

# 鼎湖山不同森林类型土壤化学性质对 海拔梯度的响应\*

刘菊秀 褚国伟\*\* 余清发 张德强 周国逸  
(中国科学院华南植物研究所 广州 526070)

**摘要:** 本文通过在鼎湖山不同海拔梯度上各林型的土壤采样,研究了鼎湖山土壤化学性质对海拔梯度的响应。结果为:(1)鼎湖山土壤剖面C层随着海拔梯度的上升,土壤酸度降低。(2)鼎湖山位于海拔低的赤红壤的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、全钾、速效钾、交换性Na、交换性K、交换性Mg和阳离子含量比位于海拔高的黄壤的对应养分含量要高。(3)鼎湖山土壤二氧化硅、锰含量随着海拔梯度的上升而下降,赤红壤含量高于黄壤;然而铁含量则随着海拔梯度的上升呈上升趋势,赤红壤含量低于黄壤,钙全量含量和磷含量也是赤红壤低于黄壤。(4)土壤Pb马尾松林含量最高,随着海拔梯度上升含量有下降趋势。土壤其它微量元素含量与海拔高度没有明显的相关关系。

**关键词:** 鼎湖山; 土壤; 化学性质; 海拔; 响应

## The Responses of Soil Chemical Properties in Different Forest Types to Altitude at Dinghushan

LIU Ju-Xiu CHU Guo-Wei\*\* YU Qing-Fa ZHANG De-Qiang ZHOU Guo-Yi  
(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** By sampling soils in different forest types, this paper studies the responses of soil chemical properties to altitude at Dinghushan. The results are: (1) The higher of altitude, the less of soil acidity in soil C horizon at Dinghushan; (2) There are more  $\text{NH}_4\text{-N}$ , total K, available K, exchangeable K, exchangeable Na, exchangeable Mg and the content of exchangeable cations in lateritic red soil at low altitude than those in yellow soil at high altitude; (3) With increasing altitude, the contents of  $\text{SiO}_2$  and Mn decrease, and the concentrations of this two minerals in lateritic red soil are higher than those in yellow soil. While it is contrary that the more contents of Fe, Ca and P are in yellow soil at higher altitude than those in lateritic red soil; (4) The pine forest has the highest content of Pb, and the Pb content is higher in soil at low altitude than that in high altitude. Other microelements are no evident correlation with altitude.

**Keywords:** Dinghushan; soil; chemical properties; altitude; response

不同海拔高度地区由于地形地貌的复杂,高差悬殊,下垫面条件差异明显,导致光照,热量和水分状况在境内随海拔高度、坡度、坡向的变化而分布不均,形成了该地小气候条件多样化的格局,进而影响着不同植物树种的分布,并且也导致了对应林型下土壤类型及土壤化学性质的差异。海拔梯度对植物树种生长发育影响的研究已见诸多的报

\* 广东省环保局(2000—09)、鼎湖山森林生态系统定位研究站共同资助。

\*\* 通讯作者:褚国伟。

道<sup>[1-4]</sup>，但有关这些植物赖以生长的基质—土壤与海拔梯度关系的研究却很少见。

处于南亚热带湿润气候区域的鼎湖山，最高峰海拔1 000m左右，由于受海拔梯度等因素的影响，鼎湖山丘陵山地各个不同部位水热状况不同<sup>[5]</sup>。由于土壤的形成受气候、生物、母质及地貌等的综合影响，因而不同植被类型下的土壤有一定程度上的不同的化学性质。通过对不同海拔梯度上主要林型土壤的采样研究，初步阐明了鼎湖山土壤化学性质对海拔梯度的响应特性。

## 1 鼎湖山的自然概况

鼎湖山自然保护区位于广东省肇庆市东北部，东距广州 86km。地理坐标为东经 112°30'39"~112°33'41"，北纬 23°09'21"~23°11'30"，总面积1 155hm<sup>2</sup>，是我国建立的第一个自然保护区。

