

# 岷江上游干旱河谷不同土地利用类型的土壤有机碳和易氧化态碳特征

刘正刚, 裴柏洋, 王宪帅

(四川农业大学 林业生态工程省级重点实验室, 四川 雅安 625014)

**摘要:**生态交错带是全球变化敏感区, 研究生态交错带不同土地利用类型土壤有机碳的变化, 可为生态交错带因人类活动引起的土地利用和覆被变化对土壤碳汇功能的影响提供基础数据。该文研究了岷江上流干旱河谷/山地森林交错带具有代表性的高山栎地、灌丛地、灌木林地、花椒地、农耕地以及人工刺槐林地不同土层深度土壤中有有机碳和易氧化态碳的含量和分布特征, 以及易氧化态碳与有机碳的关系。结果表明: 不同土地利用类型的有机碳含量和易氧化态碳含量随土层深度的增加而减少; 易氧化态碳与有机碳间呈极显著的相关性; 土壤易氧化态碳占有有机碳的比例波动为 3.57%~12.71%, 表现为高山栎地>农耕地>灌木林地>人工刺槐林地>灌丛地>花椒地。研究结果说明植被类型是导致岷江上游干旱河谷/山地森林交错带不同土地利用类型土壤中有有机碳和易氧化态碳含量差异的重要原因。

**关键词:**干旱河谷/山地森林交错带; 土地利用类型; 有机碳; 易氧化态碳

中图分类号: F301.24; S153.62

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0024-04

## Characteristics of SOC and ROC under Different Land Use Types at Arid Valley in the Upper Reaches of Minjiang River

LIU Zheng-gang, PEI Bo-yang, WANG Xian-shuai

(Sichuan Provincial Key Lab of Forestry Ecological Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

**Abstract:** Ecotone is a sensitive region for global climate change, and study on soil organic carbon under different land use types at ecotone could provide basic data for the effect of carbon sink function for land management concerning land use and land coverage change. This paper analyzed the contents and distribution characteristics of soil organic carbon (SOC) and readily oxidation carbon (ROC) and the relationship between them under six kinds of representative land use types (including *Quercus semicarpifolia* secondary forest, shrub, shrubbery, *Zanthoxylum bungeanum* forest, farmland and *Robinia pseudoacacia* plantation) at arid valley-mountain forest ecotone in the upper reaches of Minjiang River. The results showed that respective content of SOC and ROC decreased with the increase of depth of soil; there is extremely significant correlation between SOC and ROC; the ROC content accounted for 3.57%~12.71% of SOC, which showed *Quercus semicarpifolia* secondary forest>farmland>shrubby>*Robinia pseudoacacia* plantation>shrub>*Zanthoxylum bungeanum* forest. It can be seen that vegetation types is an important reason for causing the content differences between ROC and SOC under different land use types at ecotone.

**Key words:** arid valley-mountain forests ecotone; land use types; SOC; ROC

土地利用变化是造成碳循环不平衡的重要原因之一<sup>[1]</sup>, 而土壤碳库平衡是土壤肥力保持的重要内容<sup>[2]</sup>。土壤活性碳是指土壤中移动快、稳定性差、易氧化、矿化, 对植物和土壤微生物来说活性较高的那

部分有机碳, 常可用易氧化碳等来进行表征<sup>[3]</sup>。土壤活性碳虽然只占土壤全碳的较小部分, 但它可以在土壤全碳变化之前反映土壤微小的变化, 同时它直接参与了土壤生物化学转化过程, 又是土壤微生物生命活

动的能源,对土壤养分的有效化也有着十分重要的作用<sup>[4-5]</sup>。

因不同土地利用类型下植物对土壤中碳的摄取量、植物根系深入地下的深度以及土壤承接其凋落物和根系分泌物类型<sup>[6]</sup>等因素的差别,造成了土壤中相同土地利用类型不同土层深度的碳含量以及不同土地利用类型相同土层深度的碳含量发生的明显变化。因此,研究同一地域不同土地利用类型土壤有机碳的特征对于揭示土地利用变化对土壤碳循环的影响具有十分重要的意义。本研究以岷江上游干旱河谷—山地森林交错带6种不同土地利用类型为对象,探讨不同土地利用方式对土壤有机碳、易氧化态碳的影响,为揭示不同土地利用类型对土壤有机碳库的影响机理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区自然概况

