

# 黄土丘陵区坡改梯田土壤碳库组分演变特征<sup>\*</sup>

张超<sup>1</sup>, 刘国彬<sup>1,2</sup>, 薛蕙<sup>1</sup>, 余娜<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 3. 贵州大学, 贵阳 550025)

**摘要:**采取时空互代法,以黄土丘陵区不同年限坡耕地改造梯田为研究对象,选取坡耕地为对照,分析了土壤碳库组分的变化过程。结果表明:坡耕地改造梯田后,土壤碳库组分变化显著,并随改造年限呈线性增加,30年后,土壤有机碳(TOC)、重铬酸钾易氧化态碳(EOC<sub>1</sub>)、高锰酸钾易氧化态碳(EOC<sub>2</sub>)、水溶性有机碳(DOC)、热水浸提有机碳(HWOC)、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>浸提有机碳(C<sub>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>)、碳水化合物(CHO)以及微生物量碳(MBC)较坡耕地增幅分别达146%、213%、196%、97%、246%、240%、234%和134%。相关性分析表明:TOC、EOC<sub>1</sub>、EOC<sub>2</sub>、DOC、HWOC、CHO和MBC与土壤主要肥力因子相关性显著,可以作为坡耕地改造梯田中土壤质量的评价指标。研究表明,侵蚀环境下的坡耕地由于受到人为活动的干扰,土壤碳库含量较低,而坡耕地改造成梯田可以提高土壤碳库各组分含量,改善土壤质量。

**关键词:**碳库组分; 坡耕地; 梯田; 黄土丘陵区

**中图分类号:**S157.31;S153.61

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2010)01-0020-04

## Evolution of Soil Carbon Fraction after Slope Cropland Changed into Terrace in Loess Hilly Region

ZHANG Chao<sup>1</sup>, LIU Guo-bin<sup>1,2</sup>, XUE Sha<sup>1</sup>, YU Na<sup>2</sup>

(1. Forestry College, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation Chinese Academy of Sciences & Ministry of Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Terraces at different years in loess hilly region was chosen as subject to reveal changes in soil carbon fraction after slope cropland changed into terraces and the slope cropland was used as reference. The results showed that after slope cropland changed into terraces, the content of soil carbon fraction increased linearly and 30 years later, TOC, EOC<sub>1</sub>, EOC<sub>2</sub>, DOC, HWOC, C<sub>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>, CHO and MBC, respectively, increased by 146%, 213%, 196%, 97%, 246%, 240%, 234% and 134% compared to slope cropland. Moreover, correlation analysis showed that TOC, EOC<sub>1</sub>, EOC<sub>2</sub>, DOC, HWOC, CHO and MBC significantly correlated with soil main fertility factors, they can be used as indicators to assess soil quality during slope cropland changed into terraces. It can be concluded that slope cropland changed into terrace can improve content of soil carbon fraction and soil quality which was poor in slope cropland under erosive environment owing to human cultivation activities.

**Key words:** carbon fraction; slope cropland; terrace; loess hilly region

土壤有机碳是土壤碳库的重要组成部分,是生物圈内有机碳的主要来源,它在陆地生态系统的发育和运行等方面均起着极其重要的作用<sup>[1]</sup>。土壤活

性有机碳是指土壤中移动快、稳定性差、易氧化矿化,并对植物和土壤微生物活性较高的那部分有机态碳<sup>[2]</sup>,这些有机碳只占土壤有机碳的较小部分,但

\* 收稿日期:2009-10-26

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2007CB407205);中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-05);国家自然科学基金(40801094)

作者简介:张超(1985-),男,硕士研究生,主要从事微生物生态与恢复生态学。E-mail: zhangchaolynn@163.com

通信作者:薛蕙(1978-),男,助理研究员,主要从事微生物生态与恢复生态学。E-mail: xuesha100@163.com

它们可以在土壤全碳变化之前反映土壤微小的变化,又直接参与土壤生物化学转化过程<sup>[3]</sup>,它们也是土壤微生物活动能源和土壤养分的驱动力,它是评价土壤化学、生物化学肥力保持的重要指标<sup>[4]</sup>。因此通过对土壤活性碳库的研究,可以清楚地认识该生态过程中土壤质量的变化规律。