鼎湖山属南亚热带湿润季风型气候，水热条件丰富，年太阳总辐射约4 655MJ/(m<sup>2</sup>·a)，年平均日照时数为1 433h，年平均气温 20.9℃，最冷月 1 月平均气温 12.0℃，最热月 7 月达 28.1℃。该区雨量充沛，年降雨量达1 900mm，但分布不均匀，有明显的干湿季节，其中 4~9 月的湿季降雨量占全年降雨量的 80% 以上。该区年蒸发量为1 115mm，年相对湿度约为 81%，每年遭受数次热带气旋或台风的影响。

鼎湖山山体的地质基础是泥盆纪的厚层砂岩、砂页岩、页岩和石英砂岩<sup>[6]</sup>。岩石坚硬，层理性差，硅化作用较强，而使岩石在风化剥蚀中形成陡峭的山体，地势险峻。地质构造的变动又使其构造发生复杂的变化，未风化的岩体露出，产生新的风化体，新老风化体的混合与分离，有利于土壤形成发育过程所发生的明显分异<sup>[7]</sup>。

土壤主要有赤红壤和黄壤两大类。赤红壤分布在海拔 700m 以下，土层厚度约 50~80cm，枯枝落叶层厚约 2~13cm，腐殖质层厚约 10cm，表土层有机质含量约为 1.9%~3.3%。土壤呈酸性，pH 值约 4.5。土壤的垂直分布界限大致上与植被类型的分布相适应。

鼎湖山地区的自然植被类型按海拔从低到高主要包括河岸常绿阔叶林(河岸林)、马尾松林、沟谷常绿阔叶林(沟谷雨林)、针阔叶混交林、南亚热带典型常绿阔叶林(南亚热带常绿阔叶林)、山地常绿阔叶林和灌木草丛等植被类型。

## 2 研究材料与方法

### 2.1 土样采集及制备

土样采集：于 2001 年 11 月份在鼎湖山不同海拔梯度上的各林型内进行布点采样。样点的选择是选择严格按自然发展状况发展而成的典型剖面，在剖面的各发展层进行采样，每一层采样 3 个，土样装入布袋后带回实验室。土样制备：将土样放至通风干燥处，剔除石粒、草根等杂物，自然风干，再用滚轴磨成 2mm 粉末，装瓶待用。

### 2.2 分析方法

土样 pH 值用水土比为 2.5:1 测定。土壤有机质用重铬酸钾氧化—外加加热法测定；用半微量凯氏法测定土壤全 N，氯化钾浸提—蒸馏法测定土壤铵态氮；有效 P 用盐酸-氟化铵浸提—钼锑抗比色法测定；土壤全钾用氢氧化钠碱溶—火焰光度法分析，土壤速效钾乙酸铵浸提—火焰光度法测定；土壤交换性 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 用乙酸铵浸提后分别用火焰光度法和原子吸收光谱法测定。

土壤矿质全量用碳酸钠碱溶—盐酸提取后分别用质量法分析二氧化硅、原子吸收分光光度法分析铁和锰以及钙和镁、氟化钾取代 EDTA 容量法分析铝、变色酸比色法分析钛、比色法分析磷。

土壤微量元素全量的测定是用氢氟酸—高氯酸—硝酸消煮—原子吸收光谱法分析土壤全铁、铅、铬镍以及钴；用氢氟酸—硫酸消煮—原子吸收光谱法分析土壤全锌；硝酸—高氯酸消煮—原子吸收光谱法分析土壤全铜。

### 3 研究结果与分析

#### 3.1 鼎湖山不同海拔梯度上各林型土壤酸度比较

土壤酸碱度受土壤母质、生物气候、人为因素等的影响<sup>[8]</sup>。鼎湖山土壤为极度风化的铁铝土，不同海拔梯度上的各林型土壤酸度都较高，各林型土壤 A 层 pH 值都低于 4.0。马尾松林和针阔叶混交林以及海拔 800m 的山地常绿阔叶林土壤 A 层酸度比其它林型相对较高。不同海拔梯度上各林型土壤 B 层比较，土壤 pH 值相差不大，最大差值为 0.22 个 pH 单位。各林型土壤 C 层比较，则随着海拔梯度的上升，土壤酸度降低。

