

# 子午岭不同林地土壤有机碳及养分储量特征分析<sup>\*</sup>

杨晓梅<sup>1</sup>, 程积民<sup>1</sup>, 孟 蕾<sup>2</sup>, 韩娟娟<sup>2</sup>, 范文娟<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 动物科技学院, 陕西 杨陵 712100;  
3. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:**采用野外调查、取样和室内实验分析相结合的方法,研究了黄土高原子午岭林区 3 种林地土壤有机碳和全量养分储量的分布特征及相关关系。结果表明:(1)研究区 3 种林地土壤有机碳含量为 3.9~37.6 g/kg,平均含量为 13.02 g/kg,辽东栎林地最高,其次为柴松林,人工油松林地最低;(2)土壤有机碳含量随深度增加而递减,其中柴松林地的垂直变化幅度最大,达 88.86%。3 种林分土壤碳密度差异显著,其各土层变化范围为 1.06~3.67 kg/m<sup>2</sup>,土壤碳密度亦随深度增加而减少。对于整个土层(0~90 cm)而言,各林分土壤碳密度为 9.38~11.43 kg/m<sup>2</sup>;(3)不同养分储量在 3 种林分之间表现的规律性及相关性不同。有机碳和各全量养分储量随土壤深度增加均呈减小趋势,有机碳和全氮表现尤其明显。

**关键词:**子午岭;林地;有机碳储量;土壤养分

中图分类号:S714;S153.61

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)03-0130-05

## Analysis on Soil Organic Carbon and Nutrients Storages in Different Forests in Zi wuling

YANG Xiaomei<sup>1</sup>, CHENG Jimin<sup>1</sup>, MENG Lei<sup>2</sup>, HAN Juanjuan<sup>2</sup>, FAN Wenjuan

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

**Abstract:** By using the research method of field investigation, soil sampling and laboratory analysis, the soil organic carbon and nutrients storages for the three main forest types in Zi wuling have been discussed. The results are as follows: (1) The average soil organic carbon content for the three forest types is 3.9~37.6 g/kg, the soil organic carbon content in *Quercus liaotungensis* forest is highest but lowest in artificial *P. tabulaeformis* forest. Soil organic carbon contents generally decrease with the depth, and the variation in *Pinus tabulaeformis* f. *shekannensis* forest is highest (88.86%); (2) Soil carbon density in three forest types changed greatly, with an average of 1.06~3.53 kg/m<sup>2</sup> for five soil layers, and decreased generally with the depth. For the whole soil profile(0~90 cm), soil carbon density in all forest types varied from 9.38 kg/m<sup>2</sup> to 11.43 kg/m<sup>2</sup>; (3) The soil nutrient storages have different representations and relationship among the three forest types. There are trends on the decrease of soil organic carbon and total nutrients with soil depth, particularly the soil carbon and total nitrogen.

**Key words:** Zi wuling; forest soil; organic carbon storage; soil nutrient

森林土壤是陆地生态系统最大的有机碳库,约占全球土壤有机碳库的 73%<sup>[1-3]</sup>,在全球碳循环中扮演着源、汇、库的作用<sup>[4]</sup>。由于植被类型、气候特点以及土壤性质的不同,不同林型的土壤有机碳含

\* 收稿日期:2009-12-13

基金项目:中国科学院重要方向项目(KZCX2-YW-441,KZCX2-YW-149);国家重点基础研究展计划 973 项目(2007CB106803);国家自然科学基金重点项目(40730631);农业部“现代农业产业技术体系建设专项资金”

作者简介:杨晓梅(1983-),女,陕西宝鸡人,硕士研究生,主要研究方向:森林生态恢复及碳库。E-mail: yangxiaomei.003@163.com

通信作者:程积民(1955-),男,陕西省蒲城县人,研究员,博士生导师,主要研究方向:恢复生态与草地资源。E-mail: gyzcjm@ms.

