

阿尔泰山区土壤有机碳氧化稳定性的初步比较分析

徐 华 君<sup>1,2</sup>

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221008; 2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 以阿尔泰山区土壤为研究基础, 初步比较分析了山地土壤有机碳的氧化稳定性及垂直变化规律, 认为土壤的  $K_{os}$  值具有一定的垂直地带性; 并认为在今后的土地开发利用中, 应遵从其规律, 做到合理地利用土地资源。

关键词: 土壤有机碳; 氧化稳定性;  $K_{os}$  值; 垂直地带性

中图分类号: S153. 621 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2007) 06-0027-03

Comparative Analysis of the Soil Organic Carbon Oxidation  
Stability in Altai Mountain, Xinjiang

XU Hua-jun<sup>1,2</sup>

(1. School of Environmental Sciences & Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 2. College of Resources & Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** This paper is based on Altai mountain soils, compared the soil organic carbon oxidation stability of different zones, a study was carried out to know the vertical change of the properties of mountain soils in Altai with altitude, and the  $K_{os}$  value was distributed vertically zonality; and make sure to use the land resource reasonably in the future.

**Key words:** soil organic carbon; oxidation stability;  $K_{os}$  value; vertical zonality

土壤有机碳是土壤肥力的重要物质基础, 其对土壤肥力的作用不仅决定于其数量, 而且决定于其质量。其本身也被认为是衡量土壤肥力的重要指标之一, 对土壤的物理、化学和生物特性影响较大<sup>[1]</sup>。以往国内外学者对土壤有机碳氧化稳定性能变化的研究, 大多是以某种耕作土壤为基点, 研究有机质品质, 以探讨有机培肥机理, 对自然土壤的此类研究少有报道。为此, 以阿尔泰山区的土壤为研究基础, 试图初步比较阿尔泰山区土壤有机碳氧化稳定性的变化, 讨论其与土壤肥力的关系, 希望能够为深入研究和评价这个地区土地利用变化对土壤有机碳的影响提供一些依据。

1 材料与方法

1.1 土样采集

阿尔泰山斜跨中、哈、俄、蒙四国, 呈北西方向展布, 新疆境内的阿尔泰山仅为山系中部的西南坡。

阿尔泰山区是新疆境内相对寒冷湿润的地区, 不仅有与水土热条件相适应的土壤形成特征, 土壤垂直分布也有其特殊的规律性。因其山体高大, 土壤垂直带完整, 区域差异性显著, 对于研究干旱中温带的山地土壤有代表性。

按其垂直分带, 共选择 9 个自然带作为研究对象。由于自然土壤的厚度深浅有一定差异, 所以, 各个取样剖面均取自表层(即有机质层, 包括枯枝落叶层)。共采集 76 个样品。

1.2 分析方法与数据处理

土壤有机碳氧化稳定性采用袁可能法<sup>[2]</sup>, 即用 0. 4

mol/L 1/6  $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ (1: 1) 170~ 180℃煮沸 5 min 测定土壤有机碳( $b$ ), 用 0. 2 mol/L 1/6 $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ (1: 3) 130~ 140℃煮沸 5 min 测定易氧化有机碳( $a$ )含量, 氧化稳定系数  $K_{os} = (b - a)/a$ , 其中( $b - a$ )为难氧化有机碳; 其它相关指标的测试采用常规分析法<sup>[3]</sup>; 定义土壤有机质活化度为  $a/b$ 。数据的相关处理和制图, 均采用 SPSS 10.0 软件进行。

2 结果与讨论

本研究对所采土样进行了总有机碳和易氧化有机碳的测定, 进而推算出难氧化有机碳的含量, 并计算出  $K_{os}$  值和有机碳活化度; 对全氮(TN)、盐基饱和度(BSP)、阳离子代换量(CEC)及 pH 值等进行了测定, 计算了碳氮比(C/N)。具体数据见表 1。

2.1 土壤有机碳含量垂直变化规律

从土样分析结果来看, 从基带的棕钙土至高山寒冻土, 土壤的有机碳呈上升趋势, 特别是自山地黑钙土开始, 有很大的增加, 最低为 6. 2 g/kg, 最高达 125. 8 g/kg(表 1), 在高山草甸土和亚高山草甸土处虽然略有降低, 但仍然维持在较高的范围。

