Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture), 44 (4), Winter, 2022

Research Article

ISSN (E): 2588-526X

Agricultural Engin., 44(4) (2022) 415-438
DOI: 10.22055/agen.2022.39702.1626

ISSN (P): 2588-5944

Effect of wheat residue enriched with *Pleurotus astreatus* on microbial characteristics of a saline soil

E. Sadeghi[1] and R. Ghorbani Nasrabadi[2*]

1. PhD Student, Dept. of Soil Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2. Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 9 January 2022 Accepted: 22 February 2022

Abstract

Introduction: Soil microorganisms play an important role in maintaining soil quality through the decomposition of organic matter and nutrients cycling. The quantity of plant residue has a positive effect on the accumulation of organic carbon in the soil. One of the most important problems hampering the release of nutrients from plant residues is the high content of lignocellulose in their structure. Therefore, biological treatment has been considered as a candidate to improve lignocellulosic conversion and more release of nutrients from them. Salinity reduces microbial biomass and decreases their activity in decomposition of soil organic matter and organic matter input into soil. Due to the importance of the role of microorganisms in the storage and release of energy and nutrients in the soil, in recent years, increasing attention has been paid to the estimation of microbial activity and biomass in soil. Therefore, the aim of this study was to study the effect of salinity, inoculation of *Pleurotus astreatus* and wheat residue on respiration, microbial biomass carbon, organic carbon, carbon availability index and metabolic quotient.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a completely randomized design with factorial arrangement in three replications under controlled laboratory conditions at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Factors included three salinity levels (0, 8 and 15 dS m^{-1}), two fungal levels (0 and 5%) and two wheat residue levels (0 and 1%, w/w). Salinity treatments including (control), 8 and 15 dS m^{-1} was applied using a mixture of salts (NaCl, KCl and $MgCl_2$ with a molar ratio of 3:2:1). Wheat straw was treated *Pleurotus astreatus* fungus and the treated straw was then thoroughly mixed into the soil. To activate the microbial population, soil moisture was adjusted to about 70% of the field capacity and the containers were pre-incubated at room temperature for 2 weeks. The samples were incubated at 25±2°C for 90 days. Microbial biomass carbon, organic carbon was measured at monthly intervals, microbial respiration was

© 2021 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

measured weekly and substrate-induced respiration (SIR) was measured once at the end of the incubation period.

Results and Discussion: The results show that salinity has a negative effect on microbial activity and population, but wheat residues reduce the effect of salinity stress on soil microbial community. Inoculation of *Pleurotus astreatus* into the soil also increased the respiration and microbial biomass. The interaction of wheat residues and *Pleurotus astreatus* on microbial activity in saline soil was greater than their effect alone. According to the results, the simultaneous addition of *Pleurotus astreatus* and wheat residue increases organic carbon (%98), microbial respiration rate (90%), substrate respiration (69%) and microbial biomass carbon (79%) and decreases the metabolic coefficient (6%). Salinity reduced respiration (78%), microbial biomass carbon (81%) and carbon availability index (23%), which indicates a decrease in carbon for microbial activity in saline soils. The lowest and highest microbial activity and biomass were in saline soil (15 dS m^{-1}) not treated with wheat residues and *Pleurotus astreatus* (S2F0R0) and in non-saline soils treated with wheat residues enriched with *Pleurotus astreatus* (S0F1R1), respectively. The results showed that higher salinity level (15 dS m^{-1}) further decreased the measured characteristics including carbon availability index, respiration and microbial biomass carbon compared with 8 dS m^{-1} salinity level in all treatments. In non-treated soil with wheat residue and *Pleurotus astreatus*, salinity level of 8 dS m^{-1} reduced MBC by 43, 46 and 44 % compared to control (non-saline) soil. The results showed that there was a significant negative correlation between microbial respiration rate and salinity ($P < 0.01$, $r = -0.87$). Salinity reduced microbial respiration rate and the effect of salinity on reducing microbial respiration rate of soil with EC 15 dSm^{-1} was higher than lower salinity level (8 dSm^{-1}). Also, inoculation of *Pleurotus astreatus* in soil led to increase microbial respiration rate compared with non-treated one. According to the results, salinity levels of 8 and 15 dSm^{-1} reduced carbon availability index in soil treated with *Pleurotus astreatus* and wheat residue by 18% and 23%, respectively, compared to non-saline soil.

Conclusion: The addition of wheat straw enriched with *Pleurotus astreatus* increased microbial respiration, organic carbon, microbial biomass carbon, substrate-induced respiration and carbon availability index due to the increase of available substrate. Therefore, in saline soils with carbon restriction, increasing the level of organic matter, increased microbial activity and biological potentials in the soil. However, further information on responses of microbial indicators to the joint effect of salinity and Plant residues enriched with other microorganisms is required.

Key words:Carbon availability index, microbial biomass carbon, microbial respiration rate, soil organic carbon, substrate-induced respiration

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۴ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

اثر بقایای گندم غنی شده با قارچ پلوروتوس استراتوس بر برخی شاخص‌های میکروبی خاک شور

الهام صادقی [۱] و رضا قربانی نصرآبادی [۱*]

۱- دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹

پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۱۲/۰۳

کلمات کلیدی:

تنفس ناشی از سوبسترا،

سرعت تنفس میکروبی،

شاخص قابلیت دسترسی به کربن،

کربن آلی، کربن زیست‌توده میکروبی،

عهده دار مکالمات:

Email: : rgnasr@yahoo.com

چکیده

ماده آلی فعالیت میکروبی خاک را افزایش می‌دهد و غنی‌سازی مواد آلی با ریزجانداران موجب افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در مواد آلی می‌گردد. هدف این پژوهش، مطالعه اثر شوری، تلقیح قارچ صدفی پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم بر کربن آلی، سرعت تنفس میکروبی، تنفس ناشی از سوبسترا، کربن زیست‌توده میکروبی، شاخص قابلیت دسترسی به کربن و ضریب متابولیکی بود. آزمایش به صورت طرح پایه کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل و در سه تکرار در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. فاکتورها شامل سه سطح شوری (۰، ۸ و ۱۵ دسی-زیمنس بر متر)، دو سطح مایه‌زنی پلوروتوس استراتوس (۰ و ۵ درصد) و دو سطح بقایای گیاهی (۰ و ۱ درصد وزنی/وزنی) بود. نتایج نشان داد مایه‌زنی پلوروتوس استراتوس و افزودن بقایای گندم باعث افزایش کربن آلی (۹۸٪)، سرعت تنفس میکروبی (۹۰٪)، تنفس ناشی از سوبسترا (۶۹٪) و کربن زیست‌توده میکروبی (۷۹٪) و کاهش ضریب متابولیکی (۶٪) خاک گردید. در مقابل شوری باعث کاهش تنفس (۷۸٪)، کربن زیست‌توده میکروبی (۸۱٪)، و قابلیت دسترسی به کربن (۲۳٪) شد. کمترین و بیشترین میزان فعالیت و زیست‌توده میکروبی به ترتیب در خاک شور تیمار نشده با بقایای گندم و پلوروتوس استراتوس (S2F0R0) و در خاک غیرشور تیمار شده با بقایای گندم غنی‌شده با پلوروتوس استراتوس (S0F1R1) مشاهده شد. نتایج نشان داد که در خاک‌های شور با محدودیت کربن آلی، افزایش سطح ماده آلی و غنی‌سازی آن با قارچ پلوروتوس استراتوس، می‌تواند منجر به افزایش فعالیت میکروبی خاک گردد.

مقدمه

شوری خاک عامل اصلی محدودکننده تولید مواد غذایی و بهبود کارایی استفاده از زمین است و تقریباً یک میلیارد هکتار مترمربع خاک شور و سدیمی در بیش از ۱۰۰ کشور جهان وجود دارد (لیو و همکاران[1]، ۲۰۱۸؛ شیا و همکاران[2]، ۲۰۱۹). در ایران ۶/۸ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی دارای خاک‌های متاثر از درجات مختلف شوری ثانویه هستند که ۸/۴ درصد از این خاک‌ها دارای آب زیرزمینی شور در ناحیه ریشه می‌باشند، ۴/۳ میلیون هکتار جزء آن دسته از اراضی هستند که به غیر از شوری محدودیت دیگری ندارند و حدود ۲/۵ میلیون هکتار از اراضی علاوه بر شوری دارای محدودیت‌های مربوط به جنس خاک، پستی و بلندی، فرسایش و آب زیرزمینی نیز می‌باشند (مؤمنی، ۱۳۸۹). مساحت کل خاک‌های شور و سدیمی با سرعت ۱۰ درصد در سال در حال افزایش است (شیا و همکاران، ۲۰۱۹). نفوذ آب شور و افزایش فعالیت-های انسانی، تخریب خاک را تشدید نموده و در نتیجه شور شدن خاک باعث نفوذپذیری ضعیف خاک، کمبود عناصر غذایی به عنوان مثال، نیتروژن، فسفر، کربن آلی خاک، کاهش پوشش گیاهی، کاهش کارآمدی زمین و فعالیت های میکروبی خواهد شد (ژائو و همکاران[3]، ۲۰۲۰). شوری خاک و شور شدن ثانویه آن باعث ایجاد تنش‌های غیرزیستی می‌شود و رشد و عملکرد محصول را در سراسر جهان محدود می‌کند (دراک و همکاران[4]، ۲۰۱۶؛ شی و همکاران[5]، ۲۰۱۹). برگرداندن بقایای گندم یکی از اقدامات زراعی برای بهبود خاک شور می‌باشد که می‌تواند موثر در افزایش ماده آلی و محتوای مواد غذایی معدنی خاک باشد (ژو و همکاران[6]، ۲۰۲۱). بقایای گیاهی منبع عمده‌ای از کربن آلی خاک[7] (SOC) است و افزودن آن به خاک باعث تغییر چرخه SOC (کوچسیک و همکاران[8]، ۲۰۱۳؛ لی و همکاران[9]، ۲۰۱۳) و افزایش کربن آلی خاک می‌شود (سینگ و همکاران[10]، ۲۰۱۹؛ گوناراتن و همکاران[11]، ۲۰۲۰). مطالعات نشان داده است که بقایای گیاهی نه تنها ریزجانداران را به خاک وارد می‌کند، بلکه انرژی فراوانی را نیز برای ریزجانداران خاک فراهم می‌کند (چن و همکاران[12]، ۲۰۱۴؛ وانگ و همکاران[13]، ۲۰۱۹). همچنین یک محیط مناسب برای میکروب‌های خاک تشکیل می‌دهد و رشد و تولیدمثل میکروبی را تقویت می-کند (لو و همکاران[14]، ۲۰۱۱). بنابراین بر تغییر ساختار جامعه میکروبی خاک تأثیر می‌گذارد و فعالیت میکروبی خاک را بهبود می‌بخشد (لو و همکاران، ۲۱۱؛ پوخارل و همکاران[15]، ۲۰۲۰).

