



اثرات مدیریت بلندمدت کودی بر کربن خاک، زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز

در کشت گندم

فردین منبری^{۱*}، حسین میرسیدحسینی^۲، فرهاد مشیری^۳، حسینعلی علیخانی^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج، ایران. f_manbari@ut.ac.ir

۲- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- دانشیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

چکیده:

خاک نقش کلیدی در پایداری کشاورزی و ذخیره‌سازی کربن ایفا می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی اثرات بلندمدت مدیریت‌های مختلف کودی بر شاخص‌های بیولوژیکی و فرم‌های کربن خاک شامل کربن آلی خاک (SOC)، کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)، تنفس میکروبی (SMR) و فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز (βG) در سیستم تناوب گندم-ذرت طی ۷ سال در دو عمق (۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر) انجام شد. شش نوع مدیریت کودی شامل شاهد بدون کود (CO)، کود شیمیایی (NPK)، کود گاوی (MF)، (MNF)، کمپوست پسماند (CF)، (CNF) و خاک مرجع بدون کشت (RE) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تیمارهای تلفیقی CNF و MNF به‌طور معنی‌داری موجب افزایش SOC، βG و SMR نسبت به سایر تیمارها شدند. در مقابل، تیمارهای RE و CO پایین‌ترین مقادیر را داشتند. این نتایج بیانگر نقش هم‌افزایی کودهای آلی و شیمیایی در بهبود فرآیندهای زیستی و کربنی خاک هستند. لذا، استفاده از کودهای تلفیقی به عنوان راهبردی مؤثر برای بهبود سلامت خاک و افزایش پایداری تولید گندم در مناطق نیمه‌خشک توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی:

مدیریت کودی، گندم، کربن آلی خاک، آنزیم بتاگلوکوزیداز، تنفس میکروبی

مقدمه:

خاک به‌عنوان پایه کشاورزی، نقشی حیاتی در تولید غذا و پایداری اکوسیستم‌ها دارد (Lal, 2004). کربن آلی خاک (SOC) نه تنها حاصلخیزی و ساختار خاک را بهبود می‌بخشد، بلکه در ذخیره کربن و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی مؤثر است (Schmidt et al., 2011). مدیریت‌های کودی مانند کودهای شیمیایی و آلی مانند کود گاوی و کمپوست پسماند، بر دینامیک کربن و فعالیت میکروبی خاک تأثیر می‌گذارد (Haynes and Naidu, 1998). گندم، به‌عنوان محصولی استراتژیک در ایران، ستون اصلی امنیت غذایی است و بیش از ۵۰ درصد نیاز کالری و پروتئین جمعیت را تأمین می‌کند (FAO, 2018). کشت گندم در ایران، با سطح زیر کشت حدود ۶ میلیون هکتار، نقش کلیدی در اقتصاد کشاورزی و خودکفایی دارد. این اهمیت، لزوم مدیریت پایدار خاک را برای حفظ بهره‌وری و کیفیت خاک در مزارع گندم برجسته می‌کند.

کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) نشان‌دهنده فعالیت میکروبی خاک است که در تجزیه مواد آلی و چرخه مواد مغذی نقش دارند (Jenkinson and Ladd, 1981). تنفس میکروبی (MR) نیز شاخصی از فعالیت زیستی و تجزیه کربن آلی است (Anderson and Domsch, 1990). آنزیم بتاگلوکوزیداز، کلیدی در تجزیه سلولز، معیاری حساس برای کیفیت خاک و چرخه کربن به‌شمار می‌رود (Eivazi and Tabatabai, 1988). با وجود این، اثرات بلندمدت مدیریت‌های کودی متنوع بر این شاخص‌ها، به‌ویژه در عمق‌های



مختلف خاک (۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتیمتر)، کمتر مطالعه شده است. مقایسه خاک بدون کشت (RE) با سیستم‌های تحت کشت گندم نیز تغییرات پایه و بلندمدت را روشن می‌کند.

هدف این پژوهش بررسی اثرات مدیریت‌های کودی بر کربن آلی خاک، کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس میکروبی و فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز پس از هفت سال **کشت متناوب** گندم است. این مطالعه در دو عمق خاک ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری انجام شد تا تفاوت‌های عمودی ارزیابی شود. این پژوهش در تحلیل همزمان چهار شاخص کلیدی خاک (SMR، MBC، SOC) و فعالیت بتاگلوکوزیداز) تحت شش مدیریت کودی در دو عمق پس از هفت سال کشت گندم است، که رویکردی نوآورانه **محسوب می‌شود**. ترکیب کودهای آلی و شیمیایی (MNF و CNF) و کاربرد تدریجی آنها (MF و CF) **رویکرد** جدیدی برای مدیریت پایدار خاک در مزارع گندم ایران ارائه می‌دهد. این مطالعه با هدف شناسایی بهترین استراتژی کودی، **در** بهبود ذخیره کربن و فعالیت میکروبی خاک کمک می‌کند و راهکارهایی برای پایداری کشاورزی گندم در ایران پیشنهاد می‌دهد.

