



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



معدنی شدن نیتروژن و کربن در خاک تیمار شده با کودهای آلی

صاحب سودایی مشائی*

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال و بختیاری، ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول soodaie@sku.ac.ir

چکیده:

ارزیابی دینامیک معدنی شدن کودهای آلی اضافه شده به خاک، دانشی در مورد آزادسازی عناصر غذایی برای محصولات در حال رشد ارائه می‌دهد. در این پژوهش، کودهای آلی کمپوست و کود دامی به خاک افزوده شد، و پس از ۹۰ روز انکوباسیون در دمای ۸ و ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت ۸۵ درصد ظرفیت مزرعای، نیتروژن و کربن معدنی شده اندازه‌گیری شد. یک تیمار شاهد (خاک بدون افزودن کود) نیز در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بطور متوسط ۶/۶۵ درصد از نیتروژن موجود در کمپوست (معادل $42/90 \text{ mgN.Kg}^{-1}$) و ۹/۸۵ درصد از نیتروژن موجود در کود دامی (معادل $75/88 \text{ mgN.Kg}^{-1}$) در مدت ۹۰ روز انکوباسیون از شکل آلی به معدنی تبدیل شد. آزاد شدن CO_2 در تیمار کمپوست و کود دامی به ترتیب ۵۸/۱۰ و ۳۳/۰۴ درصد بیشتر نسبت به شاهد (معادل ۸۵/۲۳ و ۳۵/۹۶ میلی‌گرم CO_2 در متر مربع در ساعت) حاصل شد. معدنی شدن نیتروژن با افزایش زمان انکوباسیون افزایش و تولید CO_2 کاهش یافته است. به نظر می‌رسد نیتروژن آلی در کود کمپوست از نوع سخت تجزیه پذیر بوده که با سرعت کمتری معدنی می‌شود و در نتیجه نیتروژن در دسترس این کود کمتر است.

واژگان کلیدی: آزاد شدن CO_2 ، کمپوست، کود دامی، نیتروژن و کربن معدنی شده

مقدمه:

معدنی شدن نیتروژن و کربن خاک، تغییرات در محتوای نیتروژن و کربن آلی فعال، از عوامل حیاتی مؤثر در بهبود کیفیت خاک از طریق کاربرد کودهای آلی هستند. ماده آلی خاک یکی از بزرگترین ذخایر کربن و نیتروژن در اکوسیستم‌های مختلف است که می‌تواند تغذیه گیاهان را به طور قابل توجهی بهبود بخشد. دینامیک کربن در خاک‌های کشاورزی برای ترسیب جهانی کربن و انتشار گازهای گلخانه‌ای قابل توجه است (Xu et al., 2019). تنفس خاک یک جریان CO_2 از خاک به جو است که به عنوان مجموع تنفس اتوتروف و هتروتروف تعریف می‌شود. در سطح جهانی، تنفس خاک دومین شار بزرگ C به اتمسفر در نظر گرفته می‌شود (Bond-Lamberty and Thomson, 2014). تنفس میکروبی خاک تحت تأثیر رطوبت خاک، دما، قابلیت دسترسی عناصر غذایی و ساختمان خاک قرار دارد (سودائی و همکاران، ۱۳۸۶).

نیتروژن (N) یک عنصر غذایی مهم است که نقش حیاتی در فرآیندهای مختلف بیولوژیکی ایفا می‌کند که شامل فتوسنتز، تولید زیست توده، تجمع هورمونی، تخصیص کربوهیدرات، رشد معماری ریشه گیاه و توسعه اندام‌های تولید مثلی در گیاهان می‌شود (Wang et al., 2024). در مقابل، باید توجه داشت که استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی نیتروژن دار ممکن است همیشه نتایج مطلوبی را از نظر افزایش بهره‌وری محصول به همراه نداشته باشد. این امر در درجه اول به دلیل افزایش حساسیت به از دست دادن نیتروژن از طریق مکانیسم‌های مختلف، از جمله تبخیر، نترات‌زدایی، آبشویی و اوتریفیکاسیون است (Mansour, et al., 2023). در شیوه‌های کشاورزی، کاهش کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها می‌تواند با استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی انجام شود (Syamsiyah et al., 2023). از یک سو، ضروری است که اذعان کنیم که گسترش شیوه‌های دامپروری فشرده



