

胡月华. 土壤有机碳组分及微生物功能多样性对耕作方式与秸秆覆盖量的响应[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(4): 206-212.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.04.030

土壤有机碳组分及微生物功能多样性 对耕作方式与秸秆覆盖量的响应

胡月华

(商丘职业技术学院, 河南商丘 476100)

摘要:为阐明土壤有机碳组分及微生物功能多样性对不同耕作方式与秸秆覆盖量的响应, 2019—2021 年通过田间小麦与玉米轮作定位试验, 研究免耕秸秆不覆盖(T1)、免耕秸秆半量覆盖(T2)、免耕秸秆全量覆盖(T3)、旋耕秸秆不覆盖(T4)、旋耕秸秆半量覆盖(T5)、旋耕秸秆全量覆盖(T6)处理条件下土壤有机碳、轻组有机碳、重组有机碳和土壤微生物碳源利用及功能多样性的变化规律。结果表明, 各处理土壤有机碳、轻组有机碳、重组有机碳含量变化一致, 其中耕作方式相同时, 表现为秸秆全量覆盖处理 > 秸秆半量覆盖处理 > 秸秆不覆盖处理; 秸秆覆盖量相同时, 表现为免耕处理 > 旋耕处理, 整体表现为 T3 > T6 > T2 > T5 > T1 > T4 处理, 免耕秸秆覆盖全量覆盖处理的土壤有机碳、轻组有机碳、重组有机碳含量均为最高值; 平均颜色变化率表现为 T3 > T6 > T2 > T5 > T1 > T4 处理; T3 处理土壤微生物对碳水化合物、羧酸化合物、氨基酸、多聚化合物的利用能力较其他处理分别提高 6.33% ~ 47.37%、5.19% ~ 39.66%、9.76% ~ 28.57%、3.23% ~ 50.00%, 其中除对氨基酸的利用能力与 T1 处理无显著差异外, 其余指标均与 T1 处理差异显著, 不同措施处理土壤微生物对多聚化合物、胺类化合物的利用能力最强, 其次是碳水化合物、羧酸化合物, 对氨基酸、芳香化合物的利用能力最弱; T3 处理的香农指数、多样性指数较其他处理分别提高 5.52% ~ 24.03%、2.36% ~ 13.06%, 香农指数显著高于 T1、T2、T4、T5 处理, 多样性指数显著高于 T1、T4、T5 处理; 冗余分析(RDA)和相关性分析结果表明, 土壤微生物代谢活动与土壤有机碳组分之间具有紧密相关的联系。因此, 免耕与秸秆全量覆盖配套实施能够有效改善土壤微生物功能代谢能力, 有利于土壤有机碳组分含量的累积。

关键词: 秸秆覆盖量; 土壤有机碳; 轻组有机碳; 重组有机碳; 微生物; 碳源利用; 功能多样性

中图分类号: S154.3; S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2023)04-0206-06

活性有机碳是农田土壤生态系统中土壤结构与功能的重要组成部分, 能够敏感地指示评价土壤肥力及碳库指数的变化^[1-2]。农田土壤活性有机碳受人类活动影响较大, 不同土地利用方式如耕作、秸秆还田等人为措施都能够较大程度地影响土壤碳库及组分的动态平衡^[3-4]。研究表明, 传统的精耕细作不仅会使得土壤活性有机碳快速降低, 还会导致土壤肥力及土地生产力下降, 较大程度地制约了农业的可持续发展^[5-8]。而为缓解人类活动对农田土壤生态系统带来的压力, 近年来, 我国大力推广诸如免耕、秸秆覆盖等保护性耕作制度^[9-10]。大量研究表明, 保护性耕作主要通过免耕或少耕, 结合秸秆覆盖等措施, 尽可能地减少土壤扰动, 减轻

风蚀、水蚀, 能够有效地提高土壤上层有机质含量, 改善土壤微生态环境, 对土壤活性有机碳的形成、转化和分解具有深远的影响^[11-14]。因此, 通过本研究不同耕作制度下土壤有机碳及微生物功能多样性的变化对于了解和提高土壤有机碳组分, 改善土壤微生态环境具有重要意义。

翻耕、旋耕是华北平原主要的耕作方式, 然而由于农田长期进行扰动性耕作, 不仅破坏了土壤结构, 减少有机碳的形成与转化, 还改变了土壤原有稳定的微生态环境, 使得微生物群落结构失调, 功能多样性降低^[9, 15-17]。研究表明, 保护性耕作是解决目前困境的方向之一^[18-19]。目前, 有关保护性耕作的研究主要集中在土壤有机碳或土壤微生物群落结构方面^[20-21], 而关于免耕和不同秸秆覆盖量配套对土壤有机碳组分、微生物代谢功能及其相关性的研究并不多, 且免耕覆盖对土壤碳组分及微生物代谢功能的影响受多种环境因子如土壤类型、气候条件以及试验年份等共同制约^[22], 因此单个试验点

