

黄土丘陵区不同农田类型土壤碳库管理指数分异研究

薛 蕙^{1,2}, 刘国彬^{1,2}, 卜书海³, 张昌胜^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 生命学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 以纸坊沟流域不同农田类型土壤为研究对象, 分析土壤有机碳、活性有机碳、非活性有机碳及碳库管理指数的演变特征。结果表明, 黄土丘陵区不同农田类型土壤碳库各组分含量差异较大, 其中活性有机碳是总有机碳的主要部分, 占总有机碳的 58.0% ~ 79.6%, 是碳库变化的主要因素。不同农田类型土壤有机碳、活性有机碳、非活性有机碳含量变化规律一致, 大棚菜地最高, 其次是川地、梯田和坝地、沟台地, 坡耕地最小。不同农田类型土壤碳库活度、活度指数、碳库指数和碳库管理指数差异明显, 变化规律相似, 相对于坡耕地, 各指数增加明显, 其中大棚菜地增幅最大, 其后从大到小依次是川地、梯田、坝地、沟台地, 表明其他几种农田类型经营管理较坡耕地更为科学。相关分析表明, 有机碳、活性有机碳、非活性有机碳、碳库指数、碳库管理指数与土壤主要肥力因子相关性密切, 可以作为该地区农田类型土壤肥力的监测指标因子。

关键词: 黄土丘陵区; 农田类型; 土壤活性碳库; 碳库管理指数

中图分类号: S156.93

文献标志码: A

文章编号: 1004-1389(2011)10-0192-04

Characteristics of Soil Carbon Management Index of Different Farmland Types in Hilly Loess Plateau

XUE Sha^{1,2}, LIU Guobin^{1,2}, BU Shuhai³ and ZHANG Changsheng^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

Yangling Shaanxi 712100, China; 3. College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China.)

Abstract: The soil samples of different farmland types in the typical erosion environment of Zhifanggou small watershed were regarded as study objects, and organic carbon, labile organic carbon, non-labile organic carbon and carbon management index were evaluated. The results showed that fraction of soil organic carbon in the different farmland types differed significantly. Labile organic carbon was the major part of the total organic carbon, accounting for 58.0%–79.6%. Organic carbon, labile organic carbon and non-labile organic carbon behaved similarly, the highest observation was in the greenhouse vegetable land, followed by plain field, terrace, dam land and gully land, and the lowest was the slope cropland. Soil carbon pool activity, activity index, carbon pool index and carbon management index in the different farmland types differed significantly and behaved similarly. Compared with the slope cropland, all the indexes increased drastically, the increase extent was the highest in greenhouse vegetable land, followed by plain field, terrace, dam land and gully land. The results suggested that compared to the slope cropland, other farmland types were managed more scientifically. Correlation analysis showed that soil organic carbon, labile organic carbon, non-labile organic carbon, carbon pool index, and carbon management index were significantly correlated with the fertility fac-

* 收稿日期: 2010-09-21 修回日期: 2011-07-21

基金项目: 西北农林科技大学 2009 年基本科研业务费青年项目资助计划(QN2009080); 国家自然科学基金(40801094); 国家重点基础研究发展规划(2007CB407205)。

第一作者: 薛 蕙, 男, 博士, 研究方向为微生物生态与恢复生态学。E-mail: xuesha100@163.com

tors, they could be considered as the indicators for monitoring the soil fertility of the local farmlands.

