19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025
نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴
مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran
۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مقایسه مقادیر برخی شاخص‌های کیفی خاک در بیوچار اولیه و اسیدی شده

خدیجه رستمی[۱]، زهرا وارسته خانلری[۲]✉ و محبوبه ضرابی[۳]

۱-گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.
۲-نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. پست الکترونیک نویسنده مسئول: **z.khanlari93@gmail.com**
۳- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

چکیده

تاثیر اصلاح خاک با بیوچار اسیدی شده می‌تواند بر اساس اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی مورد ارزیابی قرار بگیرد. ولی با این‌حال اندازه‌گیری تنها یک پارامتر خاک کافی نیست به دلیل اینکه خاک چندین عملکرد را انجام می‌دهد. بنابراین استفاده از شاخص-های چندپارامتری برای ارائه اطلاعات بیشتر در مورد کیفیت خاک توصیه می‌گردد. هدف از این مطالعه بررسی تاثیر بیوچار اسیدی شده بر چند شاخص کیفی در خاک می‌باشد. بدین منظور آزمایش انکوباسیونی طراحی و از بیوچارها به مقدار ۱۰ درصد وزنی استفاده شد. تیمارهای مورد استفاده شامل بیوچار کود مرغی، بیوچار ضایعات انگور و بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو بود. در زمان‌های ۵، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز از تیمارها نمونه‌برداری و فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، فسفاتاز اسیدی و اینورتاز قرائت گردید. با استفاده از فعالیت مطلق آنزیم برخی شاخص‌های کیفی خاک مانند شاخص کل فعالیت آنزیم (TEI)، تغییرات نسبی فعالیت آنزیم (Rch) و شاخص مقاومت آنزیم (RS) محاسبه گردید. اسیدی کردن موجب افزایش شاخص TEI شد. مقدار شاخص Rch برای آنزیم‌های اندازه‌گیری شده به این صورت بود: فسفاتاز اسیدی< اینورتاز< اوره‌آز. اسیدی کردن موجب کاهش مقادیر RS در آنزیم اوره‌آز و اینورتاز شد.

واژه‌های کلیدی: اوره‌آز، اینورتاز، بیوچار اسیدی، تغییرات نسبی فعالیت آنزیم (Rch)، شاخص کل فعالیت آنزیم (TEI)

مقدمه

بیوچار یک ماده کربنه چند منظوره است که به طور گسترده به عنوان یک ماده اصلاحی به منظور افزایش کیفیت خاک و بهره‌وری گیاه استفاده می‌شود (Anwari et al., 2020). به دلیل pH بالا، کاربرد بیوچار در خاک‌های قلیایی محدود است. Hussain et al., (2017) گزارش نمودند در برخی موارد ممکن است استفاده از بیوچار اثر مطلوبی بر رشد گیاهان نداشته باشد. زیرا نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش درصد بیوچار به‌کار برده شده در خاک‌های قلیایی، غیرمتحرک شدن نیتروژن و عناصر میکرو اتفاق افتاده و عملکرد ذرت و گندم کاهش یافت. اصلاح بیوچار با روش‌های مختلف با توجه به اهداف کاربرد آن در خاک (تیمارهای فیزیکی، شیمیایی یا حرارتی)، در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (خواجوی شجاعی و همکاران، ۱۳۹۹). تیمارهای شیمیایی یا اصلاح بیوچار با اسید به دلیل اینکه سطح بیوچار را بهبود داده و موجب افزایش تخلخل آن می‌شود بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Takaya et al., 2016). مطالعات نشان دادند که استفاده از بیوچار اصلاح شده در مقایسه با بیوچار اصلاح‌نشده می‌تواند حاصلخیزی خاک را به صورت قابل‌توجهی افزایش دهد (Kizito et al., 2019; Ravindiran et al., 2024). تاثیر بیوچار بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک به دلیل تفاوت در نوع خاک، نوع بیوچار و ویژگی‌های

