

鼎湖山南亚热带常绿阔叶林植物 和土壤微量元素含量

方运霆^{1,2}, 莫江明^{1*}, 周国逸¹, 张德强¹, 薛璟花¹

(1. 中国科学院华南植物园鼎湖山森林生态系统定位研究站, 广东肇庆 526070; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 报道了鼎湖山南亚热带常绿阔叶林各层次植物和表层土壤(0~20 cm)四个微量元素(Cu、Fe、Mn和Zn)的含量和分配格局。结果表明:(1)土壤有效Cu、Fe、Mn和Zn含量(mg/kg)平均值依次为0.72、140.85、1.42和1.92;(2)所有植物叶片Cu、Fe、Mn和Zn元素含量(mg/kg)分别介于6.1~100.6、6.5~1027.5、46.3~1196.7和27.0~338.6,其中乔木层植物叶片微量元素含量(mg/kg)平均值表现为Mn(305.3)>Fe(259.3)>Zn(109.9)>Cu(19.3),而其它植物表现为Fe(586.4)>Mn(336.9)>Zn(141.4)>Cu(36.6);(3)植物微量元素在各器官的分配格局随元素和植物所在的层次不同而异:乔木层植物Cu含量高低排序为干>根>枝>叶>皮,Fe为根>皮>叶>枝>干;Mn为叶>皮>枝>根>干;Zn为叶>根>枝>皮>干;(4)在群落垂直结构上,Fe元素含量表现为自上而下递增的趋势,而Cu、Mn和Zn含量规律不明显;(5)植物和土壤的微量元素与微量元素间相关性均较差;(6)与亚热带其它森林相比,鼎湖山季风常绿阔叶林土壤Cu、Mn和Zn含量较低,但乔木层植物因具有很强的吸收或富集能力而含量较高。

关键词: 南亚热带常绿阔叶林; 微量元素含量; 分配格局; 鼎湖山

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2005)06-0504-07

Minor nutrient element status of plant and soil in a lower subtropical evergreen broad-leaved forest in Dinghushan Biosphere Reserve

FANG Yun-ting^{1,2}, MO Jiang-ming^{1*}, ZHOU Guo-yi¹,
ZHANG De-qiang¹, XUE Jing-hua¹

(1. Dinghushan Forest Ecosystem Research Station, South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Zhaoqing 526070, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The distribution pattern of concentration of minor nutrient element in plants and the upper soil(0~20 cm) layer in a Dinghushan lower subtropical evergreen broad-leaved forest was presented in this paper. Mean soil concentrations of available Cu, Fe, Mn and Zn(mg/kg) were: 0.72, 140.85, 1.42 and 1.92, respectively. The ranges of concentrations in leaves for all plants(mg/kg) were: Cu 6.1~100.6, Fe 6.5~1027.5, Mn 46.3~1196.7 and Zn 27.0~338.6, with means of 19.3, 259.3, 305.3 and 109.9 mg/kg for plants at tree layers, and 36.6, 586.4, 336.9 and 141.4 mg/kg for the other plants, respectively. Concentration of minor nu-

收稿日期: 2004-08-08 修订日期: 2005-01-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(30270283); 中国科学院知识创新工程领域前沿项目; 中国科学院华南植物研究所所长基金项目; 广东省自然科学基金项目(021524)[Supported by the National Natural Science Foundation of China(30270283); Director Foundation of South China Institute of Botany, CAS; Field Frontiers Project of CAS Knowledge Innovation Program; Provincial Natural Science Foundation of Guangdong(021524)].

作者简介: 方运霆(1976-), 男, 江西瑞昌人, 博士生, 助理研究员, 主要从事森林生态系统CN循环及其与全球变化的关系研究。

* 为通讯作者(Author for correspondence)

trient element in organs varied depending on elements and layers. For example, the patterns for tree layer were; stems>root>branches>leaves>barks(Cu), root>barks>leaves>branches>stems(Fe); leaves>barks>branches>root>stems(Mn) and leaves>root>branches>bark>stems(Zn). The concentrations of Fe were found decreasing with increasing layer(Tree<Shrub<Herb), but no such order was found for other elements. There was no significant correlation in element concentrations between plant and soil, and between elements in the studied forest. The concentrations of Cu, Mn and Zn in our study forest were lower in the upper soil, but higher in the leaves of plants at the tree layers relative to those in other subtropical forests, suggesting that the plants in the studied forest had higher ability to accumulate minor element.