黄土高原丘陵区由于长期不合理的耕作方式,自然植被遭到破坏,不仅造成土地表土流失,耕地减少,生存环境恶化,还导致土地生产能力下降<sup>[5]</sup>。近年来随着生态建设和退耕还林等生态工程的开展,该区的生态环境得到了极大的改善,土壤水分、养分等因素都得到了显著提高。坡耕地改造梯田作为黄土高原植被恢复与重建的重要措施之一,不仅能够有效地控制水土流失,提高土壤质量,还可以保持该地区农业生产,实现经济与生态的协调健康发展。目前,针对该地区坡改梯田过程中土壤因子的变化虽有一定研究,但大多都集中在土壤水分<sup>[6-7]</sup>、理化性质<sup>[8]</sup>以及集流减沙<sup>[9]</sup>等方面,对于土壤碳库的变化研究较少。因此本文以坡耕地改造后不同年限的梯田为研究对象,旨在从土壤碳库方面去探讨黄土高原丘陵区生态恢复过程中土壤碳库的演变规律,从而为该地区土壤质量评价和优化管理提供科学理论依据。

## 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小流域(109° 13 46' - 109° 16 03' E, 36° 46' 42" - 36° 46' 28" N),海拔 1 100~1 400 m,流域面积 8 127 km<sup>2</sup>,属黄土丘陵沟壑区第 2 副区,暖温带半湿润气候向半干旱气候过渡地区,年日照时间 2 415.6 h,年辐射量 552.7 kJ/cm<sup>2</sup>,年平均气温 8.8℃, 0℃ 积温 3 733.5℃·h, 10℃ 积温 3 113.9℃·h,无霜期 157~194 d。年平均降雨量 505.3 mm,分布不均,7-9 月份降雨量占年降雨量的 61.1%,且多暴雨。该区地形破碎,沟壑纵横,属黄土高原丘陵沟壑地貌,植被属于暖温带落叶阔叶林区向暖温带草原区过渡的森林草原植被。土壤类型以黄土母质上发育而成的黄绵土为主,抗冲抗蚀能力差,其中砂粒(2.0~0.05 mm)含量占 19.0%,粉粒(0.05~0.02 mm)含量占 65.2%,黏粒(<0.02 mm)含量占 15.8%。1938-1973 年,由于毁林开荒及人类活动的影响,地带性植被已经破坏殆尽,流域生态系统严重退化<sup>[10]</sup>。

根据流域地貌特征、植被以及土地利用状况,以典型性和代表性为原则,采用时空互代法在流域内选择

营造和管理方法一致,土壤与成土母质类型相同,均为黄绵土,不同年限的梯田 1 a(Te1)、8 a(Te8)、20 a(Te20)、30 a(Te30),选取坡耕地(Slope Cropland, SL)为对照样地,其基本特征及林下植被如表 1。

样地	改造年限/a	地貌	坡向	海拔/m	作物
SL	0	梁坡	N	1175	谷子
Te1	1	梁坡	-	1161	玉米
Te8	8	梁坡	-	1149	玉米
Te20	20	梁坡	-	1153	玉米
Te30	30	梁坡	-	1148	玉米

### 1.2 样品采集及分析

在试验地各处理小区按 S 型选取 6 点,每点采集 0-20 cm 混合土样,重复 3 次。土壤全氮、全磷、碱解氮、速效磷及速效钾含量采用常规方法测定<sup>[11]</sup>。土壤重铬酸钾易氧化态碳(EOC<sub>1</sub>)采用重铬酸钾容量法-水合热法。土壤高锰酸钾易氧化态碳(EOC<sub>2</sub>)采用 333 mmol/L 的高锰酸钾溶液 25 ml,振荡 1 h,离心 5 min(转速 2 000 次/min),取上清液用去离子水按 1:250 稀释,然后将稀释液在 565 nm 比色,根据高锰酸钾浓度的变化求出样品的活性有机碳。水溶液性有机碳(DOC):用蒸馏水浸提,25℃ 恒温震荡 1 h 后,离心 10 min,过 0.45 μm 滤膜抽滤,其滤液直接在有机碳自动分析仪(Tekmar-Dohrmann Apollo 9 000 TOC Combustion Analyzer)上测定含碳量。热水浸提有机碳(HWOC):用蒸馏水浸提,80℃ 恒温震荡 20 h 后,离心 10 min,过 0.45 μm 滤膜抽滤,其滤液直接在有机碳自动分析仪上测定含碳量。土壤碳水化合物(CHO)采用 Safarik 和 Santruckova 的酚-硫酸法。K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提有机碳(C<sub>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>)采用 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液,充分振荡 30 min 过滤,迅速测定滤液中含碳量,土壤微生物量碳:采用氯仿熏蒸浸提方法测定。

