

覆盖方式对旱作小麦田土壤团聚体有机碳的影响

付鑫, 王 俊, 赵丹丹
(西北大学城市与环境学院, 陕西 西安 710127)

摘 要: 依托中国科学院长武黄土高原农业生态实验站的长期覆盖试验, 分析研究秸秆覆盖和地膜覆盖对黄土高原旱作冬小麦田土壤团聚体分布和团聚体有机碳的影响, 共包括 4 种处理: 无覆盖(CK)、全年 9 000 kg·hm⁻² 秸秆覆盖(M₉₀₀₀)、全年 4 500 kg·hm⁻² 秸秆覆盖(M₄₅₀₀)和全年地膜覆盖(PM)。结果表明: (1) 与 CK 处理相比, M₉₀₀₀ 处理土壤总有机碳含量提高 8.1% ($P < 0.05$), M₄₅₀₀ 和 PM 处理较 CK 处理无显著差异。(2) M₉₀₀₀、M₄₅₀₀ 处理 > 0.25 mm 团聚体含量较 CK 处理分别提高 6.6%、4.1%, PM 处理降低 1.7%。(3) 与 CK 处理相比, M₉₀₀₀ 处理平均重量直径(MWD)值提高 9.2%, PM 处理降低 14.8%; M₉₀₀₀ 处理几何平均直径(GMD)提高 13.0%, PM 处理降低 15.7% ($P < 0.05$)。 (4) 土壤总有机碳与 > 0.25 mm 团聚体含量、MWD 和 GMD 值呈显著正相关。(5) 各处理中, > 5 mm 和 < 0.25 mm 团聚体中有机碳含量较高; M₉₀₀₀ 处理可不同程度地提高各级别团聚体中有机碳的含量, PM 处理作用不明显; 土壤有机碳主要储存在机械稳定性大团聚体中, 且 > 5 mm 团聚体对总有机碳的贡献率最大, M₉₀₀₀、M₄₅₀₀ 处理可提高 > 0.25 mm 团聚体有机碳的贡献率。(6) 各处理土壤总有机碳与 > 5 mm 和 < 0.25 mm 机械稳定性团聚体中有机碳呈极显著正相关。因此, 长期秸秆覆盖不仅可以提升团聚体水平和稳定性, 还可增加团聚体中有机碳含量, 有利于土壤有机碳的固定。该区全年 9 000 kg·hm⁻² 秸秆覆盖处理效果最好。

关键词: 覆盖方式; 旱作小麦田; 土壤团聚体; 有机碳
中图分类号: S152.4 **文献标志码:** A

Effects of different mulching treatments on the soil organic carbon content in soil aggregates in a rainfed wheat field

FU Xin, WANG Jun, ZHAO Dan-dan
(College of Urban and Environment Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: To investigate the effects of different mulching treatments on soil aggregate distribution and the content of soil organic carbon in soil aggregates four mulching measures were conducted including CK (without mulching treatment), M₉₀₀₀ (straw mulching at a rate of 9 000 kg·hm⁻²), M₄₅₀₀ (straw mulching at rate of 4 500 kg·hm⁻²), and PM (plastic film mulching) in a rainfed winter wheat field on Loess Plateau. The results showed that compared with CK, soil total organic carbon (TOC) content by M₉₀₀₀ was increased by 8.1% ($P < 0.05$). TOC content by M₄₅₀₀ and PM had no significant differences. Compared with the CK treatment, soil mechanical-stable macroaggregates content became increased by 6.6% and 4.1% by M₉₀₀₀ and M₄₅₀₀ treatments, respectively. PM treatment macroaggregates content was significantly decreased by 2.5% compared with CK. Compared with CK, the soil mean weight diameter (MWD) by M₉₀₀₀ treatment was increased by 9.2%, and was decreased by 14.8% by PM treatment. The soil geometric mean diameter (GMD) by M₉₀₀₀ treatment was increased by 13.0%, and became decreased by 15.7% ($P < 0.05$) by PM treatment. TOC has close relationships with soil macroaggregate content, MWD and GMD. TOC could increase mechanical-stable aggregates and enhance the stability. Additionally, TOC was mainly concentrated in aggregates with the agglomeration > 5 mm and < 0.25 mm size. M₉₀₀₀ treatment could improve the organic carbon of all the mechanical-stable aggregates size at different degrees, but PM treatment had no effects. Soil organic carbon was mainly stored in the mechanical-stable macroaggregate. > 5 mm size aggregate contribution is the largest within the total soil organic carbons. M₉₀₀₀ and M₄₅₀₀ treatments

收稿日期: 2015-12-29
基金项目: 国家自然科学基金项目(31270484, 31570440); 西北大学研究生自主创新项目(YZZ13006)
作者简介: 付鑫(1990—), 女, 河北邢台人, 博士研究生, 主要从事旱作农田土壤固碳和理化性质的研究。E-mail: fuxinxin1215@163.com。
通信作者: 王 俊(1974—), 男, 河南虞城人, 教授, 主要从事旱作农田生态系统持续管理方面研究。E-mail: wangj@nwu.edu.cn。

could improve the contribution rate of the >0.25 mm size aggregates. Furthermore, there was a significant positive correlation between TOC and >5 mm, <0.25 mm aggregates organic carbon, indicating that >5 mm and <0.25 mm aggregates could be used as a proxy for measuring changes in soil organic carbon. Therefore, straw mulching could not only enhance the aggregate content and stability, but also increase the organic carbon content in aggregate, which is beneficial for soil carbon sequestration with an optimal treatment rate at $9\ 000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$.