Key words: Hilly loess plateau; Farmland types; Soil active carbon pool; Carbon management index

黄土高原以其深厚的黄土层和严重的水土流失而闻名于世, 长期以来由于滥垦、滥伐和滥牧, 造成该地区坡耕地大量增加, 而这种不合理的土地经营方式也导致该区域生态系统的进一步恶化。近年来, 以实现区域生态系统健康发展为目标, 在该地区开展了一系列的生态治理研究, 逐步形成多种各具特色的水土保持型生态农业用地模式^[1]。其中土壤品质是评价这些模式生态经济效益的一个重要方面, 监测其变化方向、幅度和持续时间是农业土地管理的重要内容^[2-3]。土壤有机碳是土壤的重要组成部分, 是表征土壤肥力的一个重要参数, 在农田生态系统中发挥着重要的作用^[4], 其中具有移动快、稳定性差、易氧化、矿化的部分称为活性碳, 它对植物养分供应有最直接作用, 可以灵敏反映不同农业生产措施对土壤碳库和潜在生产力的影响, 指示土壤有机质的早期变化^[5-6]。土壤碳库管理指数(CPMI)是表征土壤管理措施引起土壤有机质变化的指标, 能够反映不同利用方式对土壤品质影响的程度^[7-8]。研究表明, 农业生产管理措施和土地利用方式引起土壤碳库的最初变化主要是活性碳部分^[9], 从而进一步对土壤碳库管理指数产生影响^[8, 10-11]。目前, 针对黄土丘陵区生态恢复过程中土壤碳库管理指数已有部分研究^[12], 但是对该地区不同农田类型土壤活性有机碳和碳库管理指数的研究相对较少, 本研究以纸坊沟流域不同类型农田土壤为研究对象, 分析土壤活性有机碳及其管理指数的分异特征, 旨在为该地区生态治理过程中土壤品质评价和农业可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省安塞县纸坊沟流域

(E109°13'46" ~ 109°16'03", N36°46'42" ~ 36°46'28"), 该区地形破碎, 沟壑纵横, 属黄土高原丘陵沟壑地貌, 暖温带半干旱季风气候, 海拔1010~1400 m, 年均温8.8℃, 年均降水量505.3 mm。土壤类型以黄土母质上发育而成的黄土正常新成土为主, 抗冲抗蚀能力差, 植被类型处于暖温带落叶阔叶林向干草原过渡的森林草原带。

1.2 样品采集及分析

在流域内按照不同农田类型的面积选择营造和管理方法相近, 土壤与成土母质类型相同的农田类型为样地(表1)。这些样地(除大棚外)水分来源主要是依靠天然降水, 所有作物秸秆以能源材料或者牲畜饲料形式被利用, 不还田, 根茬通过犁地挖掘等方式取出并就地焚烧还田。采样时避开施肥期和施肥点在各样地选取3个研究小区, 每小区之间间隔大于30 m, 在每个小区按“S”型选取6点, 用土钻取0~20 mm混合土样, 因为样方之间的距离超过了绝大多数土壤理化性质和微生物性质的空间依赖性^[13], 所以上述样方可以看作是重复。土壤样品带回室内充分混匀后风干、过1 mm和0.25 mm筛后测定土壤基本理化性质^[14], 全氮(TN)采用半微量凯氏法测定; pH值采用pH计测定[m(水): m(土)=2.5: 1]; 土壤全磷采用碳酸钠熔融-钼锑抗比色法; 速效磷用Olsen法; 速效钾用乙酸铵提取-火焰光度法; 有机碳(SOC)用重铬酸钾氧化外加加热法; 活性有机碳(LOC)采用高锰酸钾氧化法^[15-16]; 非活性有机碳含量(NLOC)为总有机碳和活性有机碳含量之差。

土壤碳库管理指数计算方法为^[17]: 碳库指数(CPI) = 样品全碳含量/参考土壤全碳含量; 碳库活度(A) = 活性碳含量/非活性碳含量; 碳库活度指数(AI) = 样品碳库活度/参考土壤碳库活度; 碳库管理指数(CPMI) = 碳库指数 ×

