

地表覆盖对黄土高原土壤有机碳及其组分的影响

梁贻仓¹, 王 俊¹, 刘全全¹, 刘文兆²

(1. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 基于中国科学院长武黄土高原农业生态实验站 2008 年开始田间定位试验资料, 分析研究秸秆覆盖与地膜覆盖对黄土高原土壤有机碳(SOC)及其组分的影响, 试验包括 5 个处理: 对照不覆盖(CK)、作物生育期 9 000 kg·hm⁻² 秸秆覆盖(M1)、作物生育期 4 500 kg·hm⁻² 秸秆覆盖(M2)、夏闲秸秆覆盖(SF)、作物生育期地膜覆盖(PM)。2010(干旱年)、2012(丰水年)两次测定结果表明: 0~30 cm 土层平均, 与 CK 相比, 2012 年土壤有机碳(SOC)含量 M1 处理提高了 7.4%, 潜在矿化碳(PCM)含量 M1、M2、SF 处理分别提高了 37.8%、23.9%、7.2%, 微生物量碳(MBC)含量 M1 和 M2 处理分别提高了 59.9% 和 42.3%, 碳库管理指数(CMI) M1、M2、SF 处理分别提高了 53.1%、35.6%、13.9%; 2010 年 M1 处理 CMI 较 CK 提高了 16.1% ($P < 0.05$), 其余处理土壤有机碳各指标与 CK 差异两年均不显著。不同覆盖方式对表层土壤有机碳及各项指标影响较大, 随土层加深影响减弱, 其中秸秆覆盖 4 年后碳库管理指数均有显著提高。两种活性有机碳的相对含量与其各自绝对含量的变化基本一致, 且有机碳各指标间显著相关。综合来看, 高量秸秆覆盖能够提高表层土壤有机碳及其组分含量, 地膜覆盖对土壤有机碳及其组分积累影响不大。

关键词: 土壤有机碳; 潜在矿化碳; 微生物量碳; 地表覆盖; 碳库管理指数; 黄土高原

中图分类号: S153.6 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)05-0161-07

Effects of soil surface mulching on soil organic carbon and its fractions in a wheat field in loess plateau, China

LIANG Yi-cang¹, WANG Jun¹, LIU Quan-quan¹, LUN Wen-zhao²

(1. College of Urban and Environment Science, Northwest university, Xi'an, Shaanxi 710127, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A winter wheat field experiment was conducted to detect the effect of soil surface mulching on soil organic carbon (SOC) and its active fractions. Five treatments were included as control treatment (CK), straw mulching at a rate of 9 000 kg·hm⁻² (M1) and 4 500 kg·hm⁻² (M2) and plastic film mulching (PM) during growing season, and straw mulching during summer fallow (SF). The results showed that averaged across 0~30 cm soil layer, compared with CK, treatment M1 significantly increased soil organic carbon by 7.4%, treatment M1, M2 and SF increased potential carbon mineralization by 37.8%, 23.9% and 7.2% significantly, treatment M1 and M2 significantly increased microbial biomass carbon by 59.9% and 42.3%, treatment M1, M2 and SF significantly increased carbon management index by 53.1%, 35.6% and 13.9% in 2012, respectively. Treatment M1 increased carbon management index by 16.1% in 2010 significantly, compared with CK. Other treatments had no significant impact on soil organic carbon and its index was found when compared with CK. Different soil surface mulching have great influence on soil organic carbon and its index, and decreased as the soil layer deepen. The carbon management index increased significantly after 4 years of experiment. The proportion of PCM and MBC in SOC showed the same trend with the contents of PCM and MBC, soil organic carbon and its index significantly related with each other. In general, Treatment M1 can increase soil organic carbon and its active fractions, and the plastic film mulching has less effect to soil organic carbon accumulation.

Keywords: soil organic carbon; potential carbon mineralization; microbial biomass carbon; carbon management index; surface mulching; Loess Plateau

收稿日期: 2013-11-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(No31270484); 教育部科技重点项目(209123)

