

黄土丘陵区不同土地利用下土壤碳组分及 碳库管理指数特征

张娇阳¹, 梁楚涛², 董昌平³, 辛奇¹, 薛蕙^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所

黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 重庆市渝北区华蓥山林场, 重庆 渝北 401120)

摘要:采用野外和室内分析相结合的方法,研究了黄土丘陵区基于坡耕地改造或演变的7种土地利用方式的土壤碳组分及碳库各指数的变化。结果表明:与坡耕地相比,其余土地利用方式均能提高土壤碳固持能力,增加土壤碳组含量、土壤碳库指数(CPI)和碳库管理指数(CPMI),其中有机碳(TOC)、活性有机碳(LOC)及非活性有机碳(NLOC)含量分别较坡耕地增加了42%~125%,36%~136%和31%~161%,总的来说天然灌木林和人工乔木林的改善作用最强。不同土地利用方式下LOC/TOC为46.00%~57.29%,活度(A)为0.87~1.44,其中果园、天然灌木林和梯田的活度最高。土壤碳组分、碳库管理指数和主要化学指标间具有显著的相关性,表明不同土地利用方式对土壤碳固持能力的影响。

关键词:黄土丘陵区; 土壤碳组分; 土地利用方式

中图分类号:S153.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)04-0066-04

Characteristics of Soil Carbon Components and Carbon Pool Management Indices in Different Land Uses in Loess Hilly Region

ZHANG Jiaoyang¹, LIANG Chutao², DONG Changping³, XIN Qi¹, XUE Sha^{1,2}

(1. College of Resources and Environment Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi, 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Huayingshan Forest Farm in Yubei District of Chongqing, Chongqing 401120, China)

Abstract: By means of field and indoor analysis, the change of soil carbon components and carbon pool indices of 7 kinds of land use patterns in the loess hilly region were studied. The results show that the rest of the land use patterns can improve soil carbon sequestration capacity, increase the contents of soil carbon components and soil carbon pool index (CPI) and carbon pool management index (CPMI) compared with sloping farmland; the content of total organic carbon (TOC), labile organic carbon (LOC) and non-active organic carbon (NLOC) increased by 42%~125%, 36%~136% and 31%~161%, respectively, compared with the sloping cropland. In general, the improvement of natural shrubs and artificial trees is the best. The ratios of LOC to TOC in different land use patterns range from 46.00% to 57.29%, and activity (A) is between 0.87 and 1.44. The orchard, natural shrub forest and terrace have the highest A. There is the significant correlation between soil carbon, carbon pool management indices and main chemical indices, which can reflect the influence of different land uses on soil carbon sequestration capacity.

Keywords: loess hilly region; soil carbon component; land use type

土壤碳库作为陆地生态系统最大的有机碳库^[1], 土壤的重要组成成分,与土壤理化及生物学性质有直接关系,是表征土壤肥力的重要参数。根据稳定性可

收稿日期:2015-11-25

修回日期:2015-12-04

资助项目:科技基础性工作专项“(黄土高原生态系统与环境变化考察”(2014FY210100);国家科技支撑计划“黄土丘陵区退化生态修复技术研发与示范—陕北水蚀区植被功能调控技术与示范”(2015BAC01B03);中科院西部青年学者项目(XAB2015A05);陕西省科学技术研究发展计划(2011KJXX36)

第一作者:张娇阳(1989—),女,河南驻马店人,硕士,研究方向:微生物生态。E-mail:zhangjiaoyang@nwsuaf.edu.cn

通信作者:薛蕙(1978—),男,陕西西安人,博士,副研究员,研究方向:微生物生态。E-mail:xuesha100@163.com

将土壤有机碳分为活性、慢性和惰性几部分。其中活性碳部分,移动快,稳定性差,易氧化、矿化且对植物养分有直接供应作用^[2],尽管其占全碳的比例很小,但在调节土壤碳素转化和养分流方面起着重要作用,比有机质能更准确、更灵敏地反映土壤肥力和物理性状的变化,是土壤碳代谢的关键和动力,紧密联系着土壤肥力、土壤质量及碳库平衡^[3]。在此基础上,Lefroy等^[4]提出的土壤碳库管理指数的概念,包含了人为影响下土壤碳库指标(CPI)和碳库活度(A)两方面的内容,该概念不仅能说明外界对土壤有机质数量的变化的影响,而且可以反映活性有机碳数量的变化和不同利用方式对土壤质量影响的程度^[5]。