### 1.3 数据统计分析

数据分析采用 SAS 6.12 统计软件,显著水平为  $P<0.05$  和  $P<0.01$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同年限梯田碳库组分演变特征

坡耕地改造为梯田后,土壤碳库组分变化规律不一,但总体上呈上升趋势。有机碳含量在改造第 1 年显著提高,30 a 后的较坡耕地增加 146%;活性有机碳碳库组分变化较为复杂,EOC<sub>1</sub> 在改造 8 a 时达到显著水平,之后随改造年限逐渐升高,30 a 时较坡耕地增加 213%;EOC<sub>2</sub> 在改造前 8 a 变化较为剧

烈,随后逐渐上升,30 a 时达到最大值,较坡耕地增加 196 %;水溶性有机碳在改造当年显著降低,8~20 a 趋于稳定,20~30 a 逐渐增加,30 a 时较坡耕地增加 97 %;热水浸提有机碳和碳水化合物与有机碳变化规律相似,在改造当年即达到显著水平,随后随年限显著增加,30 a 时达到最大值,较坡耕地分别增加 246 % 和 234 %;微生物量碳在改造当年显著降低,随后逐渐

增加,30 a 时较坡耕地增幅达 134 %;K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提有机碳在改造当年显著降低,随后呈波动式上升,30 a 时较坡耕地增加 240 %。坡耕地改造为梯田 30 a 后各组分较坡耕地增幅由大到小依次为热水浸提有机碳>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提有机碳>碳水化合物>重铬酸钾易氧化碳>高锰酸钾易氧化碳>总有机碳>微生物量碳>水溶性有机碳。

表 2 不同年限梯田碳库组分演变特征

样地	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	EOC <sub>1</sub> / (g·kg <sup>-1</sup> )	EOC <sub>2</sub> / (g·kg <sup>-1</sup> )	水溶性 有机碳/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	热水浸提 有机碳/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	碳水化合物/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	微生物量碳/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 浸提有机碳/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
SL	2.50d	1.40d	1.21d	10.60bc	72.83d	38.68c	86.38d	23.38d
Te1	3.11c	1.71d	1.80c	9.44c	96.45c	58.65bc	62.31e	17.51e
Te8	3.28c	2.14c	1.49cd	12.39b	99.69c	43.14bc	119.35c	38.49b
Te20	5.08b	3.75b	2.56b	12.31b	165.22b	73.96b	178.43b	30.52c
Te30	6.16a	4.38a	3.59a	20.89a	252.18a	129.31a	202.48a	79.56a

注:同一列中所带字母不相同,表明样地之间达到 1 % 的显著差异。

2.2 土壤碳库组分与养分相关性分析

相关性分析表明:土壤有机碳、EOC<sub>1</sub>、EOC<sub>2</sub>、水溶性有机碳、热水浸提有机碳、碳水化合物以及微生物量碳相互之间呈显著或极显著正相关( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )。有机碳、EOC<sub>1</sub>、EOC<sub>2</sub> 与土壤全氮、碱解氮、速效钾呈极显著正相关,与全磷、速效磷相关性较小,未达到显著水平。水溶性有机碳、热水浸提有机碳、碳水化合物、微生物量碳与全氮呈极显著正相关,相关系数分别达 0.93,0.95,0.98,0.93,与碱解

氮、速效磷、速效钾呈显著正相关。硫酸钾浸提有机碳除与全磷和速效钾呈显著正相关之外,与其他养分因子相关性较弱,未达到显著水平。

可以看出,土壤碳库组分可以间接反映或预测某些营养物质的转化情况以及土壤肥力的一般状况,而有机碳、EOC<sub>1</sub>、EOC<sub>2</sub>、水溶性有机碳、热水浸提有机碳、碳水化合物、微生物量碳与土壤主要肥力因子有一定的相关性,可以作为坡耕地改造梯田中评价土壤肥力的指标。