#### 3.2 鼎湖山不同海拔梯度上各林型土壤常量养分含量分析

鼎湖山不同林型不同土壤层土壤有机质含量不同。海拔 150m 的沟谷雨林 A 层土壤有机质含量最高，达到 8.149%，海拔 1000m 左右的灌木草丛 C 层土壤有机质含量最低为 0.638%。土壤有机质与气候、地形、土壤母质及质地和植被等的影响有关。鼎湖山不同海拔梯度上土壤有机质含量随着海拔梯度的上升没有明显的上升或下降趋势。

一般资料表明，土壤全 N 含量与土壤有机质含量呈正相关关系<sup>[8]</sup>，鼎湖山土壤全 N 含量如同有机质含量一样，随着海拔梯度的上升没有明显的上升或下降趋势。鼎湖山土壤氮素中  $\text{NH}_4\text{-N}$  含量较高，各林型土壤比较， $\text{NH}_4\text{-N}$  含量南亚热带常绿阔叶林最高，其次为沟谷雨林，位于海拔 600m 的山地常绿阔叶林土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  含量最低。鼎湖山位于海拔低的赤红壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  含量比位于高海拔的黄壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  含量相对较高。

鼎湖山土壤全钾含量各林型土壤各层相差较大，位于鸡笼山顶的灌木草丛各土壤剖面层全钾含量都为最低，而海拔高度 220m 的南亚热带常绿阔叶林各土壤剖面层含量最高。土壤速效钾含量土壤 A 层南亚热带常绿阔叶林含量最高，为 124.96mg/kg，其它层沟谷雨林含量较高。土壤交换性钾则沟谷雨林 A 层含量最高，为 2.280mmol/kg，马尾松林 B 层含量最高，为 2.847mmol/kg，土壤全钾、速效钾和交换性钾含量总的趋势是赤红壤大于黄壤的含量。

鼎湖山土壤有效 P 含量比较低，土壤 A 层马尾松林含量最高，为 4.295mg/kg，海拔 600m 的山地常绿阔叶林含量最低，为 1.959mg/kg。土壤 B 层有效 P 含量各林型相差不大，土壤 C 层有效 P 含量鸡笼山顶的灌木草丛 C 层含量最高，为 3.584mg/kg。

土壤交换性 Na 含量随着海拔梯度的上升含量有逐渐下降趋势，交换性 Ca 含量土壤各层都为马尾松林含量最高，海拔 600m 的山地常绿阔叶林含量最低。土壤交换性 Mg 含量土壤 A 层沟谷雨林含量最高，B 层各林型相差不大，土壤 C 层马尾松林含量最高，海拔 600m 的山地常绿阔叶林含量最低。交换性 Mg 的含量总的趋势是黄壤低于赤红壤。

土壤阳离子含量比较，沟谷雨林土壤 A 和 B 层比其它林型对应土壤层含量高，土壤 C 层则沟谷雨林含量最高，阳离子含量总的分别趋势为位于高海拔的黄壤含量低于位于低海拔林型的赤红壤。

表 1 鼎湖山不同海拔梯度上各林型土壤酸度与土壤常量养分含量分析

Table 1 The analysis of soil acidity and soil ordinary nutrient contents under different forest types in different altitude at Dinghushan