درک ساختار جامعه میکروبی و عملکرد آن در خاک شور یک هدف مهم در مطالعات زیست محیطی و اکولوژی میکروبی است. زیرا برای درک بهتر سازوکارهای تنظیم بیولوژیک چرخه‌های عناصر غذایی در خاک شور مفید خواهد بود. ویژگی‌های میکروبی به عنوان شاخص زیستی در خاک‌های شور مورد استفاده قرار گرفته است (یانگ و همکاران، ۲۰۲۰). شوری منجر به کاهش زیست‌توده، فعالیت و عملکرد میکروبی خاک می-شود (رئیسی و صادقی[16]، ۲۰۱۹). ریزجاندارن خاک نقش اصلی را در تنظیم عملکرد اکوسیستم داشته (یانگ و

1- Liu *et al.*
2- Shi *et al.*
3- Zhao *et al.*
4- Drake *et al.*
5- She *et al.*
6- Zhu *et al.*

7- Soil Organic Carbon
8- Kochsiek *et al.*
9- Li *et al.*
10- Singh *et al.*
11- Gunarathne *et al.*
12- Chen *et al.*
13- Wang *et al.*
14- Lou *et al.*
15- Pokharel *et al.*
16- Raiesi and Sadeghi

همکاران[1]، ۲۰۲۰) و همچنین نقش مهمی در فرایندهای بیوشیمیایی و چرخه عناصر غذایی و تجزیه بیوشیمیایی برخی ترکیبات ایفا می‌کنند (موریرا و همکاران[2]، ۲۰۱۶؛ زو و همکاران[3]، ۲۰۱۹). بعضی از موجودات زنده خاک قادر به تحریک و افزایش فعالیت‌های زیستی خاک بوده و فعالیت آنزیم‌ها را در خاک تشدید می‌کنند، قارچ‌های صدفی از جمله این موجودات هستند (سینگ و همکاران، ۲۰۱۵). قارچ‌های صدفی (مانند P. ostreatus و P. eryngii) به دلیل ارزش غذایی بالا و اهمیت دارویی مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند. آن‌ها به دلیل خواص ضد سرطانی، ضد کلسترومی، ضد التهابی، ضد اکسیداتیو، محرک سیستم ایمنی و ضد ویروسی و توانایی آن‌ها در تنظیم سطح چربی و گلوکز خون شناخته شده‌اند (کتیا و همکاران[4]، ۲۰۱۴؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۵). در اکوسیستم طبیعی قارچ Pleurotus astreatus، با داشتن تحمل دمایی بالا، بر روی چوب‌های سخت در جنگل‌های مختلف رشد می‌کند. به طور مصنوعی، این جنس‌های قارچی را می‌توان بر روی محصولات جانبی مختلف به دلیل سیستم آنزیمی پیچیده آن‌ها، کشت کرد (فیلیپوسیس و همکاران[5]، ۲۰۰۹). سالمونز و همکاران[6] (۲۰۰۵) گزارش دادند که گونه‌ها و سویه‌های Pleurotus astreatus، همی سلولز، سلولز و لیگنین را تجزیه می‌کنند. تبدیل زیستی طیف گسترده‌ای از بسترهای لیگنوسلولزی/ ضایعات به وسیله قارچ‌های P. ostreatus و P. eryngii با نتایج بسیار امیدوارکننده‌ای مورد بررسی قرار گرفت (ملانوری و همکاران[7]، ۲۰۲۲) و بالاترین درصد بازده بیولوژیکی برای این سویه‌ها روی بستر بقایای گندم و جو ثبت شد. به ویژه، سویه P. ostreatus AMRL 150 به خوبی روی بستر بقایای گندم رشد کرد، که نشان می‌دهد جایگزینی بقایای گندم با سایر بقایای کشاورزی و صنعتی در کشت قارچ تجاری را امکان پذیر می سازد (ملانوری و همکاران، ۲۰۲۲). با این حال، پارامترهای مربوط به ترکیب و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بسترهای مورد استفاده، مانند غلظت سلولز، همی سلولز، لیگنین، محتوای کربن و نیتروژن کل، pH، شوری و همچنین ژنوتیپ سویه تأثیر زیادی بر فرآیند تخمیر و تجزیه دارند (اکونومو و همکاران[8]، ۲۰۱۷). مطالعات رشد رویشی قارچ Pleurotus astreatus بر روی خاک اره در شرایط مختلف شوری ناشی از کلرید سدیم (NaCl)، سولفات سدیم ($NaSO_4$)، کلرید پتاسیم (KCl)، کلرید منیزیم ($MgCl_2$) و سولفات منیزیم ($MgSO_4$) نشان داد که میسلیوم‌های Pleurotus astreatus در تمام شوری-ها و در تمام غلظت‌های آزمایش شده (۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰٪) رشد کردند و فقط در غلظت‌های ۱۵ و ۲۰ درصد شوری ناشی ازکلرید سدیم، رشد میسلیوم ناچیز بود (آیودل و اوجوغورو، ۲۰۰۷).

با توجه به وجود نمک‌های زیاد و شوری موجود در منابع خاک و آب، ارائه راهکارهای مبتنی بر توسعه پایدار برای تولید محصولات کشاورزی در این شرایط ضروری می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه اطلاعات محدودی در رابطه با تاثیر تلفیقی بقایای گیاهی و جانداران خاکزی به ویژه قارچ صدفی بر شاخص‌های بیولوژیکی در خاک در دست می‌باشد، لذا در این پژوهش به بررسی اثر تلفیقی بقایای گندم و قارچ پلوروتوس استراتوس در خاک شور پرداخته شده است.

1- Yang *et al.*
2- Moreira *et al.*
3- Zhu *et al.*
4- Katya *et al.*
5- Philippouss *et al*
6- Salmones *et al.*
7- Melanouri *et al.*
8- Economou *et al.*

در این تحقیق فرض گردید که شوری در خاک سبب کاهش کربن قابل دسترس، تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی شده و افزودن بقایای گندم غنی شده با قارچ پلوروتوس استراتوس به خاک افزایش فعالیت و زیست‌توده میکروبی خاک را به همراه دارد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل با دو سطح مایه‌زنی جدایه پلوروتوس استراتوس[1] (صفر و ۵ درصد)، سه سطح شوری (صفر، ۸ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) و بقایای گندم در دو سطح (صفر و یک درصد وزنی) در قالب طرح پایه کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. لازم به ذکر است جدایه پلوروتوس استراتوس از گروه گیاهپزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و به دلیل دارا بودن فعالیت آنزیم سلولاز انتخاب شد. ابتدا از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری از خاک آیش واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان نمونه‌برداری شد. پس از انتقال به آزمایشگاه و هواخشک شدن، خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از قبیل بافت خاک، رطوبت ظرفیت مزرعه و رطوبت اشباع، کربنات کلسیم معادل، pH(۱:۵)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، کربن آلی، نیتروژن کل، چگالی ظاهری، فسفر قابل دسترس و پتاسیم قابل دسترس با استفاده از روش‌های استاندارد (پیج و همکاران[2]، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

آزمایش در دو سری انجام گردید. در آزمایش سری اول برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی به صورت هفتگی ۱۰۰ گرم خاک خشک و در آزمایش سری دوم برای اندازه‌گیری کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس ناشی از سوبسترا[3] (SAR) و کربن آلی خاک، ۵۰۰ گرم خاک معادل وزن آون خشک برداشت و در جارهای پلاستیکی یک لیتری ریخته شد. ابتدا مایه تلقیح پلوروتوس استراتوس (10^6 spore ml^{-1}) به مقدار ۵ درصد (حجمی/وزنی) به بقایای گندم کاملا آسیاب شده، افزوده و به طور کامل با هم مخلوط و سپس به خاک اضافه شدند. پس از مخلوط کردن کامل خاک-بقایای گندم- پلوروتوس استراتوس، تیمار شوری ۱ (شاهد)، ۸ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر با استفاده از مخلوط نمک‌ها (کلریدهای سدیم، پتاسیم و منیزیم با نسبت مولی ۱:۲:۳) اعمال گردید. برای فعال شدن جمعیت میکروبی و برقراری تعادل نسبی، رطوبت مخلوط خاک-بقایای گندم -شوری در حد ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه خاک اولیه تنظیم و جارها ۲ هفته در دمای معمولی محیط به حالت پیش گرماگذاری قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها در دمای ۲±۲۵ سلسیوس گرماگذاری شدند و کنترل رطوبت آن‌ها به روش وزنی و با توزین جارها انجام گرفت. طی گرماگذاری تنفس میکروبی (آندرسون[4]، ۱۹۸۲) به صورت هفتگی، کربن آلی خاک (نلسون و سامرز[5]، ۱۹۹۶) و کربن زیست‌توده میکروبی (ونس و همکاران[6]، ۱۹۸۷) طی سه دوره به فاصله زمانی ۳۰ روز و تنفس ناشی از سوبسترا (الف و نانیپیری، ۱۹۹۵) یک بار در پایان دوره گرماگذاری اندازه‌گیری شدند. ضریب متابولیک[7] (qCO_2) (سومان و همکاران[8]، ۲۰۰۶) و شاخص قابلیت دسترسی به کربن[9] (CAI) (چنگ و همکاران[10]، ۱۹۹۳) نیز محاسبه گردیدند.

1- *Pleurotus astreatus*
2- Page *et al.*
3- Substrate-induced respiration
4- Anderson
5- Nelson and Sommers
6- Vance *et al.*
7- Metabolic quotient
8- Suman *et al.*
9- Carbon Availability Index
10- Cheng *et al.*

جدول(۱) برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table(1) Some physico-chemical properties of the studied soil.

Parameter خصوصیات	Unite واحد	Value مقدار
Texture بافت	-	Silty Clay Loam لوم رسی سیلتی
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e)	($dS\ m^{-1}$)	1.01
pH (1:5)	-	7.40
Organic carbon کربن آلی	%	0.91
Calcium carbonate کربنات کلسیم معادل	%	5.80
Total N نیتروژن کل	%	0.09
C/N	-	10.1
رطوبت ظرفیت مزرعه (Field capacity)	%	26.0
Bulk density چگالی ظاهری	($g\ cm^{-3}$)	1.30
رطوبت اشباع (Saturated moisture)	%	51.0
فسفر قابل جذب (P_{ava})	($mg\ kg^{-1}$)	10.0
پتاسیم قابل جذب (K_{ava})	($mg\ kg^{-1}$)	423

تجزیه واریانس داده‌ها (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال α=۰/۰۵ با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. در این آزمایش اثر زمان‌های مختلف هم بررسی شده و برای بررسی آن از روش اندازه‌گیری مکرر (Repeated Measure) بهره‌گیری شد. در این طرح (Repeated Measure) هر یک از آزمودنی‌ها در معرض بیش از یک متغییر مستقل قرار می‌گیرند. این طرح، تغییرات به وجودآمده درآزمودنی را در روند زمان اندازه‌گیری می‌کند. هدف اساسی این طرح، به حداقل رساندن خطاهای ناشی از تفاوت‌های فردی است. ضریب متابولیک (۱) و شاخص قابلیت دسترسی به کربن (۲) به صورت زیر محاسبه شدند:

(1) $qCO_2 = B.R./MBC*1000$

که در آن

qCO_2: ضریب متابولیکی ($mg\ CO_2\text{-}C\ g^{-1}\ MBC\ day^{-1}$)

B.R.[1]: مقدار کربن حاصل از تنفس میکروبی طی یک روز ($mg\ CO_2\text{-}C\ kg^{-1}day^{-1}$)

MBC[2]: کربن زیست‌توده میکروبی ($mg\ kg^{-1}$) و

(2) $CAI = (B.R./SIR)$

: شاخص قابلیت دسترسی به کربن CAI که در آن

B.R.: تنفس پایه ($mg\ CO_2\text{-}C\ kg^{-1}day^{-1}$)

SIR: تنفس ناشی از سوبسترا ($mg\ CO_2\text{-}C\ kg^{-1}day^{-1}$).