آن متفاوت است (Brtnicky et al., 2021). با توجه به محدودیت استفاده از خصوصیات بیولوژیکی خاک، کاربرد شاخص‌های چندپارامتری برای ارائه اطلاعات بیشتر در مورد کیفیت خاک توصیه می‌گردد (Tan et al., 2014). بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تاثیر بیوچارهای اسیدی شده بر شاخص‌های کیفی خاک با کمک فعالیت آنزیمی در یک خاک آهکی است.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه خاک مورد آزمایش و تیمارهای مربوطه

جهت انجام این پژوهش نمونه خاک مرکبی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید. تیمارهای مورد استفاده شامل بیوچار کود مرغی، بیوچار ضایعات انگور و بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو بود. نیمی از بیوچارها با نسبت ۰/۱مولار اسیدسولفوریک (۱:۱۰۰W/V) تیمار (El-Sharkawy et al., 2022) و نیم دیگر به همان صورت نگه‌داری و هر دو (بیوچار اولیه و بیوچار اصلاح شده با اسید) به عنوان تیمار آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند.

مطالعات انکوباسیونی

برای انجام این مطالعات از بیوچارها با نسبت ۱۰٪ وزنی (W/W) استفاده گردید. نمونه‌ها حدود دو ماه در دمای ۲۵±۳ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری گردید. نمونه‌برداری در زمان‌های ۵، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز صورت گرفت فعالیت آنزیم اینورتاز، آنزیم فسفاتاز اسیدی و آنزیم اوره‌آز در نمونه‌ها قرائت گردید. با استفاده از فعالیت آنزیم برخی شاخص‌های کیفی خاک محاسبه گردید. این شاخص‌ها عبارت بودند از:

الف) شاخص کل فعالیت آنزیم (TEI): با استفاده از فرمول ارائه شده توسط Tan et al., (2014) محاسبه گردید.

$$TEI = \sum \frac{X_i}{\bar{X}_i}$$ رابطه (۱)

X_i: فعالیت آنزیم i در خاک مورد نظر

$\bar{X}_i$: میانگین فعالیت آنزیم i در همه نمونه‌های خاک

ب) برای محاسبه تغییرات نسبی آنزیم[1] در ارتباط با خاک شاهد از فرمول ارائه شده توسط Chaer et al., (2009) استفاده شد.

$$Rch = \left(\frac{T}{C} - 1\right) * 100$$ رابطه (۲)

T: میانگین فعالیت آنزیم در خاک بعد از افزودن بیوچار

C: میانگین فعالیت آنزیم در نمونه شاهد قبل از افزودن بیوچار

ج) شاخص مقاومت آنزیم (R_S) با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Orwin and Wardle 2004).

$$R_S = 1 - \left[\frac{2|D_0|}{C_0 + |D_0|}\right]$$ رابطه (۳)

$D_0 = C_0 - P_0$

C_0: فعالیت آنزیم در خاک شاهد قبل از افزودن بیوچار

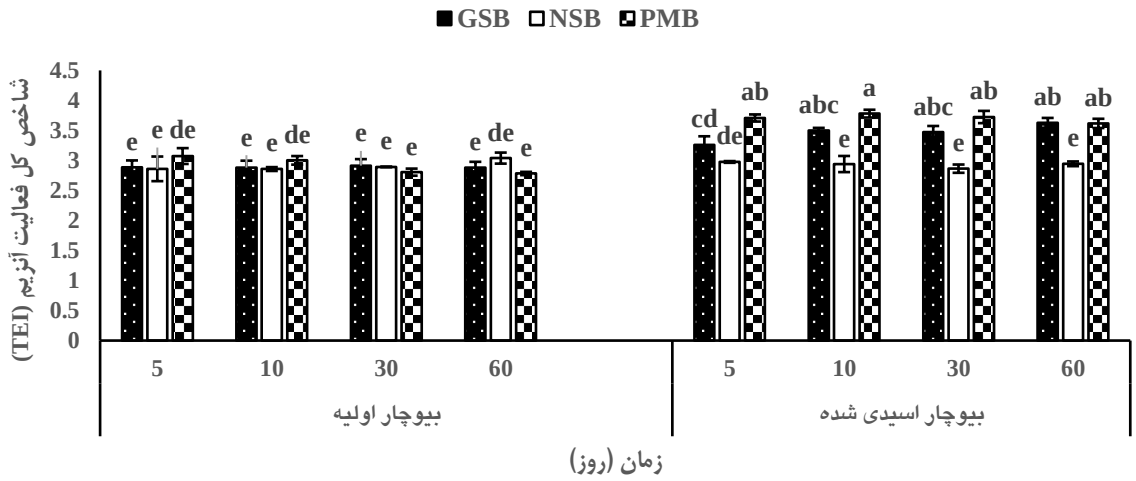
P_0: فعالیت آنزیم در خاک بعد از افزودن بیوچار