| 林型               | 土层 | 土层深度 (cm) | pH    | 有机质 % | NH <sub>4</sub> -N (mg/kg) | 全 N (%) | 有效 P ( $\times 10^{-6}$ ) | 速效 K ( $\times 10^{-6}$ ) | 全 K <sub>2</sub> O (%) | 交换性 K (mmol/kg) | 交换性 Na (mmol/kg) | 交换性                               | 交换性                               | 加和盐基离子 | 阳离子交换量 (mmol/kg) |
|------------------|----|-----------|-------|-------|----------------------------|---------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|------------------|
|                  |    |           |       |       |                            |         |                           |                           |                        |                 |                  | Ca (mmol 1/2Ca <sup>2+</sup> /kg) | Mg (mmol 1/2Mg <sup>2+</sup> /kg) |        |                  |
| 马尾松林 (60m)       | A  | 2~4       | 3.650 | 6.234 | 8.998                      | 2.438   | 4.295                     | 49.712                    | 1.362                  | 2.014           | 3.501            | 11.339                            | 2.178                             | 19.032 | 144.426          |
|                  | B  | 4~45      | 4.180 | 0.922 | 15.433                     | 0.429   | 1.199                     | 28.064                    | 1.847                  | 2.847           | 5.448            | 3.867                             | 1.385                             | 13.548 | 62.384           |
|                  | C  | 45~55     | 4.310 | 0.720 | 12.585                     | 0.478   | 1.078                     | 26.950                    | 2.898                  | 1.872           | 3.031            | 4.160                             | 1.921                             | 10.983 | 81.353           |
| 沟谷雨林 (150m)      | A  | 0~5       | 3.960 | 8.149 | 12.869                     | 4.614   | 1.969                     | 121.63                    | 2.613                  | 2.280           | 1.017            | 9.536                             | 2.685                             | 15.517 | 195.762          |
|                  | AB | 5~19      | 4.110 | 3.626 | 15.988                     | 2.172   | 2.073                     | 61.964                    | 2.794                  | 2.028           | 0.727            | 1.894                             | 1.165                             | 5.814  | 126.897          |
|                  | B  | 19~30     | 4.130 | 5.009 | 20.926                     | 1.381   | 1.330                     | 49.890                    | 3.006                  | 1.924           | 1.030            | 1.877                             | 0.816                             | 5.647  | 132.830          |
| 针阔叶混交林 (200m)    | C  | 30~40     | 4.150 | 1.507 | 25.681                     | 1.051   | 2.805                     | 53.955                    | 3.455                  | 1.832           | 0.698            | 1.667                             | 0.820                             | 5.018  | 104.252          |
|                  | A  | 1~5       | 3.680 | 5.722 | 12.189                     | 2.244   | 2.682                     | 69.089                    | 2.428                  | 1.717           | 1.662            | 4.479                             | 1.757                             | 9.615  | 156.323          |
|                  | AB | 5~16      | 3.940 | 4.313 | 13.934                     | 1.660   | 1.471                     | 28.182                    | 1.372                  | 1.065           | 2.008            | 2.814                             | 0.840                             | 6.728  | 186.002          |
