

秸秆覆盖对冬小麦农田土壤有机碳及其组分的影响

李蓉蓉, 王俊, 毛海兰, 付鑫

(西北大学城市与环境学院, 西安 710127)

摘要: 通过对黄土高原旱塬区冬小麦地4种覆盖方式下(无覆盖对照处理(CK)、全生育期9 000 kg/hm² 秸秆覆盖(M1)、全生育期4 500 kg/hm² 秸秆覆盖(M2)和夏闲期9 000 kg/hm² 秸秆覆盖(SM))土壤的田间定位试验和室内分析,探讨不同秸秆覆盖方式对冬小麦地土壤有机碳及其组分含量以及各组分之间相关性的影响。结果表明:(1)较CK(无覆盖对照)处理,M1(全生育期9 000 kg/hm²)、M2(全生育期4 500 kg/hm²)和SM(夏闲期9 000 kg/hm²)处理,均显著增加0—10 cm和10—20 cm土层的土壤有机碳、微生物量碳、潜在矿化碳和颗粒有机碳含量($p < 0.05$),而20—40 cm土层差异不明显,其中M1(全生育期9 000 kg/hm²)处理效果最佳,SM(夏闲期9 000 kg/hm²)处理作用相对较弱。(2)不同覆盖方式影响土壤微生物量碳、潜在矿化碳和颗粒有机碳在总有机碳中的分配比例,土壤微生物量碳、潜在矿化碳和颗粒有机碳的相对含量变化范围分别为1.96%~3.31%,2.83%~3.78%,18.13%~37.25%。(3)各覆盖方式下土壤有机碳及其组分含量都随着土层的逐渐深入而下降,且土层越深,变化越趋于缓慢。(4)不同覆盖方式下的土壤有机碳及其组分含量两两之间均达到了极显著正相关关系($p < 0.01$),颗粒有机碳、微生物量碳和潜在矿化碳与土壤有机碳的相关系数依次为:0.847,0.700,0.614,可见微生物量碳、潜在矿化碳、颗粒有机碳含量在一定程度上决定于土壤有机碳的贮存量。综上所述,秸秆覆盖对土壤有机碳及其组分含量具有增加效应,全生育期9 000 kg/hm² 秸秆覆盖方式实际运用价值较高。颗粒有机碳和微生物量碳的动态变化更能反映土壤有机碳的早期变化,是土壤肥力变化更加敏感的指标。

关键词: 秸秆覆盖; 土壤总有机碳; 微生物量碳; 潜在矿化碳; 颗粒有机碳

中图分类号:S153.6⁺2

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2017)03-0187-06

DOI:10.13870/j.cnki.stbxcx.2017.03.032

Effects of Straw Mulching on Soil Organic Carbon and Fractions of Soil Carbon in a Winter Wheat Field

LI Rongrong, WANG Jun, MAO Hailan, FU Xin

(College of Urban and Environment Science, Northwestern University, Xi'an 710127)

Abstract: The effects of different mulching patterns on soil organic carbon, carbon components, and the relationships among carbon components on the Loess Plateau were investigated by carrying out a field positioning test and laboratory analysis. Four treatments were set up, including a control without mulching treatment (CK), straw mulching at a rate of 9 000 kg/hm² (M1), straw mulching at a rate of 4 500 kg/hm² (M2) during winter wheat growing season, and straw mulching at a rate of 9 000 kg/hm² (SM) during fallow summer. The main results were as follows: (1) Compared with CK, the M1, M2, and SM treatments could increase the contents of soil organic carbon, microbial biomass carbon, potential mineralized carbon, and particulate organic carbon significantly ($p < 0.05$) at the depth of 0—10 cm and 10—20 cm, but not significantly at the depth of 20—40 cm. The effect of M1 treatment was the best among different mulching patterns, and the effect of SM treatment was relatively weak. (2) Different straw mulching influenced the proportion of soil microbial biomass carbon, potential mineralized carbon, and particulate organic carbon in total organic carbon. The relative content of soil microbial biomass carbon, potential mineralized carbon, and particulate organic carbon was 1.96%—3.31%, 2.83%—3.78%, and 18.13%—37.25%, respectively. (3) The content of soil organic carbon and its components decreased with the deepening of soil layer, and the deeper the soil layer was, the more slowly the change was. (4) There was a significant positive correlation between soil

