

横断山区干旱河谷小流域土壤特性的空间分异

田茂洁

(西华师范大学 生命科学学院, 四川 南充 637002)

摘要: 研究土壤质量的空间异质性在深入了解区域土壤质量分布规律以及促进生态系统可持续发展方面具有重要的意义。对金沙江小支流黑水河干热河谷上游、中游和下游三个断面不同海拔土壤性质的垂直变化规律进行了深入系统地研究。结果表明, 在整个流域干热河谷土壤有机质垂直方向上变化幅度较小, 上游马桑坪垂直断面碱解氮和有效磷在海拔 1 400 m 和 1 740 m 含量最高; 中游披砂断面碱解氮和有效磷在 1 100~1 200 m 的河谷地带高于海拔较高地带的土壤, 同时随着海拔上升含量逐渐降低; 下游的葫芦口垂直断面碱解氮和有效磷在海拔 700 m 左右退化最为严重。在交换性能方面, 马桑坪断面土壤交换性钙和镁以及交换性盐基总量在海拔 1 400 m 处高于其上或者其下地带; 交换性钾变化比较小, 以河谷地带最低; 中游披砂断面土壤交换性阳离子和交换性盐基离子总量均随海拔增加而降低, 而在海拔 2 000 m 又有所增加; 葫芦口土壤交换性能垂直变化方面, 交换性钙、镁和钠, 以及盐基总量随着海拔高度的增加而降低, 交换性钾变化趋势则相反, 随着海拔的升高而增加。这些结果表明, 即使在同一干旱河谷, 在不同地段由于环境条件不同, 在垂直方向上土壤质量不同指标变化程度不同, 在土壤质量评价与退化防治中应有所区别。

关键词: 横断山区干旱河谷; 土壤肥力空间分异; 金沙江; 攀西地区

中图分类号: S158.3; S153.6⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0019-05

Spatial Differentiation of Soil Properties in the Dry Valley along a River's Length of the Hengduan Mountains

TIAN Mao-jie

(The College of Life Science, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637002, China)

Abstract: Typical dry valley of Jinsha River is characterized by dry season and monsoon, which is very susceptible to soil degradation in the context of the fragile environment. In order to assess the impacts of environmental gradients on soil chemical fertility quality of dry valleys, soil chemical fertility status in dry valley of Heishui River, one branch of Jinsha River, have been monitored. The results showed that soil chemical properties were impacted significantly along altitudinal gradients. There was no difference in contents of soil organic matter of all elevations. Available nitrogen and available phosphorus along Masangping (upstream) altitudinal gradients were the highest from 1 100~1 200 m asl; while along Pisha (midstream) altitudinal gradients they were the highest from 1 100~1 200 m asl, and would decrease with elevation. Available nitrogen and available phosphorus along Hulukou (downstream) altitudinal gradients deteriorated greatest from about 700 m asl. Soil exchangeable Ca, Mg and base along Masangping altitudinal gradients were the highest at 1 400 m asl, and exchangeable K was the lowest in riverbank. Soil exchangeable cation and base decreased along Ningnan altitudinal gradients with elevation while increased above 2 000 m asl. Soil exchangeable Ca, Mg, Na and base along Hulukou altitudinal gradients decreased with elevation while soil exchangeable K increased with elevation. Therefore, assessment indices of soil quality and countermeasures of degraded soil restoration should be adapted even in a dry valley because dominant factors reflecting changes in soil quality vary with different section from upstream to downstream.