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ آذر ۱۳ تا ۱۱



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



منجر به افزایش قابل توجه ضایعات حیوانی شده است و در نتیجه به عنوان یکی از عوامل برجسته آلودگی محیط زیست جهانی ظاهر شده است. در مقابل، استفاده از فضولات حیوانی به عنوان کود آلی، اثربخشی خود را به عنوان یک اصلاح‌کننده آلی خاک نشان داده و در نتیجه بهره‌وری محصولات را افزایش می‌دهد (Sudhakar, 2025). همچنین، این عمل به عنوان وسیله‌ای کارآمد برای دفع زباله عمل می‌کند. پتانسیل معدنی شدن کود آلی، به ویژه از نظر نیتروژن و کربن، تأثیر قابل توجهی بر مقدار معدنی شدن خالص نیتروژن که گیاهان می‌توانند از کودها جذب کنند، دارد (Tóth et al., 2023). علاوه بر این، وجود کود آلی می‌تواند تغییراتی را در فرآیندهای فیزیکوشیمیایی خاک ایجاد کند، که عمدتاً با تحریک فعالیت میکروبی از طریق تجزیه مواد آلی و فعالیت‌های آنزیمی انجام می‌شود (Aboutayeb et al., 2024). فرآیند تجزیه مواد آلی خاک و متعاقباً آزادسازی نیتروژن معدنی به راحتی در دسترس در خاک، در درجه اول توسط باکتری‌ها و قارچ‌ها تسهیل می‌شود (Raza et al., 2023). چرخه نیتروژن از طریق فرآیندهای میکروبی به طور قابل توجهی تحت تأثیر محتوای مواد آلی خاک قرار دارد. علاوه بر این، معدنی شدن مواد آلی و کودها تحت تأثیر شرایط محیطی (مثلاً دمای خاک) قرار می‌گیرد (Reganold and Wachter, 2016). از این رو، تعیین چگونگی تأثیر این تغییرات دما بر معدنی شدن نیتروژن و کربن، برای تنظیم مدیریت مبتنی بر آن، مهم است. هدف از این پژوهش، تعیین سرعت معدنی شدن نیتروژن و کربن در خاک در اثر افزودن کودهای آلی کمپوست زباله شهری و کود دامی تحت شرایط دمایی مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، کودهای آلی کمپوست (زباله شهری) و کود دامی پوسیده از شرکت تولید کود آلی شهرداری تبریز تهیه، و پس از هوا خشک و خرد شدن به وسیله آسیاب از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند. نمونه‌های خاک از عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک سطحی مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تبریز تهیه و پس از گذراندن از الک ۲ میلی‌متری به هر گلدان ۵۰۰ گرم خاک اضافه گردید و مقدار ۱۰ گرم (معادل ۵۰ تن در هکتار) از کودهای آلی، در سه تکرار با خاک گلدان مخلوط گردید. یک تیمار شاهد نیز بدون افزودن کود در نظر گرفته شد. ظرفیت مزرعه‌ای خاک با استفاده از دستگاه صفحه فشاری تعیین، سپس با اضافه کردن ۵۷/۵ میلی‌لیتر آب مقطر به رطوبت ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای رسانده شد، و آنگاه به مدت ۹۰ روز در دو سطح دمایی ۸ و ۲۵ درجه سانتیگراد در انکوباتورهای جداگانه نگهداری شدند. آبیاری گلدانها بطور منظم با توزین گلدانها انجام شد. در زمان‌های ۰، ۲، ۴، ۹، ۱۶، ۲۳، ۳۰، ۴۵، ۶۵ و ۹۰ روز پس از شروع انکوباسیون (Kumar et al., 2002)، پنج گرم خاک از هر گلدان نمونه‌برداری شده و به آن ۵۰ میلی‌لیتر محلول سولفات پتاسیم یک درصد اضافه گردید و به مدت یک ساعت شیک شد (با سرعت ۱۹۰ دور در دقیقه)، بعد از آن سوسپانسیون صاف گردید، مقادیر آمونیم و نیترات موجود در این عصاره‌ها به روش اسپکتروفتومتری (آمونیم در طول موج ۶۳۰ نانومتر و نیترات در طول موج ۴۱۰ نانومتر) اندازه‌گیری گردید (Alef & Nannipieri, 1995) و کل نیتروژن معدنی شده از تفاوت مجموع آمونیم و نیترات تیمارهای کودی به مجموع آمونیم و نیترات تیمار شاهد در هر زمان اندازه‌گیری محاسبه گردید. تنفس خاک بر مبنای آزاد شدن گاز دی‌اکسیدکربن از خاک گلدانها با روش تیتراسیون اسید/باز اندازه‌گیری شد (Alef & Nannipieri, 1995).