مقدار R_S از ۱- تا ۱+است.

نتایج و بحث

[1]- Relative change- Rch

با توجه به محدودیت استفاده از خصوصیات بیولوژیکی خاک، کاربرد شاخص‌های چندپارامتری مانند شاخص کل فعالیت آنزیم (TEI) برای ارائه اطلاعات بیشتر در مورد کیفیت خاک توصیه می‌گردد (Tan et al., 2014). شاخص کل فعالیت آنزیم (TEI) امکان مقایسه ساده بین فعالیت ترکیبی آنزیم و کیفیت هر نمونه خاک را فراهم می‌سازد (Mierzwa-Hersztek et al., 2019). مقادیر این شاخص از ۲/۷ تا ۳/۸ متغیر بود (شکل ۱). این مقدار در تمام دوره انکوباسیون در تیمار PMB از سایر تیمارها بیشتر بود. Wojewodzki et al., (2023) با بررسی تاثیر کاربرد بیوچار حاصل از ضایعات مختلف زیست توده گیاهی (بیوچار کمپوست یک ماهه، بیوچار پوسته درخت کاج، بیوچار سوزنی برگان، بیوچار کاج مخروطی و بیوچار برگ افرا) بر فعالیت آنزیمی بیان نمودند که این شاخص از ۱/۲۶ تا ۱/۹۵ متغیر بوده و بیشترین مقدار در تیمار خاک با بیوچار برگ افرا دیده شد. اسیدی کردن موجب افزایش ۱/۲ برابری این شاخص گردید. تغییر این شاخص در تیمار NSB بین بیوچار اسیدی شده و بیوچار اولیه آن معنی‌دار نبود. بیشترین تغییر این شاخص بین بیوچار اسیدی شده و بیوچار اولیه آن در تیمار PMB دیده شد که از ۲/۸ در تیمار PMB (میانگین کل زمان‌ها) به ۳/۷ در تیمار APMB رسید.

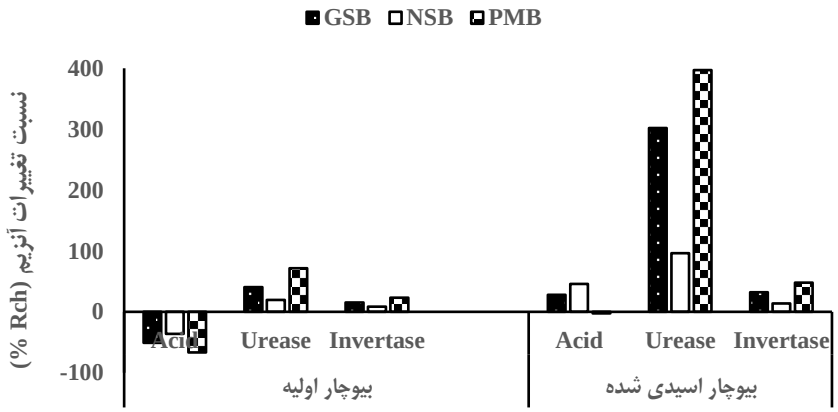


شکل ۱. شاخص کل فعالیت آنزیم (TEI) در طول دوره انکوباسیون در بیوچار اسیدی شده و اولیه (GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کود مرغی است). ستون‌ها با حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است و خط عمودی خطای استاندارد را برای هر میانگین نشان می دهد.

