

# 横断山区土壤地球化学及元素含量

郑 远 昌

(中国科学院-水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

**提 要** 概述了横断山区主要土类的地理分布情况,土壤理化性质及地球化学特征,然后分析土壤中 Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Cd 和 F 7 种元素含量及其分布特征。

**关键词** 元素含量 土壤地球化学 横断山区

研究区域位于龙门山~夹金山~凉山山脉主脊岭以西,  $99^{\circ}00' \sim 104^{\circ}20'E$ ,  $25^{\circ}00' \sim 33^{\circ}00'N$  的横断山区。在行政区域上包括四川省西部的阿坝藏族羌族自治州(以下简称阿坝州)、甘孜藏族自治州(简称甘孜州)、凉山彝族自治州(简称凉山州)、攀枝花市和云南省西北部的丽江地区、大理市和迪庆藏族自治州(简称迪庆州),面积约  $37.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

区内山脉与河谷相间排列,山高谷深,成土条件、土壤发生类型及其分布都十分复杂。关于区内局部地区或个别山体的土壤理化性质及元素含量已有不少报导<sup>[1~4]</sup>,而且从土壤类型组合上对本区进行过土壤区划研究<sup>[5,6]</sup>。为对横断山区的土壤有比较全面的了解,根据多年考察取样的分析资料,并参考前人有关研究成果,从区域和综合的角度,系统地论述横断山区的土壤分布、土壤地球化学及元素含量。

## 1 主要土类及其分布

1. 燥红土是在南亚热带干湿季交替的气候条件下形成的土壤,主要分布于攀枝花市格里坪~金阳县的金沙江中下游海拔  $< 1400\text{m}$  的干热河谷(照片 1)<sup>1)</sup>。

2. 褐土是在山地暖温带-中温带亚湿润气候条件下形成的土壤,主要分布于各大江及其支流  $< 2400\text{m}$  的谷地,在金沙江上游及其支流雅砻江上游可达  $3200\text{m}$ (照片 2)。

3. 红壤发育在亚热带干湿交替的气候和云南松林下的土壤,集中分布于凉山州、攀枝花市、丽江地区海拔  $< 2400\text{m}$  的低山(照片 3)。

4. 红棕壤是红壤向棕壤过渡的土壤类型,与红壤分布区相同,垂直分布上在海拔  $2400 \sim 3000\text{m}$ 。

5. 山地黄壤发育于亚热带湿润带常绿阔叶林下的土壤,呈间断分布于岷江上游卧龙自然保护区和棋盘沟海拔  $1600 \sim 2100\text{m}$ ,贡嘎山东坡海拔  $1600 \sim 2400\text{m}$ ,金沙江支流虎跳江海拔  $1800 \sim 2400\text{m}$ 。

6. 黄棕壤是山地黄壤向棕壤过渡的土壤类型,分布区与山地黄壤同,其垂直分布上限达海拔  $2100\text{m}$ ,在九龙河谷可达  $2800\text{m}$ 。

1) 本文照片见刊末图版 I。

收稿日期:1996-07-10,改回日期:1997-01-08。

7. 棕壤是本区的森林土壤, 位于红棕壤和黄棕壤带之上, 其上限依各地而异, 在大雪山以东地区达海拔 2 400~2 600m, 在大雪山以西可达 3 600m.

8. 暗棕壤也是本区主要森林土壤之一. 在垂直分布上各地不一. 在岷山东坡和北坡分布于海拔 2 800~3 900m(照片 4); 岷江上游 2 600~3 400m; 大渡河中上游 2 800~4 300m; 贡嘎山东坡 2 900~3 600m, 西坡 3 000~4 200m; 雅砻江中上游 2 000~4 300m; 金沙江上游 3 200~4 300m; 澜沧江上游 3 200~4 300m.

9. 漂灰土发育于高湿寒冷的杜鹃、苔藓、冷杉林下. 呈间断分布, 主要分布于高山迎风坡, 如贡嘎山东坡海拔 3 400~3 600m 猪腰海子一带, 稻城俄初山东南坡海拔 3 900~4 100m, 白马雪山东坡海拔 3 800~4 100m.