收稿日期: 2022-03-08

基金项目: 高职高专国家级示范专业基金(编号: 20080063.3)。

作者简介: 胡月华(1971—), 女, 河南商丘人, 硕士, 副教授, 主要从事农作物栽培及病虫害防治研究。E-mail: sqhuyuehua@126.com。

或特定区域的研究结果也许并不适用于其他地区。本试验在前人研究的基础上,通过研究不同耕作方式与秸秆覆盖量配套对土壤碳组分、碳源利用能力及功能多样性方面的影响,以期明确它们之间的关联性,找到适宜的配套模式,为我国华北平原地区保护性耕作制度的推广提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

商丘职业技术学院试验示范基地(116°15'E, 39°28'N)位于河南省东部,属典型暖温带半湿润季风气候。年平均气温 14.0 °C,年平均日照时长 2 200 h,无霜期 212 d,年积温(≥ 0 °C) 4 500 ~ 5 500 °C·d,年降水量 600 ~ 700 mm。供试土壤为黄潮土黏土质,0 ~ 30 cm 土层土壤基础肥力:碱解氮含量 48.34 mg/kg、有机质含量 7.96 g/kg、速效磷含量 55.16 mg/kg、速效钾含量 158.24 mg/kg、pH 值 8.12。试验地点常年小麦与玉米轮作种植。

1.2 试验设计

试验于 2019 年 6 月至 2021 年 9 月进行。设免耕秸秆不覆盖(T1)、免耕秸秆半量覆盖(T2)、免耕秸秆全量覆盖(T3)、旋耕秸秆不覆盖(T4)、旋耕秸秆半量覆盖(T5)、旋耕秸秆全量覆盖(T6)等 6 个处理,每个处理 3 次重复,小区面积 80 m²(8 m × 10 m),随机排列分布。免耕处理不进行土壤翻耕,旋耕处理先犁后旋,播种时均通过播种机进行播种。半量覆盖指收获时移走地上部 50% 秸秆,其余秸秆粉碎后撒匀,全量覆盖指秸秆全部还田。小麦品种为济麦 22,由山东省农业科学院作物研究所提供;玉米品种为郑单 958,由河南省农业科学院粮食作物研究所提供。小麦种植密度为麦种 120 kg/hm²,玉米种植密度为 52 500 株/hm²。小麦季施肥量:纯氮(N) 300 kg/hm²、P₂O₅ 150 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²;玉米季施肥量:纯 N 300 kg/hm²、P₂O₅ 225 kg/hm²、K₂O 225 kg/hm²。小麦全生育期为 10 月 10 日至 6 月 8 日,玉米全生育期为 6 月 15 日至 9 月 30 日。2021 年 9 月 30 日采集 0 ~ 30 cm 土层土壤样品进行各项指标的测定。

1.3 指标测定与方法

1.3.1 土壤有机碳 土壤有机碳(SOC)含量测定采用重铬酸钾容量法^[23];轻组有机碳(LOC)、重组有机碳(HOC)含量测定均采用相对密度法^[24]。

1.3.2 土壤微生物功能多样性测定 土壤微生物

功能多样性测定采用 Biolog - Eco 微孔板法。按照费裕种等的操作步骤^[25],称取 10 g 新鲜土样,加入到 100 mL 灭菌的生理盐水(0.9%)中,经过振荡混匀后吸取 1 mL 稀释 1 000 倍,静置 10 ~ 15 min 后通过移液枪吸取 150 μL 接种到 Biolog - Eco 板中,放入 28 °C 的恒温培养箱中连续培养 168 h,每隔 24 h 在 590 nm 波长处读数 1 次,每个样品重复 3 次。其中平均颜色变化率(AWCD)、香农指数(H)、多样性指数(U)、辛普森指数(D)计算公式如下^[26-27]:

$$AWCD = \sum (C_i - C_1) / 31; \quad (1)$$

$$H = - \sum P_i (\ln P_i); \quad (2)$$

$$U = H / (\ln S); \quad (3)$$

$$D = 1 - \sum P_i^2。 \quad (4)$$

式中: C_i 为非对照孔的吸光度; C_1 为对照孔的吸光度; P_i 为第 i 个孔的相对吸光度与总吸光度的比值; S 为生态板中颜色变化孔的数量。

1.4 数据处理

数据采用 WPS 软件进行统计与计算,采用 SPSS 19.0 统计软件进行单因素方差分析与多重比较,采用 Canoco 5.0 软件进行冗余分析(RDA)与作图。