Key words: dry valley of Hengduan Mountains; spatial differentiation of soil fertility; Jinsha River; Panxi Region

随着海拔梯度的变化,由于气候条件、成土母质、植被条件不一样,凋落物不同,土壤肥力状况亦不同。一般而言,土壤有机质、氮素等土壤肥力亦呈现明显的垂直变化规律。但是,由于山地所处气候带不同,土壤养分状况及土壤过程所遵循的变化规律也各异,目前这方面进行了一些研究,如高黎贡山南段森林土壤有机质、氮素及其它营养元素含量随着海拔升高而逐渐增加,土壤矿物分解和有机质矿化作用随海拔升高而降低^[1];同样在武夷山土壤有机质养分表现出类似的变化趋势,而且土壤酶活性变化趋势也是如此^[2];吴甫成在衡山的研究表明,随着海拔升高,土壤有机质中腐殖质含量增加^[3];且随着海拔高度的增加胡敏酸占土壤有机碳比例升高,HA/FA 值增大^[4]。但是也有不同的结果,同样是林地土壤,土壤速效氮与速效磷有随海拔降低而升高的趋势,速效钾变化不大,土壤微生物量和土壤转化酶随海拔降低而减弱^[5]。

横断山区干旱河谷实际上是一系列南北向的基本平行的高山峡谷地段的总称^[6],在环境异质性方面最显著的特点之一是土壤、植被和气候的垂直地带性和水平地带性明显^[7],这种垂直地带性决定了该区域有别于中亚热带其它同纬度山区的垂直地带性农业种植和土壤肥力的垂直变化。在河流的不同地段,已有研究表明土壤物理性质和土壤侵蚀模式均有所不同^[8-9]。对于干旱河谷而言,整个流域的土壤质量空间分布可能也存在一定的分布规律。尽管在干旱河谷土壤质量与土壤退化方面引起了越来越多的重视,也做了开展了相当多的工作^[10],但关于对横断山区干旱河谷土壤质量的水平和垂直分异规律方面,目前还没有系统的研究。另外,由于干旱河谷区特殊的自然环境,在干旱河谷的典型地段土壤中碳酸盐表聚现象十分显著,对不同海拔高度土壤的碳酸盐表聚程度不同,形态特征也各异,从而体现出土壤酸碱度的垂直和水平分异特征。因此,进行干旱河谷土壤的水平和垂直分异的系统研究,对干旱河谷土壤管理、退化土壤治理和持续利用也具有重要意义。

1 研究区概况

研究区域属于横断山区干旱河谷,有着不同于同纬度地带的生态环境特征和气候特征,在生态环境方面表现为生态脆弱、环境容量低、地表破碎、多为类似稀树草原的特有的干旱河谷景观,河谷地带的优势植物均具有明显的干旱适应特征;在气候方面主要体现为明显的旱季和雨季,旱季(一般为 5—10 月)降水量在年降水量的 90% 以上,而时间占全年一半的旱季降水量不到全年的 10%。

研究的小流域为金沙江一级支流黑水河位于四川省凉山彝族自治州普格县和宁南县境内。黑水河发源全长 112 km(其中普格县境内为上游称则木河长 53.1 km,宁南县境内长 59 km),上游则木河发源于螺髻山东坡,与西洛河在两县交界处汇合后称为黑水河。黑水河宁南水文站多年平均径流量 $68 \text{ m}^3/\text{s}$,河水平均含沙量 $1\,300 \text{ g}/\text{m}^3$,平均年输沙量 25.4 亿 kg。黑水河在这两个县内的流域面积 $2\,051 \text{ km}^2$,其中宁南县境内流域面积 $1\,211 \text{ km}^2$ 。