مواد و روش‌ها

محل آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب ایران (35.7550° N, 50.9588° E) واقع شده است. این منطقه دارای آب و هوای نیمه خشک با میانگین بارندگی سالانه ۲۵۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۴/۴ درجه سانتیگراد است. این آزمایش در کرت‌های دائمی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. ابعاد کرت‌های دائمی ۱۱/۵ متر × ۲۰ متر بود که توسط راهروهایی از هم جدا می‌شدند. در طول ۷ سال گذشته، محصولات گندم و ذرت به صورت تناوب کشت شده‌اند. شخم، کاشت و برداشت محصولات با استفاده از ماشین‌آلات مرسوم انجام شد و بقایای محصولات از مزرعه حذف شدند. گندم در پاییز کاشت و در اواخر خرداد تا اوایل تیرماه برداشت گردید. پس از یک دوره استراحت ۲ هفته‌ای، مزرعه آزمایشی برای کشت بعدی ذرت آماده شد. ذرت در اواسط تیرماه کاشت و در مهرماه برداشت شد. شش مدیریت کودی با سه تکرار در مقایسه با خاک مرجع برای این آزمایش انتخاب شد. مدیریت‌های کودی شامل RE (نکاشت، خاک مرجع)، CO (شاهد بدون مصرف کود)، NPK (کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی بر اساس آزمون خاک)، MNF (کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی + کاربرد ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده)، CNF (کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست پسماند + کاربرد ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده)، MF (کاربرد ۲۰ تن سالانه کود گاوی به میزان ۱۰ تن در کشت گندم و ۱۰ تن در کشت ذرت) و CF (کاربرد ۲۰ تن سالانه کمپوست پسماند به میزان ۱۰ تن در کشت گندم و ۱۰ تن در کشت ذرت) بودند.

نمونه‌های خاک سطحی قبل از کاشت و پس از برداشت گندم در عمق‌های ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر جمع‌آوری و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده و به دو بخش تقسیم شدند. یک بخش بلافاصله برای تجزیه‌های بیولوژیکی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و بخش دیگر پس از خشک شدن در هوا، برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی در کیسه‌های پلی‌اتیلنی نگهداری شد. کربن آلی نمونه‌های خاک با روش ارائه شده توسط والکلی و بلک (Walkley and Black, 1934)، کربن زیست‌توده میکروبی با استفاده از روش تدخین-استخراج^۱ (Vance et al., 1987)، فعالیت تنفس میکروبی خاک با استفاده از روش شیشه‌های دربسته (Isermeyer 1976, modified by Jaggi 1952) و آنزیم بتاگلوکوزیداز با استفاده از روش ارائه شده توسط (Hoffmann and Dedeken, 1966) اندازه‌گیری شدند.

نتایج و بحث:

در این پژوهش، اثرات هفت سال مدیریت‌های مختلف کودی بر شاخص‌های بیولوژیکی و کربنی خاک شامل فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز (BG)، تنفس میکروبی (SMR)، کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) و کربن آلی خاک (SOC) در دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

1. Fumigation Extraction Method



نتایج این پژوهش نشان داد که مدیریت‌های کودی تلفیقی شامل کاربرد هم‌زمان کودهای آلی (کود گاوی یا کمپوست) و شیمیایی (CNF و MNF) تأثیر مثبت و معنی‌داری بر بهبود شاخص‌های بیولوژیکی و کربنی خاک در کشت گندم دارند. این تیمارها موجب افزایش کربن آلی خاک (SOC)، کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)، فعالیت آنزیم بتاگلوکوزیداز (β G) و نرخ تنفس میکروبی (SMR) در هر دو عمق مورد بررسی (۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر) شدند. به‌ویژه، تیمار CNF بالاترین مقادیر SOC، MBC و β G را نشان داد، در حالی که تیمار MNF بالاترین نرخ SMR را داشت. در مقابل، تیمارهای بدون کاربرد کود یا بدون کشت (CO و RE) کاهش چشمگیری در شاخص‌های زیستی و کربنی خاک نشان دادند. این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد ترکیبی کودهای آلی و شیمیایی در بلندمدت، نه تنها باعث بهبود کیفیت زیستی خاک می‌شود، بلکه نقش مهمی در حفظ پایداری کشاورزی در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود برای دستیابی به بهره‌وری پایدار در اراضی زیرکشت گندم، از مدیریت‌های کودی تلفیقی بهره گرفته شود.