研究地点位于岷江上游理县桃坪乡,海拔1 800~2 600 m,属典型的岷江上游山地森林与干旱河谷的交错区。该区属山地季风气候,垂直气候带明显,年平均气温11℃,≥10℃活动积温3 200~3 800℃,无霜期190 d,年降水量400~600 mm;地表起伏巨大,相对高差达1 000 m以上,地质活动频繁,地形地貌类型复杂多样;土壤受地貌、气候和植被等因素的影响,在海拔梯度上发育了褐土、棕壤、暗棕壤、灌丛草甸土、草甸土、亚高山草甸土、高山草甸土、高山寒漠土;植被类型主要为干旱河谷灌草丛、常绿阔叶与落叶阔叶混交林、亚高山针叶林、高山灌丛草甸。

### 1.2 采样与分析方法

在研究区域内的6种土地利用类型中分别设置面积为20 m×20 m的标准地3个,在每个标准地内按典型方式挖取土壤剖面3个,每个剖面按I层(0–20 cm)、II层(20–40 cm)和III层(40–60 cm)分层采集土壤样品(60 cm为研究区域内6种土地利用类型的涵盖厚度)。

有机碳含量测定采用重铬酸钾外加热法<sup>[7]</sup>,易氧化态碳含量采用333 mmol/L高锰酸钾氧化法测定<sup>[8-9]</sup>。

### 1.3 数据处理

利用Excel 2003软件对结果进行统计分析。

## 2 结果分析

### 2.1 土壤有机碳含量

6种土地利用类型的土壤有机碳含量的变化如图1所示。从图中可以看出,不同土地利用类型土壤

有机碳含量随土层深度的增加而减小。在0–20 cm和20–40 cm土层中高山栎地的有机碳含量明显高于其它土地利用类型中有机碳的含量,而在40–60 cm土层中灌木林地的有机碳含量最高,农耕地在各个土层中的有机碳含量均低于其它土地利用类型。

在0–60 cm土层内,6种土地利用类型中高山栎地的有机碳平均含量最高,农耕地的有机碳平均含量最低,各土地利用类型土壤有机碳平均含量从大到小的顺序为:高山栎地(17.516 g/kg) > 灌木林地(17.060 g/kg) > 灌丛地(15.518 g/kg) > 花椒地(12.219 g/kg) > 人工刺槐林地(10.809 g/kg) > 农耕地(8.865 g/kg)。比较花椒地和农耕地这两种农作物土地利用类型,可以发现二者的有机碳平均含量差异明显,花椒地是农耕地的1.38倍,与高山栎地相比,花椒地有机碳平均含量下降了30%,农耕地有机碳平均含量下降了49%,这与二者种植方式的差异较大有关;人工刺槐林地的有机碳平均含量比天然灌木林地和灌丛地的有机碳平均含量低,天然林地有机碳平均含量相对较高是因为其土壤没有被人为翻动,林下生长有大量的灌、草以及丰富的枯落物,因而其有机碳含量较高。

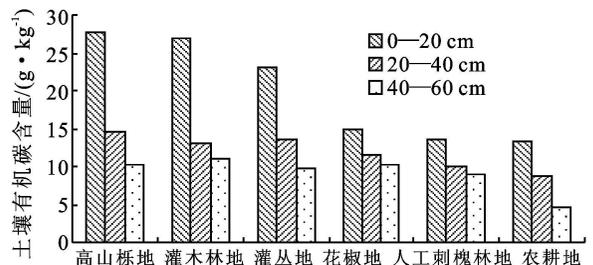


图1 不同土地利用类型土壤有机碳含量

### 2.2 土壤易氧化态碳含量

土壤易氧化态碳的含量及变化特征如表1所示。各个土层中高山栎地的易氧化态碳含量均明显高于其它土地利用类型中易氧化态碳的含量,在0–20 cm和40–60 cm土层中花椒地的易氧化态碳含量最低,在20–40 cm的土层中农耕地的易氧化态碳含量最低。

