

# 南方典型丘陵退化荒坡地土壤养分特征分析

李志安, 邹 碧, 曹裕松, 任 海, 刘 俭

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

**摘要:**以广东鹤山市退化丘陵荒坡地为材料,研究了这一特殊生态类型的土壤养分水平,土壤养分在剖面上的梯度和在坡面上的梯度特征,分析了养分间的相关性,应用聚类分析和主分量分析方法探讨了坡面上不同位置土壤的相似性。结果表明,表层土壤养分水平介于同地带森林土壤与极度退化土壤之间,有机质和全氮随深度增加而迅速下降,pH 与全磷则成相反的趋势,而速效养分表现出双向梯度特征,即中间层次含量较低,表层与深层含量均较高。坡面上,有机质、全氮和速效磷随相对高度的增加而下降,pH 在整个坡面上变化极小,全磷和 3 个交换性阳离子则成双向梯度,即坡的中部含量较低,山顶与山脚含量较高。有机质与全氮间具有极高的相关性,pH 与有机质含量在剖面样品上有较高的负相关,但在坡面样品上完全不相干,具有相似吸附特性的交换性钙镁间有极高的相关性,交换性钾亦与交换性钙镁有较好的相关性。聚类分析与排序分析结果显示,作为低丘陵荒坡地,坡面不同位置的土壤均较相似,但在一些位置出现养分含量上较独特的土壤,主要表现在一种或几种速效养分特别高,它们不规则地出现于一些集水区的山腰或山脚部位,但未出现于山顶部位,这些特殊养分位置可能是主导植物种类入侵的一个重要因子。

**关键词:**退化丘陵荒坡地;土壤养分;小集水区;数量分析

## Nutrient properties of soils in typical degraded hilly land in South China

LI Zhi-An, ZOU Bi, CAO Yu-Song, REN Hai, LIU Jian (South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1648~1656.

**Abstract:** Discussed the nutrient properties in the soils of typical degraded hilly land in south China. Degraded hilly lands are caused by long-term intensive human disturbance. They are now partly cultivated mainly as fruit farms and partly abandoned with little disturbance as a result of economic development in rural areas. In this study, 6 small catchments, each approximately 5~8 hm<sup>2</sup>, were sampled. One or 2 soil profiles in each catchment were dug up to 1 m depth and soils were taken across the profiles. Each catchment was divided into upper, middle and foot parts. Each part was further sub-divided into left, middle and right positions. In each position, a mixed soil sample was taken consisting of 10 small soil cores, each with diameter of 3 cm and depth of 20 cm. Soil samples were analyzed for major nutrients such as organic matter (OM), total nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, available potassium, C/N ratio, exchangeable calcium and exchangeable magnesium, including pH (water extract).

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30170191,30200035);广东省自然科学基金资助项目(2000 0976,003031);中国-澳大利亚合作资助项目(ACIAR Project FST 97/77);中国科学院华南植物研究所所长基金资助项目

**收稿日期:**2002-08-19;**修订日期:**2003-04-10

**作者简介:**李志安(1962~),男,广东省梅县人,博士,研究员,主要从事森林土壤与植物营养生态研究。

**Foundation item:** The National Natural Science Foundation of China(30170191,30200035), Natural Science Foundation of Guangdong Province(2000 0976,003031), Sino-Australian ACIAR Project 97/77, Field Director Foundation of South China Institute of Botany, CAS

**Received date** 2003-04-10 **Accepted date** 2003-04-10

**Biography:** LI Zhi-An, Ph. D., Professor, main research field: forest soil and plant nutritional ecology.

Mean organic matter content of surface soil was determined to be 18.03 g/kg and total nitrogen 0.86 g/kg. Soil pH values ranged from 4.06 to 4.57 with mean of 4.25. Available nutrients were generally low, particularly for available phosphorus.

Across the profile, both organic matter and total nitrogen decreased sharply with increasing depth, reflecting the features of grassy vegetation. Soil pH, as well as total phosphorus, increased with the increasing depth. The available nutrients exhibited a bi-directional gradient, that is, low in the middle layer and high in both surface layer and deep layer.

On the hill slope, soil OM, total nitrogen and available phosphorus all decreased with altitude increasing. Total phosphorus and exchangeable potassium, calcium and magnesium were all bi-directional, that is, low in the middle position and high in both hill top and hill foot.

OM and total nitrogen, both as bio-originated, were significantly correlated to each other. pH was negatively significantly correlated to OM in the profile samples, which was attributed to the reverse trend across the profile. However no correlation was found between OM and pH in the surface samples. Calcium and magnesium, both having similar adsorption characteristics, were highly correlated to each other.

Cluster analysis and principal component analysis (PCA) were conducted on the surface soil data. It was demonstrated that most soils were similar with regards to the soil nutrient content. Most soils were combined to a group at a rather low cluster level, regardless of their positions in the soil profiles. However, many exceptions were found for those soils which had a high nutrient content index. These nutrient special soils, mainly situated at the foot or middle of the hill, and absent from the top of the hill, may partly account for the growth of particular vegetation on these areas of the hill. Cluster analysis and PCA effectively evaluated the similarity of soils from a different viewpoint with significant correlation.