表 3 不同年限梯田碳库组分与养分因子相关性分析

项目	有机碳	EOC <sub>1</sub>	EOC <sub>2</sub>	水溶性 有机碳	热水浸提 有机碳	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 有机碳	碳水化 合物	微生物 量碳	全氮	碱解氮	全磷	速效磷	速效钾
TOC	1	0.99**	0.98**	0.85*	0.98**	0.81	0.93**	0.94**	0.98**	0.94**	0.70	0.73	0.97**
EOC <sub>1</sub>		1	0.95**	0.82*	0.96**	0.78	0.89*	0.97**	1.00**	0.96**	0.65	0.76	0.93**
EOC <sub>2</sub>			1	0.87*	0.99**	0.82*	0.98**	0.86*	0.92**	0.96**	0.76	0.62	0.99**
DOC				1	0.92**	0.99**	0.91*	0.83*	0.93**	0.87*	0.88*	0.88*	0.87*
HWOC					1	0.88*	0.98**	0.90*	0.95**	0.86*	0.79	0.87*	0.98**
CHO						1	0.86*	0.80	0.93**	0.88*	0.77	0.91*	0.84*
CK <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>							1	0.79	0.84	0.76	0.83*	0.79	0.98**
MBC								1	0.98**	0.89*	0.59	0.84*	0.83*

注:\*表示差异达显著水平( $P<0.05$ ),\*\*表示差异达极显著水平( $P<0.01$ )。

2.3 土壤碳库组分与坡耕地改造梯田年限的耦合关系

对不同土壤碳库组分跟改造年限进行耦合分析,结果表明:坡耕地改造梯田后,土壤有机碳与活性有机碳各组分随坡耕地改造年限呈线性显著增长,其中有机碳、EOC<sub>1</sub>、EOC<sub>2</sub>、水溶性有机碳、热水浸提有机碳、碳水化合物以及微生物量碳相关系数分别为 0.987,0.991,0.946,0.937,0.973,0.931,

0.974,具有较好的统计学意义。回归方程显示,各土壤碳库组分年增长量分别为 0.117 g/kg、0.101 g/kg、0.070 g/kg、0.310 mg/kg、5.480 mg/kg、2.551 mg/kg 和 4.489 4 mg/kg。

3 讨论与结论

土壤碳库是土壤肥力保持的重要内容,其数量和质量影响土壤潜在生产力,其规律性则是能量与

水分循环同外界各自然因素之间相互作用和运动的具体表现。土壤活性有机碳指在土壤中不稳定,活性较高,对土壤养分、植物生长以及微生物活动的那部分有机碳,主要包括土壤中水溶性有机碳、盐溶液有机碳、微生物量碳、热水浸提有机碳、以及其它一些在土壤中易于氧化分解的游离有机碳部分,其动态变化不但直接影响土壤养分状况和土壤中碳的转化和循环,而且反映了地表植物群落的空间分布和时间上的演替<sup>[12]</sup>。有研究表明土地利用变化后,一方面使土壤有机质数量发生变化而影响土壤有机碳和活性有机碳含量,另一方面也使土壤有机质的稳定性和质量发生变化而使土壤活性有机碳与非活性有机碳发生转变<sup>[13]</sup>。Blair<sup>[14]</sup>、Nelson<sup>[15]</sup>等的研究也发现林地变成农田后,虽然土壤活性有机碳含量下降,但由于土壤有机质稳定性和质量下降,使一部分非活性有机碳变成活性有机碳;龚伟<sup>[16]</sup>等研究表明随着时间的推移,土壤有机碳、水溶性有机碳、微生物量碳变化规律相似,总体上呈现上升趋势。本研究认为,坡耕地改造成梯田后,山坡地农业生产的基础条件得到改善,改变了原有的坡长坡度,使降雨对土壤结构的破坏作用减弱,土壤的通透性增强,使其更多的降水就地入渗,蓄存于土壤中,使土不下坡,水不下沟,改变了土壤水肥气热状况,加之农业经营活动的集约化和合理化,连年的耕作及有机和无机肥料的投入,使得土壤有机碳含量、活性有机碳组分含量增加,土壤质量不断提高。