10. 冷粘土是发育在高山亚寒带灌丛草甸下的土壤(照片 5), 位于森林土壤之上. 分布的上限依高山的地理位置而异. 如雪宝顶海拔 4 400m, 四姑娘山 4 600m, 贡嘎山东坡 4 200m, 西坡 4 700m, 雀儿山 5 300m, 白马雪山 4 400m.

11. 寒漠土发育于高山冰缘地带的原始土壤位于冷毡之上, 地形雪线以下(照片 6).

## 2 土壤的理化性质

### 2.1 土壤 pH 值

土壤形成的环境背景条件尤其是成土母质和生物-气候条件等不同, 各土壤的 pH 值差异较大. 褐土和寒冻土 pH 值分别为 7.7 和 7.3(平均值), 而漂灰土只有 4.8, 呈强酸性反应, 其余土类 pH 值在 5.6~7.0 之间. 即使发育在同一地区同一森林植被条件下, 成土母质不同, pH 值差异很大, 如发育于黄龙寺海拔 3 400m 的云杉林下, 砂板岩坡积物母质的土壤 pH 值为 6.5, 呈微酸性反应; 而发育于钙华母质上的土壤 pH 值达 8.5, 呈碱性反应. 而云杉是喜酸性、微酸性土壤环境, 因此在碱性、微碱性环境下, 云杉的根不能向下延伸, 只能在苔藓层下 10~15cm 厚的腐殖质土横向伸展. 寒漠土也有相似情况, 四姑娘山(海拔 4 600m)花岗岩母质的 pH 值为 6.2, 而雪宝顶(4 550m)灰岩母质的 pH 值达 8.5.

### 2.2 土壤有机质含量

土壤有机质含量高低, 主要决定植被类型, 并且集中于 A 层, 由表层向底层迅速递减. 发育于亚热带常绿阔叶林下的山地黄壤和云杉、冷杉林下的暗棕壤、漂灰土以及发育于高山灌丛草甸下的冷粘土, 有机质含量均 >10.0%, 其中阿坝州翁达林场的暗棕壤有机质含量高达 25.3%, 鹧鸪山海拔 4 200m 的冷粘土达 23.5%. 红壤发育于云南松林和松栎混交林下, 凋落物以松针为主, 地表较干燥, 进入土壤的有机残体少, 有机质含量在 5.0~7.0% 之间. 发育于干旱半干旱河谷的燥红土和褐土, 植被稀疏, 地表干燥, 植物残体进入土壤的量更少, 有机质含量仅 2.5% 左右. 高山寒漠土有机质含量一般都 <1.0%, 是横断山区有机质含量最低的土壤类型. 但在四姑娘山(海拔 4 600m)的红景天草丛下的土壤有机质含量却高达 9.0%.

### 2.3 土壤氧化物组成及其比值

#### 2.3.1 土壤氧化物组成

除漂灰土外, 其他各类的氧化物组成中均以  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  为主(表 1). 其中燥

红土、山地黄壤、棕壤、红壤高达 80% 以上,冷毡土、褐土、红棕壤和黄棕壤占 70~78%,暗棕壤和寒漠土分别占 65% 和 61%。而漂灰土由于长期处在高湿的还原环境下,主要氧化物则以  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{TiO}_2$  为主, $\text{Fe}_2\text{O}_3$  则处于次要的地位。

除此之外,各土类其他氧化物的含量也不一样。其中  $\text{MnO}$  的含量绝大多数土壤都是最低的,只有漂灰土和棕壤的  $\text{CaO}$  含量处于最低位次。而寒漠土  $\text{CaO}$  和  $\text{MgO}$  的含量仅次于  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,这与地处高寒地带,以物理风化为主,受母岩影响深刻有关。

表 1 各土类氧化物含量(%)

Table 1 Oxide contents of varied soil types(%)