iswc.ac.cn

量及分布特征存在很大差异<sup>[5-9]</sup>。位于黄土高原腹地的子午岭林区, 是经战乱、人口外迁、土地弃耕后自然恢复的天然次生林<sup>[10-11]</sup>, 并随着国家生态建设植树造林工程的人为恢复, 现已形成了较好的森林屏障, 对西部地区气候的调节与维持生态平衡具有重要意义。目前, 对子午岭林区土壤有机碳的研究, 主要集中在表层(0- 20 cm) 含量估计和坡度变化、生态系统转变、环境因子对其流失、分布的影响<sup>[12-17]</sup>, 但从林型角度研究子午岭土壤有机碳及养分储量特征的报道较少。基于此, 本文通过对子午岭林区主要森林类型: 天然次生柴松林、辽东栎林以及人工油松林土壤有机碳及养分的研究, 揭示不同林地土壤有机碳储量与养分的差异及各自之间的关系, 为整个黄土高原地区森林土壤有机碳储量估计及其影响因素研究提供基础依据。

1 研究区概况

子午岭地处黄土高原腹地, 位于陕甘两省交界处, 108°10′ - 109°08′ E, 35°03′ - 36°37′ N, 是洛河和泾河的分水岭, 植被属天然次生林针阔叶混交林类型。

表 1 样地基本情况

林分	面积/hm <sup>2</sup>	郁闭度	胸径/cm	树高/m	林木密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	林龄/a	枯落层 厚度/cm	土壤 类型
柴松	67600.0	0.75	7.2~ 51.5	5.9~ 15.8	1200~ 1600	21~ 90	5.5~ 6.5	淡黑垆土、 黄绵土
辽东栎	33400.0	0.60	6.5~ 50.0	6.0~ 16.3	800~ 1150	22~ 56	5.0~ 8.5	
油松	46486.7	0.87	5.1~ 49.0	5.2~ 16.0	1900~ 2100	25~ 30	4.3~ 5.8	

2.2 研究方法

在不同的样地, 按照坡位、坡向分别设置样点, 用直径 10 cm 的土钻取样, 取样深度为 0- 90 cm, 分为 0- 10 cm、10- 30 cm、30- 50 cm、50- 70 cm、70- 90 cm 共五个层次, 每个样地设置样点 12 个(阴坡 9 个, 阳坡 3 个), 每个样点选择样方 3 个(左、中、右), 每个样方采样 3 个并测定其枯枝落叶层的厚度, 采样时每一采样层重复 3 次制成一个混合样, 在 105℃±5℃烘干 24 h 后, 称重并计算土壤含水量, 采样时取环刀土以测土壤容重。将采集样品带回实验室, 仔细挑除袋装土内植物根系和石砾等杂物, 于阴凉处自然风干, 用四分法并过 0.25 mm 筛, 供指标的测定。土壤有机碳(有机质) 采用重铬酸钾氧化- 外加热法, 土壤全氮采用半微量开氏法, 全磷采用抗钼锑抗比色法<sup>[19]</sup>。

土壤有机碳密度(SOCD)是指单位面积一定深度的土层中土壤有机碳的储量, 一般用 t/hm<sup>2</sup> 或 kg/m<sup>2</sup> 表示<sup>[20]</sup>。某一土层 *i* 的有机碳密度(SOCD<sub>*i*</sub>, kg/m<sup>2</sup>) 计算公式为

海拔 1 280~ 1 500 m, 相对高差 200 m 左右, 年均气温 7.4℃, 最高气温 36.7℃, 最低气温 - 27.7℃, ≥10℃积温 2 671.10℃, 无霜期 112~ 140 d, 年均降雨量 587.6 mm<sup>[11]</sup>。子午岭主要植物有乔木柴松(*Pinus shenkanensis*)、油松(*P. tabulaeformis*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、山杨(*Populus davidiana*)、白桦林(*Betula platyphylla*)等; 灌丛白刺花(*Sophora viciifolia*)、沙棘(*Hippophae reamnoides*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、草本白羊草(*Bothriochloa ischemum*)、茺蒿(*Artemisia giraldii*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、本氏针茅(*Stipa bungeana*)<sup>[18]</sup>。