单从数据上分析, 自山地黑钙土向上, 土壤有机碳的含量很高, 属肥力指标较好的土壤。一般也认为, 土壤有机碳含量与土壤肥力高低呈正相关, 但有学者的研究却提出了不同的观点, 他们认为, 当土壤肥力达到一定水平或有机碳含量超过一定数量时, 二者之间并不呈正相关的关系<sup>[2, 4]</sup>。

\*收稿日期: 2007-04-18  
基金项目: 新疆维吾尔自治区重点实验室绿洲生态实验室开放课题资助(XJDX0204-2006-03)  
作者简介: 徐华君(1962- ), 男, 上海市人, 副教授, 博士生, 主要从事土壤地理学和区域环境演变研究。

表 1 土壤的基本性状

| 土类及编号          | 有机碳/<br>(g · kg <sup>-1</sup> ) | 易氧化<br>有机碳/<br>(g · kg <sup>-1</sup> ) | 难氧化<br>有机碳/<br>(g · kg <sup>-1</sup> ) | Kos  | 有机碳<br>活化度/<br>% | 全氮/<br>(g · kg <sup>-1</sup> ) | C/N  | BSP/<br>% | CEC/<br>(cmol ·<br>kg <sup>-1</sup> ) | pH 值 |
|----------------|---------------------------------|--|--|------|------------------|--------------------------------|------|-----------|---------------------------------------|------|
| 高山寒冻土 9        | 125.8                           | 52.5                                   | 73.3                                   | 1.40 | 0.42             | 6.26                           | 20.1 | 44.86     | 50.38                                 | 5.02 |
| 高山草甸土 8        | 94.3                            | 43.7                                   | 50.6                                   | 1.16 | 0.46             | 7.25                           | 13.0 | 29.33     | 31.70                                 | 5.7  |
| 亚高山草甸土 7       | 74.6                            | 37.7                                   | 36.9                                   | 0.98 | 0.51             | 6.42                           | 11.6 | 43.59     | 30.97                                 | 5.08 |
| 山地棕色<br>针叶林土 6 | 109.4                           | 60.1                                   | 49.3                                   | 0.82 | 0.55             | 4.95                           | 22.1 | 51.31     | 49.58                                 | 5.22 |
| 山地灰色<br>针叶林土 5 | 105.1                           | 59.7                                   | 45.4                                   | 0.76 | 0.57             | 5.04                           | 20.9 | 80.57     | 63.53                                 | 5.68 |
| 山地黑钙土 4        | 86.9                            | 53.6                                   | 33.3                                   | 0.62 | 0.62             | 6.26                           | 13.9 | 80.00     | 58.73                                 | 6.68 |
| 山地栗钙土 3        | 30.9                            | 19.9                                   | 11.0                                   | 0.55 | 0.64             | 2.79                           | 11.1 | 4.42      | 21.26                                 | 8.28 |
| 山地棕钙土 2        | 8.3                             | 5.6                                    | 2.7                                    | 0.48 | 0.68             | 0.75                           | 11.1 | 3.97      | 18.88                                 | 8.39 |
| 棕钙土 1          | 6.2                             | 4.3                                    | 1.9                                    | 0.44 | 0.69             | 0.78                           | 7.9  | 3.58      | 4.75                                  | 9.09 |

2.2 土壤有机碳稳定性的变化规律

土壤有机碳的高低,并不能完全表征土壤有效肥力的高低。根据分析方法的不同,土壤有机碳可分为易氧化有机碳和难氧化有机碳等。易氧化有机碳的多少表征着土壤能释放的有效肥力的多少。难氧化有机碳含量的高低,则更多地代表了土壤缓效性养分贮备的多少,其稳定性决定了这些养分的不易转化。因而,难氧化有机碳虽有利于土壤结构的稳定,但其供肥能力较低。

从易氧化有机碳的分析来看,从基带土壤棕钙土至高山寒冻土,其数值呈增高的趋势,但从变化的幅度来讲,易氧化有机碳的变化与有机碳的变化幅度并不同步,而难氧化有机碳则基本与有机碳的分布变化同步(图 1- 3)。从 3 幅图的