黑水河干流海拔梯度明显,长度短至,落差大,是一条近南北向的河流,从源头至河口气候等各种环境要素变化典型,土壤类型、土壤理化性质等各个方面亦随之发生变化。小流域土壤养分动态变化规律和空间分异具有普遍的特征,但是,由于光照、热量和降水沿着河流方向和沿着海拔垂直方向的梯度变化和组合,又使沿河不同地段和沿海拔不同高度土壤空间特征又具有横断山区的独特性。其中,马桑坪断面呈现干暖河谷的景观和气候特征,在海拔 $1\,300\sim 1\,500 \text{ m}$ 高度存在明显的冬春逆温层,平均逆温强度在 4°C 左右。中游披砂断面逆温现象不明显,为干暖河谷气候,具有非常典型的干旱河谷农业垂直分带特征和土壤利用方式,从下到上分别是坝子(稻田、菜园地)、旱地和坡地、人工林和荒草坡;下游葫芦口断面为黑水河注入金沙江的位置,具有典型的干热河谷气候和景观特征,在该地段高大挺拔的攀枝花树(*Bombax* spp.)稀疏分布,在荒坡上面分布着大量余柑子(*Phyllanthus emblica*)等干热河谷灌丛,其正面为金沙江干热河谷典型地段——被称为“热带飞地”的华弹,河岸曾为流动沙丘,经过利用木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)、新银合欢(*Leucaena leucocephala*)等适宜树种进行长期坚持不懈的治理后,现在河岸地段植被状况和生态环境大为改善,但坡地仍然是原生稀疏草地生态景观植被。

2 研究方法

2.1 采样方法

根据干旱河谷沿河和垂直带的生态景观和环境特征,在金沙江一级支流黑水河(南北向)选择了 3 个垂直断面(东坡)采集不同海拔的未扰动原始植被的土壤样品:上游马桑坪断面($1\,090\sim 1\,740 \text{ m}$)、中游宁南后山断面($1\,100\sim 2\,000 \text{ m}$)和下游(河口)葫芦口断面($680\sim 1\,260 \text{ m}$)。在金沙江一级支流黑水河流域干旱河谷采样,沿海拔梯度在每个断面选择具有代表性的 6 个点的未扰动土壤系列为研究对象,其中每个点有 3 个重复样,采样深度 $0\sim 30 \text{ cm}$ 。采样时

间为 2009 年 11 月 20 日至 26 日, 这段时间为雨季结束旱季开始以后, 土壤性质处于相对稳定的时期。土样用布袋装好后带回实验室风干, 去除凋落物、根系和石块等杂质, 过筛, 用棕色磨砂广口瓶暂时保存。

2.2 土壤农化分析方法

上述通过预处理的土壤样品分析时间为 2009 年 12 月 12 日至 2010 年 1 月 25 日。土壤农化分析方法采用常规分析和 ICP-AES 分析。其中, 土壤有机质采用低温外热重铬酸钾氧化一比色法; 土壤碱解氮分析采用碱解扩散法; 土壤有效磷通过 Olsen 法测定; CaCO₃ 含量采用常用的气量法测定; 土壤交换性阳离子采用电感耦合等离子体发射光谱仪 (ICP-AES) 分析。

3 结果与分析

3.1 干旱河谷不同地段土壤化学肥力的垂直变化

3.1.1 上游土壤养分垂直变化 黑水河干旱河谷小流域上游马桑坪断面各海拔的土壤有机质、碱解氮和有效磷的垂直变化如表 1 所示。土壤有机质在海拔 1 300 m 和 1 740 m 处最高, 1 500 m 处的土壤有机质含量最低, 仅 23.5 g/kg, 表明该海拔高度土壤有机质最易退化。在 1 090~1 300 m 间有机质含量逐渐增加, 而在 1 300~1 500 m 呈明显递减趋势, 1 500~1 740 m 段土壤有机质含量又呈递增趋势。土壤碱解氮在海拔 1 740 m 处最高, 达 99.7 mg/kg, 1 500 m 处的土壤碱解氮含量是 50.8 mg/kg, 为最低点。从 1 090~1 400 m 和 1 500~1 740 m 段土壤碱解氮呈递增趋势, 在 1 400~1 500 m 呈递减趋势。土壤有效磷含量在 1 400 m 和 1 740 m 处含量远较其它海拔高, 分别为 66.1 mg/kg 和 57.6 mg/kg, 1 090, 1 300, 1 500 m 处最低, 为 6.19~10.1 mg/kg, 1 500~1 800 m 有递增趋势。