**Key words:** degraded hilly land; soil nutrient content; small catchment; numerical analysis

文章编号:1000-0933(2003)08-1648-09 中图分类号: Q142.3 文献标识码:A

丘陵荒坡地是我国南方极具代表性的景观类型<sup>[1]</sup>,也是一种退化土地类型<sup>[2]</sup>,它形成于长期较强的人类干扰与压力,其地表植被以旱生性草和一定的灌丛为特征,并散生少量的马尾松。随着农村地区人民生活水平的提高,原来作为主要燃料来源地的坡地受到的压力减少了,除开垦利用的坡地外,许多荒坡地发生着自然演替过程,由草地向林地过渡。这些以低丘陵为主的地貌相对高差不大,但演替上却可观察到明显的小尺度微地形上的差异,这主要是养分条件与水热条件的差异造成的,在山丘不同高度位置上,入侵种的类型与长势明显不同,这种因微地形土壤差异产生的对植物种类的选择已得到证实并引起了人们的关注<sup>[3~5]</sup>。这种低山丘陵坡地土壤类型主要属于富铁土<sup>[6]</sup>,尽管对该类型土壤肥力性状已开展了不少研究,但主要是对农林业用地土壤的探讨<sup>[7~9]</sup>,而对在疏灌丛草地植被长期影响下的土壤性状则缺乏深入的了解,特别是关于小尺度上肥力空间格局的报道还很少,本研究在小集水区尺度上探讨丘陵荒坡地土壤的养分特征,对认识这一具有广泛代表性的土地类型上植物种群分布格局、演替特征及人工林生长规律均有极其重要的意义。

1 材料与方法

本研究以广东省鹤山市荒坡地为对象,它具有华南荒坡地的典型特征,研究区最高峰海拔 103m,丘陵坡面是坡度一般为 26° 以下的疏灌丛草坡地。该地年均温 21.7℃,极端最高气温 37.5℃,最低气温 0℃,年均降雨量 1700mm。土壤为富铁土,成土母质是砂页岩。

选取 6 个相互毗邻的代表性集水区,每个集水区面积约为 5~8hm<sup>2</sup>,在各个集水区的坡面靠近中间位置,挖 1~2 个深 1m 的土壤剖面,分 A 层、A/B 层、B 层、B/C 层和 C 层进行取样(个别样品只有 4 个层次),研究剖面养分数据。将每个集水区的坡面划分为上中下 3 个部分,在各个部分又按左中右分别取 3 个混合样,每个混合样用钢筒取 10 个深 20cm 的小土体混合而成,10 个样点分布在该样品所代表的坡面

置,通常在 20m×20m 的范围内。在坡的上部,由于面积小,通常只能取 1 至 2 个混合样。

对样品进行重要养分的分析测定,分析方法主要依据中国生态网络标准<sup>[10]</sup>。有机质用硫酸重铬酸钾氧化,硫酸亚铁滴定法测定;pH 用 1:5 土液比水提,酸度计测定;全氮用开氏消化,离子分析仪测定(淀粉蓝比色法);全磷用高氯酸硫酸酸溶,钼锑抗比色法测定;速效磷用盐酸-氟化铵提取,氯化亚锡比色法;速效钾用 1 M 中性醋酸铵提取,火焰光度计测定;交换性钙、镁用 EDTA 铵盐快速提取,原子吸收光谱测定。

对测定值进行一般性统计、方差分析和相关分析。由于每个小集水区通常只挖了 1 个剖面,剖面样品的方差分析时,只划分了集水区与层次的变异,无法计算集水区与与层次间的交互作用。每个集水区取坡面表土样时,山顶样品一般是 1~2 个,而山脚和山腰有 3 个,方差分析时,只以山腰与山脚样品计算,并计算集水区与坡面的交互作用。

对坡面样品还进行聚类分析和主分量分析,以研究不同位置样品间的相似性<sup>[11]</sup>。聚类分析距离系数用欧氏距离的平方,聚类策略为组平均法。

2 结果与分析

2.1 荒坡地土壤养分含量基本水平

从表 1 看出,表土有机质平均含量为 18.03g/kg,全氮平均含量为 0.86 g/kg,它远低于同纬度的鼎湖山地带性森林土壤(45.1 g /kg)<sup>[5]</sup>,显示出它作为一种退化生态类型的肥力事实,但它大大高于遭受严重侵蚀的的土壤类型(小良光裸地 6.4 g/kg),甚至高于种植于这些光裸地上林龄已达 10~20a 的人工林土壤<sup>[12]</sup>,显然,草地在维持土壤肥力上起到了很大的作用。该地土壤是强酸性土,它是高温高湿条件下红壤化过程的结果,表土平均 pH 为 4.25,最大值 4.57,最小值 4.06。磷在酸性红壤上主要以磷酸铁、磷酸铝存在,尽管全磷含量较高,但速效磷含量极低。速效钾、钙、镁同样也较低。C/N 比较低,有利于有机氮的释放。