简单对比可以看出,难氧化有机碳在垂直带中的分布态势跟总有机碳的分布态势基本一致,其最高值出现在高山寒冻土带,其较高值部分的排序(从高至低),对总有机碳而言,高山寒冻土> 山地棕色针叶林土> 山地灰色针叶林土> 高山草甸土> 山地黑钙土> 亚高山草甸土;对难氧化有机碳而言,高山寒冻土> 高山草甸土> 山地棕色针叶林土> 山地灰色针叶林土> 亚高山草甸土> 山地黑钙土;但对易氧化有机碳而言,山地棕色针叶林土> 山地灰色针叶林土> 山地黑钙土> 高山寒冻土> 高山草甸土> 亚高山草甸土,其排序发生了较大的变动,易氧化有机碳最高值出现在山地棕色森林土和山地灰色森林土,而并不在有机碳含量最高的高山寒漠土。也就是说,有机碳含量高的土壤,其有效肥力未必就高。

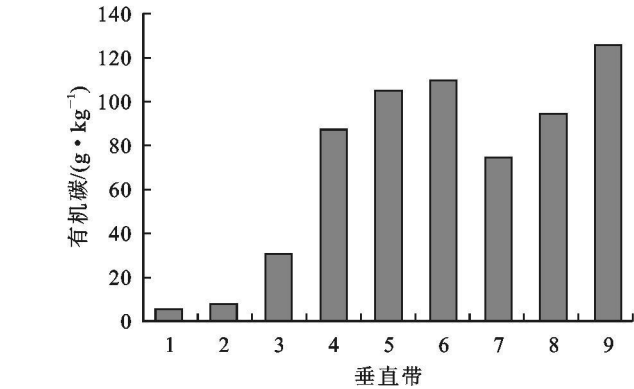


图 1 有机碳在垂直带中的分布态势

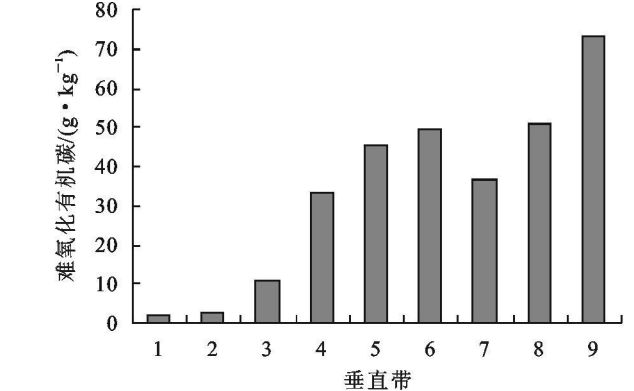


图 3 难氧化有机碳在垂直带中的分布态势

变化趋势表明,有机碳的氧化稳定性大致有降低的趋势,而有机碳的活化度逐渐增高,表示土壤有机质的氧化稳定性与其水热形成条件有关,并有一定的垂直地带性规律。

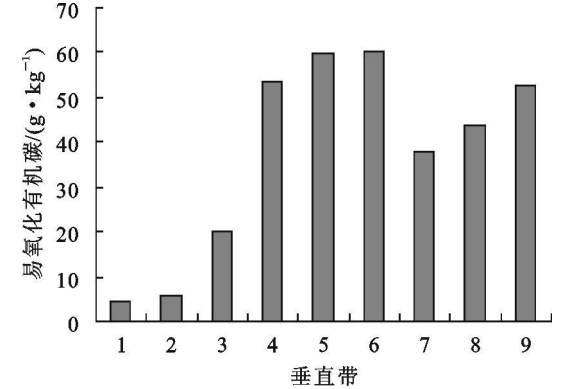


图 2 易氧化有机碳在垂直带中的分布态势

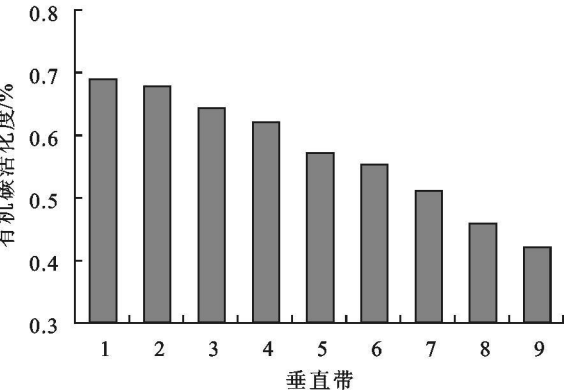


图 4 有机碳活化度在垂直带中的分布态势

2.3 土壤 Kos 值的变化规律

土壤有机碳氧化稳定性是土壤有机碳的一个重要性质,

它与腐殖质抵抗氧化的能力有关, 关系到腐殖质分解难易, 影响土壤肥力的发挥。它用氧化稳定系数(  $K_{os}$  )来衡量,  $K_{os}$  值越大, 氧化稳定性越大, 反之, 则越小。

徐建民<sup>[5]</sup> 等认为在气候的影响下, 地带性土壤中有有机质的氧化稳定性有一定的地带性。虽然徐建明等所讨论的地带性规律是指从北向南, 土壤有机质的  $K_{os}$  值有渐降趋势。但从本研究来看,  $K_{os}$  值变化, 以基带的棕钙土有机质氧化稳定性为低, 山地土壤氧化稳定性高, 并且  $K_{os}$  值随海拔的升高而增加, 相似地表现出明显的垂直地带性。

2.4 土壤有机碳与相关指标的关系

土壤有机碳、易氧化有机碳和难氧化有机碳含量及  $K_{os}$  值与土壤全氮、C/N、盐基饱和度( BSP)、阳离子代换量( CEC) 及 pH 值之间关系的相关分析表明( 表 2), 土壤有机

表 2 有机碳及相关指标的相关系数

| 项目         | 有机碳         | 易氧化 C       | 难氧化 C       | $K_{os}$    | 全氮          | C/N       | BSP      | CEC       | pH 值        |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|----------|-----------|-------------|