表 1 黑水河干旱河上游谷马桑坪断面土壤养分沿海拔变化

海拔/m	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)
1090	32.9ab	77.7bc	6.9c
1300	34.9a	95.0ab	6.1c
1400	26.4bc	96.9ab	66.1a
1500	23.4c	50.8d	10.1c
1640	29.6abc	72.1c	28.9abc
1740	35.0a	99.7a	57.6a

注: 同一列的平均值后的字母不同则差异显著 (Duncan 检验, α=0.05 水平), 下同。

3.1.2 中游断面土壤养分垂直变化 黑水河干旱河谷小流域披砂断面不同海拔高度的土壤化学肥力状况及其统计结果见表 2。披砂断面土壤有机质含量

为 21~34 g/kg, 显示在披砂断面有机质的垂直梯度变化不明显, 但是仍然有随着海拔升高而逐渐降低的趋势, 但是到一定海拔后 (超过 1 700 m) 土壤有机质又逐渐增加; 披砂断面在 1 200 m 处的土壤碱解氮含量最高, 达 137 mg/kg, 从 1 200~2 000 m, 整个断面随着海拔升高有明显的递减趋势; 披砂断面在 1 200 m 处的土壤有效磷含量最高, 达 71 mg/kg; 在 2 000 m 处含量最低, 仅 1.9 mg/kg。1 200~2 000 m, 整个断面随着海拔升高有明显的递减趋势。

表 2 黑水河干旱河谷中游披砂断面土壤养分沿海拔变化

海拔/m	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)
1100	33.9a	113.4b	40.9b
1200	27.9ab	137.1a	71.3a
1400	27.4ab	85.8c	29.4c
1700	21.2b	66.2d	8.4d
1890	22.3b	64.0d	5.6de
2000	23.1b	65.1d	1.9e

3.1.3 下游葫芦口断面土壤养分垂直变化 黑水河干旱河谷小流域葫芦口断面土壤肥力的垂直分布见表 3。葫芦口断面垂直梯度上在海拔 754 m 处的有机质含量最高, 达 26.7 g/kg, 其余海拔上的有机质含量没有差异, 为 14.5~19.1 g/kg; 葫芦口断面垂直梯度上的土壤碱解氮含量在海拔 830 m 和 1 260 m 含量最高, 分别为 53.1 mg/kg 和 59.4 mg/kg; 海拔 680 m 和 700 m 处的碱解氮含量最低, 分别为 28.60 mg/kg 和 29.6 mg/kg。总的来说, 680~830 m 段呈递增趋势, 之后略有下降, 965 m 后又有所增加; 葫芦口断面垂直梯度上的土壤有效磷含量在海拔 830 m 处最高, 达 13.5 mg/kg; 在海拔 700 m 处最低, 仅有 1.6 mg/kg。其余各点差异不大。总的来看, 从海拔 700~830 m 段呈递增趋势, 830~1 260 m 呈递减趋势。

表 3 黑水河干旱河谷下游葫芦口断面土壤养分沿海拔变化

海拔/m	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)
680	16.3b	28.6c	5.4b
700	14.5b	29.6c	1.6c
754	26.7a	36.8bc	4.9b
830	17.9b	53.1a	13.6a
965	19.1b	40.3b	3.3bc
1260	17.9b	59.4a	2.5bc

3.2 交换性阳离子在垂直梯度上的变化

土壤交换性阳离子是土壤交换性能的具体体现, 是土壤溶液中的阳离子与土壤固相的阳离子之间所进行交换作用的指标。土壤交换性能对土壤的保肥能力、土壤供肥潜力以及植物营养有重大意义。

