

黄土塬区苹果园土壤有机碳分布特征

甘卓亭^{1,2}, 张掌权¹, 陈 静¹, 刘文兆^{2,*}, 周正朝³

(1. 宝鸡文理学院灾害监测与机理模拟陕西省重点实验室, 宝鸡 721007; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100;

3. 陕西师范大学旅游环境学院, 西安 710062)

摘要:以黄土塬区塬面和梁坡梯田 5、10、15a 和 20a 苹果园为对象, 在行间距果树 1.0、1.5m 和 2.0m 处用土钻法分层采集 0—100cm 土样, LiquiTOC II 测定样品土壤有机碳 (Soil Organic Carbon, SOC) 含量, 分析两种地形条件下各龄果园 SOC 的分布特征。结果表明: 塬面 5、10、15a 和 20a 果园 SOC 分别为 6.39、6.46、6.66 g/kg 和 6.47 g/kg, 梁坡分别为 5.83、6.05、6.54 g/kg 和 6.09 g/kg, 两种地形条件下同龄果园 SOC 差异显著 ($P < 0.05$), 但龄间 SOC 消长趋势相似, 均有 15a 的 > 20a 的 > 10a 的 > 5a 的; 水平方向上, 5a 果园 SOC 沿树干向外增大, 10a 果园减小, 15a 和 20a 果园变化较小, 塬面和梁坡同龄果园间 SOC 水平分布格局较一致; 垂直方向上, 同梁坡相比, 塬面果园 4 个层次 (0—10cm、10—20cm、20—50cm 和 50—100cm) 的平均 SOC 较高; 梁坡果园 50—100cm 土层的 SOC 龄间差异较大, 20—50cm 土层龄间差异较小, 塬面果园 50—100cm 土层的 SOC 龄间变化较小; 在“纯果园”利用阶段, 果园利用方式并未引起 SOC 下降, 深层 SOC 有明显的积累效应。

关键词:土壤有机碳; 苹果园; 黄土塬区

Spatial distribution of soil organic carbon in apple orchards on Loess Tableland

GAN Zhuoting^{1,2}, ZHANG Zhangquan¹, CHEN Jing¹, LIU Wenzhao^{2,*}, ZHOU Zhengchao³

1 Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulating of Shaanxi Province, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji, Shaanxi 721007, China

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

3 College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China

Abstract: Soil organic carbon (SOC) is a large component of the global carbon cycle, and related to atmospheric CO₂ levels because soils have the potential for C release or sequestration, depending on land use, land management and climate. In addition, SOC is vital for ecosystem function, having the greater influences on soil structure, soil fertility, water holding capacity, cation exchange capacity and the soil's ability to form complexes with metal ions and store nutrients. The influence of landuse changes on SOC is not only relevant to vegetation type, but also to its growth phase. As an important landuse pattern on Loess Tableland, apple orchard is inconsistent with cereal field in the input and output forms of SOC. In order to understand the influence of the transition of landuse pattern from cereal field to apple orchard on the SOC pool, as well as the characteristics of spatial distribution and variations of SOC in different growth periods of apple orchards, SOC was measured at the distances of 1.0m, 1.5m and 2.0m from each apple tree core in 5a, 10a, 15a and 20a apple orchards on tableland and slope terrace of the Loess Tableland. Soil samples were collected by Soil Drill and the SOC was measured by LiquiTOC II analyzer. Results showed that the SOC contents in 5a, 10a, 15a and 20a apple orchards on tableland were 6.39 g/kg, 6.46 g/kg, 6.66 g/kg and 6.47 g/kg, respectively, and on slope terrace, were 5.83 g/kg, 6.05 g/kg, 6.54 g/kg and 6.09 g/kg, respectively. The SOC content on tableland was significantly higher than that on slope land for the same age apple orchards ($P < 0.05$), and however, the SOC content rank of apple orchard on tableland and slope land had the same order. Along apple tree core in the horizontal direction, the SOC content ascended at 5a, declined at 10a, and