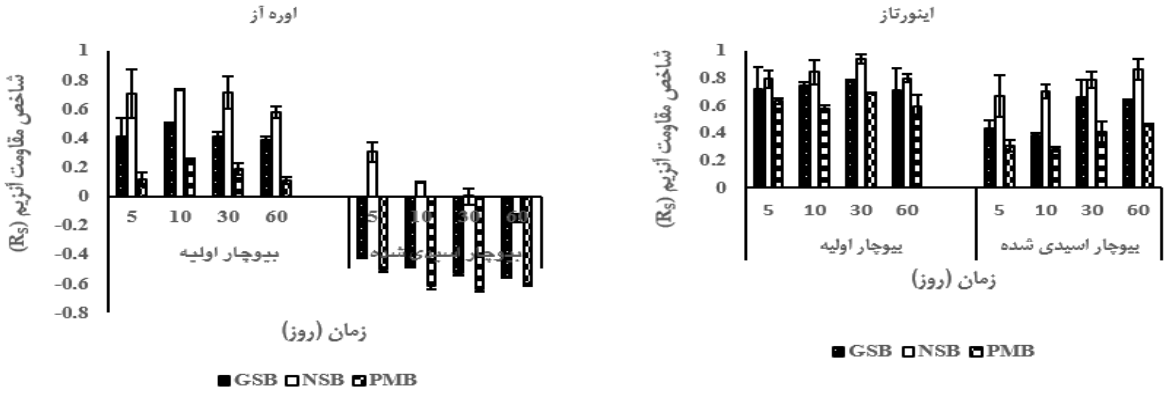
نسبت تغییرات در فعالیت آنزیمی (Rch) تاثیر مستقیم فاکتورهای تجربی (مهار یا فعال‌سازی) را روی فعالیت آنزیمی خاک نشان می‌دهد (Lemanowicz et al., 2021). با اسیدی کردن بیوچارها فعالیت هر سه آنزیم تحریک شد (شکل ۲). ولی این تحریک در آنزیم اوره‌آز از سایر آنزیم‌ها بیشتر بود. فعالیت این آنزیم از ۴۳/۹ درصد در بیوچار اولیه به ۲۶۴/۹ درصد در بیوچار اسیدی شده رسید. مقدار این شاخص برای آنزیم اوره‌آز از ۹۶/۰ درصد در تیمار ANSB تا ۳۹۶/۸ درصد در تیمار APMB متغیر بود. رستمی و همکاران (۱۴۰۳ الف) با مطالعه تاثیر بیوچارهای مختلف بر فعالیت آنزیمی یک خاک لوم شنی بیشترین مقدار Rch را در آنزیم اینورتاز و کمترین مقدار را در آنزیم فسفاتاز اسیدی مشاهده نمودند.. مقدار شاخص Rch برای آنزیم‌های اندازه‌گیری شده به شرح زیر بود:

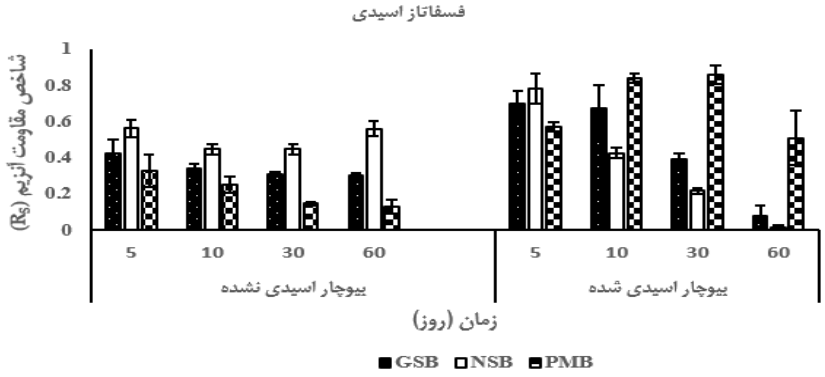
فسفاتاز اسیدی< اینورتاز< اوره‌آز

با در نظر گرفتن تاثیر بیوچار مقدار شاخص Rch به صورت زیر بود:
PMB> GSB> NSB



شکل ۲. نسبت تغییرات آنزیم (Rch) در طول دوره انکوباسیون در بیوچار اسیدی شده و اولیه (GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کود مرغی است)