马桑坪断面土壤交换性钾含量在 3.8~9.4 mmol/kg 间(表 4), 差异并不是很显著。在 1 300, 1 640, 1 740 m 的土壤交换性钾的含量最高。从 1 090~1 300 m 和 1 500~1 740 m 的土壤交换性钾含量呈递增趋势, 1 300~1 500 m 呈递减趋势。在海拔 1 400 m 处的土壤交换性镁含量最高, 在 1 300 m

处含量最低, 其余几个点的差异不大。马桑坪断面的土壤交换性钠的含量为 0.4~1.7 mmol/kg, 变化不大。在 1 090 m 处土壤交换性钠含量最高, 1 640 m 处含量最低。马桑坪断面的土壤交换性盐基总量在 1 400 m 处最高, 在 1 500 m 和 1 640 m 处最低。从 1 500~1 640 m 呈递减趋势。

表 4 黑水河干旱河谷土壤交换性盐基离子沿海拔变化

位置	海拔/m	1/2Ca ²⁺ / (mmol·kg ⁻¹)	K ⁺ (mmol·kg ⁻¹)	1/2Mg ²⁺ / (mmol·kg ⁻¹)	Na ⁺ / (mmol·kg ⁻¹)	交换性盐基总量/ (mmol·kg ⁻¹)
上游马桑坪断面	1090	106.9b	3.8b	38.0bc	1.7a	150.5b
	1300	94.0b	9.6a	24.1c	0.6bc	128.3bc
	1400	133.3a	7.6ab	54.9a	0.7bc	196.4a
	1500	67.2c	5.2ab	36.1bc	1.1b	109.6c
	1640	43.2c	9.4a	43.5ab	0.4c	96.5c
	1740	95.1b	9.5a	47.9ab	1.1b	153.5b
中游披砂断面	1100	125.5a	10.6a	34.6a	1.4ab	172.1a
	1200	103.1b	4.7bc	37.4a	2.5a	147.6b
	1400	44.3c	3.9bc	13.2d	0.4bc	61.7c
	1700	40.8cd	5.4b	25.2b	0.5bc	71.9c
	1890	16.9e	3.5c	10.2d	0.1c	30.7d
	2000	31.4d	4.5bc	21.2c	1.1bc	58.3c
下游葫芦断面	680	475.5a	1.6d	21.5e	2.3a	500.8a
	700	401.9b	2.7cd	28.2d	2.3a	435.1b
	754	81.8c	3.3bc	34.4bc	1.7ab	121.2c
	830	82.4c	4.6ab	41.0a	1.2ab	129.1c
	965	54.7c	4.8ab	30.3cd	0.6b	90.5c
	1260	48.8c	6.2a	37.8ab	1.0ab	93.8c

在披砂断面, 沿着海拔高度的变化, 未扰动土壤的盐基离子有类似的变化趋势, 即随着海拔的增加, 盐基离子有降低的趋势, 到一定海拔高度后又逐渐回升, 但不同类型的离子变化程度不同。

中游披砂断面在海拔 1 100 m 处土壤交换性钙含量最高, 达 125.5 mmol/kg; 在 1 890 m 处含量最低, 仅有 16.9 mmol/kg。总的来看, 在整个断面上土壤交换性钙随海拔升高呈递减趋势。土壤交换性钾在海拔 1 100 m 处含量最高, 达 10.5 mmol/kg; 最低点含量为 3.5 mmol/kg, 位于海拔 1 890 m 处。可见, 整个断面的交换性钾的变化并不大。土壤交换性镁在海拔 1 200 m 处最高, 达 37.4 mmol/kg; 在海拔 1 890 m 处最低, 仅有 10.2 mmol/kg。1 090~1 400 m 有明显的递减趋势, 随后又呈递增趋势, 在 1 700~1 890 m 又递增, 随后又递减, 整个断面上土壤交换性镁呈现波动变化。在土壤交换性钠方面, 整个断面的含量为 0.1~2.4 mmol/kg, 含量较低, 差异也不明显。1 200 m 处的土壤交换性钠含量最高, 在 1 890 m 处含量最低; 从 1 200~1 890 m 呈递减趋势, 1 890 m 后又递增。土壤交换性盐基总量在 1 100

m 最高, 达 125.5 mmol/kg, 在 1 890 m 处最低, 仅有 30.7 mmol/kg。总的来看, 整个断面从海拔 1 100~1 890 m 呈明显的递减趋势, 随后又略有增加。

