinal plant using novel nitrogen slow release fertilizer under greenhouse conditions. *Scientific Reports*, 10, 13842. doi: 10.1038/s41598-020-70949-4.
- Aminifard, M. H., & Amiri, M. B. (2021). Growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) affected by different levels of fulvic acid and cow manure in the second growing season, *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 4(3), 57-67.
- Bakshi, S., Banik, C., Laird, D., Smith, R., & Brown, R. (2021). Enhancing Biochar as Scaffolding for Slow Release of Nitrogen Fertilizer. *ACS Sustainable Chemistry & Engineerin*, 9 (24), 8222–8231. <https://doi.org/10.1021/acsschemeng.1c02267>.
- Bertrand, I. R., Holloway, E., Armstrong, R. D., & McLaughlin, M. J. (2003). Chemical Characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia. *Aust. Journal of Soil Research*, 41, 61-76.
- Emami, A. (1996). Methods of plant analysis. Soil and Water Research Institute, technical publication No. 982, Tehran, Iran, 128p. (In Persian).
- Farahmnad. S., Shiralizadeh, S., Talebian, M. T., Bagheri-Hariri, S., Arbab, M., Basirghafouri, H., Saedi, M., Sedaghat, M., & Mirzababai, H. (2014). Nebulized fentanyl vs intravenous morphine for ED patients with acute limb pain: a randomized clinical trial. *American Journal of Emergency Medicine*, 32(9), 1011-5. doi: 10.1016/j.ajem.2014.05.051.
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. 2nd ed. Methods of soil analysis Part 1 Physical and miner-alogical methods, 383–411. 2nd ed. *American Society of Agronomy/Soil Science Society of America*.
- Grotz, N., & Guerinet, M. L. (2002). Limiting nutrients: An old problem with new solutions. *Plant Biology*, 5, 158-163.
- Guney, E., Menche, J., Vidal, M. et al. (2016). Network-based in silico drug efficacy screening. *Nature Communications*, 7, 10331. <https://doi.org/10.1038/ncomms10331>.
- Gürkan Eser, M., & Adiloglu, S. (2020). The correlation of some nutrient elements and antibacterial activity of the basil (*Ocimum basilicum*). *Tekirdag Ziraat Fakültesi Derg.* ۱۷, 381–391. <https://doi.org/10.33462/jotaf.699792>.
- Herzberger, V., Böz, E., Kunze, M., Markfeld-Erol, F., & Juhasz-Böss, I. (2022). Exercise during pregnancy—effects on birth weight and on the risks of gestational diabetes and preterm delivery. *Deutsches Ärzteblatt International*, 119, 793–7. DOI: 10.3238/arztebl.m2022.0305.
- Hu, Y., Yuan, B., Cheng, F., & Hu, X. (2019). NaOH etching and resin pre-coating treatments for stronger adhesive bonding between CFRP and aluminium alloy. *Compos. Bachelor of Engineering*, 178, 107478 <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107478>.
- Jahandideh, A., Barani Motlagh, M., Dordipur, E., & Ghorbani Nasrabad, R. (2020). The Effect of Humic Acid on the Availability of Phosphorus Fertilizer and some Physiological Traits of Rapeseed (Canola). *Journal of Water and Soil*, 33(6), 837-884. DOI: 10.22067/jsw.v33i6.77449 (In Persian).
- Jama-Rodzenska, A., Chohura, P., Gałka, B., Szuba-Trznadel, A., Falkiewicz, A., & Białkowska, M. (2022). Effect of different doses of phosgreen fertilization on chlorophyll, K, and Ca content in butter head lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in peat substrate. *Agriculture*, 12(6), 788. doi:10.3390/agriculture12060788.