نتایج و بحث:

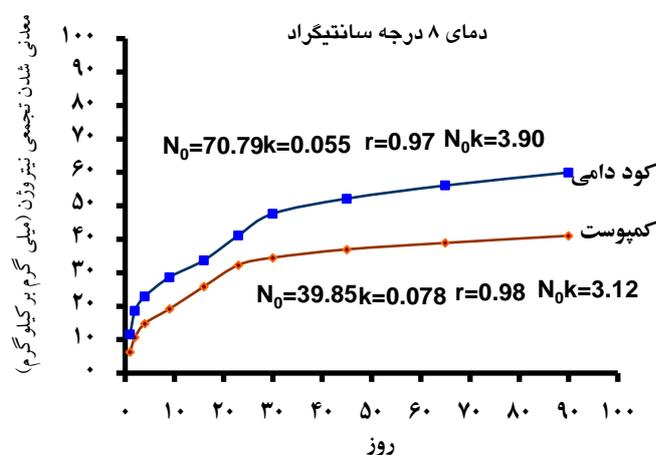
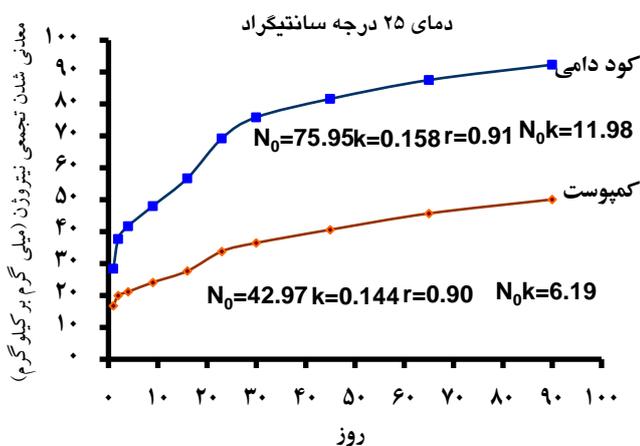
نتایج تجزیه شیمیایی کمپوست (زباله شهری)، کود دامی و خاک مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. خاک مورد استفاده دارای بافت لوم شنی با pH برابر ۷/۴ (عصاره گل اشباع) و ۱۳/۵۲ درصد رطوبت ظرفیت زراعی می‌باشد. مقدار نیترات

کمپوست نسبت به کود دامی کمتر است که به نظر می‌رسد کمپوست در مرحله کمپوست شدن یک فاز گرمایی ناشی از تجزیه و فعل و انفعالات میکروارگانیسم‌های گرمادوست (۷۰-۶۰ درجه سانتیگراد) را طی کرده که در این دما نیتریفیکاتورها قادر به فعالیت نبودند. با توجه به شکل ۱ و مدل سینتیکی مرتبه اول، مقدار نیتروژن معدنی شده برای تیمار کمپوست و کود دامی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به ترتیب ۴۲/۹۰ و ۷۵/۸۸ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم و در دمای ۸ درجه سانتیگراد به ترتیب ۳۹/۸۰ و ۷۰/۲۵ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک بدست آمد. روند تغییرات آزاد شدن CO₂ در طول انکوباسیون در شکل ۲ نمایش داده شد، که با افزایش زمان انکوباسیون کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد این روند کاهشی به‌ویژه در تیمار کمپوست به دلیل وجود کربن قابل استفاده زیاد در ابتدای انکوباسیون و تحریک باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌های دیگر برای استفاده و معدنی کردن آن باشد و با ادامه انکوباسیون از مقدار مواد کربنی قابل استفاده کاسته شده و مقدار نسبی مواد کربنی مقاوم زیادتر می‌شود و در نتیجه تنفس میکروبی خاک هم کاهش می‌یابد (Rezend et al., 2004).