organic carbon and its components in different mulching treatments ($p < 0.01$), the correlation coefficient of particulate organic carbon, microbial biomass carbon, and potential mineralized carbon with soil organic carbon was 0.847, 0.700, and 0.614, respectively. It was suggested that microbial biomass carbon, potential mineralized carbon, and particulate organic carbon content depended on the storage of soil organic carbon. In conclusion, straw mulching could increase the contents of soil organic carbon and its components. A rate of 9 000 kg/hm² had a higher practical application value. The dynamic changes of particulate organic carbon and microbial biomass carbon could reflect the early changes of soil organic carbon. Particulate organic carbon and microbial biomass carbon could indicate the changes of soil fertility more sensitively.

Keywords: straw mulching; soil organic carbon; microbial biomass carbon; potential mineralized carbon; particulate organic carbon

农业土壤碳库是全球碳库的重要组成部分,其动态变化涉及到土壤质量、全球气候变化等重大生态环境焦点问题。农田土壤有机碳因受气候、土壤自身理化性质以及人类农业生产活动,如地表覆盖、耕作、施肥等措施的影响,处于不断变化之中。近年来,秸秆覆盖因具蓄水保墒,增温稳温等生态功能在我国黄土高原干旱半干旱地区得到广泛应用^[1-2]。已有研究表明,秸秆覆盖有助于改善土壤质量,增加土壤有机碳含量^[3-4]。但是土壤有机碳的活性组分对土壤环境以及农田管理措施的变化响应更加迅速和敏感^[5-6]。蔡太义等^[7]在渭北旱塬区研究表明,土壤活性有机碳较土壤总有机碳更能较快地反映不同秸秆覆盖量对土壤碳库的影响。卜玉山等^[8]在山西省进行田间试验表明,由于秸秆覆盖具有降温稳温和保水作用有助于土壤有机碳的积累。Zhang 等^[9]在中国湖北省试验表明,秸秆还田能够显著增加 0—5 cm 土层的土壤有机碳含量。前人研究多集中在秸秆覆盖对农作物生育期土壤有机碳以及微生物量碳的影响,而对颗粒有机碳以及潜在矿化碳的研究报道并不多,且关于不同秸秆覆盖量和覆盖时间的研究较少,关于夏闲期秸秆覆盖对土壤有机碳及其组分的影响更鲜有报道。本文以田间定位试验和室内分析为基础,探讨不同的秸秆覆盖方式(无覆盖对照处理、全生育期 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖、全生育期 4 500 kg/hm² 秸秆覆盖、夏闲期 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖)对土壤有机碳及其组分的影响,旨在为该区域采用适合当地农业发展的最佳覆盖方式以及固碳减排提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于陕西省咸阳市长武县十里铺村中科院黄土高原农业生态试验站(35°12'N,107°44'E),地处东南暖湿地区与西北干旱地区的过渡带。年均降水量约 579 mm,而且降水主要集中在夏闲期,年均气温 9.1 ℃,无霜期 171 d。作物以小麦、玉米为主,近些年来大量种植苹果。土壤类型为粘壤质黑垆土,土质松散,试验前 0—

40 cm 土层土壤的基本理化性质见表 1^[10]。

表 1 供试土壤基本理化性质

土层 深度/cm	有机碳/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	pH
0—10	8.73	0.81	5.4	139.9	8.18
10—20	8.32	0.73	3.6	119.4	8.17
20—40	6.28	0.58	1.6	122.0	8.24