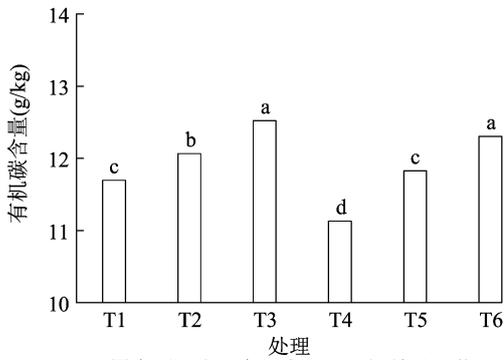
2 结果与分析

2.1 不同处理措施对土壤活性有机碳含量的影响

由图 1 可知,不同耕作和秸秆覆盖措施处理土壤活性有机碳含量表现出不同的变化。其中 T3 处理土壤有机碳含量最高,较 T1、T2、T4、T5 处理分别显著提高 7.10%、3.73%、12.46%、5.83%,与 T6 处理无显著性差异,T4 处理的有机碳含量最低,较其他处理显著降低 4.76% ~ 11.08%,土壤有机碳含量总体表现为 T3 > T6 > T2 > T5 > T1 > T4 处理。从图 1 还可以看出,耕作方式相同时,土壤有机碳含量表现为秸秆全量覆盖处理 > 秸秆半量覆盖处理 > 秸秆不覆盖处理;秸秆覆盖量相同时,土壤有机碳含量表现为免耕处理 > 旋耕处理,其中除秸秆全量覆盖时无显著性差异,秸秆不覆盖或半量覆盖时,免耕处理均显著高于旋耕处理。

2.2 不同处理措施对土壤轻组有机碳含量的影响

由图 2 可知,不同措施条件下土壤轻组有机碳含量存在显著差异。相同耕作方式下,秸秆全量覆盖处理的土壤轻组有机碳含量显著高于秸秆半量覆盖或不覆盖处理,其中 T3 处理轻组有机碳含量较 T1、T2 处理分别显著提高 25.93%、12.26%,T6



图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。图 2、图 3 同

图1 不同处理措施对土壤活性有机碳含量的影响

处理轻组有机碳含量较 T4、T5 处理分别显著提高 32.90%、16.29%，土壤有机碳含量均表现为秸秆全量覆盖处理 > 秸秆半量覆盖处理 > 秸秆不覆盖处理。秸秆覆盖量相同时，免耕处理的轻组有机碳均高于旋耕处理，其中 T1 处理较 T4 处理显著提高 10.18%，T2 处理较 T5 处理显著提高 8.14%，T3 处理与 T5 处理差异显著。土壤轻组有机碳含量总体表现为 T3 > T6 > T2 > T5 > T1 > T4 处理，与土壤总有机碳含量变化较一致。

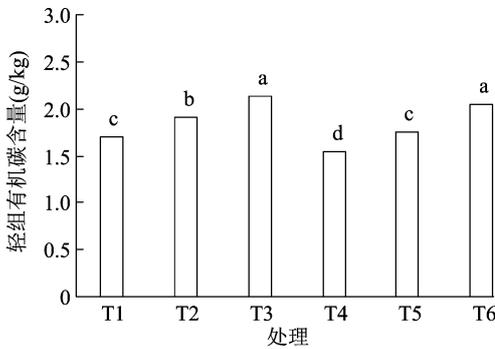


图2 不同处理措施对土壤轻组有机碳含量的影响

2.3 不同处理措施对土壤重组有机碳含量的影响

由图 3 可知，不同措施条件下土壤重组有机碳含量呈现较大差异。相同耕作方式下，土壤重组有机碳含量表现为秸秆全量覆盖处理 > 秸秆半量覆盖处理 > 秸秆不覆盖处理；秸秆覆盖量相同时，土壤重组有机碳含量表现为免耕处理 > 旋耕处理。土壤重组有机碳含量总体表现为 T3 > T6 > T2 > T5 > T1 > T4 处理，其中 T3 处理的重组有机碳含量较 T1、T2、T4、T5 处理分别显著提高 3.90%、2.13%、8.24%、3.11%，与 T6 处理相比无显著性差异。T6 处理重组有机碳含量显著高于 T1、T4、T5 处理，与 T2 处理相比无显著性差异。T4 处理重组有机碳含量最低，较其他处理显著降低 4.00% ~ 7.61%。

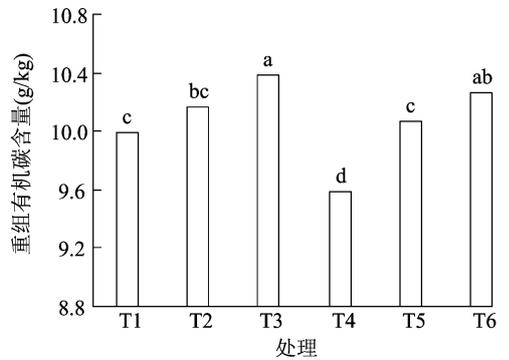


图3 不同处理措施对土壤重组有机碳含量的影响

2.4 不同处理措施对土壤微生物碳源代谢活性的影响

由图 4 可知，不同措施条件下土壤微生物平均颜色变化率 (AWCD) 均随着培养时间的延长而逐渐提高。其中培养 0 ~ 24 h，各处理 AWCD 变化不明显，培养 24 ~ 120 h，AWCD 快速增长，此时期为微生物生长旺盛期，120 ~ 168 h，AWCD 增长速度减缓，直至趋于平稳。培养 0 ~ 48 h，T6 处理的 AWCD 最大，但与 T3 处理差异不大，从培养 72 h 开始直至培养结束时，T3 处理的 AWCD 均高于 T6 处理，其中培养 120 h 时，各处理的 AWCD 在 0.625 ~ 0.935 之间，AWCD 表现为 T3 > T6 > T2 > T5 > T1 > T4 处理。不同措施条件下的 AWCD 表现为秸秆全量覆盖处理 > 秸秆半量覆盖处理 > 秸秆不覆盖处理，免耕处理 > 旋耕处理。