Key words: lower subtropical evergreen broad-leaved forest; concentration of minor nutrient element; distribution pattern; Dinghushan

近代,由于人类活动的影响,许多森林植物营养元素包括微量元素的生物地球化学循环格局和速率正发生着深刻的变化(莫江明等,2000;Mo等,1994,1995,2003),当前森林营养元素数据为我们将来分析森林的变化以及对全球变化的响应起到基准作用(莫江明等,2000)。另外,森林生态系统各组分营养元素含量的分配特征不仅是养分循环研究中的最重要内容之一,其研究将有助于了解森林生态系统的结构、功能与动态,为森林资源保护、利用和管理提供科学依据(莫江明等,2000;Mo等,1994,1995,2003)。虽然越来越多的研究表明微量元素是生物生长发育必不可少的元素,但目前对于森林生态系统中微量元素的研究报道甚少。

位于南亚热带的鼎湖山国家级自然保护区,目前保存有400多年历史的南亚热带地带性顶极群落——锥栗(*Castanopsis chinensis*)、荷木(*Schima superba*)、黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)群落,对于该群落的研究将有助于了解南亚热带森林的特征。前期我们报道了该群落各层次主要植物5个大量营养元素(N、P、K、Ca和Mg)含量分配格局情况(莫江明等,2000),本文继续报道该群落各层次植物和表层土壤(0~20 cm)的Cu、Fe、Mn和Zn四个微量元素含量及其分布特征,并分析植物和土壤中微量营养元素(Cu、Fe、Mn和Zn)间及其与大量营养元素(N、P、K、Ca和Mg)间的相关关系,以便从微量元素角度进一步了解这种地带性植被类型的生态学问题。

1 材料和方法

1.1 样地概况

本研究在鼎湖山生物圈保护区进行。保护区位于广东省中部,112°33' E,23°10' N,属亚热带季风

性气候型。年平均降雨量为1927 mm,其中75%分布在3~8月,而12~2月仅占6%。年平均相对湿度为80%,年平均温度、最冷月(1月)和最热月(7月)的平均温度分别为21.4、12.6℃和28.0℃(黄展帆等,1982)。

研究样地为南亚热带季风常绿阔叶林永久样地,位于保护区核心区的三宝峰东北坡,海拔250~350 m,坡度26°~30°。群落种类丰富,结构复杂,垂直结构可分为7个层次,即乔木4个亚层、灌木层、草本苗木层和层间植物层。土壤为砂页岩发育的赤红壤,pH4.06~4.34,土层厚30~90 cm(莫江明等,2000)。具体的不同土层土壤pH值、有机质和大量营养元素(N、P、K、Ca和Mg)含量特征见夏汉平等(1994)或莫江明等(2000)文章。

1.2 样品采集和处理

根据样地植被调查结果,1996年8月份分层种分别采集植物样品(每种3~5株)。群落取样分为乔木层、灌木层、草本层、藤本层。其中乔木层又分4个亚层,即乔木层I(H>20 m)、乔木层II(15≤H<20 m)、乔木层III(10≤H<15 m)和乔木层IV(5≤H<10 m)4个亚层。取样时,乔木层I、II和III植物分根、干、枝、皮和叶,乔木层IV和灌木层植物分根、枝、干和叶,草本层和藤本植物分叶、干和根(莫江明等,2000;方运霆等,2002)。所有植物样品(188个)烘干磨粉后测定植物各组分的Cu、Fe、Mn和Zn四个微量元素含量。

为了研究表层土壤(0~20 cm)微量元素含量,于1999年7月25日在样地内随机采集20 cm深土样20个。样品风干后磨碎过筛(孔径2 mm),测定其pH值和有机碳、全氮、有效P、有效K、交换性Ca和交换性Mg、有效微量元素(Cu、Fe、Mn和Zn)的含量。

1.3 化学分析

土壤pH值(水土比/2.5:1)用pH计(S-2)测

定;有机质为 $K_2Cr_2O_7$ 一外加加热法;全 N 凯氏法测定;有效 P 为 NH_4F-HCl 浸提,钼锑抗比色法;速效 K、交换性 Ca 和 Mg 用 NH_4OAc 浸提、有效 Fe 采用 DTPA 浸提、有效 Cu 和有效 Zn 采用盐酸浸提、有效 Mn 采用乙酸-对苯二酚浸提后,用原子吸收分光光度计测定。对于植物中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 元素含量 HNO_3-HClO_4 浸提后,用原子吸收分光光度计测定(中华人民共和国国家标准局,1987)。全部结果以 105 °C 恒重为基准。

表 1 表层土壤(0~20 cm)有效 Cu、Fe、Mn 和 Zn 元素含量 (n=20)