由0–60 cm土层中的土壤易氧化态碳平均含量来看,高山栎地的土壤易氧化态碳平均含量最高,农耕地的易氧化态碳平均含量最低,这与二者的土壤有机碳平均含量分布相一致。不同土地利用方式土壤易氧化态碳含量差异较大,土壤易氧化态碳平均含量的顺序从大到小依次为:高山栎地(1.839 g/kg) > 灌木林地(1.637 g/kg) > 灌丛地(1.286 g/kg) > 人工刺槐林地(0.968 g/kg) > 花椒地(0.942 g/kg) > 农耕地(0.900 g/kg)。

易氧化态碳(ROC)含量的多少与土壤有机碳含量有关,同时也与土壤的理化性质及氧化还原环境有关<sup>[10]</sup>。高山栎地的有机碳含量高,土壤蓄水能力强,林下土壤的通气性、渗透性和保水性较好,因此其ROC含量最高;灌木林地和灌丛地因植株相对矮小属地面植被,降低了土壤的通气性和透水性,因而

ROC含量较高山栎地略低;由于受人为干扰影响较大,导致人工刺槐林地、花椒地、农耕地这3种人工土地利用类型的ROC含量比天然林地低,但它们之间的易氧化态碳平均含量相差不大,而农耕地的有机碳平均含量最低也是导致其ROC平均含量最低的原因之一。

表 1 不同土地利用类型土壤易氧化态碳含量

g/kg

土层深度/cm	高山栎地	灌木林地	灌丛地	农耕地	人工刺槐林地	花椒地
0-20	3.437	3.161	2.509	1.702	1.613	1.607
20-40	1.260	0.930	0.917	0.635	0.668	0.855
40-60	0.821	0.818	0.433	0.364	0.623	0.362
平均	1.839	1.637	1.286	0.900	0.968	0.942

### 2.3 易氧化态碳占有机碳的比率

土壤易氧化态碳占有机碳的比率比易氧化态碳总量更能反映不同土地利用类型下植被对土壤有机碳行为的影响结果。土壤易氧化态碳含量及其与土壤总有机碳的比率是反映土壤碳稳定性的指标,土壤全碳中易氧化态碳所占比例越高,说明土壤碳的活性越大,稳定性越差<sup>[11]</sup>。各土地利用类型不同土层易氧化态碳占有机碳的比率见表2。由表2看出,高山栎地、花椒地、灌丛地土壤易氧化态碳占有机碳的比

率随土层剖面的变深而下降;农耕地、人工刺槐林地、灌木林地易氧化态碳所占比率在40-60cm土层中略有回升,这反映了土壤易氧化态碳的复杂多变。

从0-60cm土层整体的易氧化态碳占有机碳的比率来看,6种土地利用类型中,高山栎地和农耕地的易氧化态碳比例最大,分别达到了10.50%和10.16%,显著高于其它土地利用方式,说明这两种土地利用类型的碳素活性相对较大、且不稳定,在未来气候变化下,土壤有机碳更易于发生变化<sup>[10]</sup>。

表 2 易氧化态碳占有机碳的比率

%

土层深度/cm	农耕地	高山栎地	人工刺槐林地	灌木林地	花椒地	灌丛地
0-20	12.71	12.41	11.92	11.71	10.77	10.88
20-40	7.36	8.68	6.66	7.11	7.38	6.71
40-60	7.96	7.94	7.04	7.36	3.57	4.41
平均	10.16	10.50	8.96	9.59	7.71	8.29