شکل ۳. شاخص مقاومت آنزیم (Rs) در طول دوره انکوباسیون در بیوچار اسیدی شده و اولیه (GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کود مرغی است)

شاخص مقاومت آنزیم (R_S) در طی انکوباسیون در بیوچار اسیدی شده و اولیه در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل حساسیت آنزیم‌ها به اضافه کردن بیوچار در طی دوره‌های مختلف انکوباسیون متغییر است. بالاترین مقدار R_S در تیمار NSB مشاهده گردید (اوره‌آز متوسط R_S=0.68، اینورتاز متوسط R_S=0.85، فسفاتاز اسیدی متوسط R_S=0.50). مقادیر بالاتر شاخص R_S نشان می‌دهد که بیوچار اثر جزیی (حداکثر مقاومت) بر فعالیت آنزیم‌های خاک را دارد (Orwin and Wardle 2004). اسیدی کردن موجب کاهش مقادیر R_S در آنزیم اوره‌آز و اینورتاز گردید. این وضعیت در تمام تیمارها دیده شد. کاهش مقدار این شاخص برای آنزیم اوره‌آز در تیمار GSB (متوسط ۰/۹۱) و برای آنزیم اینورتاز در تیمار PMB (متوسط ۰/۲۶) از سایر تیمارها بیشتر بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اسیدی کردن بیوچار تاثیر معنی‌داری بر شاخص‌های کیفی مورد ارزیابی داشت. اسیدی کردن موجب افزایش شاخص TEI و RCH و کاهش RS گردید که این تغییرات در تیمار PMB در مقایسه با سایر تیمارها بیشتر بود.

منابع

رستمی، خدیجه.، وارسته خانلری، زهرا و ضرابی، محبوبه. (۱۴۰۳ الف). اثر بیوچارهای مختلف بر غلظت کربن‌آلی، نیتروژن، فسفر و فعالیت آنزیمی یک خاک لوم شنی. مجله *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۵۵ (۳): ۳۴۵-۳۶۰.

خواجوی شجاعی، شیلا.، معزی، عبدالامیر.، نوروزی مصیر، مجتبی و تقوی زاهد کلایی، مهدی. (۱۳۹۹). ارزیابی توانایی بیوچار نی اصلاح‌شده با کلرید آهن در جذب نیترات از محلول آبی. *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۵۱ (۱۱): ۲۸۵۳-۲۸۶۴.

Anwari, G., Mandozai, A and Feng, J. (2020). Effects of biochar amendment on soil problems and improving rice production under salinity conditions. *Advanced journal of graduate research*. 7, 45–63. DOI: https://doi.org/10.21467/ajgr.7.1.45-63

Brtnicky, M., Hammerschmiedt, T., Elbl, J., Kintl ,A., Skulcova, L., Radziemska, M., Latal, O., Baltazar, T., Kobzova, E. and Holatko, J. (2021). The potential of biochar made from agricultural residues to increase soil fertility and microbial activity: impacts on soils with varying sand content. *Agronomy*. 11(6), 1174. https://doi.org/10.3390/agronomy11061174

Chaer, G., Fernandes, M., Myrold, D. and Bottomley, P. (2009). Comparative resistance and resilience of soil microbial communities and enzyme activities in adjacent native forest and agricultural soils. *Microbial Ecology*. 58, 414–424.

El-Sharkawy, M., El-Naggar, A.H., AL-Huqail, A.A. and Ghoneim, A.M. (2022). Acid-Modified Biochar Impacts on Soil Properties and Biochemical Characteristics of Crops Grown in Saline-Sodic Soils. *Sustainability*. 14, 8190. https://doi.org/ 10.3390/su14138190

Hussain, M., Farooq, M., Nawaz, A., Al-Sadi, A.M., Solaiman, Z.M., Alghamdi, S.S., Ammara, U., Ok, Y.S. and Siddique, K.H. (2017). Biochar for crop production: Potential benefits and risks. *Journal of Soils and Sediment.* 17, 685–716.