| 有机碳        | 1. 000*     | 0. 963* *   | 0. 969* *   | 0. 783*     | 0. 860* *   | 0. 839* * | 0. 781*  | 0. 860* * | - 0. 930* * |
| 易氧化 C      | 0. 963* *   | 1. 000*     | 0. 867* *   | 0. 595      | 0. 820* *   | 0. 845* * | 0. 887*  | 0. 933* * | - 0. 873* * |
| 难氧化 C      | 0. 969* *   | 0. 867* *   | 1. 000*     | 0. 904* *   | 0. 840* *   | 0. 780*   | 0. 634   | 0. 737*   | - 0. 922* * |
| $K_{os}$ 值 | 0. 783*     | 0. 595      | 0. 904* *   | 1. 000*     | 0. 781*     | 0. 498    | 0. 312   | 0. 416    | - 0. 822* * |
| 全氮         | 0. 860* *   | 0. 820* *   | 0. 840* *   | 0. 781*     | 1. 000*     | 0. 462    | 0. 685*  | 0. 675*   | - 0. 870* * |
| C/N        | 0. 839* *   | 0. 845* *   | 0. 780*     | 0. 498      | 0. 462      | 1. 000*   | 0. 679*  | 0. 837* * | - 0. 730*   |
| BSP        | 0. 781*     | 0. 887*     | 0. 634      | 0. 312      | 0. 685*     | 0. 679*   | 1. 000   | 0. 941*   | - 0. 690    |
| CEC        | 0. 860* *   | 0. 933* *   | 0. 737*     | 0. 416      | 0. 675*     | 0. 837* * | 0. 941*  | 1. 000*   | - 0. 727*   |
| pH 值       | - 0. 930* * | - 0. 873* * | - 0. 922* * | - 0. 822* * | - 0. 870* * | - 0. 730* | - 0. 690 | - 0. 727* | 1. 000*     |