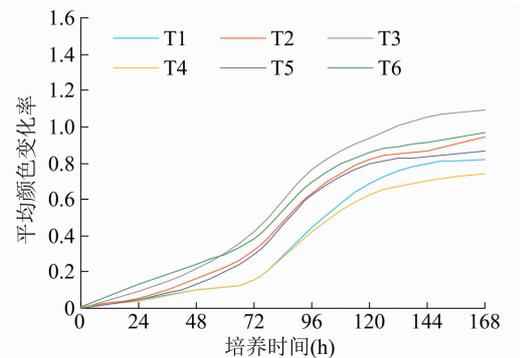


图4 不同处理措施对土壤微生物平均颜色变化率的影响

2.5 不同处理措施对土壤微生物代谢碳源类型的影响

由表 1 可知，不同处理条件下土壤微生物对不同碳源的利用能力存在显著差异。T3 处理土壤微生物对碳水化合物、羧酸化合物、氨基酸、多聚化合物的利用能力最强，较其他处理分别提高 6.33% ~ 47.37%、5.19% ~ 39.66%、9.76% ~ 28.57%、3.23% ~ 50.00%，其中除对氨基酸的利用能力与 T1 处理无显著差异外，其余指标均与 T1 处理差异

显著, T1 处理对羧酸化合物的利用能力以及 T4 处理对碳水化合物、氨基酸、多聚化合物的利用能力最弱。T6 处理对胺类化合物的利用能力最强, 较其他处理提高 2.68% ~ 22.34%, 显著高于 T1 处理, 但与其他处理均无显著性差异。T1 处理对芳香化

化合物的利用能力最强, 显著高于 T2、T3、T5、T6 处理。就总体利用情况而言, 不同措施条件下土壤微生物对多聚化合物、胺类化合物的利用能力最强, 其次是碳水化合物、羧酸化合物, 对氨基酸、芳香化合物的利用能力最弱。

表 1 不同处理对土壤微生物代谢碳源类型的影响

处理	AWCD					
	碳水化合物	羧酸化合物	氨基酸	多聚化合物	胺类化合物	芳香化合物
T1	0.62 ± 0.07c	0.58 ± 0.14c	0.41 ± 0.07ab	0.77 ± 0.05cd	0.94 ± 0.07b	0.43 ± 0.05a
T2	0.73 ± 0.04b	0.73 ± 0.07abc	0.39 ± 0.01ab	0.85 ± 0.06abc	1.02 ± 0.07ab	0.32 ± 0.04bc
T3	0.84 ± 0.05a	0.81 ± 0.04a	0.45 ± 0.04a	0.96 ± 0.04a	1.12 ± 0.10a	0.33 ± 0.04bc
T4	0.57 ± 0.06c	0.63 ± 0.06bc	0.35 ± 0.04b	0.64 ± 0.10d	1.02 ± 0.09ab	0.39 ± 0.07ab
T5	0.74 ± 0.02b	0.75 ± 0.06ab	0.36 ± 0.03b	0.80 ± 0.07bc	1.05 ± 0.04ab	0.25 ± 0.06c
T6	0.79 ± 0.04ab	0.77 ± 0.04ab	0.38 ± 0.04ab	0.93 ± 0.12ab	1.15 ± 0.07a	0.28 ± 0.03c

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。表 2 同。

2.6 不同处理措施对土壤微生物功能多样性的影响

由表 2 可知, T3 处理的香农指数、多样性指数最高, 较其他处理分别提高 5.52% ~ 24.03%、2.36% ~ 13.06%, 香农指数显著高于 T1、T2、T4、T5 处理, 多样性指数显著高于 T1、T4、T5 处理, T4 处理的香农指数、多样性指数最低, 均显著低于 T2、T3、T6 处理, 与其他处理无显著性差异。T1 处理的辛普森指数最高, 较其他处理提高 6.24% ~ 37.21%, 显著高于 T4、T5、T6 处理, 与其他处理无显著性差异, T6 处理的辛普森指数最低, 显著低于 T1、T2、T3 处理。