	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$
燥红土	52.19(2)	24.29(2)	7.87(2)	1.79(1)	0.14(2)	1.05(2)	0.04(2)
褐土	56.07(8)	14.17(8)	6.13(8)	1.16(6)	2.16(8)	2.18(8)	0.09(8)
红壤	50.10(6)	18.76(6)	13.39(6)	2.08(2)	2.47(5)	3.13(6)	0.23(6)
红棕壤	45.03(2)	17.55(2)	14.10(2)	2.38(2)	0.34(2)	1.98(2)	0.23(2)
黄壤	65.43(1)	14.28(1)	2.80(1)	0.40(1)	0.09(1)	0.07(1)	0.05(1)
黄棕壤	57.48(1)	13.30(1)	5.80(1)		2.03(1)	3.12(1)	0.10(1)
棕壤	59.20(3)	15.39(3)	7.10(3)	1.30(3)	0.05(3)	1.24(3)	0.09(3)
暗棕壤	53.38(10)	10.89(10)	5.70(10)	0.69(6)	0.44(10)	0.81(10)	0.08(10)
漂灰土	53.08(2)	13.85(2)	0.78(2)	4.39(2)	0.03(2)	0.31(2)	0.06(2)
冷毡土	58.32(10)	13.70(10)	5.48(10)	0.80(6)	0.39(10)	1.05(10)	0.09(10)
寒漠土	48.50(4)	9.14(4)	3.48(4)	0.38(2)	1.99(4)	1.11(4)	0.06(4)

注:表中为均值。( )内为样数。

同一土类,由于成土母质不同,其氧化物的含量差异很大。其中尤以褐土、冷毡土和寒漠土中的  $\text{SiO}_2$  和  $\text{CaO}$  含量较为突出。发育于砂板岩成土母质的褐土其  $\text{SiO}_2$  含量高达 68.50%,为发育于第四纪黄土堆积物上的褐土(41.00%)的 1.7 倍; $\text{CaO}$  的含量则相反,后者为前者的 67.0 倍。又如发育于石灰岩母质上的冷毡土, $\text{CaO}$  的含量(1.15%)为发育于花岗岩冰碛物上(0.03%)的 38.0 倍。再如发育于砂板岩母质的寒漠土  $\text{SiO}_2$  的含量(59.90%),为发育于石灰岩母质(20.86%)的 28.0 倍; $\text{CaO}$  的含量则相反,前者只有 0.38%,后者达 5.77%,后者为前者的 15.0 倍。

### 2.3.2 氧化物的比值

土壤中氧化物的比值(以分子量计算),分别以系数来表示; $K_1 = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $K_2 = \text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $K_3 = \text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ ,  $K_4 = \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{MnO}$ ,  $K_5 = \text{CaO}/\text{MgO}$

各类氧化物的比值系数从表 2 看出,除燥红土和寒漠土外,各土类的比值系数大小顺序有  $K_2 > K_1 > K_3 > K_4 > K_5$  的变化趋势。在各比值系数中, $K_5$  出现最低值(寒漠土和黄棕壤除外),说明在成土过程中,Ca 以氧化物的形式存在,无论在酸性环境还是在碱性环境中都有较强的迁移能力。高山寒漠土的  $K_5$  值较大,这与石灰岩成土母质有关。 $K_2$  值普遍较高,其一方面是在成土过程中植物残体的灰分元素中  $\text{SiO}_2$  含量较高,有大量的  $\text{SiO}_2$  参与成土过程;另一方面是土壤中的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  普遍较低,居  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  之后。其中漂灰土中以  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  而迁移,至使  $K_2$  ( $\text{SiO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 值达到 108.723 的高值。燥红土则发育在高温干旱或半干旱的氧化环境下, $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量相对较高,而且石灰岩母质  $\text{SiO}_2$  的含量较低,故  $K_2$  值较

低,并居各土类的最低位次。

山地黄壤的  $K_4$  值达 5.246,居各土类之首。这与成土母质的砂板岩  $\text{CaO}$  和  $\text{MgO}$  含量低,在成土过程中又被淋失的结果。但在褐土和寒漠土则相反, $K_4$  出现低值,这与两土类中  $\text{Ca}$  和  $\text{Mg}$  的淋溶迁移较弱所致。