| 南亚热带常绿阔叶林 (220m) | B  | 16~32     | 3.960 | 1.009 | 12.727                     | 0.533   | 1.090                     | 21.787                    | 1.533                  | 0.871           | 0.831            | 1.466                             | 0.555                             | 3.723  | 124.503          |
|                  | C  | 54~70     | 4.210 | 0.713 | 16.707                     | 0.361   | 1.092                     | 15.562                    | 1.497                  | 3.599           | 0.846            | 2.231                             | 0.503                             | 7.179  | 118.649          |
|                  | A  | 0~10      | 3.870 | 5.062 | 7.551                      | 2.885   | 3.803                     | 124.96                    | 3.116                  | 2.212           | 1.158            | 5.129                             | 2.244                             | 10.743 | 163.970          |
| 山地常绿林 (600m)     | AB | 10~37     | 4.060 | 2.828 | 17.186                     | 1.548   | 1.699                     | 66.713                    | 3.448                  | 1.582           | 1.087            | 2.063                             | 0.989                             | 5.721  | 114.943          |
|                  | B  | 37~75     | 4.040 | 1.562 | 16.284                     | 0.998   | 1.576                     | 26.685                    | 3.728                  | 1.782           | 0.717            | 1.623                             | 0.804                             | 4.926  | 91.653           |
|                  | C  | 75~85     | 4.170 | 1.021 | 31.679                     | 0.822   | 1.575                     | 43.462                    | 3.899                  | 3.619           | 1.079            | 1.629                             | 0.777                             | 7.103  | 80.910           |
| 灌木草丛 (1000m)     | A  | 0~9       | 3.890 | 7.848 | 9.550                      | 3.013   | 1.959                     | 45.269                    | 1.632                  | 1.078           | 1.012            | 1.991                             | 1.223                             | 5.304  | 165.003          |
|                  | B  | 9~17      | 4.030 | 3.526 | 6.056                      | 1.383   | 1.208                     | 21.510                    | 1.565                  | 0.508           | 0.731            | 1.110                             | 0.737                             | 3.086  | 91.294           |
|                  | C  | 17~100    | 4.400 | 1.298 | 4.235                      | 0.624   | 1.079                     | 9.196                     | 1.751                  | 1.528           | 1.831            | 1.190                             | 0.405                             | 4.955  | 77.636           |
| 灌木草丛 (1000m)     | A  | 2~18      | 3.810 | 6.900 | 7.106                      | 3.061   | 3.515                     | 55.323                    | 0.249                  | 1.791           | 0.707            | 4.847                             | 1.627                             | 8.972  | 127.474          |
|                  | B  | 18~34     | 4.140 | 1.543 | 15.564                     | 0.705   | 1.679                     | 28.669                    | 0.293                  | 1.401           | 1.212            | 1.493                             | 0.795                             | 4.901  | 67.606           |
|                  | C  | 34~60     | 4.570 | 0.638 | 15.624                     | 0.499   | 3.584                     | 31.060                    | 0.171                  | 0.892           | 0.724            | 1.506                             | 0.711                             | 3.834  | 19.325           |