表1 样地基本特征

Table 1 Description of the sampling plots

农田类型 Farm land types	样地数/个 Number	土壤类型 Soil Type	作物 Vegetation
大棚 Greenhouse land	3	黄绵土 Loessial soil	西红柿黄瓜等 <i>Solanum lycopersicum</i> , <i>Cucumis sativus</i> Linn.
川地 Plain field	1	黄绵土 Loessial soil	玉米 <i>Zea mays</i> ssp. <i>mays</i> L.
梯田 Terrace	4	黄绵土 Loessial soil	玉米 <i>Zea mays</i> ssp. <i>mays</i> L.
坝地 Dam land	1	黄绵土 Loessial soil	玉米 <i>Zea mays</i> ssp. <i>mays</i> L.
沟台地 Gully land	1	黄绵土 Loessial soil	玉米 <i>Zea mays</i> ssp. <i>mays</i> L.
坡耕地 Slope cropland	2	黄绵土 Loessial soil	谷子 <i>Setaria italic</i> (L.)

碳库活度指数 $\times 100 = CPI \times AI \times 100$, 其中, 参考土壤为坡耕地土壤。

2 结果与分析

2.1 土壤有机碳、活性有机碳和非活性有机碳分异特征

由表 2 可见, 黄土丘陵区不同农田类型土壤碳库含量差异较大, 有机碳、活性有机碳、非活性有机碳含量分别为 2.45~15.2、1.40~11.96、1.09~3.08 $mg \cdot kg^{-1}$, 其中有机碳、活性有机碳变幅较大, 在不同农田类型中变化规律一致, 大棚菜地最高, 其次是川地、梯田和坝地、沟台地, 坡耕地最小, 非活性有机碳总体变幅不大, 和有机碳、活性有机碳变化相似。由于该地区的坡耕地有一定的坡度, 加之人为干扰, 表土侵蚀严重, 有机物质矿化加剧, 碳库含量很低; 不同的农田类型, 由于特殊的管理措施, 对碳组分的影响不同, 其中大棚菜地由于高投入高产出的经营模式, 土壤碳库增加明显。Blair 等^[5]研究表明, 土壤碳库的变化主要发生在活性碳库部分, 而苏静等^[18]研究碳库的变化主要是由于非活性有机碳含量的变化。本研究表明, 该地区农田土壤活性有机质是总有机碳的主要部分, 其占总有机碳的 58.0%~79.6%, 非活性有机碳占总有机碳的 20.5%~42.0%, 可以看出, 在该地区土壤碳库的变化主要是由于活性有机碳库的变化, 这和 Blair 等的研究结果相似。

2.2 土壤碳库活度、管理指数分异特征

不同农田类型土壤碳库活度和活度指数差异明显(表 2), 坡耕地碳库活度和碳库活度指数最小, 大棚菜地最高, 是坡耕地的 2.81 倍, 其后从大到小依次是川地、梯田、坝地、沟台地, 据此可知, 坡耕地的碳库活跃程度要低于其他几种农田类

型。由于微生物分解能力越低, 土壤品质越低, 而大棚菜地由于是高强度的耕作模式, 大量有机、无机肥料的施用, 土壤碳库活跃程度很高, 微生物分解能力很强, 故土壤品质要高于其他农田类型。

碳库指数和碳库管理指数是系统的、敏感的反映和监测土壤有机碳变化的指标, 能够反映土壤品质下降或更新的程度^[19-20], 较为全面和动态地反映外界条件影响碳库中各组分在量和质上的变化。其中碳库管理指数可以用来反映土壤经营和管理的科学性, 其值升高, 表明经营方式对土壤有培肥作用, 土壤性能向良性发展; 其值降低则表明土地经营措施使土壤肥力下降, 土壤性质向恶性方向发展, 即表明该措施是不科学的。相对于坡耕地, 其他农田类型碳库指数和碳库管理指数明显增加, 增幅从大到小依次为大棚菜地、川地、梯田、沟台地、坝地, 表明在该区域下坡耕地由于水土流失等原因导致土壤品质低下, 土壤经营和管理的科学性较低, 而其他几种农田类型管理相对更为科学, 其中大棚菜地由于高强度的经营和管理, 土壤品质明显改善。