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划资助项目 (2006BAD09B09); 陕西省教育厅重点实验室资助项目 (09JS073); 宝鸡文理学院重点资助项目 (ZK0846)

收稿日期:2009-11-08; **修订日期:**2010-01-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wzliu@ms.iswc.ac.cn

steadied at 15a and 20a. The horizontal distribution patterns of the SOC on slope land were similar to the same age apple orchard on tableland. In vertical direction, the SOC contents of 0—10cm, 10—20cm, 20—50cm and 50—100cm layers in 5a, 10a, 15a, and 20a apple orchards on tableland were higher than those on slope land, respectively. The SOC content in different age apple orchards varied widely at the 50—100 cm layer on slope land and slightly in the 20—50cm layer on slope land and 50—100 cm layer on tableland. Based on our experiment, the SOC content did not decrease in the 5a to 20a apple orchards, and on the contrary, increased in the deeper soil layers.

Key Words: soil organic carbon; apple orchard; Loess Tableland

陆地生态系统碳循环是全球碳循环的重要组成部分,在全球碳收支中占主导地位^[1-3]。土壤碳库是陆地生态系统中最大的碳库,它的微小波动在很大程度上改变大气 CO₂ 浓度,影响全球碳平衡格局^[4-6]。然而,土壤碳库的不确定性大,是碳“未知汇”的主要“候选者”之一^[7]。土壤碳库的动态还直接影响土壤肥力及作物产量^[8-9]。近年来对土壤有机碳库的赋存状况及其变化规律的研究日益受到关注和重视。

研究表明在自然植被和人工林草的演替过程中土壤有机质储量变化方向并不确定^[10-14]。土地利用方式对土壤有机碳储量的影响,不仅因植被类型而异,即便是同种植被类型,不同生长期之间也有差别。果园作为黄土塬区重要的土地利用方式,土壤碳的输入、输出方式与农田有差异,农、果方式的转变势必影响塬区土壤碳库,然而在长期果园利用过程中,果园不同生长阶段土壤碳库赋存和变动不能仅以局部生长阶段的效果来表征,需要针对不同生长阶段的果园进行调查研究。为此,本试验选择黄土塬区内具有较长果园种植历史、果园年限类型丰富的王东沟试区,以试区内两种典型地形(塬面和梁坡)苹果园为对象,就不同地形条件和种植年限的果园土壤有机碳状况进行试验研究,以期确定果园种植对土壤有机碳的影响效果提供依据,为土壤碳库估算提供参考。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于渭北旱塬王东沟试区(107°40′30″—107°42′30″ E, 35°12′16″—35°16′00″ N),总面积 8.3 km²,主要地形单元为塬面和沟壑。年均降水量为 584mm,年均温 9.1℃,无霜期 171 d,≥10℃积温 3029℃,属暖温带半湿润大陆性气候,地带性土壤类型为粘黑垆土,母质为深厚的中壤质马兰黄土。区内水土流失严重,全流域仅塬面尚保存有较完整的黑垆土剖面,梁顶和梁坡等梁状地类的粘化层侵蚀殆尽,已无明显剖面发育,称为黄壤土。自 1980s 初部分农田改建苹果园后,果园面积不断扩大,果业的规模效益也逐步显现,更促进了果园面积的继续扩张,流域现已形成了以果业为主的农、果二元型种植结构。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品采集

塬面和梁坡分别选取品种(富士)相同、种植密度(3m×4m)一致、管理措施相近的 5、10、15a 和 20a 果园各 3 块为样地,并测量各样地内全部果树胸径,取最接近胸径四分位数的 3 个分割点位置(也即第 25、50、75 百分位数)的果树为样树。以样树为中心,沿树干半径方向 1.0、1.5m 和 2.0m 处设置取土点,每 10cm 分层取土,取样深度 100cm。

1.2.2 样品处理与测定、分析方法

采集的土样编号、装袋,用手选法拣去肉眼可辨的根茬、石砾、植物根系和碎屑,风干。按 0—10cm,10—20cm,20—50cm,50—100cm 分为 4 组,混匀,四分法取土样研磨,过 100 目土壤筛,加 1.6% HCl 酸化处理,105℃烘干 4—6h。用 LiquiTOC II (Elementar Analysensysteme GmbH, 德国)测定土壤有机碳含量,具体操作参见文献^[15]。数据采用 SPSS14.0 软件统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同年限果园土壤有机碳含量