表2 各土类氧化物比值系数

Table 2 Ratio coefficients of oxide in varied soil types

土 类	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
爆红土	2.647(2)	2.163(2)	3.022(2)	1.707(2)	0.096(2)
褐 土	6.721(8)	24.295(8)	5.271(8)	0.414(8)	0.700(8)
红 壤	4.533(6)	10.742(6)	3.187(6)	0.638(6)	0.057(6)
红棕壤	4.358(2)	8.480(2)	4.614(2)	1.600(2)	0.124(2)
黄 壤	7.776(1)	62.069(1)	6.912(1)	5.246(1)	0.925(1)
黄棕壤	7.335(1)	26.318(1)	5.737(1)	0.320(1)	0.468(1)
棕 壤	6.528(3)	22.142(3)	1.936(3)	1.405(1)	0.029(3)
暗棕壤	8.286(11)	24.915(11)	6.217(11)	1.044(11)	0.569(11)
漂灰土	6.505(2)	108.723(2)	6.277(2)	0.594(2)	0.070(2)
冷粘土	7.225(10)	28.250(10)	5.756(10)	1.040(10)	0.267(10)
寒漠土	9.007(4)	37.018(4)	7.244(4)	0.346(4)	1.290(4)

注:表中( )内为样数。

### 3 土壤元素含量及其分布

表3 土壤元素含量比较(mg/kg)

Table 3 Element contents of soil(mg/kg)

区 域	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	Cd	F
横断山区	53.4	41.5	26.7	78.8	28.5	2.9	274
全 国	22.6	74.2	26.0	26.9	12.7	0.4	478
世 界	30.0	90.0	12.0	50.0	8.0	0.1	200

#### 3.1 元素含量较高

从 35 个剖面的 7 个土壤元素含量的统计结果(表 3)看出,与全国和世界土壤元素的平均值相比<sup>[7]</sup>,横断山区的土壤除 Zn 外,其余 6 个元素的含量均较高,其中 Cd,Co,Ni 和 Cu 都高于全国和世界的平均水平,而 Cd 的含量为全国的 8.29 倍,是世界平均值的 29.90 倍。

#### 3.2 元素间的相关性

根据 35 个剖面 94 个层次元素含量的分析数据,采用

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{[n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2][n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

式中  $r$  为相关系数; $x, y$  为元素; $n$  为例数。

公式计算,求出 7 个元素含量的相关性。在 7 个元素含量中,正强相关的元素对有: Cu 与 Ni, Cu 与 Co, Cu 与 Cd, Zn 与 Co, Ni 与 Co 6 个元素对;较正强相关的只有 Zn 与 Cd 元素对;负强相关的元素对有 F 与 Cu 和 F 与 Co。

#### 3.3 元素含量与主要氧化物的相关性

采用上述相关公式计算,求出土壤中 7 个元素含量与  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  等

主要氧化物含量的相关性。在风化和成土过程中,土壤中元素的迁移和富集与主要氧化物的含量存在着一定的关系。其中在元素周期表中 4 个周期 B 族的 Co, Ni, Cu 和 Zn 4 个元素,其原子序数在 27~30 之间。这 4 种金属元素的含量与土壤中  $\text{SiO}_2$  的含量表现出负强相关,而与  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{MgO}$  的含量呈现出正强相关。此外, Ni 与  $\text{CaO}$  呈正相关。而处于周期表中 5 周期和 6 周期的 Cd 和 Pb 的含量与  $\text{MgO}$  呈负相关。非金属元素 F 与  $\text{SiO}_2$  呈正相关,而与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  呈负相关。

### 3.4 土壤元素含量的分布

#### 3.4.1 各土类元素含量的差异

各土类的环境背景条件和成土过程千差万别,土壤中元素的迁移和富集程度不一,反映出各土类间元素的含量存在着明显的差异。

**Cu** 红棕壤的含量最高(201.9mg/kg),为漂灰土(15.4mg/kg)的 13 倍,棕壤、褐土和红壤的差别不大,但都高于全区的平均值,而暗棕壤、寒漠土和冷毡土则远低于平均值。

**Zn** 棕壤的含量高达 91.4mg/kg,为寒漠土的 4 倍。红棕壤、燥红土与棕壤的含量差不多,均属高 Zn 土壤;褐土、红壤和冷毡土的含 Zn 量基本在一个水平上(40.0mg/kg 左右);漂灰土、暗棕壤与寒漠土都属低 Zn 土类(22.0~23.0mg/kg)。