### 3.3 鼎湖山不同海拔梯度上各林型土壤部分元素全量含量分析

鼎湖山土壤二氧化硅、锰含量随着海拔梯度的上升而下降，黄壤含量低于赤红壤。铁含量与二氧化硅、锰含量相反，随着海拔梯度的上升有一定的上升趋势，黄壤含量高于赤红壤。全量钙和磷含量黄壤也稍高于赤红壤，镁含量赤红壤高于黄壤。全量钛随着海拔梯度的上升没有明显的上升或下降趋势。全量铝除位于海拔 800m 的灌木草丛，其它林型含量相差不大。

表 2 鼎湖山不同海拔梯度上各林型土壤部分元素全量含量

Table 2 The concentrations of some elements in soils under different forest types in different altitudes at Dinghushan

| 林型 Forest types  | 土层 Soil layers | 土层深度 Soil depth (cm) | SiO <sub>2</sub> (%) | TiO <sub>2</sub> (%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | CaO (%) | MgO (%) | MnO (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) |
|--|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|-----------------------------------|
| 马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest (60m)              | A              | 0~5                  | 44.963               | 0.416                | 21.304                             | 9.103                              | 0.223   | 1.191   | 0.021   | 0.147                             |
|  | AB             | 10~15                | 44.082               | 0.495                | 20.132                             | 10.071                             | 0.174   | 1.220   | 0.019   | 0.076                             |
|  | B              | 20~30                | 44.446               | 0.289                | 22.466                             | 9.180                              | 0.189   | 1.220   | 0.018   | 0.070                             |
|  | C              | 50~60                | 43.809               | 0.247                | 21.020                             | 8.870                              | 0.189   | 1.146   | 0.018   | 0.077                             |
| 沟谷雨林 ravine rain forest (150m)                         | A              | 0~5                  | 39.877               | 0.528                | 24.058                             | 12.031                             | 0.310   | 1.468   | 0.026   | 0.209                             |
|  | AB             | 10~20                | 40.038               | 0.552                | 22.286                             | 12.738                             | 0.285   | 1.449   | 0.030   | 0.110                             |
|  | B              | 30~40                | 40.492               | 0.399                | 22.541                             | 12.233                             | 0.315   | 1.469   | 0.026   | 0.089                             |
| 针阔叶混交林 Mixed forest (200m)                             | C              | 60~70                | 39.540               | 0.378                | 22.590                             | 11.648                             | 0.372   | 1.473   | 0.021   | 0.067                             |
|  | A              | 0~5                  | 46.230               | 0.52                 | 20.703                             | 8.503                              | 0.205   | 1.152   | 0.024   | 0.193                             |
|  | AB             | 10~20                | 43.717               | 0.725                | 22.372                             | 9.703                              | 0.226   | 1.161   | 0.028   | 0.114                             |
| 南亚热带常绿阔叶林 monsoon evergreen broad-leaved forest (220m) | B              | 30~40                | 44.036               | 0.682                | 21.667                             | 10.311                             | 0.206   | 1.195   | 0.030   | 0.110                             |
|  | C              | 70~80                | 42.937               | 0.604                | 17.453                             | 10.313                             | 0.246   | 1.181   | 0.028   | 0.123                             |
|  | A              | 0~10                 | 40.940               | 0.628                | 22.664                             | 11.611                             | 0.295   | 1.132   | 0.022   | 0.180                             |
| 山地常绿林 mountain evergreen broad-leaved forest (600m)    | AB             | 20~30                | 39.805               | 0.64                 | 17.278                             | 11.411                             | —       | 0.436   | 0.019   | 0.090                             |
|  | B              | 40~50                | 38.233               | 0.719                | 23.599                             | 11.911                             | 0.299   | 1.147   | 0.018   | 0.080                             |
|  | C              | 70~80                | 30.220               | 0.608                | 16.882                             | 10.384                             | 0.244   | 1.004   | 0.016   | 0.064                             |
| 灌木草丛 Shrub grass-land (800m)                           | A              | 0~10                 | 33.317               | 0.559                | 22.167                             | 17.545                             | 0.273   | 1.084   | 0.015   | 0.183                             |
|  | AB             | 20~30                | 28.565               | 0.246                | 21.602                             | 22.134                             | 0.373   | 0.935   | 0.017   | 0.117                             |
|  | B              | 40~50                | 29.853               | 0.274                | 22.197                             | 17.450                             | 0.279   | 0.951   | 0.011   | 0.108                             |
| 阔叶林 monsoon evergreen broad-leaved forest (220m)       | C              | 60~80                | 29.588               | 0.623                | 23.771                             | 17.377                             | 0.310   | 0.986   | 0.012   | 0.107                             |
|  | A              | 0~10                 | 28.247               | 0.466                | 20.592                             | 25.987                             | 0.327   | 0.797   | 0.011   | 0.135                             |
|  | AB             | 15~25                | 28.768               | 0.611                | 17.247                             | 27.473                             | 0.319   | 0.781   | 0.011   | 0.186                             |
|  | B              | 30~40                | 28.702               | 0.437                | 18.847                             | 23.274                             | 0.279   | 0.895   | 0.010   | 0.121                             |
| C  | 40~50          | 28.702               | 0.437                | 18.847               | 23.274                             | 0.279                              | 0.895   | 0.010   | 0.121   |                                   |

### 3.4 鼎湖山不同海拔梯度上各林型土壤微量元素全量含量分析

土壤微量元素系指土壤中含量很低而植物生长发育所必需的营养元素。土壤中 Co、Pb、Cr、Fe、Cu 和 Zn 等的含量与土壤类型和成土母质有关，同时受土壤环境的影响。

鼎湖山土壤 Cu 全量含量远低于我国一般土壤 Cu 全量的平均值 26.2mg/kg<sup>[8]</sup>，且不同林型差异较大，沟谷雨林和山地常绿阔叶林含量相对较高，而马尾松林含量较低，与海拔的上升无明显的相关关系。土壤 Fe 含量黄壤含量相对高于赤红壤含量，各森林中马尾