从总体平均来看(图1),塬面和梁坡两种地形的不同年限果园 SOC 消长趋势相似,均为 $15a > 20a > 10a > 5a$,表明不论塬面还是梁坡,在 15a 前果园种植方式有利于 SOC 的增加,而 15a 后 SOC 下降。不同年限果园 SOC 变化趋势在距树干不同距离处并不一致,表现出空间分布的异质现象。其中,在距树干 1.0m(图1)和 1.5m(图1)处不同年限果园 SOC 的变化趋势与总体平均(图1)类似,而在 2.0m 处(图1)不同年限果园间 SOC 变化幅度减小。从不同年限果园 SOC 的总体平均变化和树干不同距离处各年限果园的 SOC 变化来看,近树干处土壤 SOC 变化对果园 SOC 赋存的影响更大,这与果树根系的生长发育动态和扩张范围^[16]相吻合。从塬面和梁坡果园对比来看,两种地形果园平均 SOC 差异达显著水平($P < 0.05$),塬面果园 SOC 高于梁坡同龄果园。

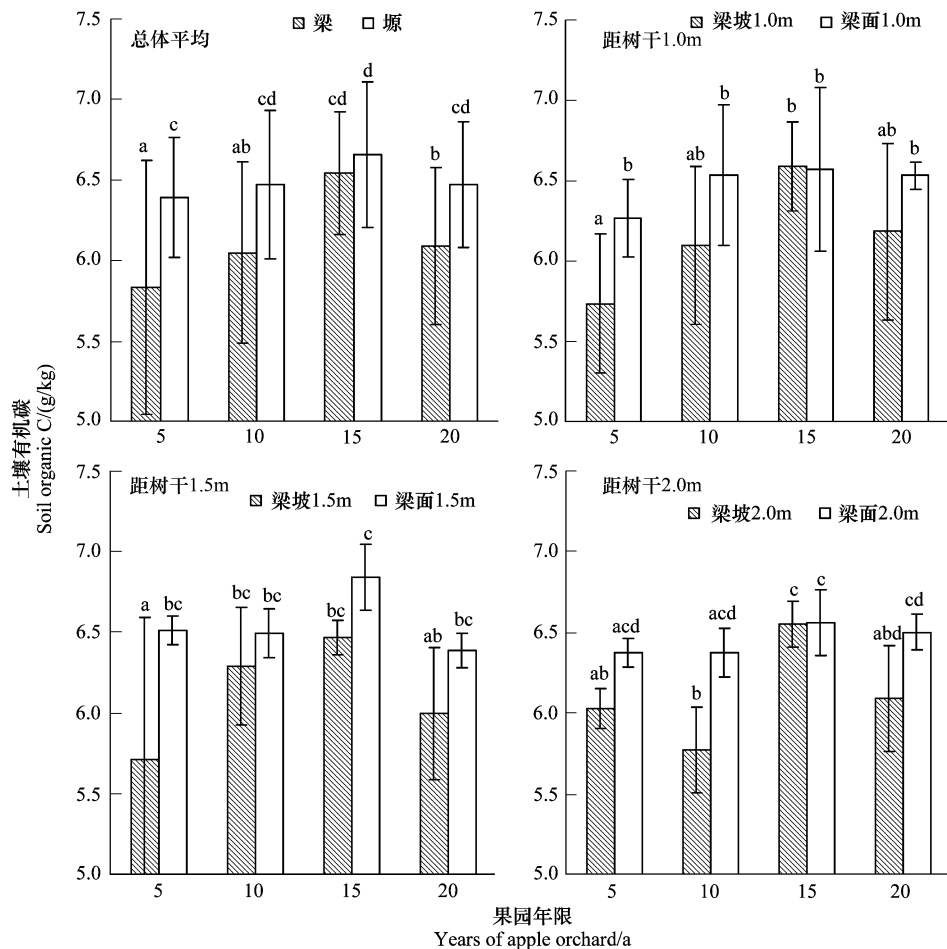


图1 不同年限果园土壤有机碳含量

Fig.1 The mean concentration of soil organic C in 0—100 cm soil layer in different apple orchards