نتایج و بحث

کربن آلی خاک (SOC)

در این پژوهش اثر اصلی شوری، پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم بر کربن آلی خاک معنی‌دار گردید (جدول ۲). بر اساس نتایج به دست آمده SOC طی سه دوره آزمایش در تمامی تیمارها کاهش معنی‌دار داشت (جدول ۳).

در خاک بدون بقایای گندم و پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر طی ماه سوم گرماگذاری باعث

1- Basal Respiration
2- Microbial Biomass Carbon

افزایش ۱ درصدی SOC نسبت به خاک شاهد (غیرشور) شد و افزایش SOC طی ماه‌های اول و دوم معنی‌دار نبود (جدول ۳). شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر طی ماه سوم گرماگذاری نیز به ترتیب باعث افزایش ۲ درصدی SOC نسبت به تیمار شاهد (غیرشور) گردید (جدول ۳). در خاک با پلوروتوس استراتوس و بدون بقایای گندم، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر SOC را به ترتیب ۴ و ۲ درصد در مقایسه با خاک شاهد (خاک غیرشور با پلوروتوس استراتوس) طی ماه دوم و سوم آزمایش افزایش داد و شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش بیشتر SOC (به ترتیب ۱، ۹ و ۴ درصد) نسبت به تیمار شاهد (خاک غیرشور با پلوروتوس استراتوس) گردید (جدول ۳). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که مقدار کربن آلی خاک تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله شوری خاک قرار می‌گیرد (لیو و همکاران، ۲۰۱۷؛ ژنگ و همکاران[1]، ۲۰۱۹). نتایج نشان داد که بین کربن آلی خاک و شوری همبستگی معنی‌دار (r=۰/۰۵۴ ،p>۰/۰۵) وجود نداشت (جدول ۴). نتایج حاکی است که در غیاب بقایای گندم، در هر دو خاک تیمار نشده و تیمار شده با پلوروتوس استراتوس، شوری میزان SOC خاک را افزایش می‌دهد و اثر شوری بر افزایش SOC در شوری بالا بیشتر از شوری پایین بود که احتمالا به دلیل کاهش جمعیت میکروبی و تجزیه کربن آلی خاک است. همچنین کاهش SOC در خاک تیمار شده با پلوروتوس استراتوس بیشتر از خاک بدون پلوروتوس استراتوس بود (جدول ۳). در خاک تیمار نشده با بقایای گیاهی، قارچ پلوروتوس استراتوس در شوری‌های شاهد، ۸ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب باعث کاهش ۶، ۵ و ۳ درصدی SOC نسبت به تیمار شاهد (بدون پلوروتوس استراتوس) شد (جدول ۳) که می‌تواند به دلیل تولید آنزیم (اکونومو و همکاران، ۲۰۱۷) و تجزیه بیشتر مواد آلی خاک باشد. کاهش SOC توسط قارچ پلوروتوس استراتوس با افزایش شوری کمتر شد که این احتمالاً به دلیل افزایش تنش، کاهش جمعیت میکروبی و در نتیجه کاهش تجزیه کربن آلی خاک می‌باشد. نتایج نشان داد کربن آلی همبستگی مثبت و معنی‌داری با تنفس (r=۰/۷۵ ،p<۰/۰۱) و کربن زیست توده میکروبی (r=۰/۷۷ ،p<۰/۰۱) خاک داشت (جدول ۴). ژنگ و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که با افزایش شوری جنس غالب باکتری‌ها (Archangium و Planctomyces مثبت برای تثبیت کربن) و قارچ‌ها (Hydropisphaera، موثر در تخریب لیگنین) تغییر پیدا کردند و در نهایت منجر به تغییر مقدار موادآلی خاک شدند. کربن آلی خاک تحت‌تاثیر تنوع میکروبی قرار می‌گیرد (شیائو و همکاران[2]، ۲۰۱۸؛ کین و همکاران[3]، ۲۰۲۰). میکروب‌های خاک در فرآیند تجزیه بقایا، نقش مهمی در تغییر شکل مواد آلی خاک دارند (زو و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین در خاک تیمار شده با بقایای گندم بدون پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر طی سه ماه گرماگذاری باعث افزایش یک درصدی SOC نسبت به خاک شاهد (غیرشور بدون پلوروتوس استراتوس) به ترتیب طی ماه اول، دوم و سوم شد (جدول ۳). شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر طی ماه‌های اول، دوم و سوم گرماگذاری نیز به ترتیب باعث افزایش ۱، ۲ و ۲ درصدی SOC نسبت به تیمار شاهد (غیرشور بدون پلوروتوس استراتوس) گردید (جدول ۳). در خاک با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر تیمار شده با پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم، SOC طی سه ماه گرماگذاری ۸۲، ۷۹ و ۸۳ درصد نسبت به خاک شاهد (بدون پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم) افزایش یافت (جدول ۳). همچنین پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم افزایش ۸۴، ۸۳ و ۸۳ درصدی SOC خاک شور (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) را طی سه ماه گرماگذاری نسبت به خاک شاهد (بدون پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم) به همراه داشتند (جدول ۳).

1- Zhang *et al.*

2- She yao *et al.*

3- Qin *et al.*

جدول(۲) تجزیه واریانس (میانگین مربع‌ها) اثرهای شوری، پلوروتوس استراتوس، بقایای گندم و برهم‌کنش آن‌ها (بین گروهی)، اثر زمان و برهم‌کنش زمان (درون گروهی) بر کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)، سرعت تنفس میکروبی (MRR)، ضریب متابولیک (qCO_2) و کربن آلی خاک (SOC)

Table (2) ANOVA (mean square values) for the main effects of salinity, Pleurotus astreatus, wheat straw; and their interactions with time (T) for microbial biomass carbon (MBC), microbial respiration rate (MRR), metabolic quotient (qCO_2) and soil organic carbon (SOC)

منبع تغییرات Sources of variation	df	کربن زیست‌توده میکروبی MBC	سرعت تنفس میکروبی MRR	ضریب متابولیک qCO_2	کربن آلی خاک SOC
			اثرات متقابل بین گروهی Between-Subjects Effects		
Salinity (S) شوری	2	291473^{***}(1.00)	7387^{***}(1.00)	838^{***}(0.84)	0.639^{***}(0.86)
Pleurotus astreatus (F) پلوروتوس استراتوس	1	12033^{***}(0.99)	2318^{***}(1.00)	128^{*}(0.27)	7.099^{***}(0.97)
Residue (R) بقایای گندم	1	1246785^{***}(1.0)	113^{***}(0.95)	768^{***}(0.70)	1826^{***}(1.00)
S×F	2	414.1^{***}(0.89)	730^{***}(1.00)	462^{***}(0.74)	0.084^{**}(0.45)
S×R	2	66852^{***}(0.99)	10.7^{***}(0.77)	862^{***}(0.82)	0.012^{ns}(0.10)
F×R	1	14.37^{***}(0.94)	5.39^{***}(0.46)	160^{**}(0.33)	0.066^{*}(0.24)
S×F×R	2	478^{***}(0.91)	9.77^{***}(0.76)	216^{**}(0.57)	0.043^{*}(0.29)
error خطا	24	2.056	0.259	2.271	0.027
C.V. (%)		0.64	2.54	1.63	1.27
			اثرات متقابل داخل گروهی Within-Subjects Effects		
Time (T) زمان	2	289506^{***}(1.00)	1712^{***}(1.00)	970^{***}(0.98)	8.75^{***}(0.99)
T×S	4	6041^{***}(0.99)	160^{***}(0.99)	286^{***}(0.94)	0.06^{**}(0.60)
T×F	2	438.5^{***}(0.96)	43.4^{***}(0.95)	49.6^{***}(0.73)	0.30^{***}(0.77)
T×R	2	41733^{***}(1.00)	2.46^{***}(0.50)	16.4^{***}(0.47)	0.89^{***}(0.91)
T×S×F	4	24.44^{***}(0.75)	19.0^{***}(0.94)	30.6^{***}(0.62)	0.06^{***}(0.58)
T×S×R	4	1618^{***}(0.99)	1.17^{***}(0.49)	28.8^{***}(0.61)	0.01^{ns}(0.12)
T×F×R	2	98.45^{***}(0.86)	0.123^{ns}(0.05)	8.70^{**}(0.32)	0.07^{***}(0.43)
T×S×F×R	4	63.26^{***}(0.89)	0.95^{***}(0.44)	10.8^{***}(0.37)	0.01^{ns}(0.01)
error خطا	48	1.667	0.101	1.157	0.019
C.V. (%)		0.58	1.58	1.17	1.07

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده Eta^2 جزئی (SSeffect/ (SSeffect + SSerror))می‌باشند. ^{ns} ، *، **، *** به ترتیب به مفهوم غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱، ۰/۱ درصد می‌باشند. (C.V.) ضریب تغییرات، (S) شوری، (F) قارچ پلوروتوس استراتوس، (R) بقایای گندم و (T) زمان.

The numbers in parentheses represent the partial Eta^2 $((SS_{effect} / SS_{effect}) + SS_{error})$ as a measure of the effect size; ^{ns}, *, **, *** non-significant and significant at 5, 1, 0.1%, respectively. C.V. coefficient of variation. (S) salinity, (F) Pleurotus astreatus, (R) wheat residue and (T) time.

جدول(۳) اثر شوری، پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم بر کربن آلی خاک ($SOC, g\ kg^{-1}$). اعداد میانگین (n=3) به همراه خطای معیار (SE) می‌باشند.

Table (3) The effect of salinity, Pleurotus astreatus and wheat straw on soil organic matter ($SOC, g\ kg^{-1}$). Values are mean (n=3) with standard error (SE).

بقایای گندم Wheat residue	پلوروتوس استراتوس Pleurotus astreatus	شوری Salinity ($ds\ m^{-1}$)	زمان گرماگذاری (روز) Incubation time (day) 30	60	90
بدون بقایای گندم Without plant residue	F0	0	9.30 ± 0.01^{Ag}	9.08 ± 0.01^{Bg}	8.58 ± 0.02^{Ci}
		8	9.31 ± 0.01^{Ag}	9.08 ± 0.01^{Bg}	8.65 ± 0.01^{Ch}
		15	9.33 ± 0.02^{Ag}	9.10 ± 0.01^{Bg}	8.74 ± 0.02^{Cg}
	F1	0	8.91 ± 0.02^{Ai}	8.14 ± 0.01^{Bj}	8.11 ± 0.01^{Bl}
		8	8.94 ± 0.01^{Ai}	8.44 ± 0.02^{Bi}	8.28 ± 0.03^{Ck}
		15	8.99 ± 0.01^{Ah}	8.86 ± 0.02^{Bh}	8.45 ± 0.02^{Cj}
با بقایای گندم With plant residue	F0	0	17.8 ± 0.02^{Ac}	17.3 ± 0.01^{Bc}	16.3 ± 0.01^{Cc}
		8	17.9 ± 0.01^{Ab}	17.5 ± 0.01^{Bb}	16.5 ± 0.03^{Cb}
		15	18.0 ± 0.01^{Aa}	17.6 ± 0.03^{Ba}	16.6 ± 0.02^{Ca}
	F1	0	16.4 ± 0.02^{Af}	16.0 ± 0.01^{Bf}	15.5 ± 0.03^{Cf}
		8	17.0 ± 0.01^{Ae}	16.3 ± 0.03^{Be}	15.8 ± 0.01^{Ce}
		15	17.2 ± 0.01^{Ad}	16.7 ± 0.04^{Bd}	16.1 ± 0.01^{Cd}

در هرردیف میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین زمان‌های مختلف بر اساس آزمون LSD هستند

Within each row the means sharing uppercase letters do not have significant differences at 5% level between different sampling times at 5% level according to the LSD test

بر اساس نتایج، بقایای گندم باعث افزایش کربن آلی خاک شد (جدول ۳) که مشابه نتایج دیگر محققان است (سونگ و همکاران، ۲۰۱۹). در این مطالعه بیشترین مقدار SOC در خاک شور (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) تیمار شده با بقایای گندم بود. بازگشت بقایا یک استراتژی مدیریتی مناسب برای بهبود کربن آلی خاک (SOC) و افزایش فعالیت و زیست توده جامعه میکروبی در اکوسیستم‌های کشاورزی است (کونگ و همکاران[1]، ۲۰۲۰؛ وو و همکاران[2]، ۲۰۲۱).

کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی شوری، پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم و برهمکنش دو جانبه (شوری × پلوروتوس استراتوس)، (شوری × بقایای گندم)، (پلوروتوس استراتوس × بقایای گندم) و برهمکنش سه جانبه (شوری × پلوروتوس استراتوس × بقایای گندم) بر میزان کربن زیست‌توده میکروبی معنی‌دار ($p<0/001$) گردید (جدول ۲). به طور کلی میزان کربن زیست‌توده میکروبی در همه تیمارها طی زمان کاهش معنی‌دار نشان داد (شکل 1A).

در خاک بدون بقایای گندم و پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر طی سه ماه گرماگذاری باعث کاهش ۴۳، ۴۶ و ۴۴ درصدی MBC نسبت به خاک شاهد (غیرشور) شد (شکل 1A). شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر طی ماه‌های اول، دوم و سوم گرماگذاری نیز به ترتیب باعث کاهش ۷۷، ۸۳ و ۸۳ درصدی MBC نسبت به تیمار شاهد (غیرشور) گردید (شکل 1A). در خاک دارای پلوروتوس استراتوس بدون بقایای گندم، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر MBC را به ترتیب ۴۵، ۴۷ و ۴۱ درصد در مقایسه با خاک

1- Cong *et al.*
2- Wu *et al.*

شاهد (غیرشور بدون بقایای گندم) طی ماه اول، دوم و سوم آزمایش کاهش داد و شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش بیشتر MBC (به ترتیب ۷۴، ۷۸ و ۷۹ درصد) نسبت به تیمار شاهد (غیرشور بدون بقایای گندم) گردید (شکل ۱A).

نتایج نشان داد که در غیاب بقایای گندم، در هر دو خاک تیمار نشده و تیمار شده با پلوروتوس استراتوس، شوری میزان MBC خاک را کاهش داده و اثر شوری بر کاهش MBC در شوری بالا بیشتر از شوری پایین و در خاک بدون پلوروتوس استراتوس بیشتر از خاک تیمار شده با پلوروتوس استراتوس است (شکل ۱A). شوری اثر بازدارنده بر زیست-توده میکروبی دارد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین احتمالاً کاهش MBC می‌تواند علاوه بر افزایش پتانسیل اسمزی و کاهش جذب آب، ناشی از افزایش غلظت یون سدیم، عدم تعادل تغذیه‌ایی و تاثیر آن بر رشد و جذب کربن توسط جامعه میکروبی خاک باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ یانگ و همکاران، ۲۰۲۱).

همچنین در خاک تیمار شده با بقایای گندم بدون پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر طی سه ماه گرماگذاری باعث کاهش ۴۹، ۷۲ و ۵۶ درصدی MBC نسبت به خاک شاهد (غیرشور بدون پلوروتوس استراتوس) به ترتیب طی ماه اول، دوم و سوم شد (شکل ۱A). شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر طی ماه‌های اول، دوم و سوم گرماگذاری نیز به ترتیب باعث کاهش ۷۱، ۷۹ و ۸۰ درصدی MBC نسبت به تیمار شاهد (غیرشور بدون پلوروتوس استراتوس) گردید (شکل ۱A). در خاک دارای پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر MBC را به ترتیب ۴۳، ۶۹ و ۵۴ درصد در مقایسه با خاک شاهد (غیرشور) طی ماه اول، دوم و سوم آزمایش کاهش داد و شوری ۱۵ دسی-زیمنس بر متر سبب کاهش بیشتر MBC (به ترتیب ۶۸، ۷۶ و ۷۵ درصد) نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل A1).

این نتایج حاکی است که کربن زیست‌توده میکروبی با شوری و SOC به ترتیب همبستگی منفی ($p<۰/۰۱$، $r=-۰/۸۸$) و مثبت ($p<۰/۰۱$، $r=۰/۷۷$) معنی‌داری داشت (جدول ۴). بنابراین کربن زیست توده میکروبی با افزایش شوری کاهش یافت، اما با افزودن بقایای گیاهی به طور معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج سایر پژوهشگران (القارابلی و مارشنر، ۲۰۱۱؛ آنکوش و همکاران[1]، ۲۰۲۰) مطابقت داشت. به عبارت دیگر، در خاک بدون مصرف بقایای گندم اثر شوری بر اندازه کربن زیست‌توده میکروبی بازدارندگی زیاد و در شرایط مصرف مواد آلی اثر بازدارندگی کمتری داشت. این نتایج نشان داد که مقدار MBC در خاک تیمار شده با بقایای گندم بیشتر از حالت متناظر آن (خاک بدون بقایای گندم) بود (شکل ۱A). دلیل افزایش MBC در حضور ماده آلی احتمالاً فراهمی سوبسترای مورد نیاز میکروب و آنزیم‌های خاک باشد. این نتایج حاکی است که افزودن ماده آلی به خاک شور می‌تواند اثر شوری را به ویژه طی مراحل اولیه گرماگذاری به دلیل فراهمی سوبسترای قابل جذب تعدیل نماید و یا با ایجاد کمپلکس با کاتیون و آنیون‌های عامل شوری از اثر منفی شوری بکاهد (مادرید و همکاران[2]، ۲۰۰۷). افزودن مواد آلی به خاک جهت کاهش اثر شوری یکی از روش‌های اصولی و مطمئن است زیرا مواد آلی، غلظت کربن محلول در خاک (DOC) را افزایش می‌دهد (یانگ و همکاران[3]، ۲۰۱۹). مصرف مواد آلی در خاک‌های شور بهبود ویژگی‌های بیولوژیکی خاک و افزایش زیست‌توده میکروبی را به همراه دارد (رئیسی و صادقی، ۲۰۱۹).

1- Ankush *et al.*
2- Madrid *et al.*
3- Yang *et al.*

جدول(٤) ضرایب همبستگی بین خواص شیمیایی و بیولوژیک خاک

Table (4) Correlation coefficients between soil chemical and biological properties

Property	MBC	MRR	qCO_2	SOC	SIR	CAI	EC
MBC	1	0.99^{**}	-0.75^{**}	0.81^{**}	0.99^{**}	0.94^{**}	-0.50^{**}
MRR		1	-0.70^{**}	0.73^{**}	0.97^{**}	0.97^{**}	-0.55^{**}
qCO_2			1	-0.68^{**}	-0.78^{**}	-0.62^{**}	0.43^{**}
SOC				1	0.85^{**}	0.61^{**}	0.05^{ns}
SIR					1	0.89^{**}	-0.47^{**}
CAI						1	-0.62^{**}
EC							1

^{ns}، *، **، به ترتیب به مفهوم غیرمعنی‌دار و معنی‌داری همبستگی در سطوح ۵ و ۱ درصد می‌باشد. کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)، سرعت تنفس میکروبی (MRR)، ضریب متابولیک (qCO_2)، کربن آلی خاک (SOC)، تنفس ناشی از سوبسترا (SIR)، شاخص قابلیت دسترسی به کربن (CAI) و هدایت اکتریکی (EC)

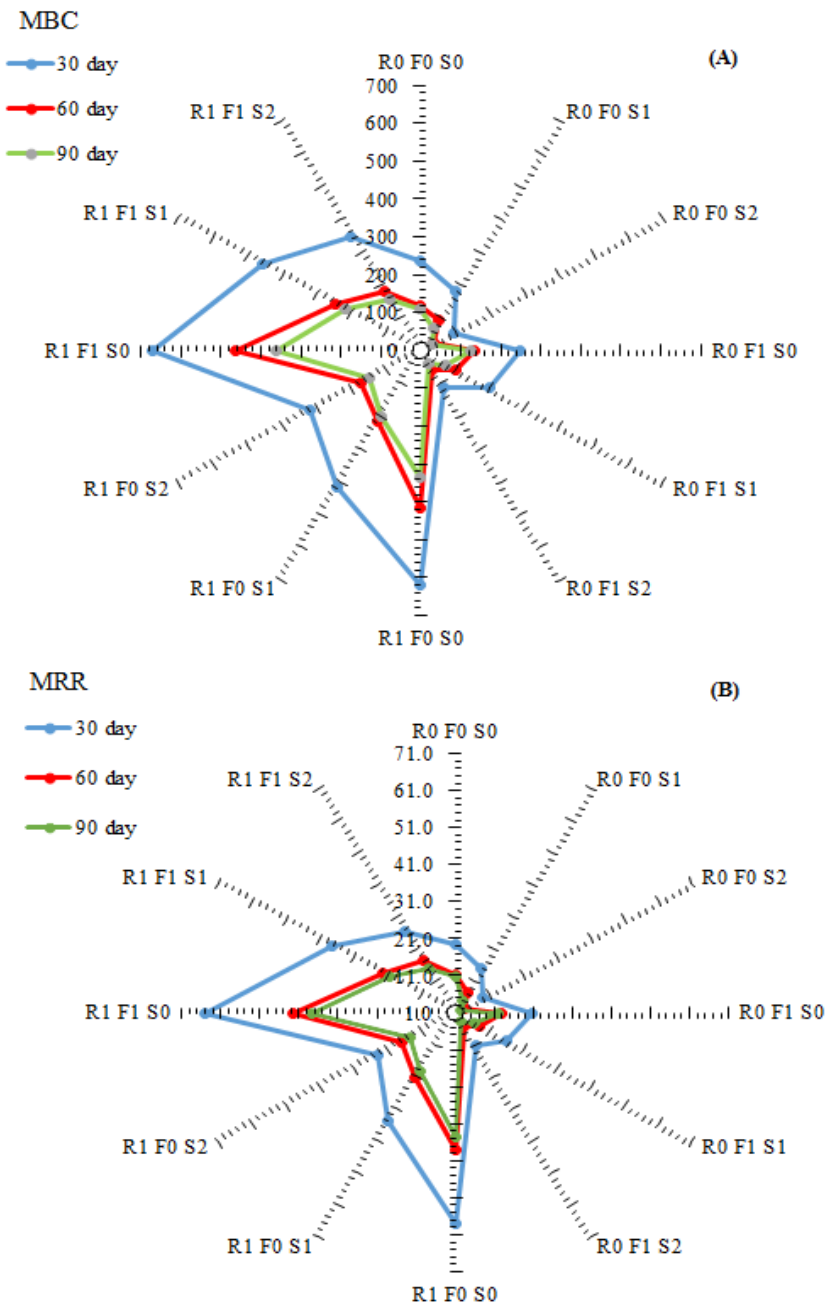
^{ns}, *, **. Correlation is non-significant and significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively. Microbial biomass carbon (MBC), microbial respiration rate (MRR), metabolic quotient (qCO_2), soil organic carbon (SOC), substrate-induced respiration (SIR), Carbon Availability Index (CAI) and electrical conductivity (EC)