Keywords: mulching measures; rainfed wheat field; soil aggregate; organic carbon

团聚体是维持土壤质量的物质基础^[1-2],是土壤有机质分解转化、腐殖质形成及有机碳储存的主要场所,其数量、大小及排列方式直接影响土壤物理状态、肥力和质量^[3]。土壤总有机碳(TOC)是土壤的重要组成部分,在土壤的肥力保持和农作物增产等方面有重要的作用,它的累积与分解也对全球碳平衡起着重要作用^[4]。土壤里约 90% 的有机碳储存在团聚体中,土壤各级别团聚体中有机碳含量在土壤肥力和土壤碳汇中具有双重意义。团聚体有机碳的稳定性受人为管理措施的影响,是土壤中可调控的一类物质。黄土高原作为我国重要的旱作农业区,因受其气候、地理位置、地形地貌、土壤结构等多种因素的影响,已成为我国乃至世界生态环境最为脆弱的地区之一^[5]。近年来,秸秆覆盖和地膜覆盖因其良好的蓄水稳温保墒增产效应在该区应用广泛^[6],覆盖措施对土壤的固碳效应也越来越引起关注。关于不同覆盖方式对土壤团聚体含量、稳定性和土壤养分间的关系研究很多,巩文峰等^[7]研究表明传统耕作下的秸秆还田和地膜覆盖对于土壤表层中土壤团粒的形成具有促进作用;蔡立群、李涵等^[8-9]发现传统耕作下秸秆覆盖可提高大团聚体含量和团聚体稳定率;王勇、陈文超等^[1,10]的研究结果则表明,秸秆覆盖还田进一步提高了各土壤层次上 TOC 和所有级别团聚体的有机碳含量及大团聚体的形成与稳定。但关于不同覆盖方式对团聚体分布特征及团聚体有机碳的影响鲜见报道,尤其是针对黄土高原雨养农田的相关研究更少。

为探明施行地表覆盖措施后对土壤团聚体及其有机碳的影响,本研究以陕西省长武县黄土高原农业生态试验站内 2008 年布设的覆盖试验地为平台,对试区 2014 年冬小麦田收获期的土壤表层团聚体含量、稳定性和团聚体有机碳进行测定,探讨不同覆盖措施对土壤结构、土壤固碳效应的影响机制,为地表覆盖耕作技术的推广应用提供科学理论支撑。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

试验在陕西省长武县黄土高原农业生态试验站

($107^{\circ}44'E, 35^{\circ}12'N$)进行,地处黄土高原中南部渭北旱塬上,属暖温带半干旱、半湿润大陆性季风气候,是我国典型的雨养农业区。该区年平均气温 9.2°C ,年日照时数 $2\ 230\text{ h}$,多年平均降水量为 584.1 mm ,海拔 $1\ 220\text{ m}$,塬面平坦,为典型的黄土高原沟壑地貌。土壤属粘壤质黑垆土,土体疏松,土层深厚,布设试验前 $0\sim 20\text{ cm}$ 土层平均土壤总有机碳含量为 $7.90\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $0.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $46.67\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $5.34\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $187.80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH 为 8.4。

1.2 试验设计

冬小麦覆盖种植试验开始于 2008 年,设 4 个处理,分别为冬小麦全年无覆盖处理(CK)、全年覆盖秸秆 $9\ 000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理(M_{9000})、全年覆盖秸秆 $4\ 500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理(M_{4500})和全年地膜覆盖处理(PM),各处理重复 3 次,共 12 个小区,小区面积 66.7 m^2 ,随机区组排列。区/组间距分别为 $0.5\text{ m}/1\text{ m}$,四周保护带宽 1 m 。

供试冬小麦品种为‘长武-134’,每年 9 月下旬播种,次年 6 月下旬收获后麦田休闲,一年一熟。播种前清除上年覆盖的秸秆或地膜,并用圆盘耙机松土蓄墒后播种,小麦秸秆和地膜覆盖均在播种后立即进行。每个小区在播种前施基肥 N $135\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。覆盖秸秆时将当年收获后小麦秸秆剪至 $10\sim 15\text{ cm}$ 长,均匀表覆于各处理小区,其中秸秆覆盖 M_{9000} 处理厚度约为 $5\sim 10\text{ cm}$, M_{4500} 处理约为 $3\sim 5\text{ cm}$ 。实验在旱地进行,作物生长完全依靠自然降水,无灌溉,人工除草。

1.3 样品采集和测定方法

本试验于 2014 年 7 月小麦收割后,用土铲按“S”型在每小区采取 5 个点的 $0\sim 10\text{ cm}$ 土层土样,剥除土块外面直接与土铲接触而变形的土壤。将 5 个点的土壤样品混合为一个样品,用硬质塑料盒装好带回实验室,以免破坏团聚体。待样品达到土壤塑限后用手轻轻将大土块沿自然脆弱带分成直径小于 1 cm 的土块,在实验室条件下风干后,去除植物残体和石块备用。采用干筛法测定土壤机械稳定性团聚体含量:将孔径分别为 $5, 2, 1, 0.5, 0.25\text{ mm}$ 的

土筛按孔径由大到小叠放成一组套筛,称取 200 g 风干土样放置于土筛上,将套筛放置震动筛分机上震动 10 min,称量每层土筛上的土壤重量,并计算其重量比例。采用 EA3000 元素分析仪测定 TOC 及干筛法所得各级别团聚体中有机碳含量,具体如下:称量 3 g 过 2 mm 筛的土壤样品,用 1 mol·L⁻¹HCl 去除土壤中的无机碳,然后用蒸馏水清洗 3 次,在 60℃ 下烘干至恒重,过 0.15 mm 筛上机测定有机碳含量。