作者简介: 梁贻仓(1986—)男, 陕西丹凤人, 硕士研究生, 主要从事农田土壤碳释放研究。E-mail: nwulyc@sina.com。

通信作者: 王 俊(1974—)男, 河南虞城人, 教授, 主要从事农田生态学。E-mail: wangj@nwu.edu.cn。

合理的土壤和作物管理不仅可以增加土壤碳库存,减少农田温室气体排放,而且还可以提高改善土壤质量,提高作物产量,因此农田生态系统土壤碳循环过程研究近年来得到广泛重视。土壤碳循环研究的主要指标有土壤有机碳(SOC)、潜在矿化碳(PCM)、微生物量碳(MBC)等,其中SOC是土壤质量和生产力的重要组成部分,可以用来测度土壤碳储量^[1-2]。然而由于通常SOC库存相对很大,且随着时间的变化较慢,因此只测定SOC往往不能够灵敏地反映土壤质量和养分状况^[1-2]。SOC中的生物活性组分(如MBC和PCM)随时间变化迅速,对它们的测定能够充分地反映土壤质量和生产力的变化^[3-4]。潜在矿化碳又称生物可降解碳^[5-6],主要利用微生物分解有机物质,测定CO₂释放量来求得可矿化碳量^[7],对PCM的测定能反映SOC的分解程度以及土壤养分的供应和土壤微生物的活性状况^[8]。土壤微生物量碳(MBC)则是指土壤中活的细菌、真菌、藻类和土壤微动物体内所含的碳。土壤MBC的数量随土壤条件的变化而变化,而土壤微生物又影响SOC的分解转化,因此,通过MBC的动态监测,可以预测土壤总有机碳变化的趋势^[9]。通过PCM和MBC的测定可以评价耕作、作物系统、覆盖、施用氮肥等管理措施所引起的土壤有机质变化^[10-11]。

近年来,秸秆或地膜覆盖保墒技术在我国黄土高原旱作农业区得到了广泛应用。地表覆盖后,土壤水热条件得到改善,相应地影响到SOC变化过

程。例如,蔡太义等^[12]在渭北旱塬的研究结果表明秸秆覆盖能够提高SOC含量。卜玉山^[13]等的研究结果也表明秸秆覆盖提高了春玉米和春小麦生育期SOC含量,而地膜覆盖则降低了SOC含量。李丛^[14]等的研究结果也表明地膜覆盖降低了SOC含量。吴荣美^[15]等的研究结果则表明地膜覆盖对土壤有机碳含量没有影响。本试验基于田间定位试验,对不同覆盖方式下旱作冬小麦农田SOC及其两种活性组分(PCM和MBC)进行了研究,旨在探讨覆盖方式对SOC库的影响,为寻求适宜该地区的耕作方式,以及土地的可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验在中国科学院长武黄土高原农业生态实验站(107°40'E 35°12'N)进行。该试验站地处黄土高原中南部渭北旱塬,海拔1220m,为暖温带半干旱湿润性季风气候,塬面平坦,为典型的黄土高原沟壑地貌。年平均气温9.2℃,年日照时数2230h,多年平均降水584.1mm,是典型的雨养农业区。土壤为粘壤质黑垆土,土质疏松,土层深厚,布设试验前0~30cm土层土壤有机碳平均含量为7.9g·kg⁻¹,全氮0.80g·kg⁻¹,碱解氮46.67mg·kg⁻¹,有效磷5.34mg·kg⁻¹,速效钾187.8mg·kg⁻¹,pH为8.4^[16]。2010年降水量为465.1mm,2012年降水量为787.4mm,相比多年平均降水量,2010年为干旱年,而2012年为丰水年。

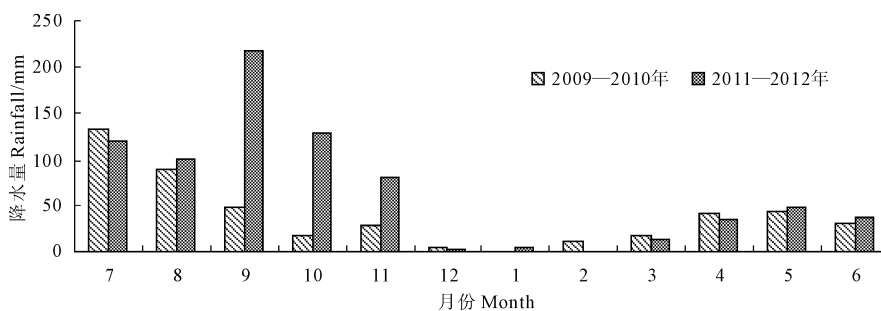


图1 2009—2010年和2011—2012年月降水量分布图

Fig. 1 Distribution of monthly rainfall in 2009—2010 and 2011—2012

1.2 试验设计

覆盖试验于2008年9月开始,小麦品种为长武-134,冬小麦于每年9月下旬人工开沟播种,次年6月收获,收获后试验地闲置,期间采用圆盘耙机翻耕土壤蓄墒后播种。实验共设5个处理:对照不覆盖(CK)、作物生育期9000kg·hm⁻²冬小麦秸秆覆盖(M1)、作物生育期4500kg·hm⁻²冬小麦秸秆覆