Table 1 Concentrations of available minor nutrient element in the upper soil(0~20 cm) in a lower subtropical evergreen broad-leaved of Dinghushan

| 项目 Items | Cu | Fe | Mn | Zn |
|-------------------|-------|--------|-------|-------|
| 平均值 Mean(mg/kg) | 0.72 | 140.85 | 1.42 | 1.92 |
| 最小值 Min. (mg/kg) | 0.54 | 77.95 | 0.33 | 1.16 |
| 最大值 Max. (mg/kg) | 0.99 | 236.85 | 4.88 | 3.66 |
| 标准差 S. E. (mg/kg) | 0.01 | 4.13 | 0.13 | 0.06 |
| 变异系数 C. V. (%) | 18.06 | 27.75 | 84.51 | 30.21 |

2 结果和分析

2.1 表层土壤微量元素有效态含量

0~20 cm 土壤层有效 Cu、Mn 和 Zn 含量平均仅 0.72、1.42 和 1.92 mg/kg,而 Fe 含量却高达 140.85 mg/kg,Fe 含量分别是 Cu、Mn 和 Zn 含量的 196.99 和 73 倍。4 个元素中,Mn 含量变异系数

最大,Cu 最小,说明土壤 Mn 含量空间异质性较强,而 Cu 则较为均匀(表 1)。

2.2 植物微量元素含量

2.2.1 植物种间含量差异 不同植物种间,其叶、干、根、枝和皮的 Cu、Fe、Mn 和 Zn 四个微量元素含量均相差很大,如叶片的四个微量元素含量(mg/kg)分别介于 6.1~100.6、6.5~1027.5、46.3~1196.7 和 27.0~338.6,最高的是最低的 16.4、158.5、25.8 和 12.5 倍。就整个乔木层而言,叶片 Cu 含量平均值数白颜树最高,红车最低,Fe 含量数鼎湖血桐最高,锥栗最低,Mn 含量数云南银柴最高,厚壳桂最低,Zn 含量数鼎湖血桐最高,荷木最低(表 2)。植物种间的差异大小还因元素种类和器官而异,其中 Cu 和 Fe 元素在根的含量差异程度最大,Mn 元素在干和皮的含量差异较大,Zn 元素在各器官的含量差异不明显。以上分析表明植物对元素的选择性吸收。

2.2.2 器官间含量差异 器官间的含量差异因植物所在的层次和元素种类而异。四个微量元素在乔木层植物各器官含量的高低排序缺乏一致的规律,其中 Cu 元素为干>根>枝>叶>皮,Fe 元素为根>皮>叶>枝>干;Mn 为叶>皮>枝>根>干;Zn 为叶>根>枝>皮>干;灌木和藤本植物 Cu 和 Fe 含量基本上是根>叶>干,而 Mn 和 Zn 元素为叶>根>干;草本层植物 Cu、Mn 和 Zn 含量高低排序为叶>干>根,而 Fe 含量为根>叶>干(图 1、2)。总体而言,不管哪个层次,植物叶片 Mn 和 Zn 的含量

表 2 乔木层植物叶片微量元素含量(平均值±标准误,mg/kg)

Table 2 Concentration of minor nutrient element in the leaf of plants at the tree layers(mg/kg, mean±SE)

| 种 Species | Cu | Fe | Mn | Zn |
|-------------------------------------|-----------|-------------|-------------|------------|
| 荷木 <i>Schima superba</i> | 17.2±5.4 | 262.4±57.3 | 393.1±24.1 | 44.2±1.8 |
| 厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i> | 33.3±10.0 | 258.4±152.1 | 46.5±0.2 | 113.8±21.4 |
| 华润楠 <i>Machilus chinensis</i> | 31.0±1.4 | 177.6±79.7 | 268.3±15.0 | 116.6±17.5 |
| 黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i> | 17.1±3.3 | 319.5±101.1 | 264.0±10.3 | 118.7±32.9 |
| 黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i> | 18.7±1.2 | 232.7±19.3 | 477.1±28.1 | 112.6±18.6 |
| 肖蒲桃 <i>Acmena acuminatissima</i> | 20.9±4.9 | 300.0±50.8 | 116.9±18.7 | 143.8±33.8 |
| 锥栗 <i>Castanopsis chinensis</i> | 21.8 | 83.9 | 191.3 | 66.2 |
| 红车 <i>Syzygium rehderianum</i> | 11.3±2.7 | 246.3±44.0 | 138.6±24.9 | 103.6±23.5 |
| 云南银柴 <i>Aporosa yunnanensis</i> | 13.9±2.1 | 210.6±15.3 | 651.8±172.6 | 129.9±52.2 |
| 白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i> | 49.8 | 317.4 | 156 | 86.5 |
| 鼎湖钓樟 <i>Lindera chunii</i> | 13.5±2.3 | 221.8±38.7 | 243.2±51.3 | 141.3±75.0 |
| 光叶山黄皮 <i>Randia canthioides</i> | 16.9±6.3 | 315.0±95.6 | 551.1±443.4 | 55.3±23.7 |
| 黄叶树 <i>Xanthophyllum hainanense</i> | 11.5±1.8 | 260.7±48.8 | 551.5±378.9 | 59.7±32.6 |
| 鼎湖血桐 <i>Macaranga mponi</i> | 13.1 | 329.4 | 161.8 | 216.2 |
| 总平均 Total mean | 19.2±1.8 | 259.2±19.4 | 305.4±46.2 | 109.9±10.6 |