土壤团聚体稳定性采用平均重量直径 (mean weight diameter, MWD) 和几何平均直径 (geometric mean diameter, GMD) 表示:

$$MWD = \sum_{i=1}^n (X_i \cdot W_i)$$

(1)

$$GMD = \exp \left[\sum_{i=1}^n (W_i \cdot \ln(X_i)) \right]$$

(2)

式中, X_i 是 i 级团聚体直径的中值; W_i 为第 i 个筛子上团聚体重量百分比^[5]。其中, > 5 mm 筛上的团聚体平均直径采用 7.5 mm, 筛子的孔径 ≥ 0.25 mm (不包括 < 0.25 mm 级别团聚体)。

各级别团聚体中有机碳对土壤总有机碳的贡献率 (%) 通过下式计算:某级别团聚体有机碳对总有机碳的贡献率 = 该级团聚体中有机碳含量 $\times$ 该级团聚体的含量 (%) / 土壤总有机碳含量 $\times 100\%$ 。

1.4 数据处理与分析方法

采用 EXCEL 2010 处理数据并制图, SPSS 20.0 进行统计分析。

2 结果与分析

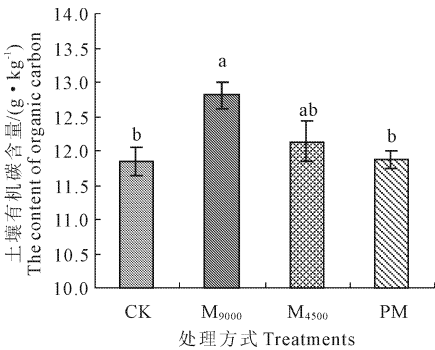
2.1 不同覆盖方式下 TOC 含量

图 1 为不同覆盖方式下土壤有机碳含量分布情况,由该图可以看出不同覆盖方式对土壤表层 TOC 含量有显著影响。TOC 含量大小顺序为 $M_{9000} > M_{4500} > PM > CK$, M_{9000} 处理有机碳含量较 CK 处理提高 8.1% ($P < 0.05$), 而 M_{4500} 和 PM 处理与 CK 差异不显著。与 CK 处理相比, M_{9000} 处理有利于土壤表层 TOC 的积累, M_{4500} 和 PM 处理对 TOC 含量影响不明显。

2.2 不同覆盖方式下土壤团聚体组成和稳定性

2.2.1 不同覆盖方式下土壤机械稳定性团聚体分布特征 土壤机械稳定性团聚体是具有一定抵抗机械破坏能力的团聚体,是表征土壤结构状况及其特征的一个重要指标。表 1 是不同覆盖方式对土壤机械稳定性团聚体组成的影响情况。由表 1 可以看出各处理土壤经过干筛后, > 0.25 mm 土壤团聚体含量变化区间是 83.37% ~ 90.42%, 表明各处理机械

稳定性团聚体均以 > 0.25 mm 土壤大团聚体为主, 其中 > 5 mm 土壤团聚体的含量最高, 变化区间为 29.94% ~ 40.63%, 0.5 ~ 0.25 mm 土壤团聚体含量最少 (最多也不超过 11%)。在土壤表层中 > 0.25 mm 土壤团聚体含量大小为 $M_{9000} > M_{4500} > CK > PM$, M_{9000} 和 M_{4500} 处理较 CK 处理大团聚体含量分别提高 6.6%、4.1%, PM 处理降低 1.7%。与 CK 处理相比, M_{9000} 处理 > 5 mm、5 ~ 2 mm 和 2 ~ 1 mm 团聚体含量分别提高 6.9%、25.5% 和 18.2%, 0.5 ~ 0.25 mm 团聚体含量降低 25.6%; M_{4500} 处理 5 ~ 2 mm、2 ~ 1 mm 和 1 ~ 0.5 mm 团聚体含量分别提高了 6.2%、15.9% 和 12.7%; PM 处理 > 5 mm 团聚体含量降低 21.3%, 5 ~ 2 mm、2 ~ 1 mm、1 ~ 0.5 mm 和 0.5 ~ 0.25 mm 团聚体含量分别提高 8.4%、10.1%、18.4% 和 20.4%。由此可以看出与无覆盖处理相比, 秸秆覆盖处理可以促进团聚体由较小级别向较大级别团聚体团聚转化, 而地膜覆盖处理对土壤团聚体的团聚作用不明显。



注:CK—无覆盖; M_{9000} —覆盖秸秆 9000 kg·hm⁻²; M_{4500} —覆盖秸秆 4 500 kg·hm⁻²; PM—地膜覆盖, 小写字母不同表示不同处理之间差异达到 $P < 0.05$ 。
Note: CK—no mulching; M_{9000} —straw mulching 9 000 kg·hm⁻²; M_{4500} —straw mulching 4 500 kg·hm⁻²; PM—plastic film mulched; different small letters mean significantly difference among treatments at 0.05 level.