葫芦口断面垂直梯度上的土壤交换性钙含量在海拔 680 m 处最高, 达 475.5 mmol/kg, 海拔 700 m 处次之, 其余各点交换性钙含量为在 54.7~82.4 mmol/kg, 没有显著性差异。总的来看, 在整个断面上, 随着海拔的升高, 土壤交换性钙呈递减趋势。垂直梯度上的土壤交换性钾含量在海拔 1 260 m 处最高, 达 6.2 mmol/kg; 在海拔 680 m 处最低, 仅有 1.6 mmol/kg。总的来看, 在整个断面上, 随着海拔的升高, 土壤交换性钾呈递增趋势。垂直梯度上的土壤交换性镁含量在海拔 830 m 处最高, 达 41.0 mmol/kg; 在海拔 680 m 处最低, 含量为 21.53 mmol/kg, 在整个断面上土壤交换性镁的差异不大。从海拔 680~830 m 土壤交换性镁呈递增趋势。葫芦口断面垂直梯度上的土壤交换性钠含量在海拔 680 m 和 700 m 处最高, 分别为 2.3 mmol/kg 和 2.3 mmol/kg; 在海拔 965 m 处最低, 含量为 0.6 mmol/kg, 在整个断面上土壤交换性钠的差异很小。从海拔 680~965 m 土

壤交换性钠呈递减趋势。垂直梯度上的土壤交换性盐基总量在海拔 680 m 处最高, 为 500. 8 mmol/ kg, 海拔 700 m 处的含量次之, 其余各点交换性盐基总量为 90. 5~ 129. 1 mmol/ kg, 没有显著性差异。总的来看, 在整个断面上, 随着海拔的升高, 土壤交换性盐基总量又呈递减趋势。

3.3 碳酸盐垂直梯度变化研究

金沙江干旱河谷土壤中碳酸盐主要成分是碳酸钙, 它对土壤酸碱度、养分状况、土壤胶体性状等有着明显的影响。在研究区域, 碳酸钙表聚是干旱特征评价的一个重要体现, 同时也影响到土壤质量和利用方式。根据分析结果来看, 碳酸钙在黑水河流域的上游和中游断面各土样中含量极低而且变化甚小。但是在下游的葫芦口断面, 碳酸钙含量在整个断面的含量较高而且沿着高度的含量变化明显; 土壤在海拔 680 m 的河谷地带碳酸钙含量最高, 是海拔 750~ 1 260 m 的 13 倍以上(表 5)。总的来看, 金沙江干旱河谷随海拔的升高碳酸钙呈递减趋势。

表 5 黑水河干旱河谷葫芦口断面土壤碳酸钙含量沿海拔变化

海拔/ m	土壤类型	碳酸钙/ (g · kg ⁻¹)
680	普通筒育干润新成土	71. 9a
754	普通筒育干润锥形土	3. 1bc
830	普通筒育干润新成土	5. 1b
965	普通筒育干润新成土	5. 5b
1260	普通筒育干润锥形土	0. 5c

4 结 论

(1) 干旱河谷不同位置的土壤化学肥力垂直变化幅度和趋势不同。在黑水河上游干旱河谷马桑坪断面, 土壤肥力方面由于有海拔 1 400 m 左右高度的逆温层存在而变化剧烈, 第一类是 1 090~ 1 300 m(河谷地带) 与 1 500~ 1 640 m(逆温层以上相邻地带) 相近; 1 400 m 左右(逆温层带) 和 1 740 m(中高山地带) 相近; 黑水河中游披砂断面干旱河谷土壤质量垂直变化较小, 1 100~ 1 200 m 的河谷地带与 1 200~ 2 000 m 的中山地带区别; 在下游葫芦口断面土壤养分在垂直方向变化简单, 海拔 680 m(河谷地带) 和 750 m 以上的中山地带差异明显。