表 4 土壤碳库组分与坡耕地改造梯田年限的耦合关系		
碳库组分	回归方程	相关系数
有机碳	$y = 0.1169x + 2.646$	0.987 <sup>**</sup>
EOC <sub>1</sub>	$y = 0.1007x + 1.4878$	0.991 <sup>**</sup>
EOC <sub>2</sub>	$y = 0.0702x + 1.3016$	0.946 <sup>**</sup>
水溶性有机碳	$y = 0.3095x + 9.4733$	0.937 <sup>*</sup>
热水浸提有机碳	$y = 5.4794x + 72.617$	0.973 <sup>**</sup>
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 有机碳	$y = 1.6253x + 18.713$	0.855
碳水化合物	$y = 2.551x + 38.646$	0.931 <sup>*</sup>
微生物量碳	$y = 4.4894x + 76.815$	0.974 <sup>**</sup>

注: \*表示差异达显著水平 ( $P < 0.05$ ), \*\*表示差异达极显著水平 ( $P < 0.01$ )。

土壤活性有机碳的氧化稳定性和抗生物降解能力是反映土壤碳库的重要指标,对评价土壤有机质和土壤肥力状况有重要意义。土壤活性有机碳组分占总有机碳含量的比例总体上不高,但对维持土壤肥力及土壤碳贮量变化方面具有重要的作用。姜培坤<sup>[17]</sup>、龚伟<sup>[16]</sup>等研究表明不同林分下的土壤水溶性有机碳、微生物量碳以及易氧化碳含量与土壤全氮、

水解氮、有效磷和速效钾含量之间呈极显著正相关。本研究也发现土壤活性有机碳组分中,EOC<sub>1</sub>、EOC<sub>2</sub>、溶性有机碳、热水浸提有机碳以及微生物量碳与土壤主要肥力因子相关性显著,这证实了土壤活性有机碳对土壤肥力状况具有一定的指示作用,同时也说明了坡耕地改造梯田后土壤总有机碳和活性有机碳组分含量增加,是引起土壤肥力改善的重要原因。

综上所述,黄土丘陵区坡耕地改造梯田后,土壤碳库组分含量变化显著,并随改造年限呈线性增加,30 a 后,土壤有机碳 (TOC)、重铬酸钾易氧化态碳 (EOC<sub>1</sub>)、高锰酸钾易氧化态碳 (EOC<sub>2</sub>)、水溶性有机碳 (DOC)、热水浸提有机碳 (HWOC)、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提有机碳 (C<sub>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>)、碳水化合物以及微生物量碳 (MBC) 碳较坡耕增幅分别达 146 %、213 %、196 %、97 %、246 %、240 %、234 % 和 134 %。相关性分析表明:有机碳、EOC<sub>1</sub>、EOC<sub>2</sub>、水溶性有机碳、热水浸提有机碳、微生物量碳与土壤养分相关性显著,可以作为坡耕地改造梯田中评价土壤肥力的指标。从以上结果可以看出,侵蚀环境下的坡耕地由于受到人为活动的干扰,土壤碳库含量较低,而实施坡耕地改造成梯田可以提高土壤碳库组分含量,改善土壤肥力状况。

参考文献:

[1] 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.

[2] 沈宏,曹志洪,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.

[3] Blair GJ, Lefroy RDB, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems [J]. Australian Journal of Agricultural Research,1995,46(7):1459-1466.

[4] 姜培坤. 不同林分下土壤活性有机碳库研究[J]. 林业科学,2005,41(1):10-13.

[5] 程积民,万惠娥,王静. 黄土丘陵区山桃灌木林地土壤水分过耗与调控恢复[J]. 土壤学报,2003,40(5):691-696.

[6] 蔡进军,张源润,火勇,等. 宁南山区梯田土壤水分及养分特征时空变异性研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(5):83-87.

[7] 余峰,董立国,赵庆丰,等. 宁夏半干旱地区梯田土壤水分动态变化规律研究[J]. 水土保持研究,2007,14(1):288-291.

[8] 张源润,蔡进军,董立国,等. 半干旱退化山区坡改梯地土壤养分变异特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2001,21(3):121-124.