图 1 不同覆盖方式下 TOC 含量

Fig.1 Soil organic carbon contents under different mulching measures

2.2.2 覆盖方式对土壤团聚体稳定性的影响 土壤团聚体平均重量直径 (MWD) 和几何平均直径 (GMD) 是反映土壤团聚体大小整体状况及稳定性的常用指标, MWD 和 GMD 值越大, 表示团聚体的团聚度越高^[11]。本文应用 > 0.25 mm 机械稳定性团聚体 MWD 和 GMD 值作为评价土壤团聚体稳定性的参数。由图 2 可知, 不同覆盖方式的 MWD 值表现为: $M_{9000} > M_{4500} > CK > PM$, 其中 M_{9000} 处理 MWD 值较 CK 处理显著提高 9.2% ($P < 0.05$), PM 处理显著降低 14.8% ($P < 0.05$), M_{4500} 处理较 CK 处理差异不

显著;GMD 值表现出与 MWD 相同的变化特征,M₉₀₀₀ 处理 GMD 值较 CK 处理显著提高 13.0%,PM 处理显著降低 15.7%,M₄₅₀₀处理较 CK 处理差异不显著。

2.2.3 土壤 TOC 与土壤团聚体指标的相关性 有

机碳是形成土壤团聚体的重要胶结剂,因此土壤 TOC 含量与团聚体的形成和团聚体的稳定性密切相关。由图 3 可知,土壤 TOC 与 >0.25 mm 机械稳定性团聚体含量、MWD 值、GMD 值呈显著正相关。

表 1 不同覆盖方式下土壤机械稳定性团聚体的分布

Table 1 Distribution of soil mechanical – stable aggregate under different mulching measures

处理 Treatments	> 5 mm	5 ~ 2 mm	2 ~ 1 mm	1 ~ 0.5 mm	0.5 ~ 0.25 mm	> 0.25 mm
CK	38.02b	11.63b	12.30b	13.89b	9.00b	84.84bc
M ₉₀₀₀	40.63a	14.60a	14.54a	13.95b	6.70c	90.42a
M ₄₅₀₀	37.16b	12.35ab	14.25a	15.65ab	8.91b	88.32ab
PM	29.94c	12.61ab	13.54ab	16.44a	10.84a	83.37c

注:小写字母不同表示在同一级别不同处理之间差异达到 $P < 0.05$,下同。

Note: Within each column, the different small letters following the data mean significantly difference at 0.05 level, and hereinafter.

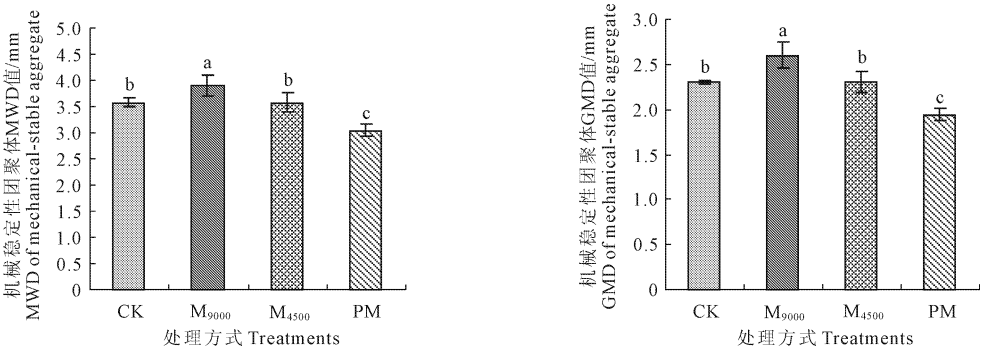
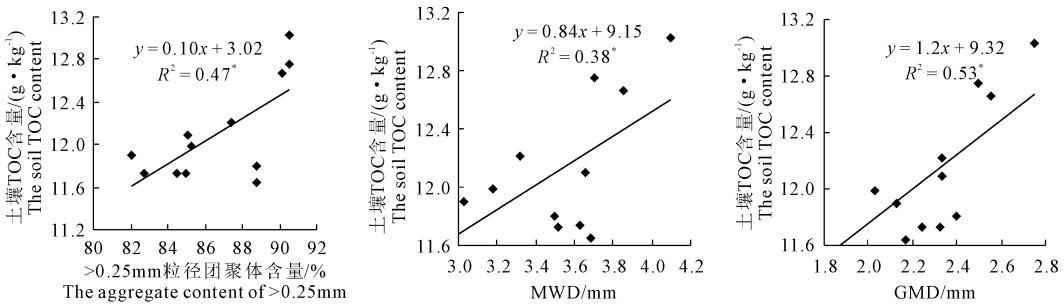


图 2 不同覆盖方式下土壤团聚体的稳定性指数

Fig.2 The mean weight diameter (MWD) and geometric mean diameter (GMD) under different mulching measures



注: * 表示相关性在 0.05 水平上达到显著。 Note: * indicate significant correlation at 0.05 level.

图 3 土壤团聚体指标与土壤 TOC 含量相关性分析

Fig 3 Correlations between aggregates index and TOC content

2.3 不同覆盖方式下土壤团聚体有机碳分布和贡献率

2.3.1 不同覆盖方式下土壤团聚体有机碳的含量和分布 图 4 为不同覆盖方式各级别机械稳定性团聚体中有机碳的含量,可见 < 0.25 mm 微团聚体内有机碳含量最高, > 5 mm 团聚体次之,5 ~ 2、2 ~ 1、1 ~ 0.5 mm 和 0.5 ~ 0.25 mm 团聚体有机碳含量较小。不同覆盖方式下各级别团聚体有机碳含量发生了明显变化。与 CK 处理相比,M₉₀₀₀处理显著提