2 材料与方法

2.1 材料与样地选择

经过对子午岭林区的调查和研究, 从植被生长、群落结构、演替状况及稳定程度上, 分别选择子午岭北部乔北林业局和尚塬林场与合水连家砭林场具有典型代表性的天然次生柴松林和辽东栎林以及人工油松林 3 个种群样地。采样时综合考虑地形, 按不同坡向、坡位取样(样地具体情况见表 1)。

$$SOCD_i = C_i D_i E_i (1 - G_i) / 100 \quad (1)$$

式中: *C<sub>i</sub>* ——土壤有机碳含量(g/kg); *D<sub>i</sub>* ——土壤容重(g/cm<sup>3</sup>); *E<sub>i</sub>* ——土层厚度(cm); *G<sub>i</sub>* ——直径大于 2 mm 的石砾所占的体积百分数(%)。

一定剖面深度的 SOCD 计算公式为

$$SOCD = \sum_{i=1}^n C_i D_i E_i (1 - G_i) / 100 \quad (2)$$

式中: *n* ——土层数, 本研究 *n* = 5。

土壤全量养分密度计算方法同土壤有机碳密度。

2.3 数据处理

本实验数据处理采用 SPSS 13.0 软件, 方差分析研究不同林地土层深度对有机碳及养分的影响, 并在差异显著时进行多重比较(*P* < 0.05, LSD, *t* 检验); 采用相关分析研究有机碳与全量养分之间的相关关系。

3 结果与分析

3.1 三种林分土壤有机碳储量分布特征

3.1.1 土壤有机碳含量 通过对每种林分 36 个样点土壤有机碳的测定, 得到各林分土壤有机碳含量

(表 2)。3 种林分土壤有机碳含量剖面分布可以看出,不同林分类型及不同土层的有机碳含量存在较大差异。就整个土层而言,3 种林分土壤有机碳含量为 3.9~ 37.6 g/kg,平均含量为 13.02 g/kg。3 种林分土壤碳含量的大小分别是:辽东栎林最高,其次是柴松林,人工油松林最小。在剖面垂直分布上,

土壤表层有机碳含量最大,并随土壤厚度加深,有机碳含量均依次递减,变化幅度均达到了 86% 以上,且在 0– 10 cm、10– 30 cm 及 30– 50 cm 这三个层次上差异性显著。这说明土壤有机碳的表聚性较明显,表土层存在有机碳富集的现象,并且有机碳沿土层深度的变异较大。

表 2 三种林地土壤有机碳含量和碳密度

土层/ cm	柴松林		辽东栎林		油松林	
	有机碳含量/ (g · kg <sup>-1</sup> )	有机碳密度/ (kg · m <sup>-2</sup> )	有机碳含量/ (g · kg <sup>-1</sup> )	有机碳密度/ (kg · m <sup>-2</sup> )	有机碳含量/ (g · kg <sup>-1</sup> )	有机碳密度/ (kg · m <sup>-2</sup> )
0– 10	34.99 ± 4.14a	3.08 ± 0.36b	37.58 ± 6.15a	3.53 ± 0.58a	27.95 ± 3.30a	2.57 ± 0.30a
10– 30	16.83 ± 2.37b	3.67 ± 0.52a	15.44 ± 2.15b	3.52 ± 0.49a	14.62 ± 1.77b	3.01 ± 0.36a
30– 50	7.82 ± 2.97c	1.74 ± 0.66c	7.45 ± 1.74c	1.86 ± 0.43b	6.68 ± 1.17c	1.63 ± 0.29b
50– 70	4.80 ± 0.60cd	1.21 ± 0.15cd	4.79 ± 0.98c	1.27 ± 0.26b	4.07 ± 0.77cd	1.10 ± 0.21c
70– 90	3.93 ± 0.46d	1.06 ± 0.12d	4.51 ± 0.72c	1.25 ± 0.20b	3.85 ± 0.15d	1.07 ± 0.04c
0– 90	13.67 ± 1.78	10.76 ± 1.60	13.95 ± 1.40	11.43 ± 1.46	11.43 ± 0.86	9.38 ± 0.650