- Joshi, R. (2014). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Ocimum basilicum* L. (sweet basil) from Western Ghats of North West Karnataka, India. *Ancient Science of Life*, 33, 149. <https://doi.org/10.4103/0257-7941.144618>.
- Krueger, J., & Mueller, R. A. (2000). Unskilled, unaware, or both? The better-than-average heuristic and statistical regression predict errors in estimates of own performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 82(2), 180-8.
- Li, M., Zhang, H., Sun, H., Mohammed, A., Liu, Y., & Lu, Q. (2022). Effect of phosphate and ammonium concentrations, total suspended solids and alkalinity on lignin-induced struvite precipitation. *Scientific Reports*, 12 (1), 2901. doi: 10.1038/s41598-022-06930-0.
- Mazaraie, A., Mousavi-Nik, S. M., & Leila, F. (2018). Assessments of phenolic, flavonoid and antioxidant activity of aqueous, alcoholic, methanol and acetone extracts of thirteen medicinal plants. *Nova Biologica Reperta*, 4(4), ۲۹۹-۳۰۹.
- Mehra, P., Pandey, B. K. & Giri, J. (2015). Genome-wide DNA polymorphisms in low Phosphate tolerant and sensitive rice genotypes. *Scientific Reports*, 5, 13090.
- Meyer, C., Preyl, V., Steinmetz H., Maier W., Mohn RE. & Schönberger H. (2019). The Stuttgart Process (Germany). In: Ohtake, H., Tsuneda, S. (Eds) Phosphorus Recovery and Recycling. *Springer*, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8031-9_19.
- Mrabti, H. N., El Hachlafi, N., Al-Mijalli, S. H., Jeddi, M., Elbouzidi, A., et al. (2023). Phytochemical Profile, Assessment of Antimicrobial and Antioxidant properties of Essential Oils of *Artemisia herba-alba* Asso., and *Artemisia dracunculus* L.: Experimental and Computational Approaches. *Journal of Molecular Structure*, DOI:10.1016/j.molstruc.2023.136479.
- Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982). Phosphorus. In *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, 2nd ed., eds. A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney, 403–30. *Agron. Monogr.* 9; Madison, WI: ASA and SSSA.
- Piri, M., & Sepehr, E. (2022). Phosphorus recovery from domestic sewage sludge in the presence of waste grape pruning biochar. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 8(4), 575–88.
- Piri, M., Sepehr, E., & Ghavidel, S.Z. (2023). Dosing of leonardite/struvite compounds as phosphorus fertilizers increased biomass and nutrient uptake in a calcareous soil. *Journal of Cleaner Production*, 430, 139723.
- Polatoglua, K., Karakoc, O.C., & Goren, N. (2013). Phytotoxic, DPPH scavenging, insecticidal activities and essential oil composition of *Achillea vermicularis*, *A. teretifolia* and proposed chemotypes of *A. biebersteinii* (Asteraceae). *Industrial Crops and Products*, 51(1), 35-45.
- Rahman, M. M., Salleh, M. M., Rashid, U., Ahsan, A., Hossain, M. M., & Ra, C. S. (2013). Production of slow release crystal fertilizer from wastewaters through struvite crystallization – A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 7:139–155.
- Rayment, G. E., & Higginson, F. R. (1992). Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods. Melbourne, in kata Press.
- Ryu, H. D., & Lee, S. I. (2016). Struvite recovery from swine wastewater and its assessment as a fertilizer. *Environmental Engineering Research*, 21(1), 29–35. doi:10.4491/eer.2015.066.
- Samadi, A., (2006). Phosphorus Sorption Characteristics in Relation to Soil Properties in Some Calcareous Soils of Western Azarbaijan Province. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 8, 251-264.
- Shi, Y., Yu, Y., Chang, E., Wang, R., Hong, Z., Cui, J., Zhang, F., Jiang, J., & Xu, R. (2023). Effect of biochar incorporation on phosphorus supplementation and availability in soil: A review. *Journal of Soils and Sediments*, 23 (2), 672–86. doi: 10.1007/s11368-022-03359-w.
- Shiba, C. N., & Freeman, N. (2016). Extraction and precipitation of phosphorus from sewage sludge. *Waste Management*, 60, 191–200.
- Stevenson, F. J. (1982). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons, New York.
- Szymanska, M., Comte, A., Tio, G., Vidal, C., Monnin, J., Smith, C. C., Nezelof, S., & Vulliez-Coady, L. (2019). The Besançon affective picture set-adult (BAPS-Adult): Development and validation. *Psychiatry Research*, 271, 31-38. doi: 10.1016/j.psychres.2018.11.005
- Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y.S. (2005) The Effect of Cooking Methods on Total Phenolics and Antioxidant Activity of Selected Green Vegetables. *Food Chemistry*, 93, 713-718. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.038>