土地利用方式的改变会通过对土壤微生物以及有机质数量与质量的影响^[6],间接影响到土壤有机质的累积与分解速率^[7],从而引起土壤有机碳库发生相应的变化。有研究估测在1850—1998年,因土地利用方式和耕作方式变化排放到大气中的碳含量估计在 136 ± 55 Pg,基本是化石燃料燃烧释放碳含量(270 ± 30 Pg)的一半,而土地利用方式改变释放的碳中,有57.4%来自于土壤有机碳^[8]。由此可见分析土地利用方式变化对土壤碳汇的影响具有极其重要的意义。目前不同土地利用方式对土壤碳库影响的研究多集中在土地利用方式对土壤总有机碳的影响^[9],部分涉及了土壤碳组分及碳库管理指数的影响,但是结论差异较大^[10-14],因此本文通过对黄土丘陵区不同土地利用方式下土壤有机碳组分差异的比较及碳库管理指数影响因素的分析,为该区土地利用的合理性评价及土壤碳素循环提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区设在中国科学院安塞水土保持试验站纸坊沟流域($109^{\circ}13'46''$ — $109^{\circ}16'03''$ E, $36^{\circ}46'42''$ — $36^{\circ}46'28''$ N),该流域位于陕西省安塞县,这一区域地形破碎,沟壑纵横,属黄土丘陵沟壑区,暖温带半干旱季风气候,海拔1 010~1 400 m,流域面积为8.27 km²。年均气温8.8℃,≥0℃的积温3 733.5℃,干燥度1.5,无霜期157~194 d。年均降水量542.5 mm,但分布不均,7—9月三个月降雨量占年降雨量的61.1%,且多暴雨,年均蒸发量为1 463 mm。土壤类型以黄土母质发育而成的黄绵土为主,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,天然林已遭破坏;乔木以刺槐和小叶杨(*Populus simonii*)等为主;灌丛主要有柠条和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等人工林灌丛以及封禁后形成的黄刺玫

(*Rosa xanthina*)、狼牙刺(*Sophora viciifolia*)等天然灌丛;草本植物主要为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芡蒿(*Artemisia giraldii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)等。

1.2 样地选择和样品采集

在流域内按照土地利用方式选择44个研究样地,包括坡耕地3个、梯田4个、人工草地3个、撂荒草地10个、果园7个、天然灌木地4个、人工灌木地5个和人工乔木林8个。在各试验样地按S型选取6点,用土钻法取0—20 cm混合土样,3次重复,风干后过1 mm和0.25 mm筛后测定土壤基本理化性质和活性有机碳^[15]。全氮(TN)用半微量凯氏法测定;pH(水:土=2.5:1)值用pH计测定;土壤全磷用碳酸钠熔融—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;总有机碳用重铬酸钾氧化外加热法;活性有机碳(LOC)采用高锰酸钾氧化法^[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如下,其中以坡耕地土壤为参考土壤:

碳库指数(CPI)=样品全碳含量(mg/g)/参考土壤全碳含量(mg/g)

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×碳库活度指数
×100=CPI×AI×100

1.3 数据处理

所测数据采用Microsoft Excel 2007和SPSS 18.0软件进行统计分析,多重比较采用Duncan法。

2 结果与分析

2.1 土壤碳组分含量分异特征

土壤有机碳含量是评价土壤质量的一个重要指标,直接影响着土壤的肥力水平,不同土地利用方式下的管理措施和凋落物输入量与特性的差异会导致土壤有机碳及其组分积累的差异性^[17]。图1说明不同土地利用方式对土壤有机碳组分影响显著。相对于坡耕地,TOC含量呈现不同程度升高,增幅为42%~125%,由大到小依次为:人工乔木林>天然灌木地>人工灌木地>梯田>撂荒草地>人工草地>果园>坡耕地,其中天然灌木地和人工乔木林增幅达到显著水平。不同土地利用方式下LOC含量为1.37~3.23 g/kg,大小依次为天然灌木地>人工灌木地>人工乔木林>梯田>果园>撂荒草地>人工草地>坡耕地,相对于坡耕地增幅达36%~136%,仅天然灌木地增幅