松林含量最低, 其次是针阔叶混交林。鼎湖山土壤 Zn 含量除亚热带常绿阔叶林 A 层和 C 层土壤 Zn 含量高于我国一般土壤全 Zn 含量的平均值 79.8mg/kg 外, 其它的都低于这个值, 且与海拔梯度的变化无直接的联系。土壤 Pb 马尾松林含量最高, 随着海拔梯度上升含量有下降的趋势。土壤 Cr 的含量沟谷雨林和亚热带常绿阔叶林含量相对较高, 位于海拔 800m 的灌木草丛含量最低。土壤 Co 含量沟谷雨林含量最高, 其它各林型含量差别不是很大。土壤 Ni 含量虽然与海拔高度没有明显的相关关系, 但赤红壤含量明显比黄壤含量高。

表 3 鼎湖山不同海拔梯度上各林型土壤微量元素全量含量  
Table 3 The concentrations of soil microelements under different forest types in different altitudes at Dinghushan

| 林型<br>Forest types  | 土层<br>Soil layers | 土层深度<br>Soil depth<br>(cm) | Cu<br>(mg/kg) | Fe<br>(mg/kg) | Zn<br>(mg/kg) | Pb<br>(mg/kg) | Cr<br>(mg/kg) | Co<br>(mg/kg) | Ni<br>(mg/kg) |
|---|-------------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest (60m)                 | A                 | 0~5                        | 0.788         | 186.339       | 63.787        | 20.801        | 57.562        | 8.671         | 11.268        |
|   | AB                | 10~15                      | 0.873         | 227.010       | 55.738        | 31.005        | 79.404        | 10.176        | 12.140        |
|   | B                 | 20~30                      | 0.484         | 241.641       | 39.420        | 35.552        | 88.338        | 13.953        | 16.094        |
|   | C                 | 50~60                      | 1.066         | 290.724       | 65.434        | 42.958        | 102.965       | 13.741        | 17.206        |
| 沟谷雨林 Ravine rain forest (150m)                            | A                 | 0~5                        | 8.786         | 421.955       | 72.928        | 25.933        | 106.364       | 23.993        | 22.136        |
|   | AB                | 10~20                      | 10.879        | 445.685       | 62.479        | 25.335        | 119.009       | 27.101        | 23.242        |
|   | B                 | 30~40                      | 13.233        | 462.584       | 50.894        | 25.819        | 120.686       | 26.670        | 24.978        |
| 针阔叶混交林<br>Coniferous and broad-leaved mixed forest (200m) | C                 | 60~70                      | 18.567        | 448.147       | 60.672        | 21.570        | 128.761       | 24.154        | 22.797        |
|   | A                 | 0~5                        | 1.241         | 224.840       | 53.736        | 15.489        | 63.634        | 10.933        | 10.502        |
|   | AB                | 10~20                      | 2.609         | 359.893       | 76.742        | 14.593        | 103.224       | 12.456        | 16.521        |
| 亚热带常绿阔叶林 Monsoon evergreen broad-leaved forest (220m)     | B                 | 30~40                      | 0.859         | 246.510       | 47.244        | 14.189        | 76.582        | 9.011         | 12.538        |
|   | C                 | 70~80                      | 1.457         | 303.901       | 61.965        | 9.955         | 92.213        | 13.331        | 15.486        |
|   | A                 | 0~10                       | 1.809         | 334.661       | 89.772        | 14.428        | 98.984        | 15.177        | 15.580        |
| 山地常绿阔叶林 Mountain evergreen broad-leaved forest (600m)     | B                 | 20~30                      | 1.531         | 398.033       | 69.415        | 7.627         | 117.495       | 14.883        | 17.742        |
|   | C                 | 40~50                      | 2.522         | 436.357       | 86.064        | 8.822         | 124.708       | 17.242        | 20.127        |
|   | A                 | 0~10                       | 3.080         | 376.087       | 54.584        | 18.483        | 65.706        | 12.331        | 6.010         |
| 灌木草丛 Shrub grass-land (800m)                              | AB                | 20~30                      | 13.214        | 660.400       | 64.259        | 4.622         | 47.618        | 11.241        | 6.738         |
|   | B                 | 40~50                      | 10.350        | 674.549       | 59.965        | 3.467         | 44.015        | 12.026        | 5.745         |
|   | C                 | 60~80                      | —             | 462.996       | 73.311        | 12.027        | 76.255        | 10.446        | 6.290         |
|   | A                 | 0~10                       | 5.997         | 533.590       | 78.114        | 8.462         | 26.877        | 7.103         | 1.815         |
|   | AB                | 15~25                      | 6.956         | 633.320       | 71.236        | 8.326         | 44.262        | 12.583        | 3.740         |
|   | B                 | 30~40                      | —             | 459.285       | 62.293        | 18.110        | 79.768        | 17.499        | 9.044         |
|   | C                 | 40~50                      | —             | 443.015       | 78.967        | 16.574        | 78.839        | 16.245        | 10.171        |