### 2.4 土壤易氧化态碳与有机碳的相关关系

如图2所示,对ROC和SOC含量的回归分析表明,全部样品的易氧化态碳含量与有机碳含量之间的相关性达到极显著水平,说明土壤易氧化态碳很大程度上依赖有机碳的含量。

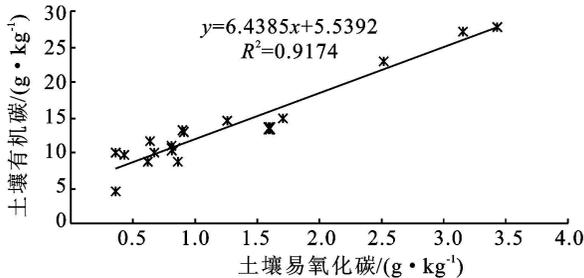


图 2 土壤易氧化态碳与有机碳的关系

土地利用类型,其植被凋落物和根系分泌物的多少、化学组成(C/N)、根系分布情况也会影响到土壤有机碳和易氧化态碳的含量<sup>[12]</sup>。土壤中有有机碳和易氧化态碳含量的变化直接关系到土壤质量的改变,进而影响到植物的生长和群落结构的构建。岷江上游干旱河谷-山地森林交错带不同土地利用类型生长的植被不同,它们的凋落物种类不同,会影响到土壤微生物量和碳利用率<sup>[13-14]</sup>,从而导致沿土层梯度土壤有机碳和易氧化态碳含量和分布的变化。研究表明,该交错带土壤易氧化态碳与有机碳的空间分布既有一致性,也存在一定的差异性;不同土地利用类型土壤有机碳和易氧化态碳的含量均随土层深度的增加而减少。

土地利用及土地利用变化对土壤有机碳含量有较大的影响<sup>[15]</sup>,土壤有机碳含量的多少与植被每年的归还量和分解速率密切相关,归还量大、分解缓慢会造成土壤累积较多的有机碳<sup>[11]</sup>,高山栎、灌木、灌丛这些天然林由于生物归还量大,因而使得土壤有机碳含量相对较高;花椒、人工刺槐、农作物不仅归还量小,而且快速分解,因此土壤有机碳含量低。

## 3 结论与讨论

土地利用类型不同,一方面会导致进入土壤种植物残体的数量和性质发生改变,另一方面会引起土壤水分管理、耕作方式等管理措施的差异,由此影响和改变土壤有机碳和易氧化态碳的含量。此外,不同土

不同土层的土壤由于承接凋落物和根系分泌物类型不同,形成的土壤碳库特别是活性碳状况有很大差异<sup>[6]</sup>。对不同地理景观区域森林土壤生态系统的微生物量碳、土壤有效碳等进行研究表明,景观异质性可显著改变地下生物群落的结构,进而改变凋落物分解和土壤碳循环等生态过程<sup>[16-17]</sup>。高山栎、灌木、灌丛这些天然林木的根系发达、密集,根系分泌物和衰亡的根是微生物丰富的能源物质<sup>[18]</sup>,林木的枯枝落叶层每年通过淋失(溶)、分解等过程向矿质土层提供大量有机碳和养分,有利于微生物的生长,经微生物的循环作用,成为易氧化态碳的重要来源。此外,上层土壤接收全部的植物凋落物和有相对较多的根系分布,而凋落物和根系分泌物经微生物作用的循环,也是造成土壤上层易氧化态碳含量相对较高的重要原因之一。