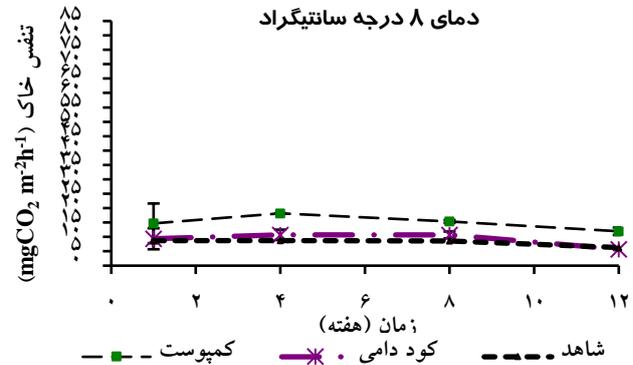
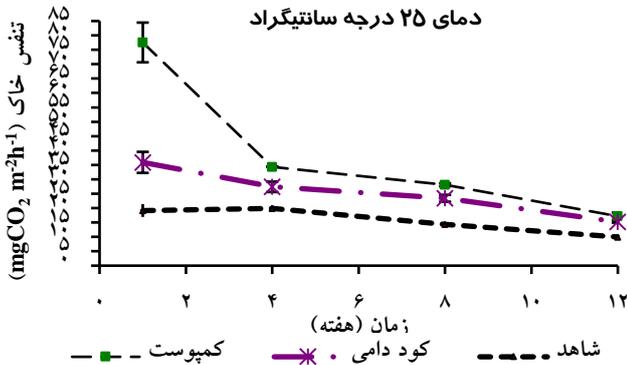
جدول ۱: نتایج تجزیه شیمیایی کود کمپوست، کود دامی و خاک مورد آزمایش

مواد آزمایشی	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	نسبت C:N	آمونیم اولیه (mgN.Kg ⁻¹)	نترات اولیه (mgN.Kg ⁻¹)
کمپوست	۱۲/۱۶	۱/۵۵۱	۷/۸۵	۲۵/۵۲	۲/۶۷
کود دامی	۲۵/۳۹	۲/۱۸۵	۱۱/۴۸	۲۰/۸۱	۹۱/۲۵
خاک	۰/۳۹	۰/۰۳۵	۱۱/۳۴	۸/۴۸	۱/۸۲

El Janati و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که استفاده از کمپوست (بقایای نخل و سنگ فسفات) باعث معدنی شدن بیشتر کربن در کل دوره انکوباسیون شد. پس از انکوباسیون، میزان تجمعی انتشار CO₂-C در خاک اصلاح‌شده با کمپوست ۱۵۶۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. کل کربن معدنی شده از کمپوست ۲۰/۶ درصد از کل کربن آلی اضافه‌شده بود. استفاده از کمپوست در خاک منجر به عدم تحرک نیتروژن به میزان ۱۷۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم شد، در حالی که خاک اصلاح‌نشده ۷۶/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم از نیتروژن خالص معدنی شده را در طول انکوباسیون تأمین کرد. یافته‌هایشان نشان داد که نسبت C:N به تنهایی برای پیش‌بینی معدنی شدن C و N از کمپوست‌ها کافی نیست.

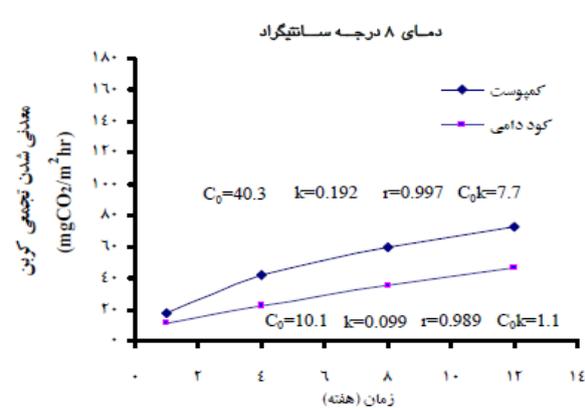
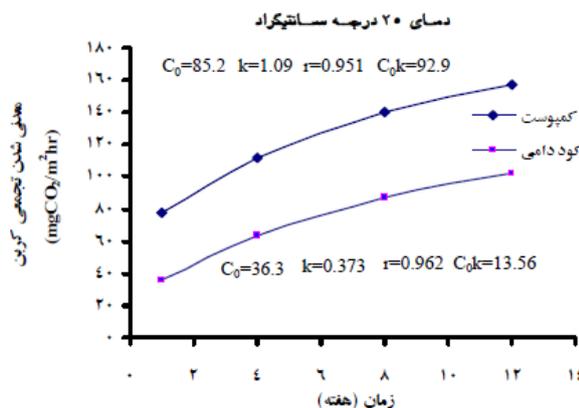