达到显著水平。NLOC 含量变化范围为 1.26~3.27 g/kg, 大小依次为人工乔木林>人工灌木地>天然灌木地>撂荒草地>梯田>人工草地>果园>坡耕地, 各土地利用方式较坡耕地增加了 31%~161%, 仅人工乔木林地和人工灌木林增幅达到显著水平。

黄土丘陵区地形破碎, 土壤侵蚀严重, 坡耕地由于人为耕作活动等的干扰, 表土侵蚀严重, 有机物质矿化加剧, 土壤有机碳及其各碳组分含量很低。坡耕地改造为梯田和果园后降低了坡度, 减少了水土流失, 促进了有机碳的积累。人工草地虽然大量的地上生物量被转移走, 但是地下生物量被保留下来, 加之不像坡耕地那样的耕作方式, 有效地减少了对土壤的扰动, 降低了土壤矿化速率, 因此有助于土壤碳库的积累。撂荒草地、灌木林和乔木林生态系统受人为耕作活动的干扰较小, 并且每年有大量的枯枝落叶等返回到生态系统中, 这些枯枝落叶不仅能拦截地表水流, 防止地表水土流失, 而且死地被物的积累与分解, 使得碳库输入增加, 从而提高了土壤有机碳及其组分的含量。在本研究中仅人工乔木林和天然灌木地的增幅达到显著水平, 这主要是由于本研究所选样地在利用时间跨度上差异较大, 增加了有机碳及其组分的变幅, 从而降低了方差分析的灵敏性。

2.2 土壤活性有机碳占总有机碳的比例

土壤活性有机碳占土壤总有机碳的比例(LOC/TOC)和碳库活度(A)更能体现土壤活性碳库的状况, 土壤有机碳中活性有机碳所占的比例越高, 说明土壤碳的活性越大, 稳定性越差, 有机碳越易于被微生物分解和被植物吸收利用, 碳库活度和质量也就越高^[12,18]。不同土地利用方式对土壤 LOC/TOC 影响显著, LOC/TOC 为 46.00%~57.29%(表 1), 高低顺序依次为果园>天然灌木地>梯田>坡耕地>人工灌木地>人工草地>撂荒草地>人工乔木林, 其中果园、天然灌木地显著高于撂荒草地和人工乔木林。

本研究中 LOC/TOC 维持在一个较高的比例(46.00%~57.29%), 该值远高于我国其他地区的研究结果^[13,18-21], 据此推测该区域土壤整体有机质含量较低, NLOC 与 LOC 需要处于一种高速周转的动态平衡之中来实现土壤 TOC 维持较高的活性, 从而利于微生物分解和被植物吸收利用, 满足植物生长需要。与对照坡耕地相比, 果园、天然灌木地及梯田土壤碳库的活性有增大趋势, 而其余几个土地利用方式有降低趋势, 说明除过天然灌木地外, 人为干扰较少的土地利用方式有利于降低土壤碳库活性, 促进土壤碳库的持留和贮存, 而人为干扰较多的土地利用不利于土壤碳库的持留和贮存。