表 1 丘陵荒坡地土壤养分含量重要统计值

Table 1 Statistics of nutrient content on hilly lands

	有机质 OM (g/kg)	pH 水提	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	速效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)	C/N	交换性钙 Exch. Ca (mg/kg)	交换性镁 Exch. Mg (mg/kg)
坡面样品 Slope sample n=42									
平均 Mean	18.03	4.25	0.86	0.96	1.33	25.10	12.3	14.22	6.15
标准误 SE	0.63	0.01	0.03	0.05	0.15	1.34	0.26	2.61	0.83
最大值 Max.	27.0	4.57	1.22	2.15	4.0	57.0	18.5	81.7	35.4
最小值 Min.	9.9	4.06	0.41	0.37	0	15.0	8.0	3.7	2.8
剖面样品 Profile sample n=45									
平均 Mean	9.96	4.51	0.53	1.09	0.92	19.47	10.43	15.68	3.74
标准误 SE	0.87	0.05	0.04	0.06	0.23	1.11	0.30	4.3	0.6
最大值 Max.	26.4	6.01	1.23	2.37	8.7	46.0	14.60	186.6	23.8
最小值 Min.	3.10	4.03	0.20	0.65	0	6	7.30	1.4	0.8

2.2 剖面养分梯度特征

表 2 是代表性剖面养分含量,表 3 是剖面不同层次养分含量统计量,两者均显示了剖面养分变化的梯度特征,作为生物源的有机质及全氮,随剖面深度的增加而减小,表 2 代表性剖面,A/B 层只有表层的一半,而 B 层又大大低于 A/B 层。pH 则在下层较高,表土层较低,它主要受母质、生物与淋溶作用的影响,处于底层的低风化母质含阳离子较高而具有较高的 pH;全磷随深度增加而升高,但速效磷表层与底土含量较高,而中间层次含量最低(表 3)。从表 3 多剖面统计结果看,交换性钙镁也有明显的两向梯度特征。

对剖面养分的方差分析显示,除速效形式的钾、钙、镁外,其它养分指标均存在层次间的显著差异,因而,上述变化格局是相当确定的,但速效性钾、钙、镁在不同剖面间表现出极大的变异性。表 4 显示,不同集水区间,pH、全磷及速效钾有显著或极显著差异,这反映出即使处于相邻位置的集水区,仍可表现出其在化学性状的明显差异。

2.3 坡面养分梯度特征

表 2 代表性剖面养分含量特征

Table 2 Nutrient content across typical soil profile										
层次 Layer	深度 Depth (cm)	有机质 OM (g/kg)	pH 水提	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	速效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)	C/N	交换性钙 Exch. Ca (mg/kg)	交换性镁 Exch. Mg (mg/kg)
A	0~15	20.1	4.08	0.91	1.06	1.1	16	12.8	7.3	4.9
A/B	15~30	12.3	4.31	0.49	1.42	1.1	11	14.6	2.1	2.0
B	35~50	6.1	4.61	0.33	1.92	0.6	10	10.7	8.4	2.3
B/C	60~75	5.5	4.70	0.33	1.88	0.6	12	9.7	9.2	2.2
C	85~100	5.4	4.81	0.24	2.37	1.1	10	13.1	2.3	1.3

表 3 剖面不同层次养分含量统计值

Table 3 Statistics of nutrient content in different layers of soil profiles									
层次 Layer	有机质 OM (g/kg)	pH 水提	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	速效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)	C/N	交换性钙 Exch. Ca (mg/kg)	交换性镁 Exch. Mg (mg/kg)
A	19.02 (1.14)	4.26 (0.06)	0.91 (0.04)	0.93 (0.07)	1.37 (0.50)	23.00 (3.14)	12.07 (0.39)	33.58 (17.71)	6.74 (1.33)
A/B	10.28 (0.79)	4.38 (0.05)	0.54 (0.04)	1.00 (0.09)	0.50 (0.17)	16.50 (1.77)	11.08 (0.47)	10.92 (3.30)	2.64 (0.39)
B	6.76 (0.57)	4.58 (0.03)	0.39 (0.03)	1.11 (0.12)	0.58 (0.29)	17.20 (1.83)	9.98 (0.19)	7.79 (1.65)	2.14 (0.28)
B/C	5.39 (0.41)	4.62 (0.04)	0.34 (0.03)	1.16 (0.13)	0.42 (0.14)	20.20 (2.25)	9.16 (0.31)	10.00 (2.49)	2.39 (0.43)
C	4.70 (0.43)	4.96 (0.26)	0.41 (0.11)	1.38 (0.28)	2.52 (1.55)	21.40 (3.33)	9.33 (1.11)	16.54 (11.85)	5.84 (4.49)

表内数字为平均值与标准误(括号内)Figures in the table are mean values and SE(in parentheses)