سرعت تنفس میکروبی[1] (MRR) و تنفس تجمعی

نتایج به دست آمده از این آزمایش نشان داد افزودن بقایای گندم به خاک افزایش تنفس میکروبی (معدنی شدن کربن) را به دنبال داشت (شکل ۲). دلیل افزایش تنفس میکروبی در حضور ماده آلی می‌تواند فراهمی مواد آسان تجزیه‌شونده در بقایای گندم باشد. این بقایا به دلیل دارا بودن کربن آلی به سهولت قابل استفاده، فعالیت هتروتروفی میکروب‌ها را تحریک و منجر به تصاعد بیشتر دی‌اکسید کربن می‌شوند. غنی کردن بقایای گندم با پلوروتوس استراتوس سرعت تنفس میکروبی افزایش یافت (شکل ۳B). در این پژوهش افزودن بقایای گندم در تمامی تیمارها افزایش ۲۰ تا ۲۵ درصدی تنفس میکروبی خاک را به همراه داشت (شکل ۲) و کاهش سرعت معدنی شدن کربن در تیمار بدون بقایای گندم می‌تواند مربوط به محدودیت مقدار کربن باشد. سینگ و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که در طول دوره گرماگذاری سرعت معدنی شدن کربن در خاک‌های تیمار شده با بقایای کلزا ۲ تا ۳ برابر بیشتر از خاک‌های تیمار نشده بوده است. نتایج صادقی و همکاران[2] (۲۰۱۸) نیز نشان داد خاک‌های تیمار شده با پسماند یونجه دارای میزان معدنی شدن تجمعی کربن بالاتری نسبت به خاک تیمار نشده بوده است. طی دوره گرماگذاری برای فعالیت میکروبی خاک کمترین و بیشترین میزان تنفس در تیمارهای بدون و با بقایای گندم به ترتیب مربوط به خاک بدون پلوروتوس استراتوس (با شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) و خاک غیرشور تیمار شده با پلوروتوس استراتوس بود (شکل ۲). یانگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. آنها بیان کردند که با افزایش EC خاک مقدار تنفس میکروبی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

1- Microbial respiration rate

2- Sadeghi *et al.*



شکل(۱) اثر بقایای گندم، پلوروتوس استراتوس و شوری بر کربن زیست توده میکروبی (MBC (A)) و سرعت تنفس میکروبی (MRR (B)) طی سه ماه گرماگذاری (۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز) (n=3). قارچ پلوروتوس استراتوس (F0) ۰ و (F1) ۵ درصد، شوری (S0) شاهد، (S1) ۸ و (S2) ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و (R0) بدون و (R1) با ۱ درصد بقایای گندم.

Figure (1) The effect of wheat residue, Pleurotus astreatus and salinity on microbial biomass carbon (MBC (A)) and microbial respiration rate (MRR (B)) During three months of incubation (30, 60 and 90 day) (n=3). F0 without Pleurotus astreatus and F1 with Pleurotus astreatus (5%) soil; S0 control, S1 8 and S2 15 dS m^{-1}; R0 without and R1 with wheat residue.

در این پژوهش اثر اصلی شوری، پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم و برهمکنش دو جانبه (شوری × پلوروتوس استراتوس)، (شوری × بقایای گندم)، (پلوروتوس استراتوس × بقایای گندم) و برهمکنش سه جانبه (شوری × پلوروتوس استراتوس × بقایای گندم) بر سرعت تنفس میکروبی خاک معنی‌دار ($p<۰/۰۰۱$) گردید (جدول ۲). در خاک بدون بقایای گندم و پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر طی سه ماه گرماگذاری باعث کاهش ۴۰، ۴۰ و ۴۱ درصدی سرعت تنفس میکروبی نسبت به خاک شاهد (غیرشور) به ترتیب طی ماه اول، دوم و سوم شد (شکل 1B). شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر طی ماه‌های اول، دوم و سوم گرماگذاری نیز به ترتیب باعث کاهش ۷۶، ۷۸ و ۷۷ درصدی سرعت تنفس میکروبی نسبت به تیمار شاهد (غیرشور) گردید (شکل 1B). شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، در خاک دارای پلوروتوس استراتوس و بدون بقایای گندم، سرعت تنفس میکروبی را به ترتیب ۵۰، ۵۲ و ۵۱ درصد در مقایسه با خاک شاهد (غیرشور بدون بقایای گندم) طی ماه اول، دوم و سوم آزمایش کاهش داد و شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش بیشتر سرعت تنفس میکروبی (به ترتیب ۶۹، ۷۹ و ۷۸ درصد) نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل 1B).

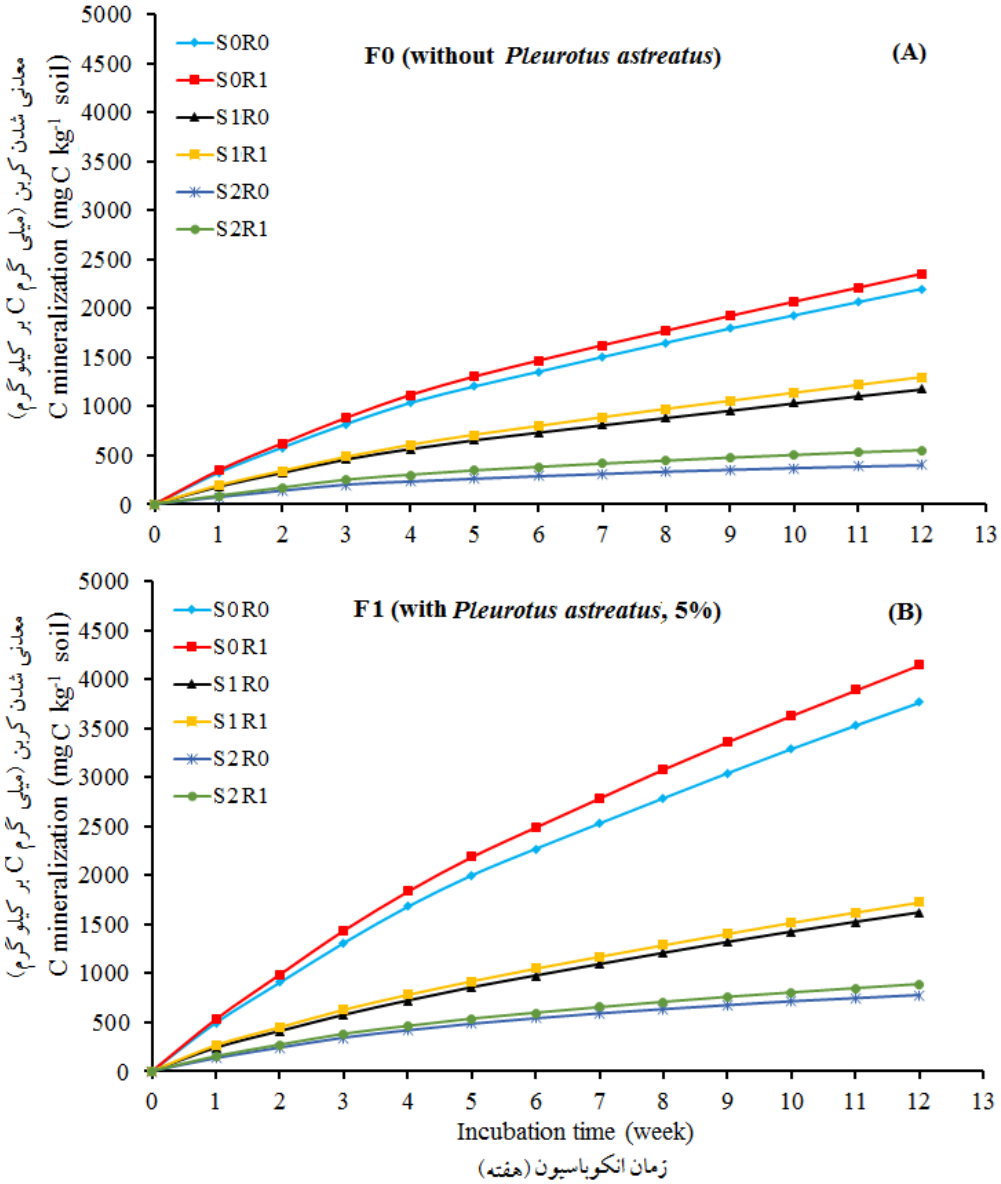
نتایج نشان داد که بین سرعت تنفس میکروبی و شوری همبستگی منفی و معنی‌دار ($p<۰/۰۱$، $r=-۰/۸۷$) وجود داشت (جدول ۴). آنکوش و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند میزان بالای شوری باعث کاهش تنفس خاک می‌گردد. در این پژوهش شوری سرعت تنفس میکروبی را کاهش داد و اثر شوری بر کاهش سرعت تنفس میکروبی خاک در شوری بالا بیشتر از شوری پایین و در خاک بدون پلوروتوس استراتوس بیشتر از خاک دارای پلوروتوس استراتوس بود (شکل 1B). همچنین در خاک تیمار شده با بقایای گندم بدون پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر طی سه ماه گرماگذاری باعث کاهش ۴۹، ۵۳ و ۵۰ درصدی سرعت تنفس میکروبی نسبت به خاک شاهد (غیرشور بدون پلوروتوس استراتوس) به ترتیب طی ماه اول، دوم و سوم شد (شکل 1B). شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر طی سه ماه گرماگذاری نیز به ترتیب باعث کاهش ۷۶، ۷۹ و ۸۷ درصدی سرعت تنفس میکروبی نسبت به تیمار شاهد (غیرشور بدون پلوروتوس استراتوس) گردید (شکل 1B).

در خاک دارای پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر سرعت تنفس میکروبی را به ترتیب ۵۲، ۶۳ و ۶۲ درصد در مقایسه با خاک شاهد (غیرشور) طی ماه اول، دوم و سوم آزمایش کاهش داد و شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش بیشتر سرعت تنفس میکروبی (به ترتیب ۷۳، ۷۸ و ۸۱ درصد) نسبت به تیمار شاهد شد (شکل 1B).