2.3 土壤活性有机碳、碳库管理指数与养分的耦合关系

由表 3 可见, 有机碳、活性有机碳、非活性有机碳之间存在极显著相关性, 而且它们分别与碳库指数、碳库管理指数、全氮、碱解氮、全磷、速效磷和速效钾呈极显著相关; 碳库活度、活度指数、碳库指数和碳库管理指数之间具有极显著的相关性, 且和主要养分之间呈极显著正相关。综上所述, 土壤有机碳、活性有机碳、非活性有机碳、碳库指数和碳库管理指数与土壤肥力因子关系密切, 可以作为反映该地区农田类型土壤肥力的监测因子。

表 2 不同农田类型土壤活性有机碳及碳库管理指数分异特征($x \pm s$)

Table 2 Labile organic matter and carbon management index of different farmland type soils

样地 Plot	SOC/ (mg/kg)	LOC/ (mg/kg)	NLOC/ (mg/kg)	A	AI	CPI	CPMI
大棚 Greenhouse land	12.0 ± 2.65	9.55 ± 2.11	2.46 ± 0.54	3.882 ± 0.055	2.809 ± 0.040	4.584 ± 1.009	1287.7 ± 284.7
川地 Plain field	5.05 ± 0.09	3.50 ± 0.26	1.55 ± 0.23	2.258 ± 0.509	1.634 ± 0.366	1.927 ± 0.194	314.9 ± 33.64
梯田 Terrace	4.41 ± 1.47	2.99 ± 1.27	1.42 ± 0.27	2.106 ± 0.695	1.524 ± 0.499	1.683 ± 0.562	256.5 ± 156.6
坝地 Dam land	3.40 ± 0.42	2.25 ± 0.14	1.15 ± 0.34	1.957 ± 0.154	1.416 ± 0.139	1.298 ± 0.221	183.7 ± 18.82
沟台地 Gully land	3.59 ± 0.17	2.37 ± 0.41	1.22 ± 0.38	1.943 ± 0.163	1.406 ± 0.117	1.370 ± 0.260	192.6 ± 17.28
坡耕地 Slope cropland	2.62 ± 0.17	1.52 ± 0.18	1.10 ± 0.01	1.382 ± 0.175	1.000 ± 0.126	1.000 ± 0.064	100.0 ± 18.98

注: SOC. 有机碳; LOC. 活性有机碳; NLOC. 非活性有机碳; A. 碳库活度; AI. 碳库活度指数; CPI. 碳库指数; CPMI. 碳库管理指数。表 3 同。
 Note: SOC. Soil organic carbon; LOC. Labile organic carbon; NLOC. Non-labile organic carbon; A. Activity of carbon pool; AI. Activity index of carbon pool; CPI. Carbon pool index; CPMI. Carbon pool management index. The same as table 3.

表 3 土壤活性有机碳、碳库管理指数与养分因子相关性分析($n=12$)

Table 3 Correlation coefficient among labile organic matter and carbon management index and characteristics of soils

项目 Item	SOC	LOC	NLOC	A	AI	CPI	CPMI	TN	TN	TP	AP	AK
SOC	1.000	0.999*	0.981*	0.924*	0.998*	0.917*	0.996*	0.997*	0.989*	0.955*	0.969*	0.895*
LOC		1.000	0.973*	0.935*	0.998*	0.925*	0.998*	0.998*	0.989*	0.948*	0.969*	0.901*
NLOC			1.000	0.846*	0.975*	0.846*	0.962*	0.972*	0.970*	0.970*	0.948*	0.836*
A				1.000	0.923*	0.991*	0.934*	0.924*	0.916*	0.785*	0.853*	0.928*
AI					1.000	0.907*	0.996*	0.996*	0.985*	0.953*	0.969*	0.892*
CPI						1.000	0.921*	0.914*	0.915*	0.779*	0.842*	0.922*
CPMI							1.000	0.995*	0.982*	0.943*	0.976*	0.911*

注: * 表示相关性达显著水平($P < 0.05$), ** 表示相关性达极显著水平($P < 0.01$); TN. 全氮; AN. 速效氮; TP. 全磷; AP. 速效磷; AK. 速效钾。
Note: Correlation coefficient labeled by * and ** indicate significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ respectively. TN. Total N; AN. Available N; TP. Total P; AP. Available P; AK. Available K.