注:图中不同字母表示差异达到显著水平, $P < 0.05$

2.2 不同年限果园的土壤有机碳水平分布

塬面和梁坡同龄期果园间 SOC 随树干距离增加的变化趋势基本一致,但塬面果园 SOC 水平高于梁坡果园(表1)。相同地形的4种年龄期果园间 SOC 的水平变动有明显差异,其中 5a 果园 SOC 沿树干向外有明显增大的趋势,而 10a 果园则减小的趋势明显,15a 和 20a 果园变幅较小。5a 果园因树体较小,无果业经济效益,间作套种是该阶段提高果园的经济收入主途径。同大龄果园相比,5a 果园的土地利用方式不属于“纯果园”利用,而是处于果(树)、农(作物)二元利用型阶段,该阶段果园 SOC 的水平方向差异反映了果、农两种利

用方式对土壤 SOC 的综合影响。在果园建设过程中,从挖穴到定植,以及近树干处施肥、除草等各种以管理果树为目的农艺措施均为逆“碳封存”行为,致使幼龄果园中近树干处 SOC 低于远树干处的间作套种带。随果树树体增大,果树进入挂果期,果树的经济效益渐显,间作套种逐步退出果园,此阶段以后果园 SOC 的变化主要由果树行为主导。5a 和 10a 果园间 SOC 水平方向的变化趋势逆转正是果园内部耕作措施改变的反映,而从 5a 到 10a 果园近树干处 SOC 的显著增加说明该阶段果园的“固碳”功能主要源于果树的贡献。在 15a 果园中,不仅近树干处的 SOC 继续增大,远树干处 SOC 也有一定幅度的增加,果树对 SOC 影响的范围和幅度均达到最大。20a 果园基本处于退化期,果树对 SOC 的影响逐步减小,果园 SOC 整体呈下降趋势,远树干处相对降幅较大。

表 1 距树干不同距离的土壤有机碳含量/(g/kg)

Table 1 The mean concentration of SOC at the distances of 1.0m, 1.5m and 2.0m from the trunk

距离树干距离/m Distance from tree core	项目 Item	梁坡 Slope land				塬面 Tableland			
		5a	10a	15a	20a	5a	10a	15a	20a
1.0	平均值/(gC·kg ⁻¹) Mean ± SD	5.73 ± 0.82	6.10 ± 0.70	6.59 ± 0.37	6.18 ± 0.23	6.27 ± 0.28	6.59 ± 0.41	6.59 ± 0.46	6.53 ± 0.32
	变异系数/% Coefficient of variation	14.37	11.50	5.60	7.77	4.47	6.04	7.09	4.73
1.5	平均值/(gC·kg ⁻¹) Mean ± SD	5.71 ± 0.98	6.29 ± 0.44	6.46 ± 0.32	6.00 ± 0.17	6.51 ± 0.29	6.52 ± 0.30	6.77 ± 0.37	6.34 ± 0.41
	变异系数/% Coefficient of variation	17.08	6.96	5.00	6.78	4.44	4.61	5.22	6.56
2.0	平均值/(gC·kg ⁻¹) Mean ± SD	6.03 ± 0.55	5.77 ± 0.40	6.55 ± 0.44	6.09 ± 0.34	6.23 ± 0.49	6.41 ± 0.63	6.46 ± 0.49	6.52 ± 0.45
	变异系数/% Coefficient of variation	9.13	6.97	6.82	9.57	7.77	9.94	7.33	6.96