این نتایج نشان داد که سرعت تنفس میکروبی در خاک تیمار شده با بقایای گندم بیشتر از حالت متناظر آن (خاک بدون بقایای گندم) بود (شکل 1B). همچنین بیشترین مقدار تنفس مربوط به خاک‌های تیمار شده با پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم بود و این مساله به دلیل فراهمی بستر و مواد غذایی و افزایش ریزجانداران خاک بوده که همزمان افزایش تنفس خاک را به همراه دارد. پژوهشگران پیشین نیز نتایج مشابهی را در مورد افزایش تنفس با افزودن ماده آلی به خاک گزارش کردند (روسینی‌اولیوا و همکاران[1]، ۲۰۱۷). طبق نتایج پرستش و همکاران[2] (۲۰۱۹) استفاده از ورمی‌کمپوست سبب افزایش تنفس میکروبی خاک گردید .همچنین عثمان[3] (۲۰۱۵) گزارش کرد که شوری ناشی از نمک کلرید سدیم (۳۰ تا ۱۲۰ میلی‌مول بر لیتر NaCl) تنفس میکروبی و معدنی شدن کربن را در خاک آهکی کاهش داد. در حالی‌که مصرف کود دامی (۳۰ گرم در کیلوگرم خاک) افزایش تولید

1- Rossini-Oliva *et al.*
2- Parastesh *et al.*
3- Usman

دی اکسید کربن (CO_2) را به همراه داشت. نتایج وی نشان داد که کمترین میزان تولید CO_2 در بالاترین سطح کلرید سدیم (NaCl) (۱۲۰ میلی‌مول بر لیتر) بود (عثمان، ۲۰۱۵).



شکل (۲) روند معدنی شدن تجمعی کربن در سطوح مختلف شوری و بقایای گندم در خاک بدون پلوروتوس استراتوس (A) و تیمار شده(۵٪) با پلوروتوس استراتوس (B). بقایای گندم (R0) ۰ و (R1) ۱ درصد وزنی، شوری (S0) شاهد، (S1) ۸ و (S2) 15دسی‌زیمنس بر متر (n=3)

Figure (2) The patterns of cumulative carbon mineralization at different levels of salinity and wheat residue in soils untreated (A) and treated (B) with Pleurotus astreatus (5%). R0 without and R1 with wheat residue (1 % w/w); S0 control, S1 8 and S2 15 dS m^{-1} (n=3)

تنفس ناشی از سوبسترا (SIR)

در این پژوهش اثر اصلی شوری، پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم و برهمکنش دو جانبه (شوری × پلوروتوس استراتوس)، (شوری × بقایای گندم)، (پلوروتوس استراتوس × بقایای گندم) و برهمکنش سه جانبه (شوری × پلوروتوس استراتوس × بقایای گندم) بر SIR معنی‌دار (p<۰/۰۰۱) گردید (نتایج گزارش نشده‌اند). در خاک بدون بقایای گندم و پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب باعث کاهش ۴۳ و ۷۵ درصدی SIR نسبت به خاک شاهد (غیرشور) شد (شکل ۳). در خاک دارای پلوروتوس استراتوس بدون بقایای گندم، شوری ۸ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر SIR را به ترتیب ۴۶ و ۷۲ درصد در مقایسه با خاک شاهد (غیرشور بدون بقایای گندم) کاهش داد (شکل ۳).

همچنین در خاک تیمار شده با بقایای گندم بدون پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب باعث کاهش ۵۳ و ۷۳ درصدی SIR نسبت به خاک شاهد (غیرشور بدون پلوروتوس استراتوس) شد (شکل ۳). در خاک دارای پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم، شوری ۸ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر SIR را به ترتیب ۵۴ و ۷۲ درصد در مقایسه با خاک شاهد (غیرشور) کاهش داد (شکل ۳). شوری عاملی در شکل دادن به تنفس میکروبی خاک با تأثیر بر ترکیب جامعه میکروبی است (راث و روسک[1]، ۲۰۱۵) و تغییر هدایت الکتریکی خاک (EC) می‌تواند به شدت بر فعالیت ریزجانداران خاک تأثیر گذاشته (راث و همکاران، ۲۰۱۷) و کاهش تنفس میکروبی را به همراه داشته باشد (یانگ و همکاران، ۲۰۲۰). این نتایج نشان می‌دهد با افزودن ماده آلی، قارچ جوان و فعال افزایش یافته و شاخص زیست‌توده یا جمعیت فعال میکروبی خاک بهبود می‌یابد (بلاگوداسکی و همکاران[2]، ۲۰۰۰). بلاگوداسکایا و کوزیاکو[3] (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند که افزودن کربن سهل‌الوصول به خاک سبب افزایش بسیار زیاد (۵ تا۱۰ برابر) تنفس ناشی از سوبسترا می‌شود.

شاخص قابلیت دسترسی به کربن (CAI)

این شاخص به عنوان معیار کمی برای تعیین فراهمی کربن استفاده می‌گردد (پارکینسون و کولمن[4]، ۱۹۹۱). مقدار این شاخص اگر نزدیک یک باشد، نشان دهنده آن است که میزان BR تقریبا برابر با SIR می‌باشد. به عبارت دیگر، افزودن سوبسترای به سهولت قابل استفاده و به سهولت تجزیه شونده، سبب تحریک رشد و فعالیت میکروبی خاک نمی‌شود و کربن خاک عامل محدودکننده فعالیت میکروبی نمی‌باشد و اگر این شاخص از یک کمتر باشد، نشان‌دهنده وجود محدودیت کربن خاک برای فعالیت میکروبی می‌باشد (چنگ و همکاران، ۱۹۹۳).

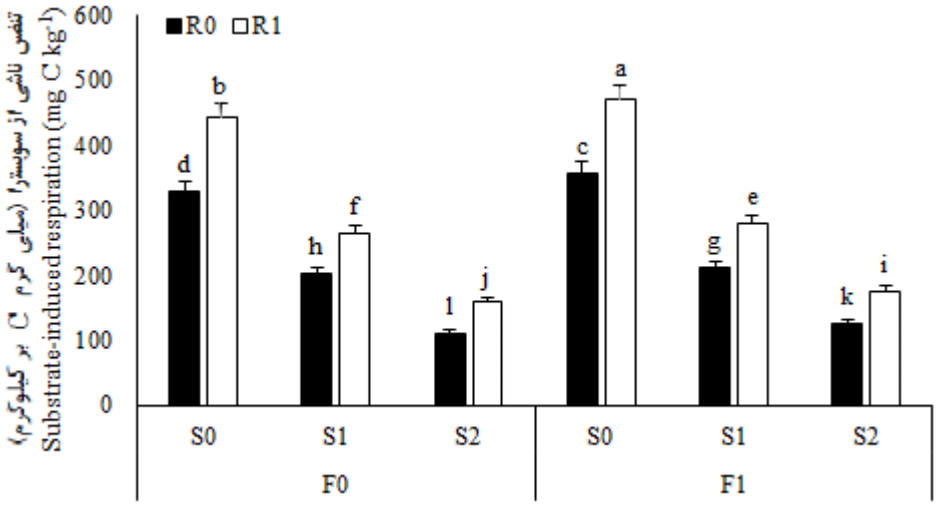
در این پژوهش اثر اصلی شوری، پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم و برهمکنش دو جانبه (شوری × پلوروتوس استراتوس)، (شوری × بقایای گندم)، (پلوروتوس استراتوس × بقایای گندم) و برهمکنش سه جانبه (شوری × پلوروتوس استراتوس × بقایای گندم) بر CAI معنی‌دار (p<۰/۰۰۱) گردید (نتایج گزارش نشده-اند). در خاک بدون بقایای گندم و پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب باعث کاهش ۱۲ و ۳۴ درصدی CAI نسبت به خاک شاهد (غیرشور) شد (شکل ۴). در خاک دارای پلوروتوس استراتوس بدون بقایای گندم، شوری ۸ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر CAI را به

1- Rath and Rousk

2- Blagodatsky *et al.*
3- Blagodatskaya and Kuzyakov
4- Parkinson and Coleman

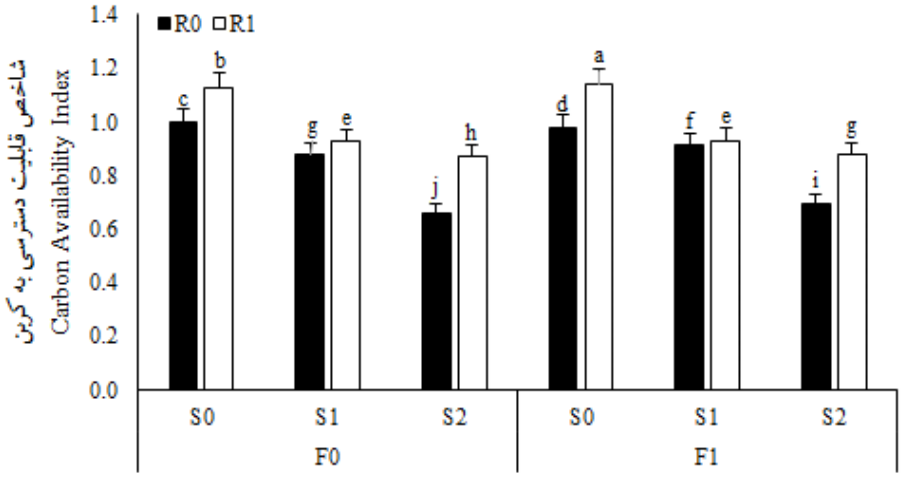
ترتیب ۷ و ۲۹ درصد در مقایسه با خاک شاهد (غیرشور بدون بقایای گندم) کاهش داد (شکل ۴).

همچنین در خاک تیمار شده با بقایای گندم بدون پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب باعث کاهش ۱۵ و ۲۲ درصدی CAI نسبت به خاک شاهد (غیرشور بدون پلوروتوس استراتوس) شد (شکل ۴). در خاک دارای پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم، شوری ۸ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر CAI را به ترتیب ۱۸ و ۲۳ درصد در مقایسه با خاک شاهد (غیرشور) کاهش داد (شکل ۴). طبق نتایج شوری، قابلیت دسترسی به کربن خاک را کاهش داد. افزایش شوری با کاهش نسبت قارچ به باکتری در خاک درشت بافت، باعث کاهش تجزیه کربن پایدار شد، در حالی‌که در خاک ریز بافت، از طریق کاهش جمعیت باکتری‌های گرم مثبت، معدنی شدن کربن فعال را کاهش داد (شی و همکارن، ۲۰۲۱).



شکل(۳) اثر بقایای گندم، پلوروتوس استراتوس و شوری بر تنفس ناشی از سوبسترا (n=۳). پلوروتوس استراتوس (F0) ۰ و (F1) ۵ درصد، شوری (S0) شاهد، (S1) ۸ و (S2) ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و (R0) بدون بقایای گیاهی و (R1) ۱ درصد بقایای گیاهی گندم. حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارها بر اساس آزمون LSD هستند.

Figure(3) The effect of wheat straw, Pleurotus astreatus and salinity on substrate-induced respiration (SIR). F0 without Pleurotus astreatus and F1 with Pleurotus astreatus (5%); S0 control, S1 8 and S2 15 dS m^{-1} and R0 without and R1 with wheat straw (1%, w/w). Similar letters do not have significant differences among treatments at 5% level according to the LSD test. The vertical lines shown as standard error.



شکل(٤) اثر بقایای گندم، قارچ Pleurotus astreatus و شوری بر شاخص قابلیت دسترسی به کربن (n=۳). پلوروتوس استراتوس (F0) ۰ و (F1) ۵ درصد، شوری (S0) شاهد، (S1) ۸ و (S2) ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و (R0) بدون بقایای گندم و (R1) ۱ درصد بقایای گندم. حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارها بر اساس آزمون LSD هستند.