شکل ۱: روند تجمعی معدنی شدن نیتروژن در تیمار کود آلی همراه با ضرایب مدل سینتیکی مرتبه اول در دو سطح دمایی



شکل ۲: مقادیر تنفس میکروبی خاک تیمار شده با کودهای آلی در طول انکوباسیون در دوسطح دمایی مقدار تجمعی معدنی شدن کربن برای تیمار کمپوست و کود دامی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به ترتیب ۸۵/۲۳ و ۳۵/۹۶ میلی‌گرم CO₂ در مترمربع در ساعت و در دمای ۸ درجه سانتیگراد به ترتیب ۳۶/۲۷ و ۷/۱۱ میلی‌گرم CO₂ در مترمربع در ساعت بدست آمد (شکل ۳). این نتایج با یافته‌های El Janati و همکاران (۲۰۲۵) و Calderón و همکاران (۲۰۰۴) و Bernal و همکاران (۱۹۹۸) مطابقت دارد.

مقادیر C₀k که بعنوان شاخص سنجش تجزیه‌پذیری بقایا و موادآلی است (Bernal et al., 1998) هر چه بزرگتر باشد تجزیه پذیری موادآلی نیز بیشتر است، بنابراین کمپوست دمای ۲۵ درجه سانتیگراد با C₀k= ۹۲/۹ بیشترین و کود دامی دمای ۸ درجه سانتیگراد با C₀k= ۱/۱ کمترین مقدار تجزیه‌پذیری را دارند. که معیاری از کیفیت و مرغوبیت ماده آلی می‌باشد برای کود دامی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد بیشترین بود (شکل ۱) که به نظر می‌رسد به دلیل نیتروژن آلی بیشتر در آن نسبت به کمپوست باشد (جدول ۱). نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین و کمترین سرعت معدنی شدن کربن به ترتیب در تیمار کمپوست دمای ۲۵ درجه سانتیگراد (k= ۱/۰۹) و کود دامی دمای ۸ درجه سانتیگراد (k= ۰/۰۹۹) و برای سرعت معدنی شدن نیتروژن به ترتیب، تیمار کود دامی دمای ۲۵ درجه سانتیگراد (k= ۰/۱۵۸) و کود دامی دمای ۸ درجه سانتیگراد (k= ۰/۰۵۵) می‌باشد.



شکل ۳: روند تجمعی معدنی شدن کربن در تیمار کمپوست و کوددامی همراه با ضرایب مدل سنتیکی مرتبه اول در دو سطح دمایی نتیجه‌گیری:



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



در آزمایش حاضر بیشترین مقدار نیتروژن معدنی شده برای تیمار کود دامی معادل ۱۴/۵۴ درصد نیتروژن کل و کمترین مقدار معادل ۴/۶۲ درصد نیتروژن کل برای تیمار کمپوست حاصل شد که این محاسبه، فرضیه قابلیت تجزیه پذیری کمتر کمپوست را تقویت می‌کند. مقدار کل نیتروژن نیز در کمپوست کمتر از کود دامی بود. با توجه به نتایج، به نظر می‌رسد وقتی کمپوست را در اوایل دوره رشد گیاه به خاک اضافه کنیم، مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه را تا پایان دوره رشد نمی‌تواند فراهم کند و بعد از مدتی گیاه دچار کمبود نیتروژن می‌شود زیرا قسمت عمده تأمین نیتروژن گیاه از معدنی شدن نیتروژن آلی حاصل می‌شود نه آمونیم و نترات اولیه. بنابراین روند معدنی شدن کربن و نیتروژن به دلیل مقاومت احتمالاً متفاوت اجزای ماده در برابر تجزیه میکروبی، نوسان دارد. از آنجایی که نترات بخش اصلی نیتروژن معدنی است، بنابراین، معدنی شدن خالص نیتروژن روندی مشابه با نیتریفیکاسیون در خاک‌های مختلف دارد. بنابراین، نتایج به وضوح نشان داد که کوددهی کوتاه‌مدت با استفاده از کود آلی، انتخاب بهینه برای افزایش ذخیره کربن آلی خاک و کاهش معدنی شدن کربن است.