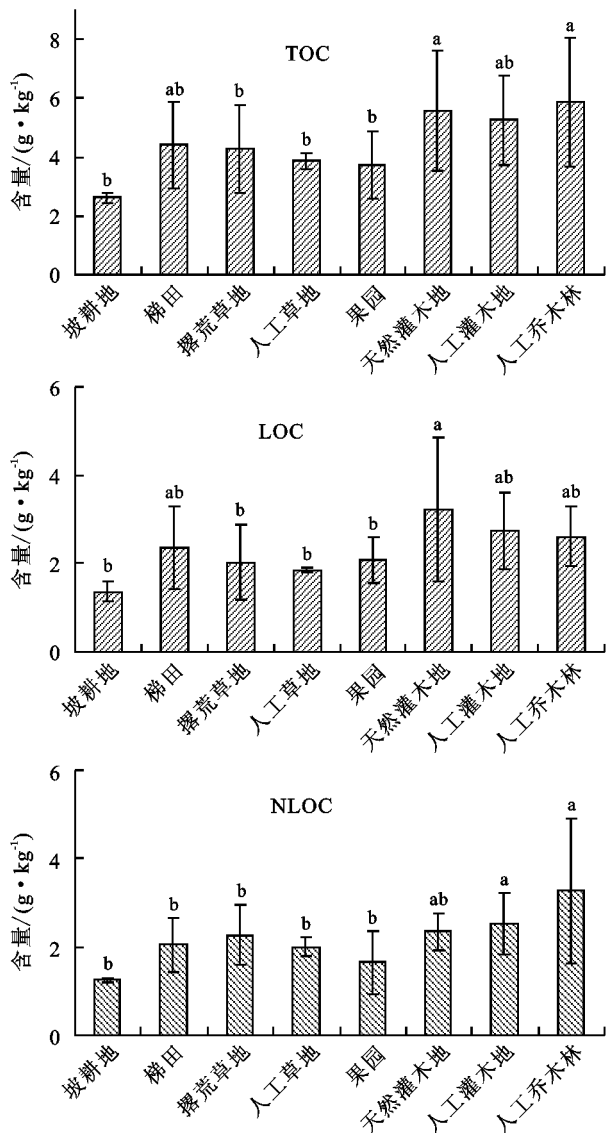


图 1 不同土地利用方式下土壤碳组分含量

2.3 土壤碳库管理指数

土地利用方式对 A 和 AI 影响显著, 其中 A 大小依次为果园>天然灌木地>梯田>坡耕地>人工灌木地>人工草地>撂荒草地>人工乔木林, 其中果园、天然灌木地和梯田显著高于人工乔木林、人工草地和撂荒草地(表 1)。天然灌木林、果园的 AI 最高, 显著高于其余土地利用方式, 人工乔木林和撂荒草地 AI 最低, 和坡耕地、人工灌木林和人工草地没有显著差异, 但是显著低于梯田(表 1)。

CPI 和 CPMI 是系统的、敏感的反映和监测土壤有机碳变化的指标, 可以有效地表示土壤质量和土壤肥力状况, 被用来指示不同土地管理措施对土壤质量, 尤其是土壤碳库的影响^[5], 其值升高, 表明土壤经营和管理越合理, 土壤性能向良性发展, 其值降低则表明土地经营措施不科学, 土壤性质向恶性方向发展。相对于坡耕地, 不同利用方式的 CPI 和 CPMI 呈增加趋势, 增幅分别达 43%~115% 和 42%~

192%,其中 CPI 仅人工乔木林增幅达到显著水平,增幅依次为人工乔木林>人工灌木地>梯田>撂荒草地>人工草地>果园>天然灌木地,CPMI 仅天然灌木林增幅达到显著水平,增幅依次为天然灌木地>梯田>果园>人工灌木地>人工草地>人工乔木林>撂荒草地(表 1)。

因此,相对于坡耕地,不同土地利用方式 CPMI 和 CPI 明显增大,表明在水土流失严重的黄土丘陵区,坡耕地由于人为干扰和自然干扰(如水土流失)使其土壤性能向恶性发展,土壤经营和管理不合理,而改变为其他土地利用方式后,一方面增加了土壤碳输入的来源,另一方面减少了侵蚀导致的碳源流失,从

而促进了土壤碳的固存,使土壤性能向良性发展,与前人研究结果相似。

2.4 土壤碳组分及碳库管理指数与土壤化学的相关性分析

对土壤碳组分、碳库管理指数与土壤主要化学因子进行相关性分析,结果表明(表 2),土壤有机碳组分间均存在极显著正相关,与除速效 P 外的其他指标,均存在显著或极显著关系。A 与 AI 都能和 LOC 达到显著性水平,但与土壤其他指标间的相关性未达到显著水平。CPI 与土壤碳不同组分、主要化学指标都达到了显著或极显著性水平,CPMI 和除全 P、速效 P 外的其他指标相关性显著。