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 试验始于 2008 年,设 4 个处理:无覆盖对照处理(CK),生育期 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖(M1),生育期 4 500 kg/hm² 秸秆覆盖(M2),夏闲期 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖(SM)。每年 9 月人工开沟播种,播种前清除上年覆盖的秸秆残体,然后用圆盘耙机松土蓄墒,次年 6 月收获,收获后农田休闲。各处理重复 3 次,随机区组设计,小区面积为 66.7 m²,将当年收获后的小麦秸秆剪短至 10~15 cm,然后均匀覆盖至各处理小区。供试冬小麦品种为长武 134,供试化肥为磷肥(总 P₂O₅≥46%,有效 P₂O₅≥43%)和尿素(N≥46.6%),各小区统一施基肥:P₂O₅ 90 kg/hm²,N 135 kg/hm²。

1.2.2 土样采集与处理 2014 年 6 月小麦收获后,采用“S”形 5 点采样法分别采集各小区 0—10,10—20,20—40 cm 土层的土样,将同一土层的土样混和均匀作为一个土样,用无菌自封袋装好带回实验室自然风干,去除土样里的动植物残体及石砾,过 2 mm 筛备用。

1.2.3 指标测定与方法 总有机碳用盐酸预处理,过 0.15 mm 筛,然后用 EA3000 元素分析仪测定;颗粒有机碳采用六偏磷酸钠分离法;潜在矿化碳采用密闭培养液吸收法;微生物量碳采用氯仿熏蒸培养法^[11]。

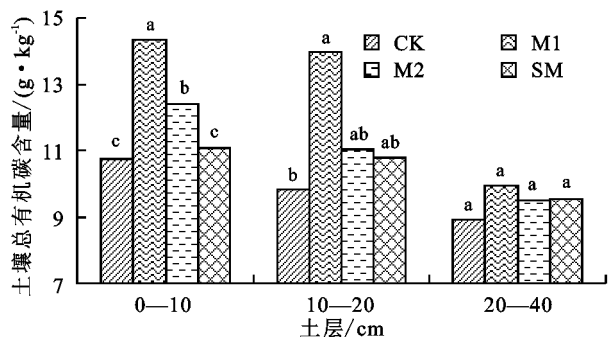
1.2.4 数据处理 采用 Excel 2010 绘制图表,运用 SPSS 20.0 软件对变量主要进行单因素方差分析(ANOVA)和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同秸秆覆盖方式对土壤有机碳的影响

不同覆盖方式对 0—10 cm 和 10—20 cm 土层土壤总有机碳的含量具有显著影响($p < 0.05$),20—40

cm 土层的土壤总有机碳差异不明显(图 1)。在 0—10 cm 土层,较无覆盖对照处理,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理和 M2(全生育期 4 500 kg/hm²)处理均显著提高 33.3%和 15.2% ($p < 0.05$),而 SM(夏闲期 9 000 kg/hm²)处理仅提高 3.1%,且差异不显著。在 10—20 cm 土层,较无覆盖对照处理,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理和 M2(全生育期 4 500 kg/hm²)分别提高 42.1%和 12.1%,且 M1 处达到了显著水平($p < 0.01$),SM(夏闲期 9 000 kg/hm²)处理对土壤有机碳的影响不明显。在 20—40 cm 土层,与无覆盖对照处理相比,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理、M2(全生育期 4 500 kg/hm²)处理和 SM(夏闲期 9 000 kg/hm²)处理分别提高 11.7%、6.7%和 7.0%,但差异均不显著。可见,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理在各土层均提高幅度最大,SM(全生育期 9 000 kg/hm²)处理效果不明显,说明高量秸秆覆盖有利于土壤有机质的输入,但是夏闲期秸秆覆盖效果相对较弱,这可能与秸秆覆盖时间短有关。



注:不同小写字母表示同一土层不同处理之间差异显著($p < 0.05$)。下同。

图1 不同处理下土壤总有机碳的含量

2.2 不同秸秆覆盖方式对土壤微生物量碳的影响

不同秸秆覆盖方式对 0—10 cm 和 10—20 cm 土层土壤微生物量碳的含量具有显著影响($p < 0.05$),20—40 cm 土层的土壤总有机碳差异不明显,且随着土层深度的增加,土壤微生物量降低幅度越小,越趋于稳定,与土壤总有机碳变化一致(图 2)。在 0—10 cm 土层,较无覆盖对照处理,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理和 M2(全生育期 4 500 kg/hm²)处理分别提高了 54.5%和 33.3% ($p < 0.01$),而 SM(夏闲期 9 000 kg/hm²)处理效果不明显。在 10—20 cm 土层,较无覆盖对照处理,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理增加幅度最大,且与其他处理均达到了极显著水平($p < 0.01$)。在 20—40 cm 土层,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理提高 37.1%,SM(夏闲期 9 000 kg/hm²)处理增幅最小,但均未达显著水平。