2.3 不同年限果园土壤有机碳的垂直分布

从地形条件看,塬面果园 4 个层次(0—10cm、10—20cm、20—50cm 和 50—100cm)的平均 SOC 较高,测值点多分布在垂直标示线($x = 6.2\text{g/kg}$)的右侧(图 2),而梁坡果园则相对较低,其测值点多分布在垂直标示线的右侧(图 2)。就梁坡而言(图 2),5a 果园 SOC 在 0—10cm 和 20—50cm 土层较高,10—20cm 和 50—100cm 土层较低;15a 果园各土层均达到最高,其中 50—100cm 土壤的 SOC 增幅最大;20a 果园垂直方向各土层的 SOC 水平下降,与 10a 果园相当。就塬面而言(图 2),5a 和 10a 果园中 SOC 最高值出现在 10—20cm;塬面 15a 果园同梁坡相似,各土层的 SOC 均达到最高值;同梁坡果园相比,20a 塬面果园 SOC 的降幅较小。不同年限果园各土层 SOC 的变幅并不一致,其中梁坡 20—50cm 和塬面 50—100cm 相对稳定,属于 SOC 稳定层。

3 结语

土壤有机碳含量是在气候、植被覆盖、地形、人为活动等因素影响下有机碳输入与输出之间平衡的结果^[17-18]。在流域尺度内,气候因素相对均一,对土壤有机碳变化的异质性影响并不显著,因此对特定流域而言,果园土壤有机碳赋存差异主要受地形和人为活动的影响。从本试验结果来看,两种地形果园不仅平均 SOC 有显著差异,而且 SOC 的空间分布及其变动也不相同,如在 50—100cm 塬面果园 SOC 相对稳定,变幅不大,而梁坡果园该土层的 SOC 增幅最大。不同地形条件下果园 SOC 的差异性变化是果园(果树)对“地形型”环境差异的响应结果,在黄土塬区,塬面和梁坡是本区主要的两种建园地形,水分环境差异明显,梁坡果园因平均水分条件较差,为扩大吸水量,弥补上层水分不足,果树根系的密集区下移,下层细根生物量增多^[16],从而导致梁坡果园 50—100cm 土层的 SOC 增幅较大,而塬面果园因水分条件较好,果树根系的密集区高于梁坡, SOC 增幅最大层抬升至 20—50cm。