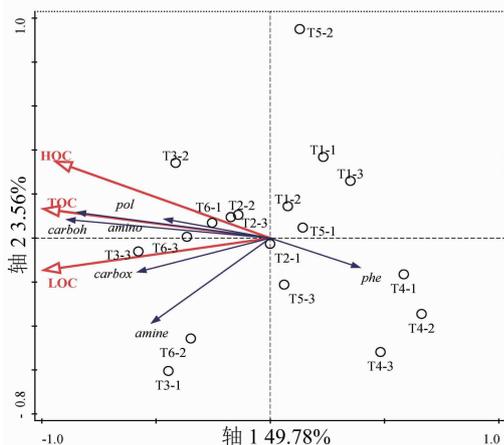
表 2 不同处理对土壤微生物功能多样性的影响

处理	香农指数	多样性指数	辛普森指数
T1	1.62 ± 0.09cd	2.77 ± 0.13bc	71.39 ± 10.26a
T2	1.71 ± 0.05bc	2.96 ± 0.11ab	67.20 ± 2.38ab
T3	1.91 ± 0.08a	3.03 ± 0.11a	65.37 ± 4.52abc
T4	1.54 ± 0.04d	2.68 ± 0.07c	59.06 ± 4.57bcd
T5	1.62 ± 0.04cd	2.83 ± 0.13bc	56.45 ± 5.29cd
T6	1.81 ± 0.06ab	2.90 ± 0.08ab	52.03 ± 1.82d

2.7 土壤微生物碳源代谢能力与土壤活性有机碳组分的多元分析

利用培养 120 h 时土壤微生物对 31 类碳源的 AWCD 与土壤有机碳组分进行 RDA, 结果 (图 5) 表明, 排序轴 1、2 能够在累计贡献率 53.34% 上解释不同处理条件下土壤微生物对各类碳源利用情况的差异。图中各处理点较为分散, 说明不同处理条件改变了土壤微生物对各类碳源的利用能力。土壤微生物对碳水化合物、羧酸化合物、氨基酸、胺类化合物、多聚化合物的利用能力与土壤有机碳、轻

组有机碳、重组有机碳含量均呈正相关关系, 对芳香化合物的利用能力与土壤有机碳、轻组有机碳、重组有机碳含量均呈负相关关系, 且基于土壤微生物对各类碳源利用情况的排序轴与基于土壤有机碳组分的排序轴之间关联性 ($\text{pseudo-F} = 8.6, P = 0.004$) 较好。由此可见, 不同处理条件能够通过影响土壤有机碳组分改变土壤微生物对各类碳源的利用情况。



图中 TOC、LOC、HOC 分别表示土壤有机碳、轻组有机碳、重组有机碳含量; carboh、carbox、amino、pol、amine、phe 分别表示土壤微生物对碳水化合物、羧酸化合物、氨基酸、多聚化合物、胺类化合物、芳香化合物的利用能力

图 5 土壤微生物碳源代谢能力与土壤活性有机碳组分间的 RDA 结果

2.8 土壤微生物功能多样性指数与土壤有机碳组分的相关性分析

为了进一步明确土壤微生物代谢功能与土壤有机碳组分的关系, 本研究分析了土壤微生物功能

多样性指数与土壤有机碳、轻组有机碳、重组有机碳含量之间的相关性。其中土壤有机碳、轻组有机碳、重组有机碳含量与香农指数、多样性指数呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关, 而土壤有机碳、轻组有机碳含量与辛普森指数呈负相关, 重组有机碳含量与辛普森指数呈正相关, 但均无显著相关 (表 3)。说明土壤有机碳、轻组有机碳是土壤微生物功能多样性的重要环境因子, 而不同措施条件下土壤有机碳组分含量发生较大变化, 会影响土壤微生物功能多样性。

表 3 多样性指数与有机碳组分的相关性分析

指标	相关系数		
	香农指数	多样性指数	辛普森指数
有机碳含量	0.95 **	0.94 **	-0.02
轻组有机碳含量	0.98 **	0.93 **	-0.09
重组有机碳含量	0.90 **	0.92 **	0.02

注: ** 表示在 0.01 水平上极显著相关。

3 讨论

轻组有机碳是土壤碳库的活性部分, 易被土壤微生物转化分解与利用, 对人类活动诸如耕作、秸秆还田等措施响应敏感, 是衡量土壤碳库质量的重要指标^[28]。重组有机碳是轻组有机碳分解后聚合形成的, 其结构复杂、分解缓慢, 不易被土壤微生物转化分解与利用, 是土壤有机碳的稳定部分, 可用于指示评价土壤有机碳的固存性能^[29]。相关研究表明, 合理的保护性耕作措施能够提高土壤微生物的活性, 改善土壤轻组、重组有机碳组分之间动态转化^[30-32]。本研究结果表明, 土壤有机碳、轻组有机碳、重组有机碳含量均表现为耕作方式相同时, 秸秆全量覆盖处理 > 秸秆半量覆盖处理 > 秸秆不覆盖处理; 秸秆覆盖量相同时, 免耕处理 > 旋耕处理; 整体表现为 T3 > T6 > T2 > T5 > T1 > T4 处理, 可知免耕秸秆全量覆盖处理表现最优, 旋耕秸秆不覆盖处理表现最差, 这与田慎重等的研究结果^[33] 较为一致。分析认为, 与旋耕措施相比, 免耕能够减少水分流失, 增加有机质的累积^[15], 能够减少土壤扰动, 增强土壤微生物的稳定性, 进而减少微生物群落对土壤有机碳的分解, 更有利于土壤有机碳的稳定。秸秆还田能够为土壤微生物代谢活动提供充足的碳源^[34], 从而加速土壤有机碳的矿化, 不仅可以提高土壤微生物代谢活性, 还能够明显提高土壤有机碳含量, 改善土壤轻组、重组有机碳组分之间的比例。