注:不同的字母代表不同深度差异性显著(P< 0.05),正负号后面表示标准差(下同)。

3.1.2 土壤有机碳密度 根据测定的土壤容重,3 种林地土壤容重为 0.88~ 1.39 g/cm<sup>3</sup>,不同林地相同土层之间差异较小。基于此对研究区林地土壤有机碳密度进行计算(表 2),结果表明,3 种林分土壤碳密度存在着显著差异,各土层密度介于 1.06~ 3.67 kg/m<sup>2</sup>,而以 10 cm 厚度计算,变化范围为 0.53 ~ 3.53 kg/m<sup>2</sup>,平均碳密度为 1.54 kg/m<sup>2</sup>。对整个土层(0– 90 cm)而言,3 种林分土壤碳密度为 9.38 ~ 11.43 kg/m<sup>2</sup>,各林分土壤碳密度与碳含量表现的规律性基本相同,碳密度从大到小依次为:辽东栎林> 柴松林> 油松林,其中前两种林分土壤碳密度明显较高,其碳密度分别是油松林的 1.22 倍和 1.14 倍。在土壤剖面上,碳密度和碳含量一样,随土壤深度的增加而减少,且各土层差异性显著,其中人工油松林表层土壤碳密度最小(2.57 kg/m<sup>2</sup>),其土壤碳密度垂直变化幅度为 79.18%,亦低于辽东栎林和柴松林,这与油松林地表层土壤遭受人为干扰较频繁以及土壤表层碳积累较少有关。同时,对 3 种林地不同土层有机碳密度分析后发现,0– 10 cm 的表层土壤碳密度贡献率为 27.40%~ 30.88%,而 0– 50 cm 的土层中土壤有机碳密度贡献率平均达到

77.88%,可见,表层土壤中碳密度储量最大,且在 0 – 50 cm 深度中,聚集着较多的有机碳。

3.2 三种林分土壤全量养分储量特征分析

土壤全量养分状况决定着土壤潜在供应养分的能力,在较长时期内与植被演替、种类、数量相关,其大小还受到土壤厚度、土壤质地、成土母质的矿物学特性等因素的影响。位于黄土高原子午岭地区的 3 种林分土壤环境大体相同,林分类型及特征对土壤养分储量的大小变化起着决定性作用。

3.2.1 土壤全量养分含量 从表 3 可以看出,研究区 3 种林分土壤全氮、全磷含量与有机碳呈相似的变化规律,从大到小依次为:辽东栎林> 柴松林> 油松林,3 种林分土壤总氮及磷的这种分布特征可能与植被群落类型和结构上的差异,导致凋落厚度、生物量以及林下微环境不同,从而影响土壤氮素积累有关。此外,研究区土壤全氮、全磷(除柴松林外)均随土壤深度增加而降低,与有机碳的垂直变化趋势相同,其变化幅度的趋势也与有机碳相似,全氮各土层间差异有显著性,而全磷在土层间的差异,只表现在辽东栎林和油松林,而柴松林土壤深度对其影响较小。