3 结论

黄土丘陵区不同农田类型土壤碳库各组分含量、碳库活度、碳库管理指数差异较大, 其中活性有机碳占总有机碳的 58.0% ~ 79.6%, 是碳库变化的主要部分。土壤有机碳、活性有机碳、非活性有机碳含量变化规律相似, 各组分以大棚菜地最高, 其次是川地、梯田和坝地、沟台地, 坡耕地最小。不同农田类型土壤碳库活度、活度指数、碳库指数和碳库管理指数变化规律相似, 较坡耕地各指数增加明显, 增幅从大到小依次是大棚菜地、川地、梯田、坝地、沟台地, 表明其他几种农田类型经营管理相对更为科学。相关性分析表明, 有机碳、活性有机碳、非活性有机碳、碳库指数、碳库管理指数与土壤主要肥力因子相关性密切, 可以作为该地区农田类型土壤肥力的监测指标因子。

参考文献:

- [1] 戴全厚, 刘国彬, 刘普灵, 等. 黄土丘陵区中尺度生态经济系统健康评价方法探索[J]. 中国农业科学, 2005, 38(5): 990-998.
- [2] Hartemink E A. Soil chemical and physical properties as indicator of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea [J]. Geoderma, 1998, 85(4): 283-306.
- [3] Wang X, Gong Z. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China [J]. Geoderma, 1998, 81(3): 339-355.
- [4] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security [J]. Science, 2004, 304: 1623-1627.
- [5] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development to carbon management index for agricultural systems [J]. Aust J Agric Res, 1995, 46: 1459-1466.
- [6] 沈宏, 曹志红, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应 [J]. 生态学杂志, 1999, 18(3): 32-38.
- [7] Lefroy R D B, Blair G J, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ^{13}C natural isotope abundance [J]. Plant Soil, 1993, 155/156(5): 399-402.
- [8] 沈宏, 曹志洪. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响 [J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 165-173.
- [9] Dalal R C, Mayer R J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. Loss of organic carbon from different density fractions [J]. Aust J Soil Res, 1986, 24: 301-309.
- [10] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 459-465.
- [11] 李琳, 李素娟, 张海林, 等. 保护性耕作下土壤碳库管理指数的研究 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 106-109.
- [12] 薛蕊, 刘国彬, 潘彦平, 等. 黄土丘陵区人工刺槐林土壤活性有机碳与碳库管理指数演变 [J]. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1458-1464.
- [13] Marriott C A, Hudson G, Hamilton D, et al. Spatial variability of soil total C and N and their stable isotopes in upland Scottish grassland [J]. Plant Soil, 1997, 196(1): 151-162.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1999.
- [15] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 土壤活性有机质的研究进展 [J]. 土壤肥料, 2000(6): 3-7.
- [16] Hu S J, Van Bruggen A H C, Grunwald N J. Dynamics of bacterial population in relation to carbon availability in a residue amended soil [J]. Applied Soil Ecology, 1999, 13: 21-30.
- [17] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化 [J]. 土壤学报, 2006, 43(5): 723-729.
- [18] 苏静, 赵世伟, 马继东, 等. 宁南黄土丘陵区不同人工植被对土壤碳库的影响 [J]. 水土保持研究, 2005, 12(3): 50-52.
- [19] 张付申. 长期施肥条件下壤吐和黄绵土有机质氧化稳定的研究 [J]. 土壤肥料, 1996(6): 32-41.
- [20] 沈宏, 曹志洪, 王志明. 不同农田生态系统土壤碳库管理指数的研究 [J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 206-211.