较其它元素高,根系的 Cu 和 Fe 含量较其它元素高(图 1,2)。以上分析反映了植物不同器官具有不同的生理和生物学特性。

2.2.3 层次间含量差异 方差分析表明,乔木层间植物叶片所有元素含量都不存在显著差异($p > 0.05$),但从平均值来看,树种所处的位置越高,Fe、Mn 和 Zn 含量越低,而 Cu 则相反。对于干、根、枝和皮其它器官而言,干的 Fe、Mn 和 Zn 含量、根的 Fe 含量、枝和皮的 Zn 含量随树种高度升高而降低,干、根、枝和皮的 Cu 含量随树种高度升高而升高,其它则缺乏明显规律(图 1)。就整个群落而言,草本层植物 Fe 和 Zn 元素含量平均值高于其它层次,

藤本植物 Cu 元素含量高于其它层次,各层次间 Mn 含量差异不明显(图 1)。总而言之,所有的微量元素中,只有 Fe 元素含量在群落垂直结构自上而下表现为递增的趋势,而 Cu、Mn 和 Zn 含量的在层次间的差异规律不明显,均没有表现出上而下递增或递减的趋势(图 1),如植物叶片 Cu、Fe、Mn 和 Zn 含量(mg/kg)在各层次平均值的高低序列分别为:藤本(64.2) > 灌木(31.4) > 草本(25.0) > 乔木(19.2);藤本(759.0) > 草本(679.9) > 灌木(459.0) > 乔木(259.2);灌木(428.5) > 乔木(305.4) > 草本(300.5) > 藤本(171.5);草本(209.4) > 藤本(141.4) > 乔木(109.9) > 灌木(102.6)(图 1)。

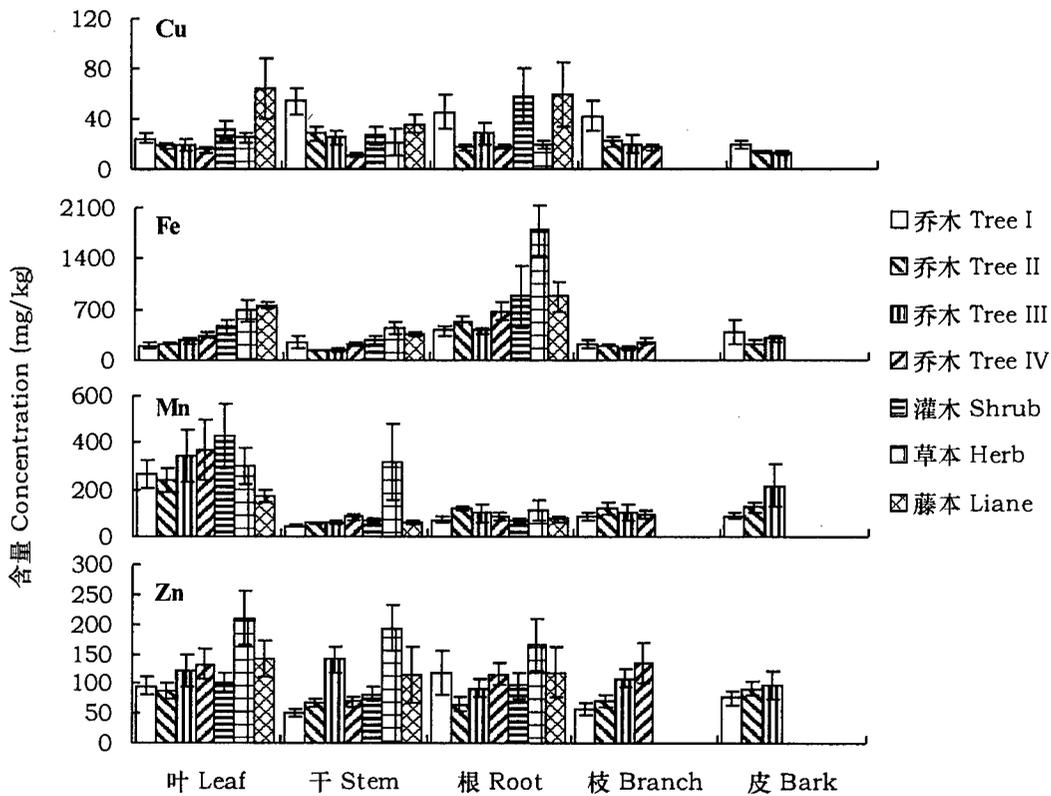


图 1 不同层次植物微量元素含量差异

Fig. 1 Comparisons of minor nutrient element concentrations of plants among different layers in a lower subtropical evergreen broad-leaved forest of Dinghushan