Figure (4) The effect of and wheat straw, Pleurotus astreatus and salinity on Carbon Availability Index (CAI). F0 without Pleurotus astreatus and F1 with Pleurotus astreatus (5%); S0 control, S1 8 and S2 15 dS m^{-1} and R0 without and R1 with wheat straw (1%, w/w). Similar letters do not have significant differences among treatments at 5% level according to the LSD test. The vertical lines shown as standard error

در این پژوهش بقایای گندم در تمامی تیمارها باعث افزایش (۵-۲۶ درصد) CAI شد. که با نتایج رضایی‌دانش و همکاران[1] (۲۰۲۱) مطابقت داشت. نتایج نشان داد که بین کربن آلی خاک و CAI همبستگی مثبت و معنی‌دار (p<۰/۰۱، r=۰/۷۰) وجود داشت (جدول ۴). کاربرد بقایای گندم تلقیح شده با قارچ پلوروتوس استراتوس سبب افزایش بیشتر کربن آلی خاک گردید (جدول ۳) و در نتیجه سبب افزایش قابلیت دسترسی به کربن بقایای گندم شد (شکل ۵). به طور کلی، نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان دهنده‌ی آن است که ریزجانداران در محیط‌ها شور با محدودیت کربن برای تنفس مواجه می‌گردند. در سطوح شوری مورد استفاده در این پژوهش، شاخص مذکور در خاک تیمار شده با بقایای گندم و پلوروتوس استراتوس به یک نزدیکتر بود که نشان دهنده‌ی آن است که با حضور بقایای گندم محدودیت کربن کمتر شده است. در واقع با افزودن بقایای گندم و پلوروتوس استراتوس به خاک، منابع کربن سریعتر تجزیه و مصرف شده و در نهایت موجب افزایش CAI خاک گردید.

ضریب تنفس ویژه (qCO_2)

از این شاخص میکروبی برای پی بردن به بروز تنش‌های محیطی (تریپاتی و همکاران[2]، ۲۰۰۶)، کیفیت سوبسترا (لیو و همکاران، ۲۰۰۹)، راندمان مصرف کربن (موسکاتلی و همکاران[3]، ۲۰۰۷) و ترکیب جامعه میکروبی (آندرسون، ۲۰۰۳) خاک استفاده می‌شود. در این پژوهش اثر اصلی شوری، پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم و برهمکنش دو جانبه (شوری × پلوروتوس استراتوس)، (شوری × بقایای گندم)، (پلوروتوس استراتوس × بقایای گندم) و برهمکنش سه جانبه (شوری × پلوروتوس استراتوس × بقایای گندم) بر qCO_2 معنی‌دار گردید (جدول ۲).

در خاک بدون بقایای گندم و پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر طی ماه اول گرماگذاری باعث

1- Rezaee Danesh *et al.*

2- Tripathi *et al.*

3- Moscatelli *et al.*

افزایش ۱ درصدی و طی ماه‌های دوم و سوم باعث کاهش ۸ و ۳ درصدی qCO_2 نسبت به خاک شاهد (غیرشور) شد (جدول ۵). شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر طی ماه اول افزایش ۱۵ درصدی و طی ماه‌های دوم و سوم گرماگذاری به ترتیب باعث کاهش ۱۸ و ۲۹ درصدی qCO_2 نسبت به تیمار شاهد (غیرشور) گردید (جدول ۵). در خاک دارای پلوروتوس استراتوس بدون بقایای گندم، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر qCO_2 را طی ماه‌های اول و سوم ۴ درصد کاهش و طی ماه دوم ۶ درصد نسبت به خاک شاهد (غیرشور بدون بقایای گندم) افزایش داد و شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش بیشتر qCO_2 طی ماه سوم (۱۱ درصد) و افزایش ۱۰ و ۴ درصدی qCO_2 طی ماه‌های اول و دوم نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۵). همچنین در خاک تیمار شده با بقایای گندم بدون پلوروتوس استراتوس، شوری ۸ دسی-زیمنس بر متر طی ماه دوم افزایش ۸ درصدی و طی ماه‌های اول و سوم گرماگذاری باعث کاهش ۲۰ و ۶ درصدی qCO_2 نسبت به خاک شاهد (غیرشور بدون پلوروتوس استراتوس) شد (جدول ۵). شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر طی ماه‌های اول، دوم و سوم گرماگذاری نیز به ترتیب باعث کاهش ۱۳، ۱۲ و ۳۴ درصدی qCO_2 نسبت به تیمار شاهد (غیرشور بدون پلوروتوس استراتوس) گردید (جدول ۵). در خاک دارای پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم، شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر qCO_2 را به ترتیب ۱۹ و ۶ درصد در مقایسه با خاک شاهد (غیرشور) طی ماه اول و سوم آزمایش کاهش داد و شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش qCO_2 (به ترتیب ۱۲، ۲ و ۱۲ درصد) نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۵). شوری بر رشد و فعالیت ریزجانداران خاک تاثیرگذار بوده و در نهایت منجر به تغییر در مقدار ضریب تنفس ویژه خاک می‌شود (آندرسون و دامچ، ۲۰۱۰؛ رئیسی و صادقی، ۲۰۱۹).

جدول (۵) اثر شوری، پلوروتوس استراتوس و بقایای گندم بر ضریب متابولیک (qCO_2, µg CO_2-C mg^{-1} MBC day^{-1}). اعداد میانگین (n=3) به همراه خطای معیار (SE) می‌باشند.

Table (5) The effect of salinity, Pleurotus astreatus and wheat straw on metabolic quotient (qCO_2, µg CO_2-C mg^{-1} MBC day^{-1}). Values are mean (n=3) with standard error (SE).

بقایای گندم Wheat residue	پلوروتوس استراتوس Pleurotus astreatus	شوری Salinity ($ds\ m^{-1}$)	زمان گرماگذاری (روز) Incubation time (day) 30	60	90
بدون بقایای گندم Without plant residue	F0	0	82.3 ± 0.81^{C}	98.4 ± 0.27^{A}	97.1 ± 0.32^{B}
		8	83.3 ± 0.23^{C}	89.6 ± 0.13^{B}	93.8 ± 2.73^{A}
		15	95.0 ± 2.23^{A}	80.7 ± 2.29^{B}	69.2 ± 3.38^{C}
	F1	0	85.4 ± 1.18^{B}	84.6 ± 0.83^{C}	96.8 ± 1.10^{A}
		8	82.0 ± 1.32^{C}	89.4 ± 0.55^{B}	92.8 ± 0.6^{A}
		15	94.3 ± 0.72^{A}	88.2 ± 1.69^{B}	86.0 ± 0.64^{C}
با بقایای گندم With plant residue	F0	0	93.7 ± 0.12^{B}	88.9 ± 0.65^{C}	102 ± 0.82^{A}
		8	74.6 ± 0.88^{C}	96.1 ± 0.70^{A}	95.5 ± 0.38^{B}
		15	81.4 ± 0.62^{A}	77.6 ± 0.76^{B}	67.2 ± 3.29^{C}
	F1	0	95.9 ± 0.12^{B}	92.8 ± 0.35^{C}	102 ± 0.18^{A}
		8	77.5 ± 0.30^{A}	93.3 ± 0.57^{C}	95.5 ± 0.19^{B}
		15	84.4 ± 0.14^{C}	90.6 ± 2.05^{A}	88.9 ± 4.51^{B}

در هرردیف میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین زمان‌های مختلف بر اساس آزمون LSD هستند

Within each row the means sharing uppercase letters do not have significant differences at 5% level between different sampling times at 5% level according to the LSD test

نتیجه‌گیری

در خاک‌های تیمار نشده با بقایای گندم، شوری ناشی از مخلوط نمک‌های کلریدهای سدیم، پتاسیم و منیزیم با نسبت مولی ۱:۲:۳، طی سه ماه گرماگذاری سبب کاهش معنی‌دار مقدار تنفس، کربن زیست‌توده میکروبی و ضریب متابولیکی و افزایش کربن آلی خاک شد. کاهش فعالیت میکروبی در اثر تنش شوری در ماه دوم بیشتر از ماه سوم آزمایش بود. افزودن بقایای گندم به خاک شور، اثر شوری خاک را کاهش داده و منجر به افزایش فعالیت و رشد میکروبی خاک شد. بقایای گندم و قارچ پلوروتوس استراتوس افزایش تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی را به همراه داشتند. قارچ پلوروتوس استراتوس سبب کاهش کربن آلی خاک احتمالاً به دلیل تجزیه توسط آنزیم شده است. اثر تلفیقی بقایای گندم و قارچ پلوروتوس استراتوس بر ویژگی‌های بیولوژیکی اندازه‌گیری شده (تنفس، کربن زیست‌توده میکروبی و ضریب متابولیکی و کربن آلی) بیش‌تر از مجموع اثر آن‌ها به تنهایی بود. بنابراین، نتایج این مطالعه روی اثر مثبت بقایای گندم و قارچ پلوروتوس استراتوس و برهمکنش بین آن‌ها بر شاخص‌های بیولوژیکی دلالت دارد. ماده آلی احتمالاً به دلیل ایجاد بستر مناسب برای رشد ریزجانداران سبب افزایش جمعیت و رشد آن‌ها در خاک شد. مصرف بقایای گندم در خاک-های شور اثر مثبتی بر ویژگی‌های خاک به خصوص در خاک‌های با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر داشت. ماده آلی اثر مثبت بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک مورد آزمایش در همه تیمارهای شوری به همراه داشت. گرچه بقایای گندم غنی شده با قارچ پلوروتوس استراتوس در بهبود شاخص-های بیولوژیک اندازه گیری شده در این آزمایش موثر بود ولی انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای جهت تایید اثربخشی آن در خاک‌های شور ضروری است.

References

1. Alef, K., and Nannipieri, P. 1995. Enzyme activities. In: Alef K. and Nannipieri P. (eds.) Methods in Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, New York. pp: 311- 373.

2. Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In: Miller R.H. and Keeney D.R. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. The American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp: 831- 871.

3. Anderson, T.H. 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment. 98:285-293.

4. Ankush, A., Prakash, R., Kumar, R., Singh, V., Harender, H., and Singh, V. 2020. Soil microbial and nutrient dynamics influenced by irrigation-induced salinity and sewage sludge incorporation in sandy–loam textured soil. International Agrophysics. 34:451-462.

5. Ayodele, S.M., and Ojoghoro, O.J. 2007. Salt stress effects on the vegetative growth of *Pleurotus tuberregium* (FR) Sing. Journal of Biological Sciences. 7:1278-1281.

6. Blagodatsky, S.A., Heinemeyer, O., and Richter, J. 2000. Estimating the active and total soil microbial biomass by kinetic respiration analysis. Biology and Fertility of Soils. 32:73-81.

7. Chen, R., Senbayram, M., Blagodatsky, S., Myachina, O., Dittert, K., Lin, X., Blagodatskaya, E., and Kuzyakov, Y. 2014. Soil C and N availability determine the priming effect: microbial N mining and stoichiometric decomposition theories. Global Change Biology. 20:2356-2367.

8. Cheng, W., Coleman, D.C., Carroll, C.R., and Hoffman, C.A. 1993. In situ measurements of root respiration and soluble carbon concentrations in the rhizosphere. Soil Biology and Biochemistry. 25:1189-1196.