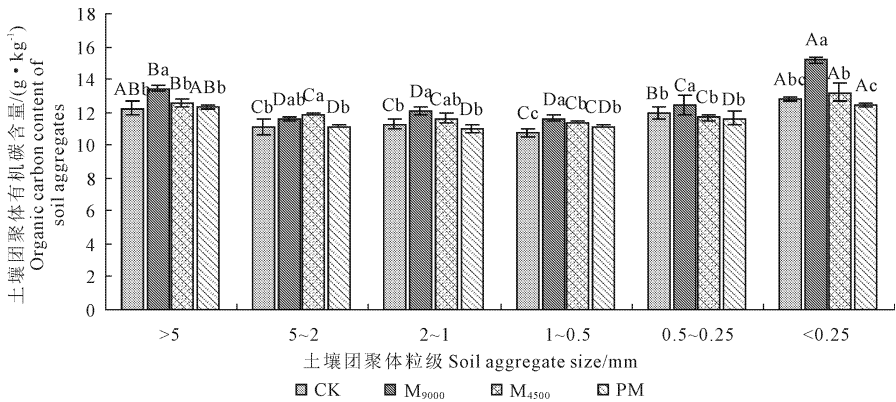
高了各级别团聚体中有机碳含量,级别由大到小分别提高了 10.0%、4.0%、6.8%、8.4%、3.9% 和 18.1%,其中 < 0.25 mm 团聚体有机碳含量提高幅度最大;M₄₅₀₀处理有利于 5 ~ 2 mm、1 ~ 0.5 mm 和 < 0.25 mm 团聚体中有机碳含量的提高,提高幅度分别为 6.6%、5.9% 和 2.8%,PM 处理虽有利于 1 ~ 0.5 mm 团聚体中有机碳含量的提高,但 < 0.25 mm 团聚体中有机碳含量有降低趋势。因此,秸秆覆盖对土壤各级别团聚体中有机碳的积累有不同程度的

提高,且秸秆覆盖量越大效果越明显,地膜覆盖对团聚体中有机碳的影响作用较差。

2.3.2 不同覆盖方式下各级别团聚体对土壤 TOC 的贡献率 从表 2 中看出,团聚体中有机碳贡献率与团聚体各级别含量分布规律一致,> 5 mm 的最高,0.5~0.25 mm 的最低。在土壤表层中大团聚体有机碳的贡献率变化范围为 82.88%~88.77%,80%以上的有机碳保存在>0.25 mm 土壤机械稳定性大团聚体中,表明土壤总有机碳主要储存在大团聚体中。在同一处理方式的大团聚体中,以>5 mm 团聚体有机碳贡献率最高,变化范围为 31.00%~42.69%,以 0.5~0.25 mm 团聚体有机碳贡献率最低,变化范围为 6.50%~10.11%,其余级别在 10%~15%之间。与 CK 处理相比,M₉₀₀₀和 M₄₅₀₀处理提

高了>0.25 mm 的土壤机械稳定性团聚体对总有机碳的贡献率($P<0.05$),其中 M₉₀₀₀处理可提高>5 mm、5~2 mm 和 2~1 mm 团聚体有机碳的贡献率,M₄₅₀₀处理可提高 5~2 mm、2~1 mm 和 1~0.5 mm 团聚体有机碳的贡献率,PM 处理>5 mm 团聚体贡献率降低,但有利于 5~2 mm、2~1 mm、1~0.5 mm 和 0.5~0.25 mm 团聚体有机碳贡献率的提高。

2.3.3 土壤 TOC 和团聚体有机碳相关关系的变化 图 5 列出了土壤 TOC 含量与团聚体有机碳含量之间的相关分析结果。可以看出,土壤 TOC 与>5 mm、<0.25 mm 级别团聚体有机碳含量呈极显著的正相关($P<0.01$),与其它级别团聚体有机碳含量相关性不高($P>0.05$)。



注:不同大写字母表示相同处理方式各级别团聚体含量差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示同一级别聚体不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different capital letters showed significant difference among different size aggregates under the same treatment at 0.05 level; different small letters showed significant difference among different treatments under the same aggregate size at 0.05 level, and hereinafter.

图 4 不同覆盖方式土壤团聚体有机碳含量

Fig.4 Soil organic carbon content of soil aggregates under different mulching measures

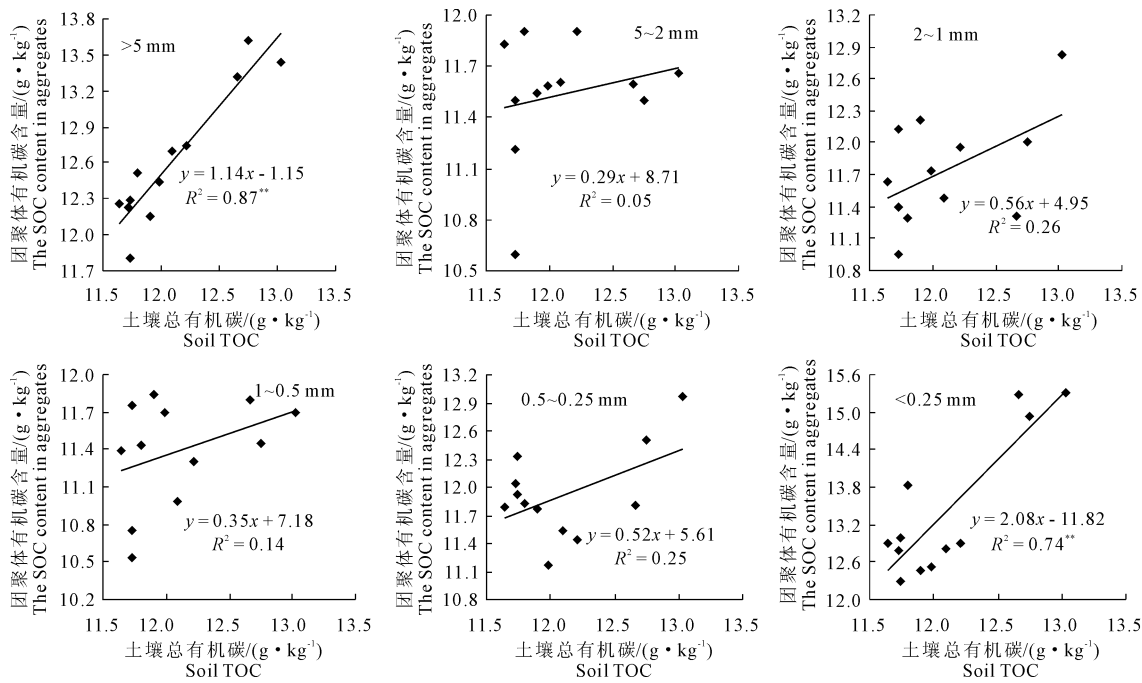
表 2 不同级别机械稳定性团聚体有机碳对土壤总有机碳的贡献率/%							
Table 2 The contribution of mechanical – stable aggregates organic carbon to soil total organic carbon							
处理 Treatments	> 5 mm	5 ~ 2 mm	2 ~ 1 mm	1 ~ 0.5 mm	0.5 ~ 0.25 mm	<0.25 mm	
CK	39.27b	10.93b	11.71b	12.60b	9.08b	16.41a	
M ₉₀₀₀	42.69a	13.21a	13.68a	12.69b	6.50c	11.23b	
M ₄₅₀₀	38.32b	12.10a	13.66a	14.68a	8.58b	12.66b	
PM	31.00c	12.26a	13.21a	16.30a	10.11a	17.12a	