2.3 不同秸秆覆盖方式对土壤潜在矿化碳的影响

土壤潜在矿化碳与土壤有机碳和微生物量碳变

化趋势相似,这可能与土壤总有机碳的稳定性,微生物数量和活性有关^[12]。在 0—10 cm 土层,较无覆盖对照处理,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理、M2(全生育期 4 500 kg/hm²)处理和 SM(夏闲期 9 000 kg/hm²)处理分别增加 18.2% ($p < 0.05$),11.0%和 8.7%。在 10—20 cm 土层,与无覆盖对照处理相比,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理和 M2(全生育期 4 500 kg/hm²)处理增加幅度较大,且 M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理达到极显著水平($p < 0.01$)。在 20—40 cm 土层,各处理较无覆盖对照处理均有所增加土壤潜在矿化碳的含量,但差异不明显。可见不同覆盖方式对 0—10 cm 和 10—20 cm 土层的土壤潜在矿化碳的含量具有显著影响($p < 0.05$),20—40 cm 土层影响不显著(图 3)。

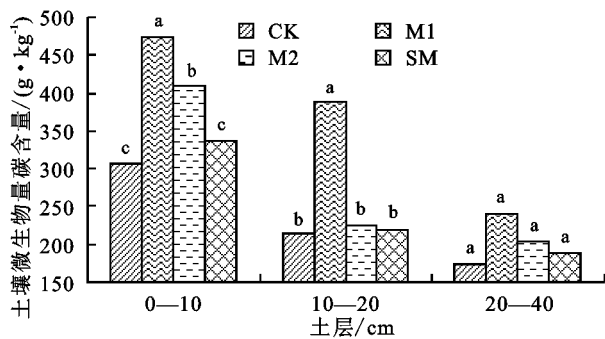


图2 不同处理下土壤微生物量碳的含量

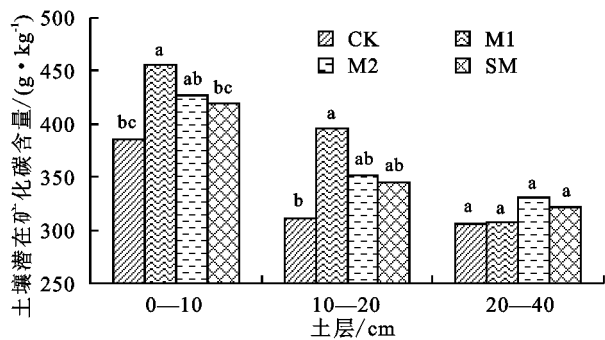


图3 不同处理下土壤潜在矿化碳的含量

2.4 不同秸秆覆盖方式对土壤颗粒有机碳的影响

各覆盖方式对 0—10 cm 和 10—20 cm 土层土壤颗粒有机碳的含量具有明显影响($p < 0.05$),20—40 cm 土层的土壤总有机碳差异不显著(图 4)。在 0—10 cm 土层,较无覆盖对照处理,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理增长幅度高达 88.6% ($p < 0.01$),且与 SM(夏闲期 9 000 kg/hm²)处理也形成显著差异($p < 0.05$)。M2(全生育期 4 500 kg/hm²)处理较无覆盖对照处理显著提 62.3% ($p < 0.05$),而 SM(夏闲期 9 000 kg/hm²)处理仅增加了 20.1%。在 10—20 cm 土层,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理较无覆盖对照处理极显著的增加土壤颗粒有机碳含量($p < 0.01$),且与 SM(夏闲期 9 000 kg/hm²)处理形成了显著差异($p < 0.05$)。在 20—40 cm 土层,M1(全生