Khajavi-Shojaei, S., Moezzi, A., Norouzi Masir, M. and Taghavi, M. (2021). Evaluation of nitrate sorption potential from aqueous solution using common reed-iron modified biochar. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 51(11), 2853-2864. (In Persian) doi.10.22059/IJSWR.2020.295520.668465

Kizito, S., Luo, H., Lu, J., Bah, H., Dong, R. and Wu, S. (2019). Role of nutrient-enriched biochar as a soil amendment during maize growth: Exploring practical alternatives to recycle agricultural residuals and to reduce chemical fertilizer demand. *Sustainability*. *11*(11), 3211.

Lemanowicz, J., Gawli´ nska, K. and Siwik-Ziomek, A. (2021). Impact of technogenic saline soils on some chemical properties and on the activity of selected enzymes. *Energies*. 14, 4882. https://doi.org/10.3390/en14164882

Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., Klimkowicz-Pawlas, A., Chmiel, M.J., Dziedzic, K. and Taras, H. (2019). Assessment of soil quality after biochar application based on enzymatic activity and microbial composition. *International Agrophysics*. 33, 331–336. DOI:10.31545/intagr/110807

Orwin, K.H., & Wardle, D.A. (2004). New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbances. *Soil Biology and Biochemistry***.** 36, 1907–1912.
Park, J.H., Choppala, G.K., Bolan, N.S., Chung, J.W. and Chuasavathi, T. (2011). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and Soil.* 348, 439–451.

Ravindiran, G., Rajamanickam, S., Janardhan, G., Hayder, G., Alagumalai, A., Mahian, O., Lam, S. S. and Sonne, C. (2024). Production and modifications of biochar to engineered materials and its application for environmental sustainability: A review. *Biochar*, *6*(1), 62.

Takaya, C.A., Fletcher, L.A., Singh, S., Okwuosa, U.C. and Ross, A.B. (2016). Recovery of phosphate with chemically modified biochars. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 4, 1156–1165.

Tan, X., Xie, B., Wang, J., He, W., Wang, X. and Wei, G. (2014). County-scale spatial distribution of soil enzyme activities and enzyme activitynindices in agricultural land: Implications for soil quality assessment. *The Science World Journal*, 535768. https://doi.org/10.1155/2014/535768

Wojewodzki, P., Lemanowicz, J., Debska, B., Haddad, S.A. and Tobiasova, E. (2023). The Application of Biochar from Waste Biomass to Improve Soil Fertility and Soil Enzyme Activity and Increase Carbon Sequestration. *Energies*. 16, 380. https://doi.org/10.3390/en16010380

Comparison of values of some soil quality indicators in primary and acidified biochar

Khadigeh Rostami[1] | Zahra Varasteh Khanlari[2✉] | Mahboubeh Zarabi[3]

1- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer. Iran
2- Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer. Iran: Email: z.khanlari93@gmail.com
3- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer. Iran

Abstract
The effect of soil amendment with acidified biochar can be evaluated based on enzyme activity measurements. However, measuring only one soil parameter is not sufficient because soil performs multiple functions. Therefore, the use of multiparameter indicators is recommended to provide more information about soil quality. The aim of this study is to

investigate the effect of acidified biochar on several quality indicators in soil. For this purpose, an incubation experiment was designed and biochars were used at a rate of 10% (W/W). The treatments used included poultry manure biochar, grape waste biochar and brown walnut shell biochar. At 5, 10, 30 and 60 days, samples were taken from the treatments and the activities of urease, acid phosphatase and invertase enzymes were measured. Using the absolute enzyme activity, some soil quality indices such as total enzyme activity index (TEI), relative changes in enzyme activity (Rch) and enzyme resistance index (RS) were calculated. Acidification increased the TEI index. The Rch index values for the measured enzymes were as follows: acid phosphatase < invertase < urease. Acidification decreased the RS values in urease and invertase.

Keywords: Urease, Invertase, Acidic Biochar, Relative Changes in Enzyme Activity (Rch), Total Enzyme Activity Index (TEI)