表 1 不同土地利用方式土壤碳组分含量及碳库各指数

土地类型	活性有机碳/ 有机碳 LOC/TOC/%	碳库活度 (A)	碳库活度指数 (AI)	碳库指数 (CPI)	碳库管理指数 (CPMI)
坡耕地	52.00ab	1.09±0.21ab	1.00±0.00bc	1.00±0.00b	100.00±0.00b
梯田	52.75ab	1.16±0.28a	1.23±0.29b	1.76±0.59ab	220.92±105.13ab
撂荒草地	46.20b	0.88±0.14b	0.70±0.11c	1.57±0.55b	113.81±54.97b
人工草地	48.00ab	0.93±0.06b	0.99±0.07bc	1.55±0.11b	152.16±0.40b
果园	57.29a	1.44±0.55a	1.53±0.58a	1.49±0.46b	213.20±55.93ab
天然灌木地	55.50a	1.33±0.49a	1.86±0.68a	1.43±0.52b	291.87±208.89a
人工灌木地	51.60ab	1.09±0.16ab	0.87±0.13bc	1.91±0.55ab	168.88±60.36b
人工乔木林	46.00b	0.87±0.18b	0.70±0.14c	2.15±0.80a	142.41±37.58b

注:表中数值均为均值±标准差 SD,同一列不同字母表示差异显著水平($p<0.05$)。

表 2 不同土地利用方式土壤碳组分、碳库各管理指数与土壤肥力指标相关性分析

	有机碳 TOC	活性有 机碳 LOC	非活性有 机碳 NLOC	碳库活度 A	碳库活度 指数 AI	碳库 指数 CPI	碳库管理 指数 CPMI	全 N	碱解 N	全 P	速效 P	速效 K
TOC	1.000	0.628**	0.888**	0.281	0.320*	0.778**	0.812**	0.301	0.783**	0.262	0.234	0.729**
LOC		1.000	0.915**	-0.390*	-0.339*	0.915**	0.170*	0.352*	0.881**	0.355*	0.244	0.438**
NLOC			1.000	-0.085	-0.035	0.943**	0.521**	0.364*	0.926**	0.346*	0.265	0.636**
A				1.000	0.922**	-0.161	0.658**	-0.128	-0.149	-0.288	-0.095	-0.253
AI					1.000	-0.185	0.764**	-0.075	-0.124	-0.221	-0.029	-0.298
CPI						1.000	0.399**	0.366*	0.890**	0.416**	0.393**	0.581**
CPMI							1.000	0.154*	0.392*	0.141	0.269	0.636**

注:表中*表示相关性达显著水平($p<0.05$),**表示达极显著水平($p<0.01$)。

3 结 论

黄土丘陵区不同土地利用方式对土壤有机碳及其组分影响显著,土壤 LOC/TOC 为 46.00%~57.29%,坡耕地由于不合理的土地经营管理导致土壤碳固持能力较弱,其他土地利用方式能够增加土壤碳固持能力,提升土壤有机碳含量及其组分含量,促进土壤性能向着良性发展,但是不同土地利用方式的改善作用不同,总体来说天然灌木地和人工乔木林改善作用最强。

参考文献:

[1] Batjes N H. The total C and N in soils of the world[J]. European Journal Soil Science,1996,47(2):151-163.
[2] 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.
[3] 王清奎,汪思龙,冯宗炜,等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. 生态学报,2005,25((3)):513-519.
[4] Lefroy R D B, Blair G J, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ¹³C natural isotope bundance [J]. Plant Soil,1993,155/156(5):399-402.
[5] 沈宏,曹志洪,徐志红. 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(5):166-173.
[6] Templer P H, Gmffman P M, Flecker A S, et al. Land use change and soil nutrient transformations in the Los Haitisos region of the Dominican Republic[J]. Soil Biology & Biochemistry,2005,37(2):215-225.