表 3 三种林分土壤全量养分含量

土层/ cm	柴松林		辽东栎林		油松林	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP
0– 10	2.67 ± 0.50a	0.45 ± 0.03a	3.12 ± 0.54a	0.62 ± 0.04a	2.45 ± 0.25a	0.58 ± 0.01a
10– 30	1.43 ± 0.23b	0.47 ± 0.05a	1.55 ± 0.36b	0.58 ± 0.02ab	1.52 ± 0.22b	0.56 ± 0.03a
30– 50	0.75 ± 0.27c	0.48 ± 0.04a	0.76 ± 0.14c	0.55 ± 0.03bc	0.77 ± 0.12b	0.52 ± 0.04b
50– 70	0.48 ± 0.02c	0.48 ± 0.03a	0.53 ± 0.12c	0.54 ± 0.02ac	0.50 ± 0.06c	0.49 ± 0.02b
70– 90	0.42 ± 0.02c	0.48 ± 0.03a	0.51 ± 0.11c	0.54 ± 0.02c	0.46 ± 0.04c	0.49 ± 0.02b
0– 90	1.15 ± 0.20	0.47 ± 0.03	1.29 ± 0.34	0.57 ± 0.03	1.14 ± 0.08	0.53 ± 0.02

注:TN:全氮;TP:全磷(下同)。

3.2.2 土壤全量养分密度 与土壤有机碳密度相似, 土壤全量养分密度也指单位面积一定深度的土层中土壤养分的储量。对研究区养分密度研究(如表 4), 结果表明, 就整个土壤剖面而言, 3 种林分土壤全氮及磷储量密度, 辽东栎林最高, 其次为油松林, 柴松林最低, 这与有机碳含量变化规律不一致, 导致差异的原因可能与林型、植被群落结构相关。就土层而言

表 4 三种林分土壤全量养分密度 t/hm<sup>2</sup>

土层/ cm	柴松林		辽东栎林		油松林	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP
0- 10	2. 35±0. 44ab	0. 39±0. 02d	2. 94±0. 98ab	0. 58±0. 04c	2. 25±0. 23b	0. 53±0. 01c
10- 30	3. 11±0. 50a	1. 02±0. 10c	3. 52±0. 83a	1. 32±0. 04b	3. 12±0. 45a	1. 16±0. 06b
30- 50	1. 65±0. 59bc	1. 07±0. 08c	1. 90±0. 34b	1. 37±0. 07b	1. 89±0. 29bc	1. 27±0. 11ab
50- 70	1. 22±0. 06c	1. 22±0. 08b	1. 39±0. 31b	1. 41±0. 06b	1. 36±0. 17c	1. 33±0. 05a
70- 90	1. 12±0. 06c	1. 31±0. 07a	1. 40±0. 31b	1. 49±0. 05a	1. 29±0. 11c	1. 37±0. 07a
0- 90	9. 46±1. 55	5. 01±0. 31	11. 15±2. 58	6. 18±0. 26	9. 92±0. 71	5. 67±0. 27

3.3 三种林地土壤碳储量与养分储量的相关性分析  
土壤环境是个复杂的生态系统, 土壤有机碳与养分之间有着密不可分的耦合或相关关系。对研究区不同林分土壤有机碳储量及养分储量相关性分析(如表 5), 结果表明: 在整个土壤剖面, 土壤有机碳储量与养分储量具有极显著的线性关系, 其中与氮的相关性系数均高于 0. 8, 而与磷的相关性系数略

表 5 土壤碳储量与养分储量之间的相关性分析

土层/ cm	柴松林		辽东栎林		油松林	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP
0- 10	0. 630 <sup>*</sup>	0. 126	0. 455	0. 758 <sup>**</sup>	0. 848 <sup>**</sup>	0. 551
10- 30	0. 871 <sup>**</sup>	0. 624 <sup>*</sup>	0. 586 <sup>*</sup>	0. 439	0. 710 <sup>*</sup>	0. 098
30- 50	0. 993 <sup>**</sup>	0. 276	0. 969 <sup>**</sup>	0. 373	0. 988 <sup>**</sup>	0. 873 <sup>**</sup>
50- 70	0. 909 <sup>**</sup>	0. 617 <sup>*</sup>	0. 977 <sup>**</sup>	0. 344	0. 957 <sup>**</sup>	0. 627 <sup>*</sup>
70- 90	0. 653 <sup>*</sup>	0. 561	0. 864 <sup>**</sup>	0. 392	0. 835 <sup>**</sup>	0. 242
0- 90	0. 870 <sup>**</sup>	0. 768 <sup>**</sup>	0. 823 <sup>**</sup>	0. 727 <sup>**</sup>	0. 814 <sup>**</sup>	0. 733 <sup>**</sup>