表 4 剖面样品方差分析 F 值

Table 4 Analysis of Variance on soils across profile									
因素 Factor	有机质 OM	pH	全氮 Total N	全磷 Total P	速效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K	C/N	交换性钙 Exch. Ca	交换性镁 Exch. Mg
集水区 Catchment	1.543	2.800*	1.887	5.586**	1.500	4.142**	1.305	1.832	0.707
层次 Layer	64.481**	13.224**	32.440**	3.058*	2.734*	2.286	8.433**	1.585	2.616

集水区 catchment:  $v_1=9$ ; 层次 layer:  $v_1=4; v_2=31$

长期的冲刷作用使许多地表物质向坡脚富集(见表 5 与表 6),使生物源的有机质与全氮自顶部向山脚升高,山脚有机质平均含量为 19.14 g/kg,这与剖面样表土有机质含量基本一致。山顶部有机质平均含量为 12.66 g/kg,这种下降梯度不如剖面梯度变化大,氮具有相同的特征。pH 在山体的不同部位非常一致,约在 4.2,标准偏差很小,这与孙波等<sup>[13]</sup>在中亚热带低丘红壤上的研究结果一致,他们证实 pH 是变异系数最小的;钾、钙、镁等阳离子是山顶与山脚常高于山腰,全磷亦如此。

方差分析结果显示,山脚与山腰养分上的差异并没有达到统计上的显著水准(表 7,结果不包含山顶数据),即山腰与山脚含量大小关系格局有较大的变异性和不确定性,有些坡面呈上述的典型格局分布,有些则有不同的分布特征。顶部土壤有机质、全氮、全磷和速效磷含量与相邻的山腰位置有较大幅度的差别,这种养分格局应是确定和显著的,由于数据的不完整性未能作统计检验。从表 7 看出,不同集水区的全氮、速效磷、C/N 比、交换性镁存在显著差别,表明,即使这些坡面基本植被类型一致,但土壤化学性状仍存在差别,它主要反映出植物相关的成份上的差别,因而,可能是不同集水区植物种类组成上的不同,或不同集水区曾经受到不同程度或类型的人类干扰作用。

2.4 养分间的相关性

全氮和有机质数据高相关的,无论是剖面样品还是坡面样品,两者的相关系数最高(表 8 与表 9)。pH 与有机质在剖面样品统计中具有很高的负相关关系,但在坡面样品统计上却是完全不相关的,相关系数接

近 0, 尽管剖面上有很高的负相关, 但化学机理上, 两者并不是因果关系, 如前所述, 在剖面上有机质从表土向底土下降, 而 pH 则由于剖面上淋溶风化自表土向底土升高。有机质与土壤 pH 的关系比较复杂, 在 pH 较低的酸度环境下, 土壤有机质有提高酸碱度的作用 (pH 升高), 在较高 pH 的酸度环境下, 有机质分解释放的有机酸有降低 pH 的作用<sup>[14,15]</sup>。

表 5 代表性集水区坡面表土养分含量特征

Table 5 Nutrient content of surface soils in typical catchments									
位置 Position	有机质 OM (g/kg)	pH 水提	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	速效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)	C/N	交换性钙 Exch. Ca (mg/kg)	交换性镁 Exch. Mg (mg/kg)
山顶 1 Top 1	12	4.16	0.59	0.75	1.4	23	11.8	4.1	3.4
山顶 2 Top 2	11.4	4.36	0.55	1.36	1.1	24	12.0	11.3	4.8
山顶 3 Top 3	10.1	4.2	0.73	0.79	0.1	20	8.0	5.2	2.8
山腰 1 Middle 1	21	4.17	1.07	1.17	1.47	29	11.4	12.2	5.9
山腰 2 Middle 2	16.3	4.23	0.86	0.59	1.8	30	11.0	6.5	4.9
山腰 3 Middle 3	14.7	4.22	0.8	0.56	1.6	20	10.7	5.5	4.3
山脚 1 Foot 1	22.6	4.23	1.11	1.1	0.7	24	11.8	12.6	5.5
山脚 2 Foot 2	21.2	4.3	1.12	2.15	2.4	57	11.0	14.8	15.8
山脚 3 Foot 3	19.4	4.35	1	0.62	1.5	19	11.3	81.7	35.4

表 6 坡面不同位置土壤养分含量统计值

Table 6 Statistics of nutrient content of surface soils in hilly land									
位置 Position	有机质 OM (g/kg)	pH 水提	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	速效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)	C/N	交换性钙 Exch. Ca (mg/kg)	交换性镁 Exch. Mg (mg/kg)
山顶 Top	Mean	12.66	4.24	0.57	1.03	0.64	23.63	13.16	9.58
	SE	(1.05)	(0.03)	(0.03)	(0.12)	(0.19)	(0.92)	(1.23)	(1.77)
山腰 Middle	Mean	17.76	4.21	0.85	0.71	1.29	22.13	12.06	6.81
	SE	(0.67)	(0.02)	(0.03)	(0.05)	(0.27)	(1.41)	(0.23)	(1.73)
山脚 Foot	Mean	19.14	4.29	0.93	1.00	1.48	29.13	11.93	26.55
	SE	(0.84)	(0.02)	(0.04)	(0.09)	(0.21)	(2.87)	(0.22)	(5.88)