育期 9 000 kg/hm²)处理和 M2(全生育期 4 500 kg/hm²)处理作用相对较大,SM(夏闲期 9 000 kg/hm²)处理作用相对较弱,但各处理间并没有形成显著差别。由此可见,0—10 cm 土层各处理间差异最大,且各土层中 M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理方式对提高土壤颗粒有机碳含量效作用最大,这是因为 M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理秸秆覆盖量大,覆盖时间较长,有机物质输入量大。

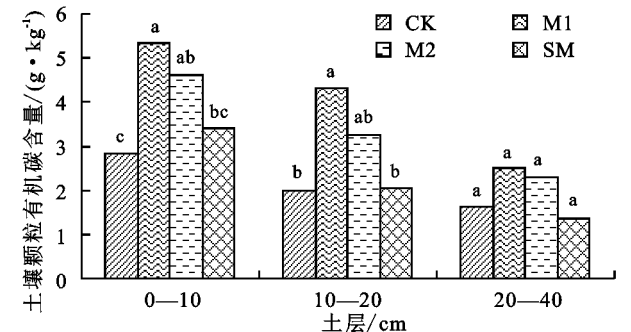


图 4 不同处理下土壤颗粒有机碳的含量

2.5 碳分组的相对含量

表 2 为不同覆盖方式下 3 种有机碳组分占有有机碳的比值,即碳素有效率,通常用活性有机碳/土壤有

机碳×100%来表示^[13]。在不同覆盖方式下,各碳素有效率在各土层中变化不同。其中,微生物量碳/土壤有机碳在各处理各土层均表现为增加效应,说明不管哪种覆盖方式都能改变土壤中微生物的数量和活性,有利于非活性有机碳向活性有机碳的转变,提高土壤有机碳的有效性。M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理在 0—10,10—20,20—40 cm 土层中提高幅度最大,分别为 16.1%,28.0%,23.0%。但方差分析结果表明,不同处理间差别不显著。潜在矿化碳/土壤有机碳在 0—10 cm 的土层中各处理较无覆盖对照有所降低,该比值的下降不利于土壤有机碳的矿化,但提高了土壤有机碳的稳定性。颗粒有机碳/土壤有机碳在 0—10,10—20,20—40 cm 土层中,各处理的颗粒有机碳相对含量较无覆盖对照处理均有所提高,M1(全生育期 9 000 kg/hm²)处理和 M2(全生育期 4 500 kg/hm²)处理在 10—20 cm 土层中差异达到显著水平($p<0.05$)。颗粒有机碳/土壤有机碳的比值均高于微生物量碳/土壤有机碳和潜在矿化碳/土壤有机碳,说明颗粒有机碳在土壤有机碳中所占分配比率较大,是土壤质量变化的敏感指标。

表 2 不同覆盖方式下土壤碳组分的分配比率 单位:%

处理	MBC/SOC			PMC/SOC			POC/SOC		
	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm
CK	2.85a	2.18a	1.96a	3.59a	3.16a	3.44a	26.34a	20.35c	18.13a
M1	3.31a	2.79a	2.41a	3.18a	2.83a	3.10a	37.25a	31.05a	25.31a
M2	3.30a	2.04a	2.15a	3.45a	3.19a	3.48a	37.24a	29.67a	24.20a
SM	3.04a	2.04a	1.99a	3.78a	3.20a	3.38a	30.69a	18.92ab	14.31a

2.6 土壤有机碳分组的相关性分析

由表 3 可知,不同的秸秆覆盖处理方式下土壤有机碳及其组分之间均具有极显著的正相关关系($p<0.01$),说明微生物量碳、潜在矿化碳和颗粒有机碳含量在较大程度上依赖于土壤有机碳的贮存量。其相关系数排序为颗粒有机碳>微生物量碳>潜在矿化碳,说明颗粒有机碳与土壤有机碳含量之间的相关系数最大,可以用来指示土壤有机碳库的早期变化^[14]。尽管各指标的研究方法不一样,然而在一定水平上代表了土壤活性有机碳含量,反映了有机质的有效性。微生物量碳与潜在矿化碳含量之间具有极显著水平($p<0.01$),这可能是因为潜在矿化碳受微生物的数量和活性的影响较大。