注: \* 表示差异显著, \*\* 表示差异极显著。

4 结论与讨论

黄土高原子午岭林区 3 种典型林分土壤有机碳及其储量存在明显差异, 这主要是由于群落结构与组成不同, 在各种类型植被- 土壤系统综合作用下, 立地环境产生较大差异, 相应的土壤有机碳特征不同, 且各林分土壤有机碳含量和碳密度, 随土壤深度增加而减少, 这与许多研究结果一致<sup>[59, 21]</sup>。林分土壤碳储量平均为 10. 52 kg/m<sup>2</sup>, 接近王绍强<sup>[21]</sup> (10. 53 kg/m<sup>2</sup>) 而高于李克让<sup>[22]</sup> (9. 17 kg/m<sup>2</sup>) 等研究的全国土壤碳储量; 从植被类型角度来看, 针叶落叶林(柴松林和油松林) 土壤碳储量平均为 10. 07 kg/m<sup>2</sup>, 阔叶落叶林(辽东栎林) 为 11. 43 kg/m<sup>2</sup>, 低于解宪丽等<sup>[23]</sup> 研究结果(落叶针叶林为 17. 71 kg/

(以 10 cm 厚度计), 土壤全氮密度, 随着土壤深度的增加而递减, 这与有机碳密度变化一致, 变幅为 0. 56~ 2. 94 t/ hm<sup>2</sup>, 差异较大; 而全磷密度却随着土壤深度的增加而增加, 变化范围为 0. 39~ 0. 75 t/ hm<sup>2</sup>, 差异较小。由此看出, 各养分储量密度变化趋势不一, 这可能与其植被类型、群落结构、林龄等差异, 以及通过微生物分解后, 进入土壤的形成机制及被利用程度有关。

低于氮, 变化范围为 0. 727~ 0. 768; 而对每一采样土层而言, 碳与养分储量并不是具有显著的相关关系: 每一采样土层, 碳与氮储量具有显著的相关关系, 但并不是都达到显著性水平; 而磷只有在个别层次与碳储量有相关关系。由此说明, 不同养分与碳储量的相关性差异较大, 同时也间接说明了土壤中氮素和碳素在积累储存过程中密切相关。

m<sup>2</sup>, 落叶阔叶林为 15. 11 kg/m<sup>2</sup>); 而从土壤类型角度而言, 高于解宪丽等<sup>[24]</sup> 的研究结果(黑垆土为 7. 75 kg/m<sup>2</sup>, 黄绵土为 4. 51 kg/m<sup>2</sup>)。由此可见, 针对不同林分、土壤类型研究土壤碳库具有重要的意义。此外, 不同植被类型或土层间土壤有机碳密度和全量养分变异程度不同, 说明各林分和土层间的土壤质地、林分类型、林龄、树种特性和人类干扰活动等都是影响土壤有机碳和全量养分储量大小的主要因子。

为了响应当前全球气候变化, 应对黄土区森林生态系统土壤碳储量、年际变化及其养分库的动态关系进一步探讨, 因此, 采用统一规范的研究方法, 获取大量有代表性的森林土壤碳储量实测数据, 从而减少区域尺度碳平衡研究的不确定性, 更精确地评价子午岭森林生态系统对黄土区气候变化的贡献。