盖(M2)、夏闲秸秆全量覆盖(SF)、作物生育期地膜覆盖(PM)。秸秆和地膜在小麦播种后均匀覆盖,小麦收获后移除残余秸秆和地膜,夏闲秸秆于小麦收割后全量覆盖,小麦播种前移除。每个处理3次重复,随机排列,共15个小区,每个小区面积为10.26m×6.5m=66.7m²。

1.3 土壤采样分析

本试验于2010年7月1日和2012年7月14日(小麦收割后)采用“S”形采样方法对每个小区进行采样,每个小区分别采集0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm的土样5钻,将同深度土样混匀,作为该小区该深度土层土样,共计45个土样,然后将土样自然风干,剔除植物残体,过0.25 mm筛测定SOC,过2 mm筛测定PCM和MBC。

SOC的测定采用的是重铬酸钾外加热法^[17]。土壤PCM测定采用Haney等^[18]提出的培养法来测定,取过2 mm筛风干土样10 g,以蒸馏水调节至50%的田间持水量,与装有2 ml浓度为0.5 mol·L⁻¹的NaOH烧杯共同置于1 L的培养瓶中,在培养瓶中加入20 ml蒸馏水以保持较高湿度,在21℃下培养10天,使NaOH吸收土样所释放的CO₂,在第10天将装有NaOH的烧杯取出,通过以1.5 mol·L⁻¹的BaCl₂和0.1 mol·L⁻¹的HCl滴定NaOH吸收的CO₂来测定PCM含量。MBC测定采用是Jenkinson和Powelson提出的氯仿熏蒸培养法^[19]测定,前期培养过程同PCM测定,培养10天后将湿土以无乙醇氯仿熏蒸24小时,然后重新与2 ml浓度为0.5 mol·L⁻¹的NaOH烧杯共同放置培养,并保持瓶内湿度,培养10天后按上述方法滴定测定CO₂。

碳库管理指数的计算方法参照文献,并对活性有机碳指标做了调整^[20]:

$$CPMI = CPI \times LI \times 100 \quad (1)$$

$$CPI = SOC \times SOC_{CK} \quad (2)$$

$$LI = L/L_{CK} \quad (3)$$

$$L = LOC/NLOC \quad (4)$$

$$LOC = PCM + MBC \quad (5)$$

$$NLOC = SOC - LOC \quad (6)$$

式中,CPMI为碳库管理指数,CPI碳库指数,SOC_{CK}为对照土壤有机碳含量,LI为碳库活度指数,L为样本碳库活度,L_{CK}为对照碳库活度,LOC为活性有机碳含量,NLOC为非活性有机碳含量,其中活性有机碳没有采用易氧化有机碳这个指标,而采用的是潜在矿化碳与微生物量碳之和,所有的对照均为CK处理。

1.4 数据处理

采用Excel 2003进行数据处理和图表绘制,用SPSS 20进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤有机碳

在0~10 cm土层,2010和2012年M1、M2处理

有机碳含量分别较CK显著提高9.8%、7.3%和11.6%、9.5%($P < 0.05$),而SF和PM处理较CK差异不显著;10~20 cm土层,2012年PM处理较CK显著降低7.4%,其余处理2010和2012年处理间差异均不显著;在20~30 cm土层,2012年M1处理较CK显著提高11.3%,其余处理2010和2012年处理间差异均不显著;0~30 cm土层,2012年M1处理较CK显著提高7.4%,其余处理2010和2012年各土层处理间差异均不显著。

表1 覆盖对SOC含量的影响

Table 1 Effects of soil surface mulching on soil organic carbon

年份 Year	处理 Treatment	SOC/(g·kg ⁻¹)			
		0~10cm	10~20cm	20~30cm	0~30cm
2010	CK	8.55b	8.28a	8.23a	8.35a
	M1	9.39a	8.46a	8.33a	8.73a
	M2	9.17a	8.30a	8.46a	8.64a
	SF	8.88ab	8.40a	8.38a	8.55a
	PM	8.48b	8.23a	8.25a	8.32a
2012	CK	8.74b	9.48a	7.60b	8.61b
	M1	9.75a	9.56a	8.46a	9.25a
	M2	9.57a	9.32ab	8.06ab	8.98ab
	SF	8.41b	9.57a	8.29ab	8.76ab
	PM	8.61b	8.78b	8.05ab	8.48b

注:表中不同小写字母代表 $P < 0.05$ 水平差异显著,下同。

Note: Different small letters mean significant difference at $P < 0.05$, the same below.