表 3 土壤有机碳及其组分相关性分析

指标	SOC	MBC	PMC	POC
SOC	1			
MBC	0.700**	1		
PMC	0.614**	0.675**	1	
POC	0.847**	0.753**	0.620**	1

注: * 表示显著相关($p<0.05$); * * 表示极显著相关($p<0.01$)。

3 讨论

3.1 秸秆覆盖对土壤有机碳及其组分的影响

土壤有机碳主要是指存在于土壤微生物体、动植物残体、及其被微生物分解和合成的所有含碳的有机物质之中^[15],易受土壤微生物的数量和活性以及土壤理化性质的影响而发生变化。本研究表明,不同秸秆覆盖方式(全生育期 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖(M1)、全生育期 4 500 kg/hm² 秸秆覆盖(M2)、夏闲期 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖(SM))较无覆盖对照处理均显著提高了 0—10 cm 和 10—20 cm 土层的土壤有机碳、微生物量碳、潜在矿化碳和颗粒有机碳含量($p<0.05$),而 20—40 cm 土层差异不明显。这是因为覆秸秆后,秸秆自身分解腐化渗入土壤中就会增加土壤中碳素;另外,秸秆具有蓄水保温作用,给土壤中微生物提供较好的生存活动场所,也促进了土壤中有机质的积累与循环^[13]。各不同量秸秆覆盖处理的土壤有机碳及其组分在垂直分布上都随着土层的深入而不断降低,这与刘伟等^[16]、陈高起等^[17]研究较一致。这是因为枯枝落叶都落在地表,以及植物根系大部分也生长在土壤表层,所以

越在表层土壤所堆累的有机碳含量越多,而且土层越深,微生物分布相对较少,导致有机碳周转循环速度减小,从而使得有机碳在深层土壤中越稳定^[18],所以对较深土层的土壤影响不显著。但是关于适宜的秸秆覆盖量,不同学者研究结论不一,这可能与地域环境有关。于晓蕾等^[19]在陕西杨凌回茬旱地小麦的试验表明最佳覆盖量是 6 000 kg/hm²,本研究发现 M1(全生育期 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖)处理效果最优,且优于 M2(全生育期 4 500 kg/hm²)和 SM(夏闲期 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖)处理,说明高量秸秆覆盖效果更加明显,这可能与 M1(全生育期 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖)处理秸秆自身含有较多的有机质,进入土壤后可以作为微生物提供更加充足的养分。SM(夏闲期 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖)处理较无覆盖对照处理提高的不明显,这是因为秸秆覆盖时间较短,而且西北地区降水主要会集在夏闲期,土壤温度和水分增加,微生物活性增加,加快了有机质的分解腐化,使得土壤中原有的有机质加速损耗。

3.2 不同覆盖方式对土壤碳组分相对含量的影响

土壤活性有机碳的相对含量在一定程度上表征了土壤有机碳的稳定性。土壤活性有机碳含量越高,土壤有机碳越容易被微生物分化,稳定性就越差^[20]。本试验表明不同覆盖方式对土壤有机碳组分的相对含量产生增加效应,尤其显著增加了 10—20 cm 土层的颗粒有机碳含量,这与李新华等^[21]研究结果较相似。这主要是因为颗粒有机碳是指与沙粒结合的植物残体分解产物和微生物组成,更加容易受到地表植物根系和凋落物的腐化程度影响,分解速度快,潜在的不稳定性更大。本试验表明土壤微生物量碳的相对含量变化范围为 1.96%~3.31%,这与周脚根等^[21]报道的土壤微生物量碳含量在农田表土中占 0.30%~4.00% 较一致。土壤颗粒有机碳的变化范围为 14.31%~37.25%,略低于与姬强等^[22]研究的秸秆还田条件下土壤颗粒有机碳的相对含量变化范围为 30.84%~53.93%。土壤潜在矿化碳的相对含量变化范围为 2.83%~3.78%,这与梁贻仓^[11]报道的土壤潜在矿化碳含量一般占总有机碳的 1.95%~2.88% 较一致。不同碳组分分配比例与前人不完全一致,这可能是因为农作物生育期不同,土壤水分、温度等因地域差异而不同对土壤结构造成的影响不同,从而导致各组分分配比例不同,此问题有待于进一步深入研究。