人类活动是影响土壤有机碳最活跃的因素,也是最不确定的因素。果园种植过程中各种建园和管理措

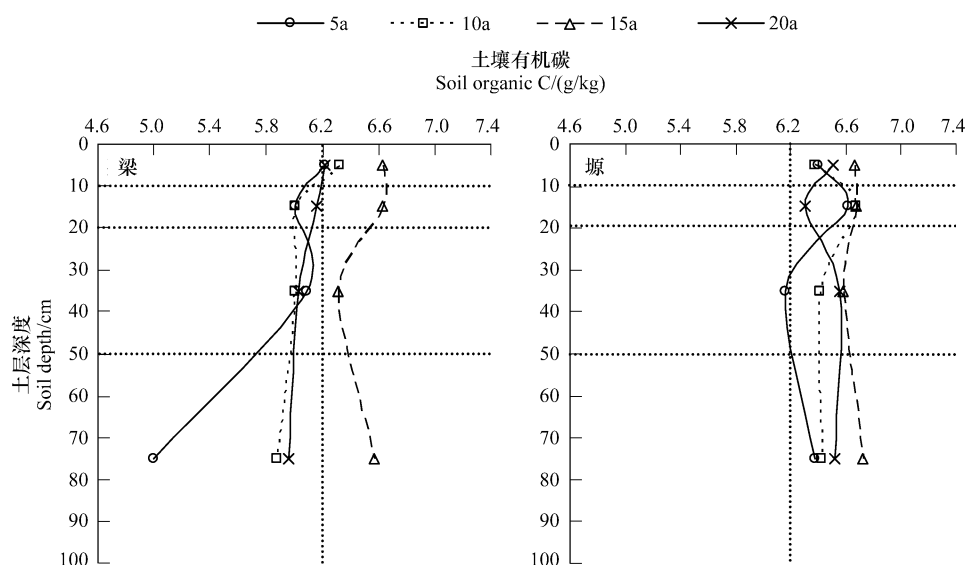


图2 不同年限果园土壤有机碳的垂直分布

Fig.2 Vertical distribution of SOC in different age apple orchards

施,如挖穴、定植、施肥、除草、修剪以及间作套种等,均引起果园土壤有机碳赋存状况的改变。本试验中,梁坡5a果园0—20cm土层由于建园和管理措施对土壤的扰动,引起SOC下降,而果园间种套种在一定程度上削弱了表层SOC的减小程度,从而表现出10—20cm土层SOC最低,0—10cm土层次之,而20—50cm土层较高的垂直分布格局。同样,5a果园SOC水平方向的变动也显示了果园利用微结构的差异对SOC的影响,而土地利用微结构的实施和调整正是人类活动的结果。因此,从提高“碳封存”途径入手,采取合理的建园和管理措施,能在一定程度上起到增加土壤碳库的目的。

从本试验结果来看,在“纯果园”利用阶段,果园利用方式并不一定引起土壤有机碳下降,特别是深层SOC还有明显的积累效应。与农田等其他土地利用方式相比,果园SOC偏低^[19-20],其原因可能是在建园初期各种建园和管理措施对土壤扰动引起SOC降低,从而导致“纯果园”阶段SOC的基础较低,若后期果园对SOC的积累量较小,将表现出果园利用方式对SOC的释放效应。在长期的果园利用过程中,果园固碳效益在不同的年龄期存在差异,如本试验中,从5、10a到15a果园SOC逐步增加,而15a到20a减小。这可能与20a果园处于退化阶段有关。受水分条件限制,黄土塬区苹果园的生产周期一般较短,如研究区内20a苹果园基本处于退化阶段。对于退化期果园而言,果树细根的生物量减小^[16],根系分泌物也相应地减小,果树的光合生理功能相对较弱。同时,土壤含水量下降,土壤的透气性增大,可能有利于土壤有机质的分解,从而表现出20a果园SOC表现低于15a果园。

References:

- [1] Chen Q Q, Shen C D, Yi W X, Peng S L, Li Z A. Progresses in soil carbon cycle researches. *Advance in Earth Sciences*, 1998, 13(6): 555-563.
- [2] Li Z P. Density of soil organic carbon pool and its variation in Hilly Red Soil Region. *Soils*, 2004, 36(3): 292-297.
- [3] Cheng L L, Wen Q X, Lin X X. Reserves of organic C, total N and fixed NH_4 in soil in Inner Mongolia. *Soils*, 1994, 26(5): 248-252.
- [4] Yang Y S, Xie J S, Sheng H, Chen G S, Li X. The impact of land use/cover change on soil organic carbon stocks and quality in Mid-subtropical Mountainous Area of Southern China. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(11): 1123-1131.
- [5] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 2004, 304:1623-1627.
- [6] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 2006, 440:165-173.
- [7] Piao S L, Fang J Y, Ciais P, Huang Y, Sitch S, Wang T. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *Nature*, 2009, 458: 1009-1013.
- [8] Chi G Y, Wang J, Chen X, Shi Y. Dynamic changes of soil organic carbon (SOC) of different landuse types in SanJiang Plain. *Soils*, 2006, 38

(6): 755-761.