## 4 结论与讨论

4.1 鼎湖山为铁、铝氧化物富集的铁铝土, 土壤极度风化, 盐基离子大量流失, 因而土壤酸度较高。各林型土壤 A、B 层酸度差异不大, 但土壤 C 层比较, 则随着海拔梯度的上升, 土壤酸度降低。位于低海拔的针、阔叶林由于植物根系深入土壤, 加速了 C 层土壤

的自然酸化过程。

4.2 鼎湖山位于海拔低的赤红壤的  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、全钾、速效钾、交换性 Na、交换性钾、交换性 Mg 和阳离子含量比位于海拔高的黄壤的对应养分含量要高，主要原因是因为黄壤脱硅富铝化作用较赤红壤弱，因而土壤淋溶作用明显，土壤盐基离子含量降低，且高海拔地区由于地势的陡峭有利于土壤养分的流失。

4.3 鼎湖山土壤二氧化硅、锰含量随着海拔梯度的上升而下降，黄壤含量低于赤红壤。然而铁含量则随着海拔梯度的上升而上升，黄壤含量高于赤红壤，全量钙和磷含量黄壤也稍高于赤红壤，镁含量赤红壤高于黄壤。赤红壤和黄壤元素含量的不同主要是由于土体在长期的发育过程中受气候、生物和地貌等综合因子影响的结果。

4.4 土壤 Pb 马尾松林含量最高，Pb 含量随着海拔梯度上升而下降，土壤 Pb 含量的不同可能受鼎湖山旅游业的影响，在有车辆进入的低海拔地区，Pb 含量明显高于高海拔地区。土壤其它微量元素含量与海拔高度没有明显的相关关系。

## 参 考 文 献

- [1] 费松林, 方精云, 樊勇军等. 贵州梵净山亮叶水青冈叶片和木材的解剖学特征及其与生态学因子的关系. 植物学报, 1999, 41 (9): 1002~1009
- [2] 熊治廷, 黄仁煌. 野生中华猕猴桃开花期与海拔高度的关系. 广西植物, 1999, 19 (2): 180~182
- [3] 郑蓉. 不同海拔毛竹竹材化学组成成分分析. 浙江林业科技, 2001, 21 (1): 17~20
- [4] 杨庆, 孙照斌, 雷亚芳等. 不同海拔天山云杉木材纤维长度和宽度的研究. 陕西林业科技, 2001, (1): 5~47
- [5] 吴厚水. 鼎湖山自然保护区水热状况及其与生态环境的关系. 热带地理, 1982, (4): 25~36
- [6] 何宜庚. 广东省鼎湖山自然保护区的土壤. 华南师范大学学报 (自然科学版), 1983, (1): 87~96
- [7] 骆伯胜, 张秉刚. 鼎湖山赤红壤的粘粒矿物特点. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, (6): 91~101
- [8] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1995