2.2.4 营养元素间含量差异 同一器官各元素含量比较,绝大部分植物以 Fe 含量最高,Cu 最低,如植物叶片四个微量元素含量(mg/kg)总平均值高低排序为 Fe(361.0) > Mn(315.2) > Zn(119.7) > Cu(24.6),但是植物所在的层次和器官不同,其含量高低排序略有不同(表 2)。其中乔木层植物叶片微量元素含量(mg/kg)平均值表现为 Mn(305.3) > Fe

(259.3) > Zn(109.9) > Cu(19.2)(表 3,图 2),而其它植物却表现为 Fe(586.4) > Mn(336.9) > Zn(141.4) > Cu(36.6),说明乔木层植物对 Mn 的吸收能力较强,而林下层和层间植物对 Fe 的吸收能力较强。对于其它器官来说,不论植物所在的层次,绝大多数植物所有器官表现为 Fe 含量最高而 Cu 含量最低,乔木层植物枝和皮 Mn 含量略高于 Zn 含

量(图 2)。

2.3 营养元素含量间相互关系

表层土壤 Cu、Fe、Mn 和 Zn 微量元素与大量元素间的相关性较好,其中 Ca 与 Cu、Fe 和 Mn, Mg 与 Fe、Mn 和 Zn 之间呈现极显著的相关性($p < 0.01$),但是微量元素与微量元素间相关性较差,仅 Cu 与 Mn 和 Fe 与 Zn 存在显著的相关性($p < 0.05$) (表 3)。

虽然微量元素含量与大量元素在植物叶片(尤其是乔木层植物)相关性较差,但在整个群落所有器官的相关性还是较好。与土壤相似,植物微量元素和微量元素间相关性也较差,仅群落植物叶片 Fe 与 Cu 和 Fe 与 Zn、群落植物所有器官 Fe 与 Zn 存在极显著相关性($p < 0.01$)。以上分析表明,植物养分微量元素含量一定程度上还是受土壤的影响,如 Fe 与 Zn 无论在植物还是在土壤中始终存在较高的

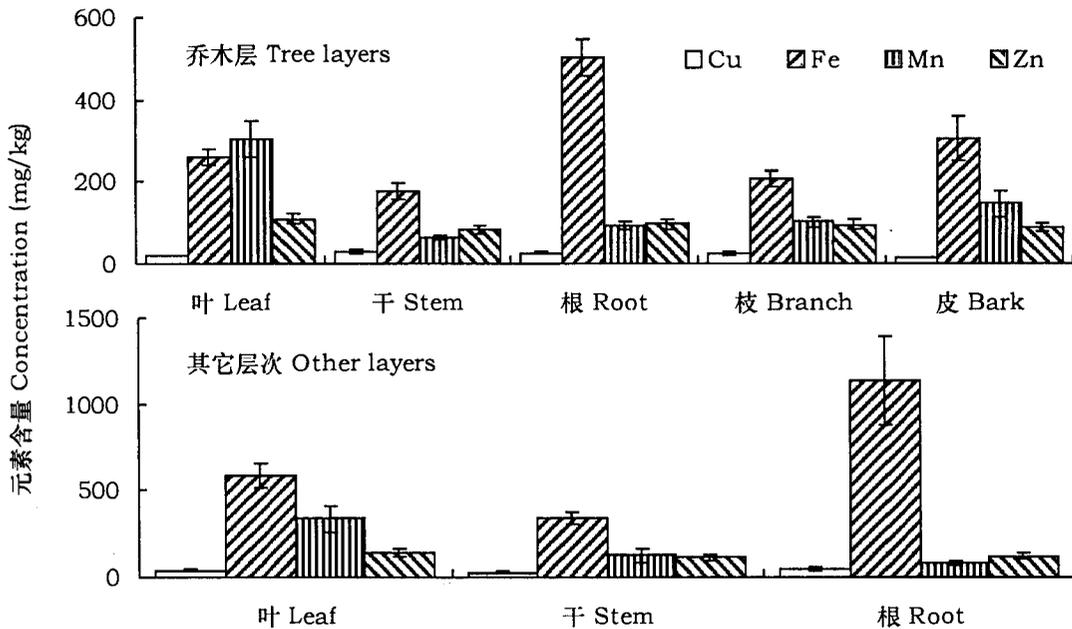


图 2 鼎湖山亚热带常绿阔叶林植物各微量元素含量

Fig. 2 Minor nutrient element concentrations of plants in a lower subtropical evergreen broad-leaved forest of Dinghushan