3.3 土壤总有机碳及其组分间的关系分析

不同覆盖方式下的土壤有机碳及其组分两两之间均达到了极显著的正相关关系,说明活性有机碳在一定

程度上能够较快地反映土壤碳库变化,尤其颗粒有机碳和微生物量碳,可以作为评价土壤质量的重要指标。贾会娟等^[23]研究表明,土壤有机碳与全氮、微生物量碳以及颗粒有机碳具有显著相关性。本研究表明,颗粒有机碳与土壤有机碳含量之间的相关系数达 0.862($p < 0.01$),这可能是因为颗粒有机碳是一般介于腐殖化和半腐殖化中间的动植物和根系残体,周转速度快,对地表覆盖方式的干扰响应比较快。本研究土壤微生物量碳与土壤潜在矿化碳之间具有极显著水平,这主要是因为土壤碳的矿化主要在微生物参与下进行,土壤碳的矿化在很大程度上决定于微生物的数量与活性。但本研究中只采用了 1 a 的数据分析,时间短,而且仅限于收获期土样,并不能准确反映不同秸秆覆盖方式对土壤有机碳及其组分的长期影响规律,所以此后应进一步研究各生育期土壤有机碳的长期变化规律。

4 结论

较无覆盖对照处理,不同覆盖方式均显著增加了 0—10 cm 和 10—20 cm 土层的有机碳及其组分含量,对 20—40 cm 土层有机碳及其组分含量影响不显著。夏闲期 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖作用不显著,而全生育期 9 000 kg/hm² 提高土壤有机碳及其组分含量的效果最佳,其实际应用价值更高。不同覆盖方式下的土壤有机碳及其组分两两之间均达到了极显著的正相关关系($p < 0.01$),说明土壤有机碳的增加更有利于颗粒有机碳、潜在矿化碳和微生物量碳的积累,其相关系数排序为 POC > MBC > PMC,由此可见颗粒有机碳和微生物量碳更能反映土壤有机碳的早期变化和土壤肥力更加敏感的指标。不同覆盖方式下表层土壤有机碳及其组分的含量都随着土层的下降而减少,且土层越深,动态变化越趋于缓慢。

参考文献:

- [1] Sharma P, Abrol V, Sharma R K. Impact of tillage and much management on economics, energy requirement and crop performance in maize-wheat in rained subhumid inceptisols, India[J]. European Journal of Agronomy, 2011, 34(1): 46-51.
- [2] 蔡太义,贾志宽,孟蕾,等.渭北旱塬不同秸秆覆盖对土壤水分和春玉米产量的影响[J].农业工程学报,2011,27(3):43-48.
- [3] Li Y F, Jiang P K, Chang S X, et al. Organic mulch and fertilization affect soil Carbon pools and forms under intensively managed bamboo (Phyllostachys praecox) forests in southeast China[J]. Soils Sediments, 2010, 10(4): 739-747.
- [4] 王淑娟,田宵鸿,李硕,等.长期地表覆盖及施氮对冬小