تشکر و قدردانی

از همه دانشجویان و کارشناسان محترم که در اجرای این پروژه نقش ایفاء کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

فهرست منابع

- Aboutayeb, R., Fijahi, S., Hssaini, L., & Azim, K. (2024). Quality assessment of poultry manure compost: Focus on organic amendment and bioremediation roles toward sustainable agriculture. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s41207-024-00698-7>
- Alef K. and P. Nannipieri. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, Harcourt Brace and Company Publishers. 84: 234-236
- Bernal M.P., A.F. Navarro, M.A. Sanchez-Monedero, A. Roig and J. Cegarra. 1998. Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biol. Biochem.* 30: 305-313.
- Calderón, F.J.; McCarty, G.W.; Van Kessel, J.A.S. (2004). Reeves III, J.B. Carbon and nitrogen dynamics during incubation of manured soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 1592–1599.
- El Janati, M., Akkal-Corfini, N., Robin, P., Oukarroum, A., Thomas, Z., Chikhhaoui, M., Bouaziz, A. (2025). Does the C:N ratio suffice to predict carbon and nitrogen mineralization dynamics in an arid agroecosystem soil amended with compost?. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, <https://doi.org/10.1007/s41207-025-00923-x>
- Kumar K., C. J. Rosen and S. C. Gupta. 2002. Kinetics of nitrogen mineralization in soils amended with sugar beet processing by-products. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 33: 3635-3651.
- Mansour, S. R., Elhaloos, B. A., & Abdel-Lateif, K. S. (2023). Phenotypic and genetic diversity of native Rhizobium isolated from root nodules of leguminous plants grown in reclaimed soil, Egypt. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 55(2), 344–357. <http://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.2.7>
- Raza, T., Qadir, M. F., Khan, K. S., Eash, N. S., Yousuf, M., Chatterjee, S. & Oetting, J. N. (2023). Unrevealing the potential of microbes in decomposition of organic matter and release of carbon in the ecosystem. *Journal of Environmental Management*, 344, 118529. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118529>
- Reganold, J.P.; Wachter, J.M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nat. Plants*, 2, 1–8.
- Rezende L.A., L.C. Assis and E. Nahas. 2004. Carbon, nitrogen and phosphorous mineralization in two soils amended with distillery yeast. *Biores. Technol.* 97:159-167.
- Sudhakar, D. R. (2025). Sustainable cultivation of *Gracilaria edulis* in poultry manure-derived media: Evaluating growth, biochemical properties, and agar quality. *Food and Bioproducts Processing*, 150, 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.12.015>
- Syamsiyah, J., Minardi, S., Herdiansyah, G., Cahyono, O., & Mentari, F. (2023). Physical properties of Alfisols, growth and products of hybrid corn affected by organic and inorganic fertilizer. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 38(1), 99–112. <http://dx.doi.org/10.20961/carakatani.v38i1.65014>



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



- Tóth, F. A., Yüksel, G., Tamás, J., & Nagy, P. T. (2023). Effects of organic composite fertilizer on soil nitrogen status and mineralization. *Ecocycles*, 9(3), 1–9. <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v9i3.329>
- Wang, S., Wang, X., Liu, Y., Sun, G., Kong, D., Guo, W., & Sun, H. (2024). Regulatory effect of graphene on growth and carbon/nitrogen metabolism of maize (*Zea mays* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(3), 1572–1582. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13038>

Mineralization of N and C in soil treated with organic fertilizers.

Saheb Soodaie Mashaei*

Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran.

*Corresponding author e-mail soodaie78@sku.ac.ir

Abstract

The evaluation of the dynamics of mineralization of organic fertilizers added to soil yields insight into the release of nutrients to growing crops. In this study, organic fertilizers derived from compost and livestock manure were incorporated into soil, and after 90 days of incubation at 8 and 25 °C under 85% of field capacity, mineralized nitrogen and carbon were quantified. A control treatment (soil without fertilizer addition) was included for comparison. The results indicate that, on average, 6.65% of the nitrogen in compost (equivalent to 42.90 mg N kg⁻¹) and 9.85% of the nitrogen in livestock manure (equivalent to 75.88 mg N kg⁻¹) were mineralized from organic to inorganic form over the 90-day period. The CO₂ release in the compost and manure treatments exceeded the control by 58.10% and 33.04%, respectively (equivalents of 85.23 and 35.96 mg CO₂ m⁻² h⁻¹). Nitrogen mineralization increased with longer incubation time, whereas CO₂ production tended to decrease. These findings suggest that the organic nitrogen in the compost comprises a harder-to-degrade fraction, mineralizing at a slower rate, which results in lower available nitrogen from this fertilizer.

Keywords: CO₂ release, compost, manure, mineralized nitrogen and carbon