(2) 干旱河谷不同地段不同土壤肥力指标垂直地带性明显。上游马桑坪断面碱解氮和有效磷在海拔 1 400 m 和 1 740 m 含量最高; 中游披砂断面碱解氮和有效磷在 1 100~ 1 200 m 的河谷地带高于海拔较高地带的土壤, 同时随着海拔上升含量逐渐降低; 下游葫芦口断面碱解氮和有效磷在海拔 700 m 左右退化最为严重。土壤交换性钙和镁以及交换性盐基总

量方面, 上游马桑坪断面在海拔 1 400 m 处高于其上或者其下地带, 交换性钾变化比较小, 以河谷地带最低; 中游披砂断面土壤交换性阳离子和交换性盐基离子总量均随着海拔的增加而降低, 而在海拔较高的 2 000 m 又有所增加; 下游葫芦口断面土壤交换性能垂直变化方面, 交换性钙、镁和钠, 以及盐基总量随着海拔高度增加而降低, 交换性钾变化趋势则相反, 随着海拔的升高而增加。

(3) 干旱河谷不同地段不同土壤肥力特征指标类型不同。上游和中游断面土壤质量变化的指标中, 交换性钾/ 钠、有机质/ 有效磷、碱解氮和交换性盐基均区别明显; 而在下游葫芦口断面土壤质量垂直变化的重要指标之一就是碳酸盐含量, 碳酸盐表聚程度是干旱河谷干旱程度的重要特征, 蒸发量越大, 碳酸盐越趋向于向土壤表层移动, 严重的情况下会形成大块的碳酸盐结核, 导致土壤质量下降。这表明在干旱河谷不同地段垂直方向上土壤质量由于环境条件不同, 不同土壤质量指标变化程度不同, 在质量评价指标体系中应有所区别, 比如在金沙江干热河谷交换性钙和碳酸钙就是不可少的重要肥力质量指标。

参考文献:

[1] 王金亮. 高黎贡山南段森林土壤肥力特征[J]. 云南师范大学学报, 1994, 14(4): 95-101.

[2] 杨式雄, 戴教藩, 陈宗献, 等. 武夷山土壤酶活性与垂直分布与土壤肥力关系的研究[J]. 福建林业科技, 1993, 20(1): 1-7.

[3] 吴甫成, 丁纪祥, 周涛. 衡山土壤腐殖质研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1997, 20(1): 85-90.

[4] 彭新华, 李沅沅, 赵其国. 我国中亚热带山地土壤有机质研究[J]. 山地学报, 2001, 19(6): 489-496.

[5] 杨承栋, 王丽丽, 祁月清, 等. 江西大岗山东侧森林土壤性质与肥力的关系[J]. 林业科学研究, 1993, 6(5): 504-509.

[6] 张荣祖. 横断山区干旱河谷[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

[7] 孙辉, 唐亚, 黄雪菊, 等. 横断山区干旱河谷现状及其研究和发展方向[J]. 世界科技研究与发展, 2005, 27(3): 54-61.

[8] 黄雪菊, 孙辉, 唐亚. 黑水河干旱河谷沿程土壤物理参数梯度变化特征研究[J]. 四川环境, 2007, 26(6): 32-39.

[9] Abernethy B, Rutherford I D. Where along a river's length will vegetation most effectively stabilise stream banks[J]. Geomorphology, 1998, 23: 55-75.

[10] 何毓蓉, 张丹, 张映翠, 等. 金沙江干热河谷区云南土壤退化过程研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(4): 1-5.