2.2 土壤潜在矿化碳

在0~10 cm土层,M1处理2010和2012年分别较CK显著提高24.2%和30%,M2处理2012年较CK显著提高15.6%($P < 0.05$),其余处理2010和2012年处理间差异不显著;10~20 cm土层,各土层2010和2012年处理间差异均不显著;在20~30 cm土层,除2010年PM较CK显著降低19.2%($P < 0.05$),其余处理2010和2012年处理间差异不显著;0~30 cm土层,2012年M1、M2、SF分别较CK显著提高37.8%、23.9%、7.2%,其余处理2010和2012年处理间差异不显著(表2)。

2.3 微生物量碳

在0~10 cm土层,M1处理2010和2012年MBC分别较CK显著提高53%和75.6%,M2处理2012年较CK显著提高74.9%($P < 0.05$);在10~20 cm土层,2012年M1处理MBC含量较CK显著提高63.2%,其余处理2010和2012年处理间差异均不显著;20~30 cm土层,各处理2010年和2012年各土层处理间差异均不显著;0~30 cm,2012年

M1 和 M2 处理 MBC 含量分别较 CK 显著提高 59.9% 和 42.3%, 其余处理 2010 和 2012 年处理间差异均不显著(表 3)。

表 2 覆盖对潜在土壤矿化碳的影响

Table 2 Effects of soil surface mulching on potential carbon mineralization

年份 Year	处理 Treatment	PCM/(mg·kg ⁻¹)			
		0~10cm	10~20cm	20~30cm	0~30cm
2010	CK	360b	283ab	291a	324ab
	M1	447a	305a	290a	369a
	M2	425ab	293ab	270ab	347ab
	SF	384ab	290ab	261ab	319b
	PM	389ab	260b	247b	318b
2012	CK	360c	233ab	161a	251c
	M1	468a	302a	269a	346a
	M2	416b	254ab	263a	311ab
	SF	352c	219b	235a	269b
	PM	359c	200b	195a	251c

2.4 有机碳活性组分相对含量

表 4 为不同覆盖方式下两种活性有机碳的相对含量, 活性有机碳相对含量也称为碳素有效率, 通常用活性有机碳/SOC × 100% 来表示^[21]。2010 年仅 M1 处理 MBC 相对含量在 0~10 cm 土层较 CK 显著提高 39.2%, 其余处理 2010 年两种活性组分相对含量与 CK 差异不显著。2012 年 M1 处理 PCM

表 4 覆盖对潜在矿化碳、微生物量碳相对百分含量的影响/%

Table 4 Effects of soil surface mulching on the proportion of PCM and MBC to SOC

年份 Year	处理 Treatment	PCM 相对含量 The proportion of PCM				MBC 相对含量 The proportion of MBC			
		0~10cm	10~20cm	20~30cm	0~30cm	0~10cm	10~20cm	20~30cm	0~30cm
2010	CK	4.20a	3.40a	3.54a	3.88ab	4.31b	4.45a	5.39a	4.71a
	M1	4.77a	3.60a	3.48a	4.22a	6.00a	4.91a	4.66a	5.22a
	M2	4.63a	3.53a	3.20a	4.02ab	5.21ab	5.04a	4.10a	4.80a
	SF	4.32a	3.46a	3.12a	3.72b	5.13ab	4.69a	4.04a	4.63a
	PM	4.58a	3.17a	2.99a	3.81ab	5.26ab	3.54a	3.87a	4.24a
2012	CK	4.13b	2.46ab	2.09a	2.92b	3.49b	2.84b	3.19a	3.17b
	M1	4.80a	3.17a	3.18a	3.75a	5.45ab	4.61a	3.93a	4.69a
	M2	4.34b	2.72ab	3.29a	3.46ab	5.57a	3.43ab	3.88a	4.32ab
	SF	4.19b	2.29b	2.80a	3.06b	4.75ab	3.28ab	3.14a	3.70ab
	PM	4.18b	2.28b	2.43a	2.97b	4.39ab	2.68b	2.86a	3.32b

2.5 碳库管理指数

2010 年 M1 处理碳库管理指数在 0~10 cm 土层和 0~30 cm 土层分别较 CK 显著提高了 42.5% 和 16.1%。2012 年 0~10 cm 土层 M1、M2、SF、PM 分别较 CK 显著提高 56.3%、46.8%、15.2%、13.