平均颜色变化率通常用来表征土壤微生物对各类碳源的利用能力, 是指示评价土壤微生物活性的重要指标^[35-36]。研究表明, 合理的耕作措施与秸秆还田方式能够提高土壤微生物碳源代谢利用能力以及微生物功能的多样性^[37-38]。本研究结果表明, AWCD 整体表现为 T3 > T6 > T2 > T5 > T1 > T4 处理。不同措施条件下 AWCD 表现为秸秆全量覆盖处理 > 秸秆半量覆盖处理 > 秸秆不覆盖处理, 免耕处理 > 旋耕处理。免耕秸秆全量覆盖处理土壤微生物对碳水化合物、羧酸化合物、氨基酸、多聚化合物的利用能力最强, 较其他处理分别提高 6.33% ~ 47.37%、5.19% ~ 39.66%、9.76% ~ 28.57%、3.23% ~ 50.00%, 其中除对氨基酸的利用能力与 T1 处理无显著差异外, 其余指标均与 T1 处理差异显著。免耕与秸秆全量覆盖处理的香农指数、多样性指数最高, 较其他处理分别提高 5.52% ~ 24.03%、2.36% ~ 13.06%, T1 处理的辛普森指数最高, 较其他处理提高 6.24% ~ 37.21%, 显著高于 T4、T5、T6 处理, 与 T2、T3 处理均无显著性差异。分析认为, 与免耕不覆盖或旋耕不覆盖处理相比, 秸秆还田能够为土壤微生物代谢活动提供充足的底物, 使其代谢功能高于秸秆不覆盖处理, 其中秸秆全量覆盖处理土壤微生物代谢活性高于秸秆半量覆盖处理, 与免耕处理相比, 旋耕处理改变了土壤结构以及土壤空隙的透气性、透水能力等, 改变了土壤原有的基质环境, 使得微生物群落结构与功能多样性发生改变, 且不同耕作与还田措施改变了土壤微生物对各类碳源的利用程度, 土壤微生物加强了对多聚化合物、胺类化合物的利用能力, 减弱了对氨基酸、芳香化合物的利用能力。

冗余分析结果表明, 土壤微生物对碳水化合物、羧酸化合物、氨基酸、胺类化合物、多聚化合物的利用能力与土壤有机碳、轻组有机碳、重组有机碳含量均呈正相关关系, 且基于土壤微生物对各类碳源利用情况的排序轴与基于土壤有机碳组分含量的排序轴之间关联性 ($\text{pseudo-F} = 8.6, P = 0.004$) 较好。说明土壤微生物碳源利用能力与土壤有机碳组分之间保持紧密相关的联系, 且在进一步了解土壤微生物代谢功能多样性与土壤有机碳组分的相关分析中发现, 土壤有机碳、轻组有机碳是土壤微生物功能多样性变化的的重要驱动因子。由此可知, 不同耕作方式与秸秆覆盖量对土壤有机碳组分、微生物功能多样性产生了不同的影响。

4 结论

不同耕作方式与秸秆覆盖量能够显著改变土壤有机碳组分含量,其中免耕与秸秆全量覆盖处理的有机碳、轻组有机碳、重组有机碳含量均最高。

不同耕作方式与秸秆覆盖量能够改变土壤微生物群落功能多样性,其中免耕与秸秆全量覆盖处理土壤微生物对碳水化合物、羧酸化合物、氨基酸、多聚化化合物的利用能力最强,AWCD 表现为 $T3 > T6 > T2 > T5 > T1 > T4$ 处理。免耕与秸秆全量覆盖处理香农指数、多样性指数最高,较其他处理分别提高 5.52% ~ 24.03%、2.36% ~ 13.06%。

土壤微生物碳源代谢能力、功能多样性指数与土壤有机碳组分变化之间具有紧密相关的联系。

参考文献:

- [1] 范亚琳,刘贤赵,高磊,等. 不同培肥措施对红壤坡耕地土壤有机碳流失的影响[J]. 土壤学报,2019,56(3):638-649.
- [2] 戴伊莎,贾会娟,熊瑛,等. 保护性耕作措施对西南旱地玉米田土壤有机碳、氮组分及玉米产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2021,39(3):82-90.
- [3] Zuazo V H D, Pleguezuelo C R R, Tavira S C, et al. Linking soil organic carbon stocks to land - use types in a Mediterranean agroforestry landscape [J]. Journal of Agricultural Science and Technology,2014,16(3):667-679.
- [4] 王海候,金梅娟,陆长婴,等. 秸秆还田模式对农田土壤碳库特性及产量的影响[J]. 自然资源学报,2017,32(5):755-764.
- [5] 齐华,李从锋,赵明,等. 我国北方旱作农田保护性耕作发展与展望[J]. 作物杂志,2020(2):16-19.
- [6] 杨彩红,耿艳香,伏星舟,等. 免耕轮作对西北荒漠绿洲小麦、玉米产量和光合特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2022,40(1):11-19.
- [7] Varvel G E, Wilhelm W W. Long - term soil organic carbon as affected by tillage and cropping systems[J]. Soil Science Society of America Journal,2010,74(3):915-921.
- [8] Lal R, Negassa W, Lorenz K. Carbon sequestration in soil [J]. Current Opinion in Environmental Sustainability,2015,15:79-86.
- [9] 李玉洁,王慧,赵建宁,等. 耕作方式对农田土壤理化因子和生物学特性的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(3):939-948.
- [10] 白重九,王健波,董雯怡,等. 长期免耕旱作对冬小麦生长季土壤剖面有机碳含量的影响[J]. 中国农业气象,2021,42(3):169-180.
- [11] 傅敏,郝敏敏,胡恒宇,等. 土壤有机碳和微生物群落结构对多年不同耕作方式与秸秆还田的响应[J]. 应用生态学报,2019,30(9):3183-3194.
- [12] Dikgwatlhe S B, Kong F, Chen Z, et al. Tillage and residue management effects on temporal changes in soil organic carbon and fractions of a silty loam soil in the North China Plain[J]. Soil Use and Management,2014,30(4):496-506.
- [13] 刘红梅,李睿颖,高晶晶,等. 保护性耕作对土壤团聚体及微生物学特性的影响研究进展[J]. 生态环境学报,2020,29(6):1277-1284.
- [14] Rusu T. Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no - tillage [J]. International Soil and Water Conservation Research,2014,2(4):42-49.
- [15] 田慎重,张玉凤,边文范,等. 深松和秸秆还田对旋耕农田土壤有机碳活性组分的影响[J]. 农业工程学报,2020,36(2):185-192.
- [16] 王旭东,张霞,王彦丽,等. 不同耕作方式对黄土高原黑垆土有机碳库组成的影响[J]. 农业机械学报,2017,48(11):229-237.
- [17] 李荣,侯贤清,贾志宽,等. 北方旱作区土壤轮耕技术研究进展[J]. 西北农业学报,2015,24(3):1-7.
- [18] 王峻,薛永,潘剑君,等. 耕作和秸秆还田对土壤团聚体有机碳及其作物产量的影响[J]. 水土保持学报,2018,32(5):121-127.
- [19] 李彤,王梓廷,刘露,等. 保护性耕作对西北旱区土壤微生物空间分布及土壤理化性质的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(5):859-870.
- [20] 张德喜,吴卿. 不同耕作方式对农田土壤养分含量及土壤酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(11):234-237.
- [21] 路怡青,朱安宁,张佳宝,等. 免耕和秸秆还田对土壤酶活性和微生物群落的影响[J]. 土壤通报,2014,45(1):85-90.
- [22] 马立晓,李婧,邹智超,等. 免耕和秸秆还田对我国土壤碳循环酶活性影响的荟萃分析[J]. 中国农业科学,2021,54(9):1913-1925.
- [23] 陈源泉,隋鹏,严玲玲,等. 有机物料还田对华北小麦玉米两熟农田土壤有机碳及其组分的影响[J]. 农业工程学报,2016,32(增刊2):94-102.
- [24] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:116-118.
- [25] 费裕舫,刘丽,陈钢,等. 不同有机肥处理对紫色土油茶林土壤微生物碳源利用的影响[J]. 中国土壤与肥料,2020(5):101-108.
- [26] 李青梅,张玲玲,刘红梅,等. 覆盖作物多样性对猕猴桃园土壤微生物群落功能的影响[J]. 农业环境科学学报,2020,39(2):351-359.
- [27] 高文翠,杨卫君,贺佳琪,等. 生物炭添加对麦田土壤微生物群落代谢的影响[J]. 生态学杂志,2020,39(12):3998-4004.
- [28] 闫雷,周丽婷,孟庆峰,等. 有机物料还田对黑土有机碳及其组分的影响[J]. 东北农业大学学报,2020,51(5):40-46.
- [29] 胡佳,吴琴,陈正兴,等. 耕作年限对鄱阳湖围垦区稻田土壤有机碳组分的影响[J]. 生态与农村环境学报,2018,34(3):240-246.
- [30] Cao Y N, Yang B S, Song Z H, et al. Wheat straw biochar amendments on the removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in contaminated soil[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety,2016,130:248-255.
- [31] 刘杰,李玲玲,谢红军,等. 连续 14 年保护性耕作对土壤总有