相关系数(表 3)。

3 讨论

绿色植物的生命过程,除了需要大量营养元素来保证外,还需要必要的微量元素才能顺利地进行。微量元素与植物光合作用、碳水化合物运转和积累有密切相关性,对植物干物质积累起着重要的作用。如 Fe 是许多氧化还原酶的重要组成成分和合成叶绿素所必需的元素, Mn 是许多酶的活化剂和叶绿体的结构成分(潘瑞炽等, 1995)。但是,与常量元素相比,微量元素测定研究的工作还只是近几十年的事。目前,我国对森林植物和土壤微量元素的研究报道还不多见。

对于亚热带森林,俞元春等(1998)和 Zeng 等(2002)分别就中亚热带和北亚热带的一些森林土壤

的有效态微量元素状况进行过研究,蔡宝玉等(2002)、方晰等(2003)对湖南会同站的杉木林各组分微量元素含量和生物循环进行了研究,田大伦等(2003)对广西马尾松林生态系统微量元素含量、分配和循环进行了研究。与他们的研究结果相比,鼎湖山常绿阔叶林表层土壤中有效 Fe 含量,除了低于福建省邵武市 30 a 杉木林外,均高于其它森林类型,而 Mn 含量极低,仅是它们的 0.4%~6.4%。此外,鼎湖山阔叶林 Cu 和 Zn 含量也偏低,都低于临界值(表 4)。可见,鼎湖山阔叶林土壤中有效 Fe 含量较高,表现出富 Fe 的状况,但严重缺 Mn。鼎湖山季风常绿阔叶林土壤 Fe 含量较高,除了因为所处的地带外(热带亚热带土壤 Fe 含量通常都较高),还可能与林龄有关。鼎湖山阔叶林具有四百多年的历史,土壤自然酸化较为严重(夏汉平等, 1994),土壤酸化使 Fe 活化。

鼎湖山季风常绿阔叶林乔木层叶片 Cu、Fe、Mn 259.2、305.4 和 109.9。与湖南会同站的杉木林(蔡和 Zn 元素含量 (mg/kg) 平均值分别为 19.2、 王玉等,2002)、广西武宣县禄峰山林场马尾松林(田

表 3 植物和土壤营养元素含量相关分析

Table 3 Coefficients of nutrient concentration in plant and soil in a lower subtropical broad-leaved forest of Dinghushan

| | N | P | K | Ca | Mg | Cu | Fe | Mn |
|---|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 乔木层植物叶片 Leaf of tree layer plants | | | | | | | | |
| Cu | 0.307 | 0.051 | 0.037 | -0.078 | -0.114 | | | |
| Fe | 0.025 | -0.169 | 0.04 | 0.039 | -0.146 | -0.095 | | |
| Mn | 0.049 | -0.133 | -0.309 | 0.356* | -0.35 | -0.221 | 0.018 | |
| Zn | -0.225 | 0.039 | -0.2 | 0.172 | 0.124 | -0.09 | 0.326 | -0.167 |
| 群落植物叶片 Leaf of all plants | | | | | | | | |
| Cu | -0.129 | -0.22 | -0.013 | -0.282 | -0.051 | | | |
| Fe | -0.293 | -0.384** | -0.041 | -0.079 | -0.257 | 0.468** | | |
| Mn | 0.011 | -0.158 | -0.092 | 0.324* | -0.299* | -0.185 | -0.029 | |
| Zn | -0.224 | -0.141 | -0.174 | 0.091 | -0.132 | 0.117 | 0.391** | -0.134 |
| 群落植物所有器官 All plants | | | | | | | | |
| Cu | -0.07 | -0.033 | -0.043 | -0.226* | -0.105 | | | |
| Fe | 0.033 | 0.001 | 0.149* | -0.052* | 0.169* | 0.17 | | |
| Mn | 0.444** | 0.136** | 0.444** | 0.401** | 0.352** | -0.131 | 0.009 | |
| Zn | 0.138 | 0.152* | 0.216** | 0.119 | 0.166* | 0.025 | 0.228** | 0.09 |
| 0~20 cm 土壤 Soil at the upper layer(0~20 cm) | | | | | | | | |
| Cu | -0.235* | 0.291** | -0.169 | 0.335** | 0.118 | | | |
| Fe | -0.061 | 0.416 | 0.035 | 0.340** | 0.621** | 0.006 | | |
| Mn | 0.407** | 0.083 | 0.265* | 0.554** | 0.664** | 0.223* | 0.074 | |
| Zn | 0.168 | 0.345** | 0.135 | -0.042 | 0.434** | 0.009 | 0.238* | 0.473 |

*,** 分别表示相关关系显著和极显著。
*,** Indicates correlation is significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively.