9. Cong, P., Wanga, J., Lia, Y., Liua, N., Dong, J., Panga, H., Zhanga, L., and Gaoa, Z. 2020. Changes in soil organic carbon and microbial community under varying straw incorporation strategies. Soil and Tillage Research. 204:104735.

10. Drake, J.A., Cavagnaro, T.R., Cunningham, S.C., Jackson, W.R., and Patti, A.F. 2016. Does biochar improve establishment of tree seedlings in saline sodic soils? Land Degradation and Development. 27:52-59.

11. Economou, C.N., Diamantopoulou, P.A., and Philippoussis, A.N. 2017. Valorization of spent oyster mushroom substrate and laccase recovery through successive solid state cultivation of *Pleurotus*, *Ganoderma*, and *Lentinula* strains. Applied Microbiology and Biotechnology. 101:5213-5222.

12. Elgharably, A., Marschner, P. 2011. Microbial activity and biomass and N and P availability in a saline sandy loam amended with inorganic N and lupin residues. European Journal of Soil Biology. 47:310-315.

13. Gunarathne, V., Senadeera, A., Gunarathne, U., Biswas, J.K., Almaroai, Y.A., and Vithanage, M. 2020. Potential of biochar and organic amendments for reclamation of coastal acidic-salt affected soil. Biochar. 2:107-120.

14. Katya, K., Yun, Y., Park, G., Lee, J., Yoo, G., and Bai, S.C. 2014. Evaluation of the efficacy of fermented by-product of mushroom, *Pleurotus ostreatus*, as a fish meal replacer in juvenile Amur catfish, S*ilurus asotus*: effects on growth, serological ccharacteristics and immune responses. Asian Australasian Journal of Animal Sciences. 27:1478–1486.

15. Kochsiek, A., Knops, J., and Zhang, W. 2013. Effects of nitrogen availability on the fate of litter-carbon and soil organic matter decomposition. Journal of Environment and Climate Change. 3:24-43.

16. Li, L., Han, X., You, M., Yuan, Y., Ding, W., and Qiao, Y. 2013. Carbon and nitrogen mineralization patterns of two contrasting crop residues in a Mollisol: effects of residue type and placement in soils. European Journal of Soil Biology. 54:1-6.

17. Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang, B., and Li, H. 2009. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: the influence of quantity, type and application time of organic amendments. Applied Soil Ecology. 42:166-175.

18. Liu, S., Yang, M., Cheng, F., Coxixo, A., Wu, X., and Zhang, Y. 2018. Factors driving the relationships between vegetation and soil properties in the Yellow River Delta, China. Catena. 165:279-285.

19. Liu, S.W., Zhang, Y.J., Zong, Y.J., Hu, Z.Q., Wu, S., Zhou, J., Jin, Y.G., and Zou, J.W. 2015. Response of soil carbon dioxide fluxes, soil organic carbon andmicrobial biomass carbon to biochar amendment: a meta-analysis. GCB Bioenergy. 8:392-406.

20. Liu, X.J., Ruecker, A., Song, B., Conner, W.H., and Chow, A. 2017. Effects of salinity and wet-dry treatments on C and N dynamics in coastal-forested wetland soils: implications of sea level rise. Soil Biology and Biochemistry. 112:56-67.

21. Lou, Y., Liang, W., Xu, M., He, X., Wang, Y., and Zhao, K. 2011. Straw coverage alleviates seasonal variability of the topsoil microbial biomass and activity. Catena. 86:117-120.

22. Melanouri, E., Dedousi, M., and Diamantopoulou, P. 2022. Cultivating *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. Part II: Effect on productivity and quality of carposomes. Carbon Resources Conversion. 5:52-60.

23. Moameni, A. 2010. Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. Soil Research. 24: 203-215. (In Persian with English abstract).

24. Moreira, H., Pereira, S.I.A., Marques, A.P.G.C., Rangel, A.O.S.S., and Castro, P.M.L. 2016. Mine land valorization through energy maize production enhanced by the application of plant growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. Environmental Science and Pollution Research. 23:6940-6950.

25. Moscatelli, M., Di Tizio, A., Marinari, S., and Grego, S. 2007. Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land use systems. Soil and Tillage Research. 97:51-59.

26. Nelson, D.W., and Sommers, L.E., 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin. pp:961-1011.

27. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. In Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. 1159p.

28. Parastesh, F., Alikhani, H., Etesami, H., and Hasandokht, M. 2019. The effect of vermicompost enriched with phosphate solubilizing bacteria on phosphorus availability, pH and biological indices in a calcareous soil. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 9:25-46.

29. Philippoussis, A. 2009. Production of mushrooms using agro-industrial residues as substrates, in: P. Sing Nigam, A. Pandey (eds.), Biotechnology for agro-industrial residues processing, Springer, Berlin. pp:163–196.

30. Pokharel, P., Ma, Z., and Chang, S.X. 2020. Biochar increases soil microbial biomass with changes in extra-and intracellular enzyme activities: a global meta-analysis. Biochar. 2:65-79.

31. Qin, J., Liu, H., Zhao, J., Wang, H., Zhang, H., Yang, D., and Zhang, N. 2020. The roles of bacteria in soil organic carbon accumulation under nitrogen deposition in *Stipa baicalensis* steppe. Microorganisms. 8:326.

32. Raiesi, F., and Sadeghi, E. 2019. Interactive effect of salinity and cadmium toxicity on soil microbial properties and enzyme activities. Ecotoxicology and Environmental Safety. 168:221-229.

33. Rath, K.M., and Rousk, J. 2015. Salt effects on the soil microbial decomposer community and their role in organic carbon cycling: a review. Soil Biology and Biochemistry. 81:108-123.

34. Rath, K.M., Maheshwari, A., and Rousk, J. 2017. The impact of salinity on the microbial response to drying and rewetting in soil. Soil Biology and Biochemistry. 108:17-26.

35. Rezaee Danesh, N., Rasouli-Sadaghiani, M., Moradi, N., and Barin, M. 2021. The effect of compost, biochar and bio-inoculant on enzymatic activity and some soil microbial indices. Journal of Soil Biology. 2:141-155. (In Persian).

36. Rossini-Oliva, S., Mingorance, M., and Pena, A. 2017. Effect of two different composts on soil quality and on the growth of various plant species in a polymetallic acidic mine soil. Chemosphere. 168:183-190.

37. Sadeghi, E., Raiesi, F., and Hossienpur, A. 2018. Interactive effects of salinity and cadmium pollution on enzyme activity in a calcareous soil treated with plant residues. Journal of Water and Soil. 31:1623-1636. (In Persian).

38. Salmones, D., Mata, G., and Waliszewski, K. 2005. Comparative culturing of *Pleurotus* spp. on coffee pulp and wheat straw: biomass production and substrate biodegradation. Bioresource Technology. 96:537-544.

39. She, R., Yu, Y., Ge, C., and Yao, H. 2021. Soil texture alters the impact of salinity on carbon mineralization. Agronomy. 11:128.

40. Shi, S., Tian, L., Nasir, F., Bahadur, A., Batool, A., Luo, S., Yang, F., Wang, Z., and Tian, C. 2019. Response of microbial communities and enzyme activities to amendments in saline-alkaline soils. Applied Soil Ecology. 135:16-24.

41. Singh, B., Rengel, Z., and Bowden, J.W. 2006. Carbon, nitrogen and sulphur cycling following incorporation of canola residue of different sizes into a nutrient-poor sandy soil. Soil Biology and Biochemistry. 38:32-42.

42. Singh, R., Mavi, M.S., and Choudhary, O.P., 2019. Saline soils can be ameliorated by adding biochar generated from rice residue waste. Clean - Soil, Air, Water. 47:1700656.

43. Singh, V., Vyas, D., Pandey, R., and Sheik, I.A. 2015. *Pleurotus ostreatus* produces antioxidant and anti arthritis activity in wistar albino rats. World Journal of Pharmaceutical Sciences. 4:1230–1246.

44. Suman, A., Lal, M., Singh, A., and Gaur, A. 2006. Microbial biomass turnover in Indian subtropical soils under different sugarcane intercropping systems. Agronomy Journal. 98:698-704.

45. Tripathi, S., Kumari, S., Chakraborty, A., Gupta, A., Chakrabarti, K., and Bandyapadhyay, B.K. 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. Biology and Fertility of Soils. 42:273-277.

46. Usman, A.R.A. 2015. Influence of NaCl-induced salinity and Cd toxicity on respiration activity and Cd availability to barley plants in farmyard manure-amended soil. Applied and Environmental Soil Science. 2015:1-8.

47. Vance, E., Brookes, P., and Jenkinson, D. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry. 19:703-707.

48. Wang, J., Sun, Q., Shang, J., Shang, J., Zhang, J., Wu, F., Zhou, G., and Dai, Q. 2020. A new approach for estimating soil salinity using a low-cost soil sensor in situ: a case study in saline regions of China's east coast. Remote Sensing. 12:239.

49. Wang, Y., Villamil, M.B., Davidson, P.C., and Akdeniz, N. 2019. A quantitative understanding of the role of co-composted biochar in plant growth using meta-analysis. Science of the Total Environment. 685:741-752.

50. Wu, L., Zhang, S., Ma, R., Chen, M., Wei, W., and Ding, X. 2021. Carbon sequestration under different organic amendments in saline-alkaline soils. Catena 196: 104882.

51. Xia, J.B., Ren, R.R., Zhang, S.Y., Wang, Y.H., and Fang, Y. 2019. Forest and grass composite patterns improve the soil quality in the coastal saline-alkali land of the Yellow River Delta, China. Geoderma. 349:25-35.

52. Xiao, D., Huang, Y., Feng, S.Z., Ge, Y.H., Zhang, W., He, X.Y., and Wang, K.L. 2018. Soil organic carbon mineralization with fresh organic substrate and inorganic carbon additions in a red soil is controlled by fungal diversity along a pH gradient. Geoderma. 321:79-89.

53. Xu, Y., Seshadri, B., Bolan, N., Sarkar, B., Ok, Y.S., Zhang, W., Rumpel, C., Sparks, D., Farrell, M., Hall, T., and Dong, Z. 2019. Microbial functional diversity and carbon use feedback in soils as affected by heavy metals. Environment International. 125:478-488.

54. Yang, C., Wang, X., Miao, F., Li, Z., Tang, W., and Sun, J. 2020. Assessing the effect of soil salinization on soil microbial respiration and diversities under incubation conditions. Applied Soil Ecology. 155:103671.

55. Yang, Ch., Dantong, L., Shenyi, J., Hao, L., Junqi, S., Kangjia, L., and Juan, S. 2021. Soil salinity regulation of soil microbial carbon metabolic function in the Yellow River Delta, China. Science of the Total Environment. 790:148258.

56. Zhang, W., Wang, C., Xue, R., and Wang, L. 2019. Effects of salinity on the soil microbial community and soil fertility. Journal of Integrative Agriculture. 18:1360-1368.

57. Zhao, Q.Q., Bai, J.H., Gao, Y.C., Zhao, H.X., Zhang, G.L., and Cui, B.S., 2020. Shifts of soil bacterial community along a salinity gradient in the Yellow River Delta. Land Degradation & Development. 31:2255-2267

58. Zhu, T., Shao, T., Liu, J., Li, N., Long, X, Gao, X., and Rengel, Z. 2021. Improvement of physico-chemical properties and microbiome in different salinity soils by incorporating *Jerusalem artichoke* residues. Applied Soil Ecology. 158:103791.