- 来的冰川变化研究[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 234-244.
- [7] 盛文坤, 王宁练. 唐古拉山冬克玛底冰川作用区的水化学特征[J]. 冰川冻土, 1996, 18(3): 235-243.
- [8] 张家诚, 林之光. 中国气候[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [9] 戴加洗. 青藏高原气候[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [10] 卢爱刚, 熊友才. 全球气候变化背景下近五十年中国湿度区域变化趋势[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 141-143.
- [11] 冀琴, 杨太保, 李霞. 念青唐古拉山东段八盖乡地区近40年冰川与气候变化研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(2): 306-310.
- [12] 李成秀, 杨太保, 田洪阵. 1990—2011年西昆仑峰区冰川变化的遥感监测[J]. 地理科学进展, 2013, 32(4): 548-559.
- [13] 许君利, 张世强, 上官冬辉. 30a来长江源区冰川变化遥感监测[J]. 干旱区研究, 2013, 30(5): 919-926.
- [14] 吴珊珊, 姚治君, 姜丽光, 等. 现代冰川体积变化研究方法综述[J]. 地球科学进展, 2015, 30(2): 237-246.
- [15] Wang Z T, Liu C, You G, et al. Glacier Inventory of China I, Qilian Mountains[J]. Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Academia Sinica, 1981: 59-119.
- [16] 施雅风, 黄茂桓, 任炳辉. 中国冰川概论[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [17] Bolch T, Menounos B, Wheate R. Landsat-based inventory of glaciers in western Canada, 1985—2005[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(1): 127-137.
- [18] 李生辰, 李栋梁, 赵平, 等. 青藏高原“三江源地区”雨季水汽输送特征[J]. 气象学报, 2009(4): 591-598.
- [19] 吕卉, 杨太保, 田洪阵. 北阿尔泰山近30年冰川变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(010): 69-76.
- [20] 周文明, 李志伟, 李佳, 等. 1992—2009年格拉丹东冰川及冰前湖面积变化的遥感研究[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2014(10): 3505-3512.
- [21] 姚檀栋, 刘时银, 蒲健辰, 等. 高亚洲冰川的近期退缩及其对西北水资源的影响[J]. 中国科学: D辑, 2004, 34(6): 535-543.
- [22] Vincent C, Le Meur E, Six D, et al. Solving the paradox of the end of the Little Ice Age in the Alps[J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32: L09706.
- [23] Zemp M, Haeberli W, Hoelzle M, et al. Alpine glaciers to disappear within decades[J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33: L13504.
- [24] 怀保娟, 李忠勤, 孙美平, 等. 近50年黑河流域的冰川变化遥感分析[J]. 地理学报, 2014, 69(3): 365-377.
- [25] 段建平, 王丽丽, 任贾文, 等. 近百年来中国冰川变化及其对气候变化的敏感性研究进展[J]. 地理科学进展, 2009, 28(2): 231-237.
- [26] 郑新江, 李猷洲. 夏季青藏高原水汽输送特征[J]. 高原气象, 1997, 16(3): 274-281.

(上接第69页)

- [7] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, et al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review[J]. Soil Sci., 2000, 165(4): 277-304.
- [8] IPCC. Land use, land use change and forestry: summary for policy makers. IPCC special report[R]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Washington, DC, 2000.
- [9] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential[J]. Global Change Biology, 2000, 6(3): 317-327.
- [10] 安娟娟, 陈少锋, 赵发珠, 等. 不同人工植被下土壤活性有机碳及碳库管理指数变化[J]. 农业环境科学报, 2014, 33(5): 985-991.
- [11] 郭宝华, 范少辉, 杜满义, 等. 土地利用方式对土壤活性碳库和碳库管理指数的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(3): 723-728.
- [12] 邱莉萍, 张兴昌, 程积民. 土地利用方式对土壤有机质及其碳库管理指数的影响[J]. 中国环境科学, 2009, 29(1): 84-89.
- [13] 唐国勇, 李昆, 孙永玉, 等. 土地利用方式对土壤有机碳和碳库管理指数的影响[J]. 林业科学研究, 2011, 24(6): 754-759.
- [14] 徐鹏, 江长胜, 郝庆菊, 等. 缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数还有的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(10): 4009-4016.
- [15] 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, 1999.
- [16] 徐明岗, 于荣, 王伯人. 土壤活性有机质的研究进展[J]. 土壤肥料, 2000(6): 3-7.
- [17] 戴全厚, 刘国彬, 薛莲, 等. 不同植被恢复模式对黄土丘陵区土壤碳库及其管理指数的影响[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 61-64.
- [18] 韩新辉, 佟小刚, 杨改河, 等. 黄土丘陵区不同退耕还林地土壤有机碳库差异分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 223-229.
- [19] 王淑平, 周广胜, 高素华, 等. 中国东北样带土壤活性有机碳的分布及其对气候变化的响应[J]. 植物生态学报, 2003, 27(6): 780-786.
- [20] 吴建国, 张小全, 徐德应. 六盘山林区几种土地利用方式下土壤活性有机碳的比较[J]. 植物生态学报, 2004, 28(5): 618-622.
- [21] 曾从盛, 钟春棋, 仝川, 等. 土地利用变化对闽江河口湿地表层土壤有机碳含量及其活性的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 125-129.