表 7 坡面样品方差分析 F 值

Table 7 Analysis of variance on surface soils									
因素 Factor	有机质 OM	pH	全氮 Total N	全磷 Total P	速效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K	C/N	交换性钙 Exch. Ca	交换性镁 Exch. Mg
集水区 Catchment	1.804	1.522	2.732 *	0.347	6.118 **	1.368	6.737 **	1.543	2.573 *
位置 Position	0.952	3.903	1.429	2.404	0.009	1.609	0.001	2.959	3.496
交互作用 Interaction	0.908	1.142	0.669	0.780	0.985	0.800	1.723	1.749	2.153

集水区 catchment:  $v_1=9$ ; 位置 position:  $v_1=1$ ; 交互作用 interaction:  $v_1=5; v_2=20$

表 8 剖面样品相关分析 ( $n=45$ )

Table 8 Correlation coefficients between nutrients of profile soils									
	有机质 OM	pH	全氮 Total N	全磷 Total P	速效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K	C/N	交换性钙 Exch. Ca	交换性镁 Exch. Mg
pH	-0.614 **								
全氮 Total N	0.930 **	-0.388 **							
全磷 Total P	-0.267	0.358 **	-0.282						
速效磷 Avail. P	0.082	0.481 **	0.347 *	0.139					
速效钾 Avail. K	0.214	-0.071	0.280	-0.311 *	0.229				
C/N	0.676 **	-0.324 *	0.520 **	0.148	0.066	-0.188			
交换性钙 Exch. Ca	0.167	0.230	0.276	-0.119	0.196	0.148	0.055		
交换性镁 Exch. Mg	0.338 *	0.362 **	0.567 **	0.097	0.659 **	0.339 *	0.203	0.585 **	

表 9 坡面样品相关分析 (n=42)

Table 9 Correlation coefficients between nutrients of surface soils

	有机质 OM	pH	全氮 Total N	全磷 Total P	速效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K	C/N	交换性钙 Exch. Ca
pH	−0.002							
全氮 Total N	0.877**	0.057						
全磷 Total P	0.156	0.235	0.080					
速效磷 Avail. P	0.352*	0.257	0.508**	−0.015				
速效钾 Avail. K	0.132	0.249	0.288	0.449**	0.524**			
C/N	0.202	−0.104	−0.278	0.173	−0.293	−0.235		
交换性钙 Exch. Ca	0.116	0.374**	0.184	−0.001	0.186	0.351*	−0.095	
交换性镁 Exch. Mg	0.102	0.197	0.190	0.083	0.163	0.296	−0.104	0.802**

由于取样范围不大,成土母岩可以认为是均质的,本研究主要测定了交换性金属离子,交换性离子含量除了受母质源的影响外,更大程度上受到如胶体量、酸碱度等制约吸附特性的因子的影响,交换性钙与交换性镁,两者具有最为相似的离子特性,因而,无论在剖面样品统计中,还是坡面样品统计中,两者均具有极显著的相关性。一价阳离子钾与交换性镁在剖面样品上相关,与钙在坡面样品上相关,均反映出同为阳离子具有较为相似的吸附特性。

2.5 坡面不同位置土壤的相似性

聚类分析把土壤样本划分为 10 个组(图 1),1,2 组样品数最多,而且两者在较低水平上又聚合为一类,而后与样品数较多的第 3、4 组相继聚合。它表明这种典型低丘陵坡面土壤,大部分位置的土壤具有相似的养分特性,即使处于山顶部位的土壤(第 4 组)也是如此。第 5 组及以后的组,则在很高的水平上聚合,显示坡面上出现一些养分含量较特别的位置,这些特殊的养分位置在坡面上出现并不是规则的,但主要出现于坡的中下部位置,极少出现于山顶,它是坡面上出现一些特殊植被现象的主要原因之一。

通过对极高水平上聚合的样品原始数据的检查,发现这些样品主要是速效养分表现出特殊性(包括速效钾,速效磷,交换性钙,交换性镁),其中一个或几个指标通常大大高于其它样品,而有机质、全氮等通常被认为最重要的养分因子,对分类结果影响不大,主要原因是其相对变化幅度不如速效养分大。

聚类分析较客观地反映了实际状况,低丘陵地貌下,相邻山顶土壤有最大的相似性,它们有极相似的植被覆盖,均长期处于冲刷淋溶状态,土壤比较瘦瘠,客观上应是相似的,聚类结果完全反映出了这种相似性,除了有 1 个样品落入其它组外(第 5 组),所有山顶样均聚集在第 4 组。