- 麦产量及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 291-299.
- [5] Jackson L E, Calederon F J, Steenwerth K L, et al. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for quality [J]. *Geoderma*, 2013, 11(34): 305-317.
- [6] 杨滨娟, 黄国勤, 钱海燕, 等. 秸秆还田配施化肥对土壤温度根际微生物及酶活性的影响[J]. *土壤学报*, 2014, 51(1): 150-157.
- [7] 蔡太义, 黄会娟, 黄耀威, 等. 不同量秸秆覆盖还田对土壤活性有机碳及碳库管理指数的影响[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(6): 964-974.
- [8] 卜玉山, 邵海林, 王建程, 等. 秸秆与地膜覆盖春玉米和春小麦耕层土壤碳氮动态[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(2): 322-326.
- [9] Zhang Z S, Guo L J, Liu T Q, et al. Effects of tillage practices and straw returning methods on greenhouse gas emissions and net ecosystem economic budget in rice-wheat cropping systems in central China [J]. *Atmospheric Environment*, 2015, 122(12): 636-644.
- [10] 李富翠. 旱地夏闲期秸秆覆盖和种植绿肥协调土壤水肥供应的效应与机制[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [11] 梁贻仓. 不同覆盖方式对旱作农田土壤有机碳及其组分的影响[D]. 西安: 西北大学, 2015.
- [12] 罗友进, 赵光, 高明, 等. 不同植被覆盖对土壤有机碳矿化及团聚体碳分布的影响[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(6): 118.
- [13] 崔凤娟, 刘景辉, 李立军, 等. 免耕秸秆覆盖对土壤活性有机碳库的影响[J]. *西北农业学报*, 2012, 21(9): 192-200.
- [14] 严昌荣, 刘恩科, 何文清, 等. 耕作措施对土壤有机碳和活性有机碳的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2016(6): 58-63.
- [15] 苏琳. 保护性耕作方式对土壤有机碳及组分含量的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [16] 刘伟, 程积民, 高阳等. 黄土高原草地土壤有机碳分布及其影响因素[J]. *土壤学报*, 2012, 49(1): 68-76.
- [17] 陈高起, 傅瓦利, 沈艳等. 岩溶区不同土地利用方式对土壤有机碳及其组分的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(3): 123-129.
- [18] Rehana R, Kukal S S, Hira G S. Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize-wheat system[J]. *Soil & Tillage Research*, 2008, 101(1/2): 31-36.
- [19] 于晓蕾, 吴普特, 汪有科, 等. 不同秸秆覆盖量对冬小麦生理及土壤温、湿状况的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2007, 26(4): 41-44.
- [20] 张鹏, 李涵, 贾志宽, 等. 秸秆还田对宁南旱区土壤有机碳含量及土壤矿化碳的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(12): 2518-2525.
- [21] 周脚根, 黄道友. 土壤微生物量碳周转分析方法及其影响因素[J]. *中国生态学报*, 2006, 14(2): 131-134.
- [22] 姬强, 孙汉印, 王勇, 等. 土壤颗粒有机碳和矿质结合有机碳对 4 种耕作措施的响应[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(2): 132-137.
- [23] 贾会娟. 西南丘陵区保护性耕作下旱作农田土壤有机碳、氮相关组分的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015.

(上接第 186 页)

- [7] 周丽敏. 黄土高原双垄覆膜和地槽集水技术对土壤水温、土壤养分及作物产量的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [8] 王红丽, 张绪成, 于显枫, 等. 黑色地膜覆盖的土壤水热效应及其对马铃薯产量的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(16): 5215-5226.
- [9] 黄金辉, 廖允成, 高茂盛, 等. 耕作和覆盖对黄土高原果园土壤水分和温度的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(11): 2652-2658.
- [10] 李玉玲, 张鹏, 张艳, 等. 旱区集雨种植方式对土壤水分、温度的时空变化及春玉米产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(6): 1084-1096.
- [11] 靳姗姗, 汪星, 汪有科, 等. 黄土丘陵枣林休眠期土壤水分损失及其剖面气态水分析[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(3): 309-316.
- [12] 靳姗姗, 汪星, 汪有科, 等. 不同覆盖措施对减少枣林休眠期土壤水分损失的影响[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(14): 153-160.
- [13] 翟夏斐, 李强, 李富翠, 等. 秸秆和地膜覆盖模式下土壤水热动态分析[J]. *土壤*, 2014, 46(4): 716-724.
- [14] 高志永, 汪有科, 汪星, 等. 黄土丘陵半干旱区枣林露水量研究[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(10): 105-115.
- [15] 陈军锋, 郑秀清, 臧红飞, 等. 季节性冻融期灌水对土壤温度与冻融特性的影响[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(3): 104-109.