彭红宇,刘红恩,王秋红,等. 低温生物炭和化肥配施对冬小麦生长和土壤铅镉生物有效性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(4):212-219.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.04.031

低温生物炭和化肥配施对冬小麦生长和土壤铅镉生物有效性的影响

彭红宇,刘红恩,王秋红,李 畅,秦世玉,张玉鹏,刘亥扬,许嘉阳,赵 鹏

(河南农业大学资源与环境学院/河南省土壤污染防控与修复重点实验室,河南郑州 450002)

摘要:以济源某基地土壤为研究对象,选用农业废弃物花生壳为供试生物炭原材料,采用温室小麦苗期盆栽方法,分别在低温(250 ℃)、高温(450 ℃)条件下热解制备生物炭,并作为辅料与化肥配施进行对比试验,设置不施肥对照(CK1)、基础施肥对照(CK2)、1%低温生物炭(T3)、2%低温生物炭(T4)、1%高温生物炭(T5)、2%高温生物炭(T6)6个处理,研究低温生物炭和化肥配施后对原位铅、镉污染土壤有效性及冬小麦生长的影响。结果表明,相较于(CK1)其余处理均可以改善土壤中速效养分状况,提高土壤有机质含量,促进小麦地上部干质量及总干质量的积累,促进小麦养分吸收,但显著降低了小麦根部干物质质量和根冠比;相较于CK2来说,在施肥的基础上添加低温生物炭和高温生物炭,同样可以改善土壤养分状况,促进冬小麦生长,此外还可以抑制小麦地下部对重金属的吸收,降低土壤中有效态Cd、Pb含量。其中就冬小麦生长状况而言,低温T3处理与高温T6处理根冠比、地上部干质量、地下部干质量及总干质量均差异不显著;同样就冬小麦氮素、钾素吸收而言,差异也不显著;就土壤铅、镉有效性而言,T3、T6处理同样固定效果相当。说明在本试验中施肥的基础上添加1%低温生物炭(T3处理)对改善土壤,促进小麦生长,降低土壤有效态铅、镉含量有很大的潜力,可以达到高温几乎同样的施用效果。

关键词:生物炭;重金属污染;土壤修复;重金属;小麦;铅;镉

中图分类号:S512.1⁺10.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)04-0212-08

生物炭是来源于作物秸秆、动物粪便等的生物质或肥料(通常称为原料)在热化学转换或热解

(200~700 ℃)下获得的一种固体产物^[1],已被广泛证明具有固定重金属的能力^[2],在农田土壤重金属修复中备受关注。污染农田中施用生物炭一方面可以固定土壤重金属,另一方面还可以提高土壤有机碳及有机质含量、土壤持水力,以及矿质养分的有效性^[3-6],进而改善土壤质量,促进作物生长。农业生产中单施化肥会引起土壤肥力下降、营养失调、作物减产等^[7],而生物炭作为辅料添加与化肥混施后,因其本身特性可以吸附、负载和缓释肥料养分,减少土壤养分流失,固定土壤重金属,二者配施既可满足作物生长对养分的需求又缓解农田土

收稿日期:2022-04-06

基金项目:河南省科技攻关计划(编号:202102110213、202102110214);

河南省高等学校重点科研项目计划基础研究专项(编号:19zx007)。

作者简介:彭红宇(1994—),男,河南南阳人,硕士研究生,主要从事低温生物炭农业应用研究。E-mail:snailboy616@163.com。

通信作者:刘红恩,博士,教授,博士生导师,主要从事农业废弃物资源化利用研究,E-mail:liuhongen7178@126.com;王秋红,高级工程师,主要从事农业环境保护,E-mail:294737416@qq.com。

机碳和轻组有机碳的影响[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(1):8-13.

[32]张军科,江长胜,郝庆菊,等. 耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响[J]. 生态学报,2012,32(14):4379-4387.

[33]田慎重,王 瑜,李 娜,等. 耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响[J]. 生态学报,2013,33(22):7116-7124.

[34]张 璐,张文菊,徐明岗,等. 长期施肥对中国3种典型农田土壤活性有机碳库变化的影响[J]. 中国农业科学,2009,42(5):1646-1655.

[35]严 君,韩晓增,陈 旭,等. 施肥对小麦、玉米和大豆连作土壤

微生物群落功能多样性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2019,37(6):171-177.

[36]唐海明,肖小平,李微艳,等. 长期施肥对双季稻田根际土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态环境学报,2016,25(3):402-408.

[37]张向前,杨文飞,徐云姬. 中国主要耕作方式对旱地土壤结构及养分和微生态环境影响的研究综述[J]. 生态环境学报,2019,28(12):2464-2472.

[38]刘定辉,舒 丽,陈 强,等. 秸秆还田少免耕对冲积土微生物多样性及微生物碳氮的影响[J]. 应用与环境生物学报,2011,17(2):158-162.