排序图直观地表示了样品间的亲疏关系,排序图上有两个方面需要关注,一是样点聚集区与外围散点间的关系,二是样点间在横轴与纵轴上的距离关系。图 2 显示,图的左下方数据聚集区,大部分样点集聚于这一较小的范围内,这些土壤是相互较为相似的,图的右

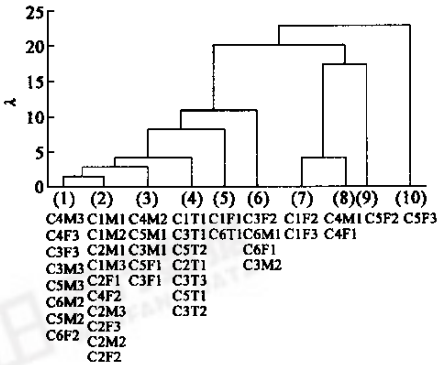


图 1 坡面样品聚类分析结果

Fig.1 Dendrogram of cluster analysis of surface soils on hilly land

图中样品编号意义为:第一个字母 C 及紧跟的数字表示集水区序号(catchment),第二个字母表示坡面的位置(T—山顶,M—山腰,F—山脚),最后一个数字表示坡面同一高度上的三个位置(1—左,2—中,3—右),如 C2M1 表示第 2 个集水区坡山腰左侧的样品

Denotation of the codes in above figure: the first letter “C” and the following number refer to the catchment number. Second letter refers to height position on the slope ( T-top, M-middle, F-foot). The last number refers to horizontal position ( 1-left, 2-middle, 3-right). For instance, C2M1 refers to a sample from left side, at middle height of the slope in catchment 2

侧是 1 分量上的外围样品,它们在第 1 分量上与聚集区样品有较大区别。最远离聚集区的土壤是 6 号(C1F2)与 7 号(C1F3),它们与聚集区的众多土壤是非常不相似的(第 1 分量上),但两个点之间比较靠近,显示这两种土壤是相似的,这与聚类结果吻合(图 1 中第 7 组),但这两个土壤在第 2 分量与第 3 分量上与左侧聚集区是极相似的。次远离聚集区的是 36 号(C5F2)与 37 号(C5F3),它们在第 1 分量上与其它大多数样品(聚集区)不同,但这两个样品之间在第 1 分量上非常相似,几乎处于相同坐标位置,在第 3 分量上则非常不同,不但两者相距很远,而且还远离聚集区样品(纵轴关系),在二个维度上均远离聚集区的土壤最为独特,在聚类图上成为最后集聚的两个土壤(第 9 组与第 10 组),显示出排序结果与聚类结果的一致性。此外,24 号与 27 号、5 号与 38 号在排序坐标上的位置关系与图 1 聚类结果有极好的吻合。

表 10 排序图中序号所代表的样品

Table 10 The sample code represented by number in Fig. 2									
序号	样品	序号	样品	序号	样品	序号	样品	序号	样品
No.	Sample code	No.	Sample code	No.	Sample code	No.	Sample code	No.	Sample code
1	C1T1	11	C2M3	21	C3F1	31	C5T2	41	C6F1
2	C1M1	12	C2F1	22	C3F2	32	C5M1	42	C6F2
3	C1M2	13	C2F2	23	C3F3	33	C5M2		
4	C1M3	14	C2F3	24	C4M1	34	C5M3		
5	C1F1	15	C3T1	25	C4M2	35	C5F1		
6	C1F2	16	C3T2	26	C4M3	36	C5F2		
7	C1F3	17	C3T3	27	C4F1	37	C5F3		
8	C2T1	18	C3M1	28	C4F2	38	C6T1		
9	C2M1	19	C3M2	29	C4F3	39	C6M1		
10	C2M2	20	C3M3	30	C5T1	40	C6M2		

样品编码意义与图 1 相同 sample codes have the same meanings as those in Fig. 1

从表 11 看出,前三个主分量包含了原来总信息量的 70.5%,第 1 分量占 37.0%,第 2 分量占 20.6%,第 3 分量占 12.9%,因而,第 1 排序轴上的距离关系最重要,其次是第 2 排序轴,1—2 分量形成的二维平面上的距离关系反映了总信息的 57.6%,但通常降维后的信息量应包含 70% 的原来信息,因而,有必要关注 3 个维度上的关系。从表 12 看出,第 1 分量主要反映 3 个交换性阳离子和土壤 pH,第 2 分量主要反映全氮和有机质,第 3 分量反映全磷,因而,在第 1 分量轴上形成的远距离散点,主要是速效养分上的特殊性,特别是交换性镁,这与前面聚类分析的结论相一致。