土壤易氧化态碳是土壤有机碳中较为活跃的部分,土地利用方式不同导致土壤易氧化态碳占有有机碳的比率呈现出显著差异。土壤活性有机碳组分占土壤有机碳含量的比率总体上不高,但对维持土壤肥力及土壤碳储量变化方面具有重要的作用<sup>[19]</sup>。而土壤有机碳含量在活性和非活性组分间的分配比例受许多因素的影响,在陆地森林土壤中,天然植被变成农田进行耕作(如耕作类型和耕作长度)是影响土壤活性碳的最主要的因素之一<sup>[20]</sup>。本研究结果显示,由天然林土地利用类型到人工土地利用类型,土壤有机碳和易氧化态碳的含量明显下降,分别降低了36%和41%,这种趋势与吴建国等<sup>[21]</sup>对六盘山林区的土壤活性有机碳含量的研究结果基本一致,与国外许多研究也较为相似,如Blair等<sup>[19]</sup>发现对新南威尔士地区的天然植被土壤进行耕作后,土壤有机碳、活性有机碳和非活性有机碳含量都有不同程度的下降。

土壤易氧化态碳的含量在不同土层中均随土层深度的加深而递减,与有机碳的变化趋势一致,并且同有机碳显著相关,这主要是因为易氧化态碳含量在很大程度上取决于土壤有机碳含量的变化。王清奎等的研究也表明,生物活性有机碳库、SMBC、WSOC、HWC、LF-C的含量均和SOC显著相关,说明了土壤易氧化态碳在较大程度上依赖于总有机碳的贮量<sup>[22]</sup>。

不过,也有研究发现土地利用变化对土壤活性有机碳并没有显著影响,如Mendham等发现澳大利亚西部天然林、草地和桉树人工林中的土壤活性有机碳含量没有显著差异<sup>[23]</sup>。这些差异的原因,目前还并不十分清楚,但差异却表明土地利用变化对土壤活性有机碳的影响可能是复杂的过程,在不同土地利用变化及不同的区域可能会有不同的趋势<sup>[24]</sup>。而在本项

研究中农耕地、人工刺槐林地、灌木林地的土壤易氧化态碳占有有机碳的比率在40-60cm土层中有明显的回升这一现象也印证了上述观点。

由于土壤活性有机碳还未有统一的定义和测定方法,如何评价目前所测定的不同土地利用类型土壤易氧化态碳沿土层深度的变化在陆地生态系统碳循环和区域碳平衡中的作用和意义还需要做进一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] 张俊华,李国栋,南忠仁,等.黑河中游不同土地利用类型下土壤有机碳时空分布[J].兰州大学学报,2009,45(4):66-72.
- [2] Lefroy R D B, Blair G J, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic C fractions and <sup>13</sup>C natural isotope abundance [J]. Plant and Soil, 1993, 156: 399-402.
- [3] 沈宏,曹志洪,胡正义.土壤活性有机碳的表征及其生态意义[J].生态学杂志,1999,18(3):32-38.
- [4] Wander M M, Traina S J, Stinner B R, et al. The effects of organic and conventional management on biologically active soil organic matter fraction [J]. Soil Sci. Am. J., 1994, 58: 1130-1139.
- [5] Coleman D C, Reid C P P, Cole C. Biological strategies of nutrient cycling in soil systems [J]. Advances in Ecological Research, 1983, 13: 1-55.
- [6] 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.
- [7] 中国土壤学会.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,1999:146-226.
- [8] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems [J]. Australia Journal of Agricultural Research, 1995, 46: 1459-1466.
- [9] 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(2):166-173.
- [10] 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.
- [11] 朱志建,姜培坤,徐秋芳.不同森林植被下土壤微生物量碳和易氧化态碳的比较[J].林业科学研究,2006,19(4):523-526.
- [12] 徐侠,王丰,栾以玲.武夷山不同海拔植被土壤易氧化态碳[J].生态学杂志,2008,27(7):1115-1121.
- [13] Bauhus J, Pare D C, Cote L. Effects of tree species standage and soil type on soil microbial biomass and its activity in a southern boreal forest [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1998, 30(8):1077-1089.