表 4 亚热带一些森林表层土壤(20 cm)有效微量元素含量 (mg/kg)

Table 4 Concentrations of available Cu, Fe, Mn and Zn in the upper soil(0~20 cm) in some subtropical forests

| 项目 Items | 林龄 Age(a) | Cu | Fe | Mn | Zn | 来源 References |
|---|-----------|-----|-------|-------|-----|-----------------------|
| 南亚热带, 广东肇庆 Lower subtropics, Zhaoqing, Guangdong | | | | | | |
| 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest | >400 | 0.7 | 140.9 | 1.4 | 1.9 | 本研究 |
| 中亚热带南, 福建邵武 Middler subtropics(South), Shaowu, Fujian | | | | | | |
| 天然阔叶林 Natural broad-leaved forest | 30 | 0.6 | 68.5 | 34.0 | 2.7 | Yu YC, et al., 1998 |
| 杉木林 Chinese fir plantation | 30 | 1.4 | 161.5 | 16.0 | 4.4 | |
| 马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> plantation | 30 | 1.2 | 3.5 | 22.0 | 4.0 | |
| 中亚热带北, 江西景德镇 Middler subtropics(North), Jingdezhen, Jiangxi | | | | | | |
| 天然阔叶林 Natural broad-leaved forest | 30 | 0.5 | 111.5 | 305.0 | 3.8 | Yu YC, et al., 1998 |
| 杉木林 Chinese fir plantation | 30 | 1.2 | 39.5 | 39.0 | 1.4 | |
| 马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> plantation | 30 | 0.9 | 29.5 | 22.4 | 2.2 | |
| 北亚热带, 江苏南京 Higher subtropics, Nanjing, Jiangsu | | | | | | |
| 次生栓皮栎林 Oriental oak plantation | 25 | 2.3 | 40.5 | 220.0 | 4.2 | Zeng SC, et al., 1998 |
| 杉木林 Chinese fir plantation | 25 | 0.8 | 31.0 | 118.0 | 3.0 | |
| 火炬松林 Loblolly pine plantation | 25 | 0.7 | 49.0 | 172.0 | 2.3 | |
| 临界值 Critical levels | | 2.0 | 3.5 | 7.0 | 2.0 | Zeng SC, et al., 1998 |

大伦等,2003)、云南昆明森林公园 15 种植物(殷彩霞等,1998)和雷州半岛 21 种桉树叶片(关雄泰等,1995)微量元素含量相比,Fe 含量(mg/kg)平均值高于湖南杉木的 253.60 和广西 8~23 龄马尾松的 142.11~299.43,但低于 38 龄马尾松的 324.65、昆明西山 15 种植物的 557.4 和雷州半岛 21 种桉树平

均值 362.9;Cu、Mn 和 Zn 含量相对较高,只有 Mn 含量远远低于 21 种桉树的平均值(2 732.4 mg/kg),如其它地区 Cu 含量平均值为 7.1 mg/kg(会同杉木)~12.7 mg/kg(昆明西山)。以上分析表明,尽管鼎湖山季风常绿阔叶林土壤 Cu、Mn 和 Zn 含量较低,但乔木层植物对这些元素具有很强的吸

收或富集能力,该结果也在一定程度上解释了为什么鼎湖山季风常绿阔叶林叶片微量元素间相关性比土壤的相关性差(表4)。

植物营养元素含量的层间差异是植物种类和植物对其所在层次生态条件适应性共同作用的结果。一般认为,不论是热带森林还是亚热带或温带森林,其植物叶片营养元素含量在垂直结构上呈现由上而下递增的趋势,即草本植物>灌木层植物>乔木层植物(陈灵芝等,1997)。然而,本研究结果表明,鼎湖山常绿阔叶林植物叶片4个微量元素,只有Fe含量才表现出该趋势(图1,表2)。另外,我们前期的研究结果也显示,鼎湖山常绿阔叶林植物叶片N、P和K元素含量也没有表现在垂直结构上呈现由上而下递增的趋势,如乔木层植物叶片N元素含量显著高于草本和灌木层,黄果厚壳桂叶片N、P和K三种元素浓度也均呈现由上而下递减的趋势(莫江明等,2000)。林植芳等(1989)曾对本研究同一地区的南亚热带马尾松林、混交林和常绿阔叶林3种植被类型大量元素含量的研究也发现,乔木层植物叶片含量高于灌木层,说明影响植物营养元素含量的因素十分复杂。