## 参考文献

- [1] Post W M, Peng T H, Emanuel W R, et al. The Global Carbon Cycle[J]. American Scientist, 1990, 78: 310-326.
- [2] Post W M, Emanuel W R. Soil carbon pools and world life zones[J]. Nature, 1982, 298: 156-159.
- [3] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem[J]. Science, 1994, 263: 185-190.
- [4] Lal R. Forest soil and carbon sequestration[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 220: 242-258.
- [5] 杨金艳, 王传宽. 东北东部森林生态系统土壤碳贮量和碳通量[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2875-2882.
- [6] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518-522.
- [7] 方运霆, 莫江明, Brown S, 等. 鼎湖山自然保护区土壤有机碳贮量和分配特征[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 135-142.
- [8] 何志斌, 赵文智, 刘鹄, 等. 祁连山青海云杉林斑表层土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2572-2577.
- [9] 张城, 王绍强, 于贵瑞, 等. 中国东部地区典型森林类型土壤有机碳储量分析[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 97-103.
- [10] 刘立品. 子午岭木本植物志[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1998: 2-4.
- [11] 邹厚远, 刘国彬, 王晗生. 子午岭林区北部近 50 年植被的变化发展[J]. 西北植物学报, 2002, 22(1): 1-8.
- [12] 贾松伟. 黄土丘陵区不同坡度下土壤有机碳流失规律研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 30-33.
- [13] 张红, 吕家珑, 赵世伟, 等. 不同植被覆盖下子午岭土壤养分状况研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 66-69.
- [14] 赵世伟, 卢璐, 刘娜娜, 等. 子午岭林区生态系统转换对土壤有机碳特征的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(5): 1030-1035.
- [15] 魏孝荣, 邵明安, 高建伦. 黄土高原沟壑区小流域土壤有机碳与环境因素的关系[J]. 环境科学, 2008, 29(10): 2879-2875.
- [16] 徐香兰, 张科利, 徐宪立, 等. 黄土高原地区土壤有机碳估算及其分布规律分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 13-15.
- [17] 张平仓, 郑粉莉. 子午岭地区自然区域特征及其与土壤侵蚀的关系[J]. 中国科学院水利部水土保持研究所集刊, 1993, 17: 11-16.
- [18] 程积民, 赵凌平, 程杰. 子午岭 60 年辽东栎林种子质量与森林更新[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(2): 10-16.
- [19] 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, 2000: 106-107.
- [20] 金峰, 杨浩, 蔡祖聪, 等. 土壤有机碳密度及储量的统计研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 522-528.
- [21] 王绍强, 周成虎, 李克让. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 533-544.
- [22] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳贮量[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(1): 72-80.
- [23] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 不同植被下中国土壤有机碳的储量与影响因子[J]. 土壤学报, 2004, 41(5): 687-699.
- [24] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 35-43.
- (上接第 129 页)
- [6] 冯利华. 环境质量的主成分分析[J]. 数学的实践与认识, 2003, 33(8): 32-35.
- [7] 陈平雁, 黄浙明. SPSS10.0 统计软件应用教程[M]. 北京: 人民军医出版社, 2002.
- [8] 李朝旗, 李朝赞, 刘沛. 基于主成分分析的区域可持续发展能力评价: 以江苏省为例[J]. 开发研究, 2009(1): 64-67.
- [9] 苏鑫, 王继军, 李慧, 等. 基于退耕下吴起县农业生态经济系统态势分析[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1): 91-95.
- [10] 苏鑫, 王继军, 郭满才, 等. 基于结构方程模型的吴起县农业生态经济系统耦合关系[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4): 937-944.
- [11] 罗积玉, 邢英. 经济统计分析及预测[M]. 北京: 清华大学出版社, 1987.
- [12] 游家兴. 如何正确运用因子分析法进行综合评价[J]. 统计教育, 2003(5): 10-11.
- [13] 朱丽, 张仁陟. 甘肃省城市人居环境评价与分析[J]. 现代农业科技, 2008(6): 193-195.
- [14] 袁志发, 周静芋. 试验设计与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [15] 郭满才, 王继军, 彭珂珊, 等. 纸坊沟流域生态经济系统演变阶段及其驱动力初探[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 245-246, 255.