## 参考文献:

- [1] Renard K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the  $R$  factor in the revised USLE [J]. *Journal of Hydrology*, 1994, 157: 287-306.
- [2] 王万忠, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力  $R$  值计算与分布 [J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1995, 9(4): 5-18.
- [3] 王万忠, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力  $R$  值计算与分布 II [J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1996, 2(1): 29-39.
- [4] 黄炎和, 卢程隆, 郑添发, 等. 闽东南降雨侵蚀力指标  $R$  值的研究 [J]. *水土保持学报*, 1992, 6(4): 1-5.
- [5] 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研究 [J]. *中国水土保持*, 1994(4): 12-13.
- [6] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省降雨侵蚀力指标  $R$  值 [J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1995, 9(1): 13-18.
- [7] 符素华, 段淑怀, 吴敬东, 等. 北京山区次降雨侵蚀力 [J]. *水土保持学报*, 2002, 16(1): 37-39.
- [8] 谢云, 章文波, 刘宝元. 用日雨量和雨强计算降雨侵蚀力 [J]. *水土保持通报*, 2001, 21(6): 53-56.
- [9] 章文波, 谢云, 刘宝元. 降雨侵蚀力研究进展 [J]. *水土保持学报*, 2002, 16(5): 43-46.
- [10] 章文波, 谢云, 刘宝元, 等. 中国降雨侵蚀力空间变化特征 [J]. *山地学报*, 2003, 21(1): 33-40.
- [11] Ferro V, Porto P, Yu B. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and south-eastern Australia [J]. *Hydrological Sciences Journal*, 1999, 44(1): 3-24.
- [12] Yu B, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales [J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1996, 34: 139-152.
- [13] Arnoldus H M J. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco [J]. *FAO Soils Bulletin*, 1977, 34: 39-51.
- [14] 马志尊. 应用卫星影像估算通用土壤流失方程各因子值方法的探讨 [J]. *中国水土保持*, 1989(3): 24-27.
- [15] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [C]. *USDA-Agriculture Handbook*, No. 703, 1997.
- [16] Mikhailova E A, Brayant R B, Schwager S J, et al. Predicting rainfall erosivity in Honduras [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1997, 61: 273-279.
- [17] 黄金良, 洪华生, 张路平, 等. 基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究 [J]. *水土保持学报*, 2004, 18(5): 75-79.
- [18] Dabral P P, Baithuri N, Pandey A. Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India Using USLE, GIS and Remote Sensing [J]. *Water Resour Manage*, 2008, 22: 1783-1798.
- [19] 伍育鹏, 谢云, 章文波, 等. 国内外降雨侵蚀力简易计算方法比较 [J]. *水土保持学报*, 2001, 15(3): 31-34.
- (上接第27页)
- [14] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1989, 21: 471-479.
- [15] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential [J]. *Global Change Biology*, 2000, 6: 317-327.
- [16] Ruan H H, Zou X M, Zimmerman J K, et al. Asynchronous microbial growth and plant litterfall in a tropical wet forest [J]. *Plant and Soil*, 2004, 260: 147-154.
- [17] Li Y Q, Ruan H H, Zou X M, et al. Response of major soil decomposers to landslide disturbance in a Puerto Rican rainforest [J]. *Soil Science*, 2005, 3: 1711-1715.
- [18] Smith J L, Paul E A. The significance of soil microbial biomass estimations [M] // Bollag J M, Stotzky G. *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1991.
- [19] Blair G J, Lefroy B P, Singh A R. Development and use of a carbon management index to monitor changes in soil C pool size and turnover rate [M]. *Wallingford: CAB International*, 1997: 273-281.
- [20] Camberdella C A, Elliott E T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils [J]. *Soil Science Society of American Journal*, 1994, 58: 123-130.
- [21] 吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳储量的影响 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 593-600.
- [22] 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]. *生态学杂志*, 2005, 25(3): 513-519.
- [23] Mendham D S, Connell A M, Grove T S. Organic matter characteristics under native forest, long term pasture, and recent conversion to Eucalyptus plantations in western Australia: microbial, soil respiration and permanganate oxidation [J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2002, 40: 859-872.
- [24] Wu J, Zhang X, Xu D. Changes in soil labile organic carbon under different land use in the Liupan Mountain forest zone [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5): 657-664.