3 讨 论

3.1 覆盖方式对土壤 TOC 的影响

土壤有机碳的含量取决于土壤原有有机碳的矿化和外援有机物质的输入(作物残茬、落叶、杂草、根系分泌物、有机肥料等),作物秸秆含有较为丰富的有机成分和营养元素,有利于土壤新鲜有机质的补

充^[12]。本研究结果表明,秸秆和地膜覆盖措施实施 6 年后对土壤有机碳产生了显著影响。与无覆盖处理相比,两种秸秆覆盖处理均能不同程度地提高土壤有机碳含量,且秸秆覆盖量越高提高土壤有机碳的效果越显著。其原因除了秸秆覆盖处理下秸秆分解增加了土壤表层有机物质的输入量外,同时秸秆覆盖可降低土壤表层的风速,使水分和热量交换降



注：* * 表示相关性在 0.01 水平上达到显著。 Note: * * indicate significant correlation at 0.01 level.

图 5 土壤 TOC 与团聚体有机碳的相关关系

Fig.5 Correlations between TOC and soil organic carbon in aggregates

低,提高土壤含水量,这些作用能够提高土壤微生物种类和活性,使得更多不稳定碳得以固定^[2]。地膜覆盖的增温保水作用加速了土壤有机质的矿化,但地膜覆盖后减少了雨水对土壤的直接击打,使得土壤变得疏松,微生物活动旺盛,从而促进了土壤活性有机碳的固定^[6,13],所以地膜覆盖处理较无覆盖处理土壤有机碳变化不明显。

3.2 覆盖方式对土壤团聚体分布及稳定性的影响

土壤结构与土壤质量关系密切,良好的土壤结构不仅要有各级别团聚体的分布,还应保证团聚体具有一定的稳定性^[14]。本研究各处理中,以 >5 mm 团聚体含量最高,且各级别土壤团聚体含量总体上无明显的变化规律,与郑子成、何淑勤等^[15-16]得出在不同土地利用方式下土壤团聚体含量随着团聚体级别的减小呈递减的变化趋势不同,这可能是因为筛选的团聚体级别不同和试验地土壤类型不同所致。

Six 等^[17]认为 >0.25 mm 团聚体是土壤中理想的结构体其含量可用来反映土壤结构的优劣。平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)是反映土壤团聚体分布状况的常用指标,其值越大表明团聚度越好^[17]。武均等^[3]研究表明秸秆覆盖还田和地膜覆盖可增大 0~30 cm 各土层机械稳定性和水稳性团聚体含量(>0.25 mm),平均重量直径和几何平均直径值。巩文峰等^[7]研究表明,秸秆还田有利于 0~5 cm 土壤表层团粒结构的形成,而地膜覆盖

对于 5~10 cm 土层土壤团粒的形成具有促进作用。廖萍等^[18]研究发现,秸秆覆盖和地膜覆盖均可以降低土壤容重,增加土壤的孔隙度,改善土壤的通透性,且地膜覆盖在改善土壤物理性状方面优于秸秆覆盖。本试验研究结果中,两种不同秸秆覆盖量处理可不同程度提高土壤表层>0.25 mm 机械稳定性团聚体含量,提升团聚体稳定性,且覆盖量越大效果越显著;而地膜覆盖处理不利于土壤表层大团聚体含量的增加且降低了土壤团聚体的稳定性,该结果与张仁陟等^[19]的早前报道相似。其原因一是因为新鲜秸秆中由于含有较高含量的易分解性有机质,覆盖在土壤表层后在微生物的作用下,易生成较多的多糖类物质,可迅速促进土壤中团粒结构的形成^[4];二是秸秆覆盖可有效地缓解雨滴对土壤的打击力,削弱了雨滴对土壤结构稳定性的破坏,防止“结皮”现象出现^[3,20]。而地表覆盖地膜后土壤温度增加,土壤有机质的矿化速率加快,且没有外来有机物质的输入,使得土壤团聚体的胶结物质减少,因此地膜覆盖不利于土壤团聚作用。

>0.25 mm 机械稳定性团聚体含量、MWD 和 GMD 值与土壤有机碳关系密切,随着有机碳含量的增加,大团聚体含量和稳定性也会增加,表明土壤有机碳影响土壤团聚体的形成和稳定性,对机械稳定性大团聚体含量和稳定性的提升有正激发效应,这与大部分研究结果一致^[5,21-22]。