- Valle, S. F., Giroto, A. S., Guimaraes, G. G. F., Nagel, K. A., Galinski, A., Cohnen, J., Jablonowski, N. D., & Ribeiro, C. (2022). Co-fertilization of sulfur and struvite-phosphorus in a slow-release fertilizer improves soybean cultivation. *Frontiers in Plant Science*, 13, 861574. doi: 10.3389/fpls.2022.861574.
- Walkley, A. & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjare off method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acidtitration method. *Soil Science*, 37 (1): 29-38.
- Wang, C. Q., Luo, D., Zhang, X., Huang, R., Cao, Y. J., Liu, G. G., Zhang, Y. S., & Wang, H. (2022). Biochar-based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: A mini review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 10, 100167. doi: 10.1016/j.ese.2022.100167.
- Yoo, H. J., An, H. G., Park, S. Y., Ryu, O. H., Kim, H. Y., Seo, J. A., Hong, E. G., Shin, D. H., Kim, Y. H., Kim, S. G., Choi, K. M., Park, I. B., Yu, J. M., & Baik, S. H. (2008). Use of a real time continuous glucose monitoring system as a motivational device for poorly controlled type 2 diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 82(1), 73-9. doi: 10.1016/j.diabres.2008.06.015
- Zheng, J., Li. Y., Xu. D. P., Li. S., & Li. H. B. (2016). Spices for prevention and treatment of cancers. *Nutrients*, 8(8), 495.

پایگاه اطلاعاتی علمی

The effect of combined fertilizer of phosphorus and organic matter on the morphological and phytochemical characteristics of Moldavian Balm (*Dracocephalum moldavica* L.)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Phosphorus (P) is one of the essential nutrients in plants. Suppling of nutrients from different sources of fertilizers can change the growth and the production of secondary metabolites in medicinal plants. Recently, the recycle of P from secondary sources such as sewage, as slow-release-fertilizer have been noticed all over the world. The low solubility of P fertilizers in calcareous soils caused a limitation in the supply of plant phosphorus, and the presence of organic matter in the stage of its formation can increase the release of P from its composition. This study purposes to recycle of P from sewage sludge as struvite combined with different amount of organic matter and application of them as P fertilizers. The morphological, phytochemical characteristics and absorption of phosphorus, magnesium and nitrogen elements by the Moldavian Balm (*Dracocephalum moldavica* L.) investigated in the presence of four samples of slow-release combined fertilizer of phosphorus and organic matter (OM₀/P, OM₂₅/P, OM₅₀/P and OM₇₅/P) compared to mono-potassium phosphate (KH₂PO₄) and the check sample (without using phosphate fertilizer) in a calcareous soil.

Methods

The Stuttgart Process method was used to make the combined fertilizer of P and organic matter (OM₀/P, OM₂₅/P, OM₅₀/P and OM₇₅/P). Briefly, fertilizers were prepared in molar ratios of NH⁴⁺/Mg²⁺/PO₄³⁻ 1:1:1 at a pH of 8.5. The experiment was conducted in the form of a completely randomized design in a calcareous soil to investigate the morphological and phytochemical characteristics of Moldavian balm. The morphological characteristics of plants including dry/wet weight, plant height, stem diameter, leaf chlorophyll and number of leaves were measured. Also, the phytochemical characteristics (flavonoid, phenol, DPPH, FRAP) and the values of P, Mg and N nutrients were measured in Moldavian balm in the presence of P-fertilizers treatments.

Results

The results of this study showed that the use of combined fertilizers (OM₀/P, OM₂₅/P, OM₅₀/P and OM₇₅/P) and KH₂PO₄ resulted in a significantly increase in the morphological characteristics (dry and wet weight, plant height, stem diameter, chlorophyll and number of leaves) and phytochemical characteristics including phenol, flavonoid and FRAP and DPPH antioxidant activity especially with the high amount of organic matter in combined fertilizer and the increasing trend was as follows: OM₀/P < OM₂₅/P < KH₂PO₄ < OM₅₀/P < OM₇₅/P.

Conclusion

The use of combined phosphorus/organic matter fertilizers, especially with a high amount of organic matter, are effective to increase secondary metabolites (phenols and flavonoids), antioxidant activities, and the growth of Moldavian balm in calcareous soils. Further research is also needed to determine the economics of using OM/P components under large scale cultivation of Moldavian balm and different plants in various conditions.

Keywords: Calcareous soil, Struvite, Organic matter, Phytochemical compounds.