相对含量在 0~10 cm 和 0~30 cm 分别显著提高 16.2% 和 28.4%; 与 CK 相比, M1 处理 MBC 相对含量在 10~20 cm 和 0~30 cm 土层分别提高 20.1% 和 47.9%, M2 处理在 0~10 cm 土层较 CK 提高 59.6%。其余处理 2010 和 2012 年 PCM 和 MBC 相对含量与 CK 差异不显著。通过逐一对比发现, 两种活性有机碳的相对含量和其绝对含量的变化趋势基本一致, 相关分析也发现他们之间有的相关性达到极显著水平, 这与王新建等^[22]的研究结果相同。

表 3 覆盖对土壤微生物量碳的影响

Table 3 Effects of soil surface mulching on microbial biomass carbon

年份 Year	处理 Treatment	MBC/(mg·kg ⁻¹)			
		0~10cm	10~20cm	20~30cm	0~30cm
2010	CK	368b	369a	441a	393ab
	M1	563a	417a	388a	456a
	M2	477ab	419a	344a	414ab
	SF	456a	393a	339a	396ab
	PM	445b	290a	320a	351b
2012	CK	303b	269b	243a	272c
	M1	532a	439a	334a	435a
	M2	530a	319ab	310a	387ab
	SF	399ab	314b	259a	324bc
	PM	380ab	234b	229a	281bc

8%; 10~20 cm 土层 M1 处理较 CK 显著提高 52.4%; 0~30 cm 土层 M1、M2、SF 处理分别较 CK 显著提高 53.1%、35.6%、13.9% (表 5)。可以看出, 经过两年的耕作, 生育期 9 000 kg·hm⁻² 的秸秆覆盖 2010 年碳库管理指数较对照处理在 0~10 cm 以及

0~30 cm 就表现出了显著提高,到2012年,在10~20 cm 土层提高的程度也达到了显著水平。

表5 不同覆盖方下土壤碳库管理指数

Table 5 Carbon pool management index under different soil surface mulching

年份 Year	处理 Treatment	0~10cm		10~20cm		20~30cm		0~30cm	
		CPI	CMI	CPI	CMI	CPI	CMI	CPI	CMI
2010	CK	1.00cd	100.00b	1.00a	100.00ab	1.00a	100.00a	1.00a	100.00b
	M1	1.10a	142.46a	1.02a	111.40a	1.01a	92.56a	1.05a	116.11a
	M2	1.07ab	125.94ab	1.00a	110.78a	1.03a	83.65a	1.03a	106.48ab
	SF	1.04bc	116.86ab	1.01a	105.53ab	1.02a	82.65a	1.02a	99.49b
	PM	0.99d	116.33ab	1.00a	84.58b	1.00a	78.03a	1.00a	92.84b
2012	CK	1.00abc	100.00c	1.00ab	100.00b	1.00a	100.00a	1.00ab	100.00c
	M1	1.12a	156.34a	1.01a	152.35a	1.12a	162.36a	1.08a	153.11a
	M2	1.10ab	146.79ab	0.98ab	117.39ab	1.07a	157.79a	1.05ab	135.63ab
	SF	0.96c	115.18b	1.01a	106.61b	1.10a	129.64a	1.02ab	113.94b
	PM	0.99bc	113.84b	0.93b	88.33b	1.06a	110.22a	0.99b	102.34c

2.6 土壤有机碳及其组分的相关性

通过相关分析可以看出(表6),土壤有机碳、潜在矿化碳、微生物量碳以及碳库管理指数两两之间存在着显著的相关性,其中潜在矿化碳和微生物量碳的相关性达到了极显著水平,主要是由于潜在矿化碳受微生物活动影响,很大程度上决定着于微生物的数量。土壤有机碳和两种活性组分显著相关,说明土壤有机碳中的活性组分很大程度上依赖于总有机碳,这两种活性组分虽然不同,但是可以从一个指标的变化判断出另一个指标的变化,两种活性组分则可以指示土壤质量的变化。

物的数量。土壤有机碳和两种活性组分显著相关,说明土壤有机碳中的活性组分很大程度上依赖于总有机碳,这两种活性组分虽然不同,但是可以从一个指标的变化判断出另一个指标的变化,两种活性组分则可以指示土壤质量的变化。

表6 土壤有机碳及其组分相关性分析

Table 6 Correlation analysis of soil organic carbon and its fractions

项目 Item	土壤有机碳 Soil organic carbon	潜在矿化碳 Potential carbon mineralization	微生物量碳 Microbial biomass carbon	碳库管理指数 Carbon pool management index
土壤有机碳 Soil organic carbon	1.000			
潜在矿化碳 Potential carbon mineralization	0.671**	1.000		
微生物量碳 Microbial biomass carbon	0.592*	0.89**	1.000	
碳库管理指数 Carbon pool management index	0.745**	0.948**	0.961**	1.000

注:*表示横纵坐标量数值间呈显著正相关关系,*表示数值间呈极显著正相关关系。

Note:* means the correlation coefficient between the two cross numbers reaches a significant positive correlation,** means the correlation coefficient between the two cross numbers reaches a very significant positive correlation.