3.3 覆盖方式对土壤团聚体有机碳的影响

对于土壤团聚体中有机碳的固定和保护机制已成为土壤碳循环的研究热点。Jastrow 等^[23]利用¹³C示踪法证实了微团聚体中有机碳比大团聚体中的有机碳形成时间早,大团聚体比微团聚体含更多的有机碳。张赛等^[24]研究得出 2~0.25 mm 团聚体有机碳含量最高。李辉信等^[25]研究表明团聚体级别从 > 3 mm 至 0.05~0.25 mm,团聚体颗粒愈小有机碳含量愈高,以 0.05~0.25 mm 团聚体有机碳含量最高,<0.05 mm 团聚体有机碳含量最低。在本研究中,各处理中均以 >5 mm 和 <0.25 mm 团聚体中有机碳含量最高。国内外一些保护性耕作试验已经表明,秸秆覆盖不仅能够提供丰富土壤碳的来源,提高土壤有机碳含量,还有助于土壤大团聚体含量及其稳定性的提高,提高土壤各级团聚体中 C、N、P 的含量,提高土壤的固碳能力^[5,26-27]。陈文超等^[1]等研究表明秸秆还田处理中,除 2~1 mm 级别外,各级别团聚体中有机碳含量均有不同程度的提升作用。本研究结果显示,与无覆盖处理相比,连续覆盖 6 年秸秆后,土壤各级别团聚体中有机碳含量普遍提高,且覆盖量越大效果越明显,即秸秆覆盖为土壤提供的外源性有机质可以作为微团聚体聚合成较大级别团聚体的暂时性胶结物质,从而提高大级别团聚体中有机碳的含量,但由于土壤生物の利用以及有机质腐殖化过程,大级别团聚体会破碎成小团聚体以及微团聚体,有机碳也会向小级别团聚体中流转,也在一定程度上增加了土壤总有机碳含量^[1,5,27],而地膜覆盖外源性有机物质输入量较少,各级别团聚体中有机碳含量变化不明显。表层土壤大部分有机碳存储于 >0.25 mm 机械稳定性团聚体中,其中 >5 mm 团聚体有机碳贡献率最大,说明团聚体对有机碳的物理保护主要通过大团聚体来实现,这与姜学兵、何淑勤等^[4,16]研究结果一致。由本文上述分析得出,在土壤表层 >5 mm 和 <0.25 mm 团聚体有机碳含量高于其它级别团聚体,即各处理土壤有机碳在该级别团聚体中的分布较多,故与土壤总有机碳应有较好的相关性。相关分析结果表明,土壤总有机碳与 >5 mm 和 <0.25 mm 团聚体有机碳之间具有显著的相关性,该结果验证了上述分析,因此该粒径团聚体有机碳能够作为指示土壤总有机碳的变化的指标。本研究结果证明,秸秆覆盖处理明显提高了土壤大团聚体中有机碳的贡献率,降低了微团聚体中有机碳的贡献率,其原因主要是秸秆覆盖促进了微团聚体向大团聚体转化,因秸秆覆盖提高了土壤各级别团聚体的碳含量,因此团聚体有机碳含量

的提高不是大团聚体贡献率的提高的主要原因,这与郝翔翔等^[27]研究结果不一致。

4 结 论

与无覆盖处理相比,连续 6 年实施秸秆和地膜覆盖对黄土高原旱作冬小麦田土壤机械稳定性团聚体的组成、稳定性以及有机碳在各级别团聚体中的累积与流转过程均产生了影响。秸秆覆盖的耕作措施显著改善了土壤结构,提高了 >0.25 mm 团聚体在机械稳定性大团聚体中所占的比例,进而提高了团聚体团聚度,有利于土壤结构的良性发展,且秸秆覆盖量越大效果越明显,地膜覆盖不利于土壤大团聚体的形成及稳定性的提高。而在土壤有机碳的提升方面,实施秸秆覆盖处理下土壤总有机碳及各粒径团聚体中有机碳含量得到不同程度的提高,有利于土壤中碳储量的增加,提高了 >0.25 mm 团聚体有机碳的贡献率,且 M_{9000} 处理效果更显著,地膜覆盖作用不明显。表层土壤大部分有机碳存储于 >0.25 mm 机械稳定性团聚体中,其中 >5 mm 团聚体有机碳贡献率最大,团聚体对有机碳的物理保护主要通过大团聚体来实现。

参 考 文 献:

- [1] 陈文超,朱安宁,张佳宝,等.保护性耕作对潮土团聚体组成及其有机碳含量的影响[J].土壤,2014,46(1):35-40.
- [2] 王 燕,王小彬,刘 爽,等.保护性耕作及其对土壤有机碳的影响[J].中国生态农业学报,2008,16(3):766-771.
- [3] 武 均,蔡立群,罗珠珠,等.保护性耕作对陇中黄土高原雨养农田土壤物理性状的影响[J].水土保持学报,2014,28(2):112-117.
- [4] 姜学兵,李运生,欧阳竹,等.免耕对土壤团聚体特征以及有机碳储量的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(3):270-278.
- [5] 武 均,蔡立群,罗 迪,等.不同耕作措施对陇中黄土高原雨养农田土壤团聚体稳定性和 C、N、P 的影响[J].水土保持学报,2014,28(6):234-239.
- [6] 卜玉山,苗果园,周乃健,等.地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较[J].中国农业科学,2006,(5):1069-1075.
- [7] 巩文峰,李玲玲,张晓萍,等.保护性耕作对黄土高原旱地表层土壤理化性质变化的影响[J].中国农学通报,2013,29(32):280-285.
- [8] 蔡立群,齐 鹏,张仁陟.保护性耕作对麦-豆轮作条件下土壤团聚体组成及有机碳含量的影响[J].水土保持学报,2008,(2):141-145.
- [9] 李 涵,张 鹏,贾志宽,等.渭北旱塬区秸秆覆盖还田对土壤团聚体特征的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(2):27-33.
- [10] 王 勇,姬 强,刘 帅,等.耕作措施对土壤水稳性团聚体及有机碳分布的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(7):1365-1373.