**Pb** 棕壤的含量最高(49.5mg/kg),红壤的含量最低(15.2mg/kg),其余各土类的含量接近(25.0~30.0mg/kg)。

**Ni** 红棕壤的含量高达 323.1mg/kg,为漂灰土(71.1mg/kg)的 29 倍,此外,红壤和燥红土都属高 Ni 土壤(90.0~120.0mg/kg);冷毡土、暗棕壤、寒漠土及漂灰土都属低 Ni 土类(10.0~30.0mg/kg)。

**Co** 红壤的含量最高(76.3mg/kg),为漂灰土的 10 倍。棕壤 41.3mg/kg,其他土类的含量在 30.0mg/kg 左右。

**Cd** 横断山区土壤中 Cd 的含量普遍较高,其中红棕壤的含量高达 4.89mg/kg,相当于棕壤、红壤、燥红土的 3 倍,冷毡土与寒漠土含量 2.80~3.50mg/kg。

**F** 氟是非金属元素,除冷毡土和漂灰土的含量超过 400mg/kg 外,其他土类的含量在 300mg/kg 左右。只有红棕壤的含量在 200mg/kg 左右。

#### 3.4.2 在剖面上的分布

土壤元素含量不仅取决于土壤环境的性质,而且还取决于元素的性质和地球化学特性,金属元素在表生作用下迁移较弱,因此在土壤剖面的垂直分布上一般都有自 A 层向 BC 层增加的趋势,反映出自然土壤金属元素的分布特点,只是各元素变化的幅度大小不同而已。但 Cd 的含量都是 A 层最高, B 层最低, BC 层处于两者之间,这可能与土壤有机质和土壤粘粒含量较高有关。

## 参 考 文 献

- [1] 盛士骏,肖笃宁. 怒山山脉的土壤垂直分布规律及主要森林土壤的发生特性. 土壤通报, 1965(5): 31~36.
- [2] 张万儒. 卧龙自然保护区的森林土壤及其垂直分布规律. 林业科学, 1983, 19(3): 254~268.
- [3] 郑远昌, 高生淮, 钟详浩. 四姑娘山区土壤及其垂直分布. 山地研究, 1988, 6(4): 227~234.

- [4] 郑远昌,张建平,殷义高. 贡嘎山海螺沟土壤环境背景值特征. 山地研究,1993,11(1),23~29.
- [5] 李明森. 横断山区土壤区划. 山地研究,1989,7(1):38~46.
- [6] 高以信,李明森. 青藏高原土壤区划,山地研究,1995,13(4),203~212.
- [7] 成延璧,田均良主编. 西藏土壤元素背景值及其分布. 北京:科学出版社,1993,31~67.

## GEOCHEMISTRY AND ELEMENT CONTENTS OF SOIL IN HENGDUAN MOUNTAINOUS REGION

Zheng Yuanchang

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences*

*& Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041*)

### Abstract

The main soil types in Hengduan Mountainous Region are dry-red soil, cinnamon soil, red earth, red-brown earth, mountain yellow earth, yellow-brown earth, brown earth, dark brown earth, graydrab soil, subalpine meadow soil and alpine desert soil etc.

Generally the pH of soil is between 5.6~7.0, except that the gray-drab soil is 4.8 cinnamon soil and dry-red soil, between 7.7~7.7. The pH of same soil types will have difference when the soil parent material is different.

The contents of soil organic matter in various soil types are different. The contents of forest earth and subalpine meadow soil are  $> 10.0\%$ . The contents of dry-red soil, cinnamon and alpine desert soil are between  $1.0\% \sim 2.5\%$ . The oxide composition of varied soil types are mainly  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , and the gray-drab soil is  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$ .

In the element contents of soil, the elements of Cd, Co, Ni, Cu, Pb all are higher than these background values of soil elements in China. Cd is 8.3 times in China and 29.9 times in the world. Cu-Ni, Cu-Cd, Zn-Co, Ni-Co have positive correlation, but F-Cu, F-Co have negative correlation.

**Key words** element contents, soil geochemistry, Hengduan Mountainous Region



照片 1 四川宁南县的燥红土



照片 2 雅鲁江中下游稀树灌丛草地下的褐土



照片 3 西昌市云南松林下的红壤



照片 4 峨山北坡的暗棕壤



照片 5 阿坝高原上的冷粘土



照片 6 雪宝顶的寒漠土