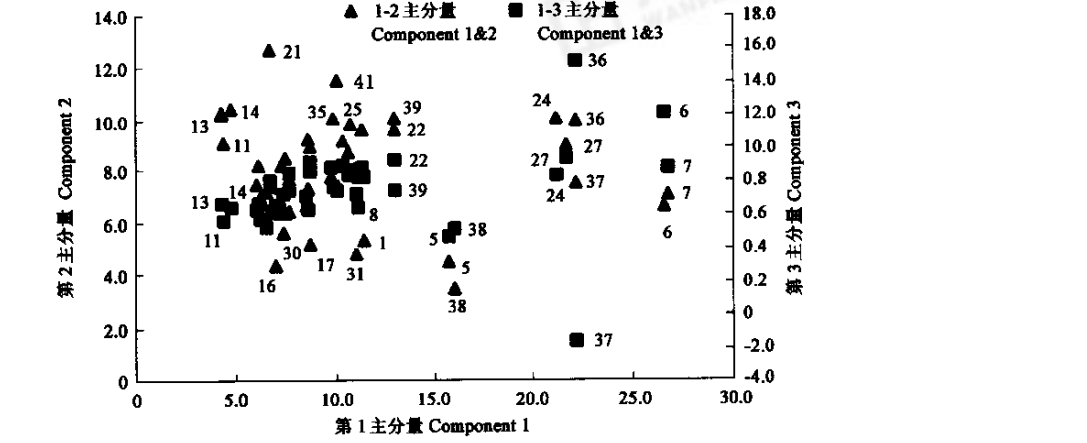


图 2 坡面样品主分量分析双二维排序图

Fig. 2 Coordinates of soils for principal component analysis of surface soils on hilly land

\* 图中主要标示散点于外围比较独特的样品。Remarks: only mark the scattered points off the concentrated area with numbers

判断排序图上样品间的亲疏关系,需要防止直觉上的误判,例如,从图 2 看,可能会认为 6 号与 7 号是最为独特的,因为它们是最外围的散点,事实上,它们只在 1 维上(1 分量)远离集聚区,而它们在第 2 分量与第 3 分量上与集聚区的样品是极相似的(纵轴上一致)。2 个维度上均远离集聚区的样品,要比 1 个维度上更远的样品更为独特。结合聚类分析与排序分析可以较准确地判断样品间的亲疏关系<sup>[16]</sup>,系统等级聚类在初期聚合过程中,对数值的微小差别较敏感,初期的错误归类在后期无法得到纠正,借助排序图可以纠正这一问题。在排序图中,集聚区外缘的样品亦是较特殊的样品,集聚区左缘与右缘,上缘与下缘的样品亦是相互有较大区别的样品。因而,本排序图有助于解释坡面上出现的与养分过程相关的生态现象,如对养分敏感的种群的入侵。

表 11 坡面样品主分量分析前 3 个主分量特征根与所含信息量

Table 11 Eigenvalues and variances for the first three components in PCA of surface soil			
主分量 Principal component	特征根 Eigenvalues	占信息量 Total variance (%)	累计信息量 Cumulative variance (%)
ζ1	2.959	36.991	36.991
ζ2	1.649	20.618	57.609
ζ3	1.032	12.896	70.506

表 12 前 3 个主分量因子载荷量

Table 12 Factor loadings of first three components								
主分量 Principal component	有机质 OM	pH	全氮 Total N	全磷 Total P	速效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K	交换性镁 Exch. Mg	交换性钙 Exch. Ca
ζ1	-0.051	0.653	0.111	0.081	0.493	0.644	0.833	0.63
ζ2	0.928	-0.083	0.955	0.039	0.577	0.242	0.108	0.1
ζ3	0.118	0.202	0.038	0.966	-0.08	0.48	0.114	-0.108

3 结论与讨论

华南丘陵草坡地表土有机质平均含量为 18.03 g/kg,全氮平均含量为 0.86 g/kg,它远低于森林植被下土地类型,高于极度退化土地类型,土壤酸度具有本地带典型赤红壤的特征,水提 pH 变化于 4.06~4.57 间,平均 4.25,速效养分较低,特别是速效磷极低。剖面上不同养分具有不同的梯度变化规律,有机质与全氮在表土含量较高,随深度的增加迅速下降,pH 随深度增加而上升,全磷亦有相同的变化趋势,但速效性磷、钾、钙、镁呈中间层次含量较低,而表土与深土层含量较高的趋势。坡面上,土壤有机质、全氮与速效磷含量自相对高度从山脚至山顶的变化而下降,pH 在坡面的不同位置变化很小,全磷与速效性钾、钙、镁表现出双向梯度特征,即山腰含量较低,山顶与山脚含量较高。同为生物源的有机质与全氮间具有极高的相关性,交换性钙镁间有极高的相关性,交换性钾亦与交换性钙镁有较好的相关性。聚类分析与排序分析结果显示,作为低丘陵荒坡地,坡面不同位置的土壤均较相似,但在一些位置出现了养分含量较独特的土壤(通常是一种或几种速效养分特别高),它们不规则地出现于一些集水区的山腰或山脚部位,但未出现于山顶部位,这些特殊养分位置可能是地面出现植被类型不均一性的一个主导因子。聚类分析与排序分析结果有极好的吻合性,有助于对特殊生态现象的解释。

References:

[ 1 ] Integrated Mountain Survey Team of Guangdong Academy of Sciences. *Land development and management in mountainous areas of Guangdong province*. Guangzhou: Science and Technology Press of Guangdong, 1991. 27~28.