[13] Willey R W. Intercropping—Its importance and research needs. Part 1. competition and yield advantages[J]. Field Crop Abstr, 1970,32 (1):1-10.

[14] 肖靖秀,汤 利,郑 毅.氮肥用量对油菜//蚕豆间作系统作物产量及养分吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17 (6):1468-1473.

[15] 杨文亨,王晓维,王建武.豆科—禾本科间作系统中作物和土壤氮素相关研究进展[J].生态学杂志,2013,32(9):2480 – 2484.

[16] Rerkasem B, Rerkasem K, Peoples M B, et al. Measurement of N2 fix ation in maize (Zea mays L.)-ricebean (Vignaumbellat a [Th unb.] Ohwi and Ohashi) [J]. Plant and Soil, 1988,108:151-162.

[17] Danso S K A, Zapat a F, Hardarson G, et al. Nitrogen fixation in fababeans as affected by plant population density in soleor interer opped systems with barley [J]. Soil Biochemistry, 1987, 19: 411-415.

[18] 汤东生,朱有勇.蚕豆/小麦间作对结瘤效应研究初探[J].云南农业大学学报,2005,20(3)331-334.

[19] 汤东生,秀洪学,董玉梅,等.种间互作生态效应Ⅱ.与蚕豆间作对作物生长的影响[J].西北农业学报,2012,21(4):60-64.

[20] Elgersma A, Schleppers H, Nassin M. Interactions between perennial ryegrass(*Lolium perenne* L.) and white clover(*Trifolium repens* L.) under contrasting nitrogen availability: productivity, seasonal patterns of species composition, N2 fixation, N transfer and N recovery [J]. Plant Soil, 2000,221:281-299.

[21] Vallis I, Haydock K P, Ross P J, et al. Isotopic studies on the up-take of nitrogen by pasture plants. III. the uptake of small additions of 15N-labelled fertilizer by rhodes grass and townsvill iucerne [J]. Australian Journalof Agricultural Research, 1967,18:865-877.

[22] Ledgard S F. Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures [J]. Plant Soil, 2001,228: 43-59.

[23] 褚贵新,沈其荣,王树起.不同供氮水平对水稻/花生间作系统氮素行为的影响[J].土壤学报,2004,41(5):789-794.

[24] 代 晋,柴 强,李 广.隔根和种植模式对玉米豌豆群体的根分布及豌豆根瘤的影响[J].草业科学,2011,28(12):2162-2166.

(上接第 169 页)

[11] 王 丽,李 军,李 娟,等.轮耕与施肥对渭北旱作玉米田土壤团聚体和有机碳含量的影响[J].应用生态学报,2014,25 (3):759-768.

[12] 武 际,郭熙盛,鲁剑巍,等.水旱轮作制下连续秸秆覆盖对土壤理化性质和作物产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(3):587-594.

[13] 梁贻仓,王 俊,刘全全,等.地表覆盖对黄土高原土壤有机碳及其组分的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(5):161-167.

[14] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1986,50(3):627-633.

[15] 郑子成,李廷轩,张锡洲,等.不同土地利用方式下土壤团聚体的组成及稳定性研究[J].水土保持学报,2009,23(5):228-231, 236.

[16] 何淑勤,郑子成.不同土地利用方式下土壤团聚体的分布及其有机碳含量的变化[J].水土保持通报,2010,30(1):7-10.

[17] Du Z L, Ren T S, Hu C S, et al. Soil aggregate stability and aggregate-associated carbon under different tillage systems in the North China Plain [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(11): 2114-2123.

[18] 廖 萍,黄国勤.红壤旱地保护性耕作对土壤理化性状的影响 [J].耕作与栽培,2006,(5):31-32.

[19] 张仁陟,罗珠珠,蔡立群,等.长期保护性耕作对黄土高原旱地土壤物理质量的影响[J].草业学报,2011,20(4):1-10.

[20] 蔡立群,罗珠珠,张仁陟,等.不同耕作措施对旱地农田土壤水分保持及入渗性能的影响研究[J].中国沙漠,2012,32(5): 1362-1368.

[21] 魏朝富,谢德体,李保国.土壤有机无机复合体的研究进展 [J].地球科学进展,2003,18(2):221-227.

[22] 郑子成,王永东,李廷轩,等.退耕对土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J].自然资源学报,2011,26(1):119-127.

[23] Jastrow J D, Miller R M, Boutton T W. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon – 13 natural abundance [J]. Soil Science Society of America Journal, 1996,60(3): 801-807.

[24] 张 赛,王龙昌.保护性耕作对土壤团聚体及其有机碳含量的影响[J].水土保持学报,2013,27(4):263-267,272.

[25] 李辉信,袁颖红,黄欠如,等.不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳分布的影响[J].土壤学报,2006,43(3):422-429.

[26] 孙汉印,姬 强,王 勇,等.不同秸秆还田模式下水稳性团聚体有机碳的分布及其氧化稳定性研究[J].农业环境科学学报,2012,31(2):369-376.

[27] 郝翔翔,杨春葆,苑亚茹,等.连续秸秆还田对黑土团聚体中有机碳含量及土壤肥力的影响[J].中国农学通报,2013,29(35): 263-269.