تشکر و قدردانی

با سپاس فراوان از کارکنان محترم آزمایشگاه بیولوژی و بخش‌های مختلف موسسه تحقیقات خاک و آب که با تخصص، دقت و همکاری صمیمانه خود، نقش مهمی در انجام دقیق آزمایش‌ها و پیشبرد این پژوهش ایفا کردند. حمایت علمی و فنی این عزیزان، موجب ارتقای کیفیت نتایج و دستیابی به یافته‌های ارزشمند در این مطالعه شد.

فهرست منابع

- Anderson, T. H., & Domsch, K. H. (1990). Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, 22(2), 251-255.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., De Goede, R., ... & Brussaard, L. (2018). Soil quality—A critical review. *Soil biology and biochemistry*, 120, 105-125.
- Eivazi, F., & Tabatabai, M. A. (1988). Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 20(5), 601-606.
- Fao, F. A. O. S. T. A. T. (2018). Food and agriculture organization of the United Nations. *Rome*, URL: <http://faostat.fao.org>, 403.
- Franzluebbers, A. J. (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 66(2), 95-106.
- Haynes, R. J., & Naidu, R. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 51, 123-137.
- Haynes, R. J., & Naidu, R. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 51, 123-137.
- Hoffmann, G. G., & Dedeken, M. (1965). Eine methode zur colorimetrischen bestimmung der β -glucosidase-aktivität in böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 108(3), 193-198.
- Isermeyer, H. (1952). Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 56(1-3), 26-38.
- Jaggi, W. (1976). Die Bestimmung der CO₂-Bildung als Maß der bodenbiologischen Aktivität. *Schweiz Landwirtschaft Forschung Band*, 15(314), 317-380.
- Jenkinson, D. S., & Ladd, J. N. (1981). Microbial biomass in soil: measurement and turnover. *Soil biochemistry*, 5(1), 415-471.



Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *science*, 304(5677), 1623-1627.

Lal, R. (2015). Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Journal of soil and water conservation*, 70(3), 55A-62A.

Schmidt, M. W., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. A., ... & Trumbore, S. E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478(7367), 49-56.

Vance, E. D., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S. (1987). Microbial biomass measurements in forest soils: determination of kc values and tests of hypotheses to explain the failure of the chloroform fumigation-incubation method in acid soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(6), 689-696.

Xiao, W., Chen, X., Jing, X., & Zhu, B. (2018). A meta-analysis of soil extracellular enzyme activities in response to global change. *Soil Biology and Biochemistry*, 123, 21-32.

Long-Term Fertilizer Management Effects on Soil Carbon, Microbial Biomass, and β -Glucosidase Enzyme Activity in Wheat Cultivation

Fardin Manbari¹, Hossein Mirseyed Hosseini², Farhad Moshiri³, Hossein Ali Alikhani²

1. Ph.D. Student, Department of Soil Science and Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

f_manbari@ut.ac.ir

2. Professor, Department of Soil Science and Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

3. Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran.

Abstract

Soil plays a pivotal role in agricultural sustainability and carbon sequestration. This study investigated the long-term effects of different fertilizer management practices on soil biological and carbon indicators—including soil organic carbon (SOC), microbial biomass carbon (MBC), soil microbial respiration (SMR), and β -glucosidase enzyme activity (β G)—in a wheat–corn rotation system over seven years at two soil depths (0–15 cm and 15–30 cm). Six fertilizer treatments were evaluated: unfertilized control (CO), chemical fertilizer (NPK), farmyard manure (MF, MNF), urban waste compost (CF, CNF), and uncultivated reference soil (RE). Results demonstrated that integrated treatments (CNF and MNF) significantly increased SOC, β G, and SMR compared to other treatments. In contrast, RE and CO treatments exhibited the lowest values. These findings highlight the synergistic role of organic and chemical fertilizers in enhancing soil biological processes and carbon dynamics. Thus, integrated fertilizer application is recommended as an effective strategy for improving soil health and wheat production sustainability in semi-arid regions.

Keywords: Fertilizer management, Wheat, Soil organic carbon, β -Glucosidase enzyme, Microbial respiration