3 讨论

本研究结果表明生育期秸秆覆盖(M1和M2处理)能够提高表层土壤有机碳、潜在矿化碳、微生物量碳的含量,这与张鹏等^[13,21,23]的研究结果一致。这主要是秸秆覆盖增加了土壤有机质的输入^[22]。秸秆覆盖后,秸秆的分解会增加土壤中碳源,改变土壤理化性质,增加土壤微生物数量,促进土壤有机质积累,提高土壤矿质养分的生物有效性,储存了大量易分解的糖类和蛋白质等有机物质,为微生物提供较多的养分,导致微生物活动剧烈^[23],另外秸秆的

稳温保湿效应为微生物提供了良好的场所^[13],从而有效地分解进入土壤的有机物。高量秸秆覆盖相对于低量秸秆覆盖而言对于提高土壤有机碳及其组分含量效果更加显著,尤其是表层,这主要是由于高量秸秆覆盖有更多的有机质进入土壤,微生物所需养分更加充足。

与生育期秸秆覆盖相比,夏闲秸秆覆盖表层土壤有机碳含量较生育期覆盖含量低,较对照处理提高不显著。可能是因为一方面夏闲期时间较短,进入土壤的有机质相比生育期覆盖进入土壤中的有机质少,所以较生育期秸秆覆盖有机碳含量要少;另一

方面该地区降水主要集中于夏闲期,夏闲秸秆覆盖最大限度地使降水储存在土壤中,加之土壤温度的升高,提高了土壤微生物活性^[13],分解了夏闲期进入土壤的有机质,致使夏闲处理与对照处理差异不显著。

地膜覆盖对土壤有机碳及其组分的影响较对照差异不显著。可能是由于试验时间相对较短,总有机碳变化较缓慢。地膜的增温保水作用加速了土壤有机质的矿化^[13],地膜覆盖后减少了雨水对土壤的直接击打,使得土壤变沉实,微生物活性降低^[15],所以活性组分较对照处理变化不大。

在 10 cm 以下土层及 0~30 cm 土层,2012 年两种活性组分(PCM 和 MBC)含量较 2010 年显著降低,可能是由于两年降水量的差异,在越冬期之前 2012 年降水量均高于 2010 年,土壤中储存了更多微生物活动所需的水分,较深土层在气温回升后,微生物由于水分充足,加速了有机质的分解。

土壤活性有机碳相对含量的变化比 SOC 变化更为敏感,可以作为评价 SOC 的一项重要指标,活性有机碳占的百分比越大,说明有机碳质量也就越高,越易被微生物分解,有机碳的稳定性也就越差^[24]。相对含量比单一的绝对含量和 SOC 更能有效地反映土壤过程,因为商是一个比值,它能够避免在使用绝对量对不同有机质含量的土壤进行比较时出现的一些问题^[25],所以在评价土壤有机碳组分的变化时还应该考虑各种组分相对含量的变化情况。在本研究中,土壤潜在矿化碳相对含量的变化范围在 2.71%~3.98% 之间。土壤微生物量碳变化范围在 3.09%~5.72% 之间,这比薛菁芳等关于林地报道的 7.31%~12.50% 要低^[26],但较张四伟等^[27]关于稻田的报道的 0.59%~1.84% 要高。

Lefroy^[28]在 1993 年指出使用单一的易氧化有机碳不能够充分地描述土壤活性有机碳,于是 Blair^[29]于 1995 年在易氧化碳的基础上提出了农田生态系统碳库管理指数。碳库管理指数不仅能够反映外界干扰引起的总有机碳的变化,还反映了活性有机碳的变化,更能够全面地反映管理措施引起的土壤有机碳的变化情况^[30]。蔡太义等^[12]关于不同覆盖量的研究表明玉米田不同量秸秆覆盖均能够提高碳库管理指数,且高量覆盖碳库管理指数更高,但高覆盖量和中等覆盖量之间的差异并不显著,这与本文的研究结果相似,但高飞等^[31-32]关于玉米秸秆覆盖小麦田的实验结果则表明中等覆盖量碳库管理指数更高。

4 结 论

本文探讨了不同覆盖方式对 SOC 及其分组的影响,得出以下结论:

1) 从 0~30 cm 土层来看,2 年试验后仅高量秸秆覆盖 CMI 有所提高,4 年后,秸秆覆盖碳库管理指数均显著提高,生育期秸秆覆盖提高了土壤活性有机碳(PCM 和 MBC)含量,仅高量秸秆覆盖土壤有机碳显著提高,且高量秸秆覆盖能够有效地提高整个耕层土壤有机碳及其组分含量,夏闲秸秆覆盖和地膜覆盖对土壤有机碳及其活性组分影响不大。

2) 两种活性有机碳相对含量与绝对含量变化一致,并且与土壤总有机碳和碳库管理指数之间存在着显著的相关关系,潜在矿化碳、微生物量碳、碳库管理指数之间相关性较高。

参 考 文 献:

- [1] Franzluebbers A J, Hons F M, Zuberer D A. Soil organic carbon, microbial biomass, and mineralizable carbon and nitrogen in sorghum[J]. Soil Sci. Soc. Am. J, 1995, 59: 460-466.
- [2] Bezdicsek D F, Papendick R I, Lal R. Interduction: Importance of soil quality to health and sustainable land management[M]. Madison: SSSA Spec. Publ., 1996: 1-18.
- [3] Saffigna P G, Powelson D S, Brookes P C, et al. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian Vertisol[J]. Soil Biol. Biochem, 1989, 21: 759-765.
- [4] Baath E, Kissel C V. Plant-available nitrogen from lentil and wheat residues during a subsequent growing season[J]. Soil Sci. Soc. Am. J, 1992, 56(4): 1155-1160.
- [5] 张 国, 曹志平, 胡婵娟. 土壤有机碳分组方法及其在农田生态系统研究中的应用[J]. 应用生态学报, 2011, 22(07): 1921-1930.
- [6] 王 晶, 解宏图, 朱 平, 等. 土壤活性有机质(碳)的内涵和现代分析方法概述[J]. 生态学杂志, 2003, (06): 109-112.
- [7] 杨丽霞, 潘剑君. 土壤活性有机碳库测定方法研究进展[J]. 土壤通报, 2004, 35(4): 502-506.
- [8] 陈 吉, 赵炳梓, 张佳宝, 等. 长期施肥潮土在玉米季施肥初期的有机碳矿化过程研究[J]. 土壤, 2009, 41(05): 719-725.
- [9] 胡慧蓉, 马焕成, 罗承德, 等. 森林土壤有机碳分组及其测定方法[J]. 土壤通报, 2010, 41(4): 1018-1024.
- [10] Campbell C A, V O Biederbeck, M Schhnitzer, et al. Effects of 6 years of zero tillage and N fertilizer management on changes in soil quality of an orthic brown chernozem in southeastern Saskatchewan[J]. Soil and Tillage Research, 1989, 14: 39-52.
- [11] Sainju U M, Singh B P, Whitehead W F, et al. Carbon supply and storage in tilled and non-tilled soils as influenced by cover crops and nitrogen fertilization[J]. J. Environ. Qual, 2006, 35: 1507-1517.
- [12] 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(06): 964-974.

- [13] 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(02): 322-326.
- [14] 李丛, 汪景宽. 长期地膜覆盖及不同施肥处理对棕壤有机碳和全氮的影响[J]. 辽宁农业科学, 2005, (6): 8-10.
- [15] 吴荣美, 王永鹏, 李凤民, 等. 秸秆还田与全膜双垄集雨沟播耦合对半干旱黄土高原玉米产量和土壤有机碳库的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(9): 2855-2862.
- [16] 高会议, 郭胜利, 刘文兆, 等. 施氮水平对黄土旱塬区麦田土壤呼吸变化的影响[J]. 环境科学, 2010, 31(02): 390-396.
- [17] 全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范(第二版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 36-38.
- [18] Haney R L, Franzluebbers A J, Porter E B, et al. Soil carbon and nitrogen mineralization: Influence of drying temperature[J]. Soil Sci. Soc. Am. J, 2004, 68: 489-492.
- [19] Jenkinson D S, Powlson D S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil — V. A method for measuring soil biomass[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1976, 8: 189-202.
- [20] 李林海, 郝二虎, 梦梦, 等. 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征[J]. 生态学报, 2013, 33(01): 179-187.
- [21] Jenkinson D S, Powlson D S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil — V. A method for measuring soil biomass[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1976, 8: 189-202.
- [22] 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(09): 195-200.
- [23] 王新建, 张仁陟, 毕冬梅, 等. 保护性耕作对土壤有机碳组分的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 115-121.
- [24] 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碳矿化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(12): 2518-2525.
- [25] 朱志建, 姜培坤, 徐秋芳. 不同森林植被下土壤微生物量碳和易氧化态碳的比较[J]. 林业科学研究, 2006, 19(4): 523-526.
- [26] 任天志. 持续农业中的土壤生物指标研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(01): 71-78.
- [27] 薛菁芳, 高艳梅, 汪景宽. 长期施肥与地膜覆盖对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007, (3): 55-58.
- [28] 张四伟, 张武益, 王梁, 等. 耕作方式与秸秆还田对麦田土壤有机碳积累的影响[J]. 江西农业学报, 2012, 24(08): 6-9.
- [29] Lefroy R D B, G J Blair, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ^{13}C natural isotope abundance[J]. Plant and Soil, 1993, 156: 399-402.
- [30] Blair G J, R D B, Lefroy, et al. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Agriculture Research, 1995, 46: 1459-1466.
- [31] 蔡太义, 黄耀威, 黄会娟, 等. 不同年限免耕秸秆覆盖对土壤活性有机碳和碳库管理指数的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(9): 1962-1968.
- [32] 高飞, 贾志宽, 张鹏, 等. 秸秆覆盖对宁南旱作农田活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(03): 107-111, 117.