- [9] Shen H, Cao Z H, Wang Z M. Study of carbon pool management index in soils under different agroecosystems. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(3): 206-211.
- [10] Zhou Y D, Wu J S, Zhao S W, Guo S L, Lu P. Change of soil organic matter and water holding ability during vegetation succession in Ziwuling region. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(6): 895-900.
- [11] Li Y Y, Shao M A, Zheng J Y, Li Q F. Impact of grassland recovery and reconstruction on soil organic carbon in the northern Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2279-2287.
- [12] Peng W Y, Zhang K L, Yang Q K. Forecast of impact of the returning farms to forests on soil organic carbon of Loess Plateau. *Areal Research and Development*, 2006, 25(3): 94-99.
- [13] Bashkin M A, Binkley D. Changes in soil carbon following afforestation in Hawaii. *Ecology*, 1998, 79(3): 828-833.
- [14] Shi J, Liu J Y, Gao Z Q, Cui L L. A review on the influence of afforestation on soil carbon storage. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(4): 410-416.
- [15] Pang J L, Zhang J, Huang C C. Rapid determination of total carbon in soil and loess samples by High TOC II analyzer. *Analytical Instrumentation*, 2003, 134(1): 34-36.
- [16] Gan Z T, Liu W Z. Distribution of the fine roots of different aged apple trees in Weibei rainfed tableland of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3041-3047.
- [17] Six J, Paustian K, Elliot E T, Cmbriuk C. Soil Structure and organic matter: I. Distribution of aggregate -size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(3, 4): 681-689.
- [18] Jiao J G, Yang L Z, Wu J X, Li H X, Erle C E. Soil organic carbon distribution in densely populated village landscape of different regions. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 1969-1977.
- [19] Liu S Z, Guo S L, Wang X L, Xue B M. Effect of vegetation on soil organic carbon of slope land in gully region of Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(4): 529-536.
- [20] Yang Y L, Guo S L, Ma Y H, Che S G, Sun W Y. Changes of orchard soil carbon, nitrogen and phosphorus in gully region of Loess Plateau. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(4): 591-685.

参考文献:

- [1] 陈庆强, 沈承德, 易惟熙, 彭少麟, 李志安. 土壤碳循环研究进展. *地球科学进展*, 1998, 13(6): 555-563.
- [2] 李忠佩. 低丘红壤有机碳库的密度及变异. *土壤*, 2004, 36(3): 292-297.
- [3] 程励励, 文启孝, 林心雄. 内蒙古自治区土壤中有机碳, 全氮和固定态铵的贮量. *土壤*, 1994, 26(5): 248-252.
- [4] 杨玉盛, 谢锦升, 盛浩, 陈光水, 李旭. 中亚热带山区土地利用变化对土壤有机碳储量和质量的影响. *地理学报*, 2007, 62(11): 1123-1131.
- [8] 迟光宇, 王俊, 陈欣, 史奕. 三江平原不同土地利用方式下土壤有机碳的动态变化. *土壤*, 2006, 38(6): 755-761.
- [9] 沈宏, 曹志洪, 王志明. 不同农田生态系统土壤碳库管理指数. *自然资源学报*, 1999, 14(3): 206-211.
- [10] 周印东, 吴金水, 赵世伟, 郭胜利, 路鹏. 子午岭植被演替过程中土壤剖面有机质与持水性能变化. *西北植物学报*, 2003, 23(6): 895-900.
- [11] 李裕元, 邵明安, 郑纪勇, 李秋芳. 黄土高原北部草地的恢复与重建对土壤有机碳的影响. *生态学报*, 2007, 27(6): 2279-2287.
- [12] 彭文英, 张科利, 杨勤科. 退耕还林对黄土高原地区土壤有机碳影响预测. *地域研究与开发*, 2006, 25(3): 94-99.
- [14] 史军, 刘纪远, 高志强, 崔林丽. 造林对土壤碳储量影响的研究. *生态学杂志*, 2005, 24(4): 410-416.
- [15] 庞奖励, 张健, 黄春长. High TOC II 分析仪快速测定土壤和黄土样品中的有机碳. *分析仪器*, 2003, 134(1): 34-36.
- [16] 甘卓亭, 刘文兆. 渭北旱塬不同龄苹果细根空间分布特征. *生态学报*, 2008, 28(7): 3041-3047.
- [18] 焦加国, 杨林章, 武俊喜, 李辉欣, Erle C Ellis. 不同区域的人口密集农村地区土壤有机碳的分布. *生态学报*, 2007, 27(5): 1969-1977.
- [19] 刘守赞, 郭胜利, 王小利, 薛宝民. 植被对黄土高原沟壑区坡地土壤有机碳的影响. *自然资源学报*, 2005, 20(4): 529-536.
- [20] 杨雨林, 郭胜利, 马玉红, 车升国, 孙文艺. 黄土高原沟壑区不同年限苹果园土壤碳、氮、磷变化特征. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(4): 591-685.