从分析数据看, 自山地黑钙土向上, 有机碳的增加很快, 且保持在一个较高的含量, 这应该跟氮素随海拔的增高而增加有密切的关系。氮素随海拔高度的增加, 应该跟水热条件随海拔高度的变化有关。随着海拔高度的增加, 降水量最大, 自亚高山草甸以上, 降水量会有所减少, 但温度随海拔高度的增加而降低, 使得蒸发量也减少, 土壤中可以保持较多的水分, 而低温高湿的条件限制了土壤中好气性微生物的活动, 不利于难氧化有机碳的矿化, 使土壤有机碳的分解减少而累积增加, 难分解的有机碳数量增加, 则氧化稳定性值增大。从总体来讲, 随着海拔高度的增加,  $K_{os}$  值是在增大, 也就是说, 土壤有机碳的活性在降低( 表 1, 图 4); 而如果把垂直带中的土壤依其海拔高度和地表植被类型分成 3 个大类, 即高山土壤( 高山寒冻土、高山草甸土和亚高山草甸土)、山地森林土( 山地棕色针叶林土、山地灰色针叶林土) 和山地草原土( 山地黑钙土、山地栗钙土、山地棕钙土), 可以发现, 同一大类的不同土壤中的 C/N 随海拔高度的降低在降低, 而土壤有机碳的活性却随之增加。

从土壤溶液 pH 值的变化来看, 随着海拔高度的降低, 土壤的 pH 值逐渐增高, 土壤溶液由酸性渐变为碱性。土壤 pH 可以影响微生物的生长和活动, 在酸性土壤中微生物种类受到限制, 以真菌为主, 从而减缓了有机质的分解, 植物物质的分解也会减缓; 在碱性条件下, 有机物质的溶解、分散和化学水解作用会增大, 可以提高微生物对有机物质的利用率。所以, 随海拔高度的降低, 土壤有机碳的  $K_{os}$  值也随之降低, 土壤有机碳的活性增加。

3 小 结

(1) 阿尔泰山区土壤的有机碳分布具有一定的垂直地带性规律, 自下向上, 随着海拔高度的增加, 土壤有机碳的含量

碳、易氧化有机碳、难氧化有机碳与土壤全氮、C/N 及土壤阳离子代换量之间有极显著或显著的正相关关系; pH 值则与这些指标呈极显著或显著负相关关系; 而盐基饱和度( BSP) 与大多数指标有着显著相关或极显著相关关系, 尤其是和阳离子代换量之间的相关程度很高, 相应的和易氧化有机碳的相关程度也较高。

从分析看, 全氮的数量对有机碳、易氧化有机碳和难氧化有机碳有较为显著的影响, 其对难氧化有机碳的相关程度较易氧化有机碳为高, 而 C/N 虽然对有机碳、易氧化有机碳和难氧化有机碳也有较高的相关性, 但其对易氧化有机碳的相关程度要更高, 也就是说, 易氧化有机碳的多少跟土壤中 C/N 的关系更为密切。

呈逐渐增长趋势。

(2)  $K_{os}$  值随海拔高度的增加逐渐增高, 有机碳的活化度随海拔高度的增高而逐渐降低, 表现为土壤有机碳逐渐以累计为主。

(3) 土壤有机碳和一些相关指标变化规律与山地水热条件的变化关系密切, 特殊的水热条件产生相应的土壤类型组合, 表现相应的组合类型特征。

(4) 土壤有机碳的来源, 主要是来自于地表植被, 因长期水热条件的特殊影响, 对于山区土地资源的开发利用, 尤其是在高山地带, 无论是种植业的开发, 还是牧业的利用, 都应考虑土壤有机碳的分布规律, 因为高山土壤因水热条件的限制, 往往植株低矮, 根系发达, 多年生, 每年回归土壤的有机残体数量有限, 而且, 由于水热条件的限制, 土壤易氧化有机碳的活化度较低, 一旦地表植被被超量破坏( 土地开垦、牲畜啃噬等), 很难恢复原状, 其肥力会迅速丧失, 所以尤其要注意保护。

参考文献:

[1] Powlson D S, Brookes P C. Measurement of soil microbial biomass provides an early Indication[ J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(2): 159- 164.

[2] 袁可能, 等. 土壤腐殖质氧化稳定性的研究[ J]. 浙江农业科学, 1964(7): 345- 349.

[3] 李西开. 土壤农业化学常规分析法[ M]. 北京: 科学出版社, 1984.

[4] 浙江农业大学土壤教研室. 再论本省肥沃水田土壤的若干农业性状[ J]. 浙江农业科学, 1976( 1): 10- 15.

[5] 徐建民, 袁可能. 我国地带性土壤中有有机质氧化稳定性的研究[ J]. 土壤通报, 1995, 26( 1): 1- 3.