(上接第160页)

- [45] 孟康敏, 杨秀清, 潘文利, 等. 辽宁滨海盐碱地土壤改良及造林技术研究[J]. 林业科学, 1997, 33(1): 25-33.
- [46] 魏忠平, 范俊岗, 潘文利, 等. 小胡杨对滨海苏打盐渍土改良效果研究[J]. 防护林科技, 2012, (3): 14-16.
- [47] 高彦花, 张华新, 杨秀艳, 等. 耐盐碱植物对滨海盐碱地的改良效果[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(8): 43-46.
- [48] 郝金标, 邢尚军, 宋玉民, 等. 黄河三角洲不同造林模式下土壤盐分和养分的变化特征[J]. 林业科学, 2007, 43(1): 33-38.
- [49] 房用, 姜楠南, 梁玉. 黄河三角洲盐碱地造林抑盐效应分析[J]. 北方园艺, 2008, (4): 180-183.
- [50] 胡海波, 梁珍海, 康立新, 等. 泥质海岸防护林改善土壤理化性能的研究[J]. 南京林业大学学报, 1994, 18(3): 13-18.
- [51] 龙斯曼. 滨海沙地木麻黄林的生产效率和生态效率[J]. 林业科技通讯, 1987, (9): 3-6.
- [52] 孙彭力. 黄河三角洲滨海盐渍土的形成及改良利用[J]. 山东师大学报, 1993, 8(4): 19-22.
- [53] 张立宾, 刘玉新, 张明兴. 星星草的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果研究[J]. 山东农业科学, 2006, (4): 40-42.
- [54] 刘玉新, 谢小丁. 耐盐碱植物对滨海盐渍土的生物改良试验研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2007, 38(2): 183-188.
- [55] 李澜涛, 刘成玉, 顾卫, 等. 渤海海冰淡化利用研究进展与问题[J]. 海洋通报, 2012, 31(1): 105-112.
- [56] 张福信, 吴伟, 范庆明, 等. 黄河三角洲地区“上农下渔”的研究和示范成果[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(14): 4367-4369.
- [57] 张国明, 张峰. 开发海冰水资源及改良滨海盐碱土的研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(23): 11139-11141.
- [58] 张国明, 史培军, 岳耀杰, 等. 环渤海地区滨海盐碱地不同排盐处理下的台田降盐效率[J]. 资源科学, 2010, 32(3): 436-441.
- [59] 张化, 王静爱, 徐品鸿, 等. 台田及海冰水灌溉利用对洗脱盐的影响研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(10): 1668-1665.
- [60] 林叶彬, 顾卫, 许映军, 等. 冬季咸水冰覆盖对滨海盐渍土的改良效果研究[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 18-25.
- [61] 张国明. 环渤海地区海冰水农业灌溉及综合利用试验研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2006.
- [62] 张化, 张峰, 岳耀杰, 等. 环渤海地区海冰水资源农业利用研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(6): 321-324.
- [63] 张国明, 张峰, 吴之正, 等. 不同盐质量浓度海冰水灌溉对土壤盐分及棉花产量的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(1): 72-75.
- [64] 张立宾, 徐化凌, 赵庚星. 碱蓬的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果[J]. 土壤, 2007, 39(2): 310-313.
- [65] 陶军, 顾卫, 许映军, 等. 蚯蚓资源在海冰水改良渤海湾滨海盐渍土壤中的应用前景[J]. 资源学报, 2010, 32(3): 465-471.