结果表明,2007 年桐柏大别山区土壤侵蚀占土地总面积 23.44%,侵蚀强度以轻度为主,主要在分布在金寨、霍山、信阳、桐柏、商城、新县等南部山区。20 a 间土壤侵蚀面积先增加后减小总体减少,区域增减变化差异明显,强度降低,由高强度向低强度转变,局部地区强烈、极强烈侵蚀增加,水土流失与生态退化加剧。随着降雨侵蚀力的增强,土壤侵蚀呈递增趋势;粗骨土、石质土、黄棕壤土层较薄、土质较粗、有机质含量较低,抗蚀性较差,且所处地势较高,坡度较大,植被覆盖较低,是土壤侵蚀发生的主要区域; $<5^\circ$  的区域一般只发生微度侵蚀,随着坡度的增大,土壤侵蚀先增后减,主要发生在  $8^\circ \sim 25^\circ$  地区;植被覆盖度与土壤侵蚀面积和强度之间存在一定的反相关关系;坡耕地、经济林地、疏幼林地是土壤侵蚀发生的主要区域。未来 20 a 如果继续保持现有变化速度,土壤侵蚀面积将呈逐年减少的趋势,但其速度过慢。

人们不断调整土地利用结构,土地利用形式随之不断变化,这些调整 and 变化既有促进水土保持的一面,也有加速土壤侵蚀的一面。随着社会经济的发展,城镇化、工业化进程不断加快,城乡建设用地需求增长较快,导致农用地尤其是大量优质耕地被占用,加之农村产业结构调整,耕地资源的保护压力持续加大,部分地区强烈、极强烈侵蚀增加,出现了土地生态环境质量下降,人地关系、人与自然关系局部恶化等问题,导致目前桐柏大别山区生态环境比较脆弱,土壤侵蚀比较严重。尽管 20 a 间土壤侵蚀

面积减少,强度下降,但脆弱的环境本底使桐柏大别山区水土保持工作面临新的挑战。因此,加强现有坡耕地、经济林、疏幼林、荒草地改造,调整优化土地利用方式,加强水土保持措施,努力提高林草植被覆盖,控制水土流失,加快桐柏大别山区土壤侵蚀治理进程。

#### 参考文献:

- [1] 张洪江. 土壤侵蚀原理[M]. 北京:中国林业出版社, 2005:12-13.
- [2] 邓玉林,孟兆鑫,王玉宽,等. 岷江流域土壤侵蚀变化与治理对策研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5):56-60.
- [3] 杨子生,刘随彦, Liang Luohui, 等. 金沙江下游近 40 年来土壤侵蚀变化:以云南彝良为例[J]. 山地学报, 2005, 23(2):144-152.
- [4] 林敬兰,杨学震,陈明华. 基于“3S”技术的福建省土壤侵蚀动态监测研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1):155-157.
- [5] 陈云浩,李晓兵,史培军. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5):588-593.
- [6] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007). 北京:中国水利水电出版社, 2008.
- [7] 汪邦稳,杨勤科,刘志红,等. 延河流域退耕前后土壤侵蚀强度的变化[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4):27-33.
- [8] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律[J]. 中国水土保持, 1994(4):12-13.
- [9] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力指标的研究[J]. 中国水土保持, 1992(2):32-33.
- [9] 焦菊英,王万中. 黄土高原水平梯田质量及水土保持效果的分析[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2):59-63.
- [10] 卢宗凡,梁一民,刘国彬. 黄土高原生态农业[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1997.
- [11] 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.
- [12] 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, 22(6):109-112.
- [13] Six J, Contant R T, Paul E A, et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils[J]. Plant and Soil, 2002, 241:155-176.
- [14] Blair GJ, Crocker GJ. Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils[J]. Australian Journal of Soil Research, 2000, 38:71-84.
- [15] Nelson P N, Baldock J A, Oades J M. Change in dispersible clay content, organic carbon contents and electrolyte composition following incubation of sodic soil[J]. Australian Journal of Soil Research, 1998, 36:883-897.
- [16] 龚伟,胡庭兴,王景燕,等. 川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤碳库与肥力的变化[J]. 生态学报, 2008, 28(6):2536-2545.
- [17] 姜培坤,周国模,徐秋芳. 雷竹高效栽培措施对土壤碳库的影响[J]. 林业科学, 2002, 38(6):6-11.

(上接第 23 页)