[ 2 ] Yu Z Y, Peng S L. *Ecological studies on vegetation rehabilitation of tropical and subtropical degraded ecosystems*. Guangzhou: Science and Technology Press of Guangdong, 1996. 1~9.

[ 3 ] Boerner R E J, Koslowsky S D. Microsite variations in soil chemistry and nitrogen mineralization in a beech-maple forest. *Soil Biochem.*, 1989, **21**:795~801.

[ 4 ] Bratton S P. Resource division in an understory herb community: responses to temporal and microtopographic

gradients. *Am. Nat.*, 1976, **110**:679~693.

[ 5 ] Zhou X. Study on small-scale spatial pattern of species and habitat of monsoon evergreen broad-leaf forest in Dinghushan mountain. *Master's dissertation of Chinese Academy of Sciences*, 2002. 40~48.

[ 6 ] Gong Z T, Chen Z C. *Chinese soil taxonomy——Theory, method and application*. Beijing: Science Press, 1999. 488.

[ 7 ] Li Q K, Shi H, Gong Z T, *et al.* *Red Soil in China*. Beijing: Science Press, 1983. 74~194.

[ 8 ] Wang M Z, Zhang T L, He Y Q, *et al.* *Research on Red Soil Ecosystem*, Nanchang: Jiangxi Science Press, 1993. **2**: 165~282.

[ 9 ] Wang M Z, Zhang T L, He Y Q, *et al.* *Research on Red Soil Ecosystem*. Beijing: Agriculture Science and Technology Press of China, 1995. **3**:188~223.

[10] Liu G S, Jiang N H, Zhang L D, *et al.* *Soil Physical and Chemical Analysis & Description of Soil Profiles*. Beijing: Standards Press of China, 1996. 24~41.

[11] Yang H X, Lu Z Y. *Numerical taxonomy in plant ecology*. Beijing: Science Press, 1981. 90~251.

[12] Li Z A, Yu Z Y, Weng H. The relationship between the soil fertility and artificial vegetation recovery in tropics and subtropics. In: Yu Z Y, Peng S L, eds. *Ecological Studies on Vegetation Rehabilitation of Tropical and Subtropical Degraded Ecosystems*. Guangzhou: Science and Technology Press of Guangdong, 1996. 155~171.

[13] Sun B, Zhao Q G, Lu G N. Spatio-temporal variability of red soil fertility in low hill region. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, **39**(2): 190~198.

[14] Feng Y, Sven S. Soil pH changes after applicatino of plant shoot materials of faba bean and wheat. *Plant Soil*, 2000, **220**:279~287.

[15] Paul K I, Black A S, Conyers M K. Effect of plant residue return on the development of surface soil pH gradients. *Biol. Fertil. Soils*, 2001, **33**:75~82.

[16] Li Z A. The application of numerical classification to soil specimen division of south subtropical hilly lands in China. *Ecologic Science*, 1994, **1**:32~38.

参考文献:

[ 1 ] 广东省科学院丘陵山区综合科学考察队. 广东山区国土开发与治理. 广州:广东科技出版社, 1991. 27~28.

[ 2 ] 余作岳, 彭少麟. 热带亚热带退化生态系统恢复的研究. 广州:广东科技出版社, 1996. 1~9.

[ 5 ] 周霞. 鼎湖山季风常绿阔叶林物种和生境空间小尺度格局研究. 中国科学院研究生院硕士论文, 2002. 40~48.

[ 6 ] 龚子同, 陈志诚, 等. 中国土壤系统分类——理论、方法、实践. 北京:科学出版社, 1999. 488.

[ 7 ] 李庆逵, 石华, 龚子同. 中国红壤. 北京:科学出版社, 1983. 74~194.

[ 8 ] 王明珠, 张桃林, 何园球, 等. 红壤生态系统研究. 南昌:江西科技出版社, 1993. **2**: 165~282.

[ 9 ] 王明珠, 张桃林, 何园球, 等. 红壤生态系统研究. 北京:中国农业科技出版社, 1995. **3**:188~223.

[10] 刘光崧, 蒋能慧, 张连第, 等. 土壤理化分析与剖面描述. 北京:中国标准出版社, 1996. 24~41.

[11] 阳含熙, 卢泽恩. 植物生态学的数量分类方法. 北京:科学出版社, 1981. 90~251.

[12] 李志安, 余作岳, 翁轰, 等. 热带亚热带人工植被恢复与土壤肥力发育之关系. 见:余作岳, 彭少麟主编. 热带亚热带退化生态系统恢复的研究. 广州:广东科技出版社, 1996. 155~171.

[13] 孙波, 赵其国, 阎国年. 低丘红壤肥力的时空变异. 土壤学报, 2002, **2**:190~198.

[16] 李志安. 数量分类在南亚热带丘陵地土壤样本分类上的应用. 生态科学, 1994, **1**:32~38.