植物营养元素含量是植物在一定生境条件下吸收营养元素的能力表现,也是植物与环境(气候和土壤等)之间的相互作用的结果,因此它不仅揭示植物种间的特性,同时还能反映植物与环境之间的相互关系。本研究表明,地处热带和亚热带过渡地带的鼎湖山季风常绿阔叶林植物叶片营养元素含量除了受土壤养分供给(群落植物营养元素间相关性和土壤的十分相似)和植物种的生物学特性(乔木层植物受土壤养分供给的影响相对较少)的影响外,还可能受到其它环境因子的影响(层间差异缺乏明显的规律性)。

参考文献:

- 中华人民共和国国家标准局. 1987. 森林土壤分析方法(第三分册)[M]. 北京:国家标准局.
- 陈灵芝,黄建辉,严昌荣编著. 1997. 中国森林生态系统养分循环[M]. 北京:气象出版社,214.
- 潘瑞炽,董愚得编. 1995. 植物生理学(上册,第三版)[M]. 北京:高等教育出版社,32-40.
- Cai BY(蔡宝玉),Gao YM(高跃明). 2002. Microelements concentration and distribution in the second-generation Chinese fir plantation at its fast-growing stage(第二代杉木林速生阶段微量元素含量与分布)[J]. *J Central South For Univ*(中南林学院学报),22(4):12-17.
- Fang X(方晰),Tian DL(田大伦),Xiang WH(项文化),*et al.* 2003. Accumulation, distribution and biological cycling of microelements in a second rotation Chinese fir plantation (第2代杉木人工林微量元素的积累、分配及其生物循环特征)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报),23(7):1313-1320.
- Fang YT(方运霆),Mo JM(莫江明). 2002. Study on carbon distribution and storage of a pine forest ecosystem in Dinghushan Biosphere Reserve(鼎湖山马尾松林生态系统碳素分配和贮量的研究)[J]. *Guihaia*(广西植物),22(4):305-310.
- Guan XT(关雄泰),Chen SZ(陈素珍),Xu MY(徐美亦),*et al.* 1995. The meaning and quantitative determination of the trace elements in 21 species of *Eucalyptus* leaves(21种桉叶微量元素含量测定及其意义)[J]. *Guangdong Trace Elements Science*(广东微量元素科学),2(4):52-55.
- Huang ZF(黄展帆),Fan ZG(范征广). 1982. The climate of Dinghushan(鼎湖山的气候)[J]. *Trop Subtrop Fore Ecosystem*(热带亚热带森林生态系统研究),1:11-23.
- Lin ZF(林植芳),Li SS(李双顺),Sun GC(孙谷畴),*et al.* 1989. The mineral elements in leaves of the plants in south subtropical area of Mt. Dinghushan(鼎湖山南亚热带地区植物的叶片矿质元素含量)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报),9(4):320-323.
- Mo JM(莫江明),Zhang DQ(张德强),Huang ZL(黄忠良),*et al.* 2000. Distribution pattern of nutrient elements in plants of Dinghushan lower subtropical evergreen broad-leaved forest(鼎湖山南亚热带常绿阔叶林植物营养元素含量分配格局研究)[J]. *J Trop and Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报),8(3):198-206.
- Mo JM,Brown S,Ding MM,*et al.* 1994. Nitrogen distribution in vegetation of a subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest in China[J]. *Tropics*,3(2):143-153.
- Mo JM,Brown S,Lenart MT,*et al.* 1995. Nutrient dynamics of a human-impacted pine forest in a MAB reserve of subtropical China[J]. *Biotropica*,27(3):290-304.
- Mo JM,Brown S,Peng SL,*et al.* 2003. Nitrogen availability in disturbed, rehabilitated and mature forests of tropical China [J]. *Forest Ecology and Management*,175(3):573-583.
- Tian DL(田大伦),Xiang WH(项文化),Kang WX(康文星). 2003. Study on biological cycling of microelements in *Pinus massoniana* plantations(马尾松人工林微量元素生物循环的研究)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学),39(4):1-8.
- Yin CX(殷彩霞),Peng L(彭莉),Li C(李聪),*et al.* 1998. The distribution character of trace elements in the soil-plant system on western hill Kunming(昆明西山土壤-植物系统微量元素分布特征)[J]. *J Yunnan Univ*(云南大学学报,自然科学版),20:435-437.
- Yu YC(俞元春),Zeng SC(曾曙才),Luo RY(罗汝英). 1998. Contents and distribution of microelements in soils of hilly forest area in the South of Yangzi River(江南丘陵林区森林土壤微量元素的含量与分布)[J]. *J Anhui Agric Univ*(安徽农业大学学报),25(2):167-173.
- Zeng SC,Xie ZS,Yu YC,*et al.* 2002. Available microelements in soils under different stands in Northern subtropics of China [J]. *Acta Ecol Sin*,22(12):2141-2146