

## 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

莫江明, 张德强, 黄忠良, 余清发, 孔国辉

(中国科学院华南植物研究所鼎湖山森林生态系统定位研究站, 广东 肇庆 526070)

**摘要:** 在鼎湖山南亚热带常绿阔叶林中, 植物叶片营养元素含量为: N 0.946%—2.535%, P 0.030%—0.127%, K 0.614%—1.833%, Ca 0.442%—1.995%, Mg 0.024%—0.188%。叶片各营养元素间相关性较差, 仅 P 与 Mg 及 Mg 与 K 之间存在显著的线性相关。叶片 N 元素平均含量在各层中的序列为: 乔木 III > 乔木 II > 乔木 I > 灌木 > 藤本 > 草本; 其它营养元素浓度随层次分配的规律性不甚明显, 但总趋势为乔木层植物略低于其它层植物。不同营养元素平均含量在各器官中的大小排列顺序为: N 叶 > 皮 > 枝 > 根 > 干; P 叶 > 枝 > 根 > 皮 > 干; K 叶 > 枝 > 皮 > 根 > 干; Ca 皮 > 叶 > 枝 > 根 > 干; Mg 叶 > 根 > 皮 > 枝 > 干。大部分植物在同一器官中各营养元素平均含量序列为: 叶、枝和根中均为 N > Ca > K > Mg > P; 干 K > Ca > N > Mg > P; 皮 Ca > N > K > Mg > P。对元素含量分配格局分析表明, P 和 Mg 很可能是限制南亚热带常绿阔叶林植物生产力的最重要营养元素。

**关键词:** 南亚热带常绿阔叶林; 鼎湖山; 营养元素含量; 分配格局

中图分类号: Q945.12

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2000)03-0198-09

## DISTRIBUTION PATTERN OF NUTRIENT ELEMENTS IN PLANTS OF DINGHUSHAN LOWER SUBTROPICAL EVERGREEN BROAD-LEAVED FOREST

MO Jiang-ming, ZHANG De-qiang, HUANG Zhong-liang, YU Qing-fa, KONG Guo-hui

(Dinghushan Forest Ecosystem Research Station, South China Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Zhaoqing 526070, China)

**Abstract:** The investigation of plant nutrient contents in Dinghushan lower subtropical evergreen broad-leaved forest was carried out in August 1996. Sampling was made in Dinghushan Biosphere Reserve, Guangdong, from tree, shrub, liana and herb layers with 5-8 representative species each. It was shown that the nutrient contents in leaves of all plants were N 0.946%—2.535%, P 0.030%—0.127%, K 0.614%—1.833%, Ca 0.442%—1.995% and Mg 0.024%—0.188%. Average contents of nutrient elements in various organs and at different layers in the forest were varied. Average nutrient content of N was highest in leaves, and in descending order in barks, branches, root and stems; other elements: P in leaves > branches > roots > barks > stems; K in leaves > branches > barks > roots > stems; Ca in

收稿日期: 1999-09-06

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(39899370)资助。

barks > leaves > branches > roots > stems; Mg in leaves > stems > roots > barks > branches. The distribution of elements in most plants was as follows: N > Ca > K > Mg > P in leaves, branches and roots; K > Ca > N > Mg > P in stems; and Ca > N > K > Mg > P in barks. The factors, especially P and Mg, possibly limiting the plant productivity in the area studied are discussed.

**Key words:** Lower subtropical evergreen broadleaf forest; Dinghushan; Nutrient content; Distribution pattern

在森林生态系统养分循环研究中, 植物营养元素含量的分配特征是其中最重要内容之一。通过对它的研究, 有助于我们了解森林生态系统的结构、功能与动态。在全球变化方面, 当前森林营养元素分布的数据为我们将来比较森林的变化起到基准点的作用。这些数据的比较可以用来监测全球变化的效应。另外, 通过对森林植物营养元素分布情况的研究, 亦有助于我们了解本地区森林生产力的影响因素, 为森林资源的保护、利用和管理提供科学依据。

对于我国南亚热带常绿阔叶林植物营养元素含量分布情况的研究报道极少。最早的工作是林植芳等从生理生态学角度对鼎湖山三个植被类型(密林、疏林、开阔地)植物叶片矿质元素含量进行了研究<sup>[1]</sup>。后来笔者等也曾报道鼎湖山南亚热带常绿阔叶林, 40年林龄的黄果厚壳桂、鼎湖钓樟群落 N 元素含量的分布情况<sup>[2]</sup>。然而, 这些工作仍缺足够的系统性和代表性。锥栗(*Castanopsis chinensis*)、荷木(*Schima superba*)、黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)群落是南亚热带常绿阔叶林代表性类型。近期我们对此群落养分分配和循环特征进行了系统的研究, 并已报道了其养分生物循环的情况<sup>[3]</sup>, 本文继续报道其营养元素含量分配特征, 以便从养分含量特征角度进一步了解本地带代表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, 东经 112° 33', 北纬 23° 10'。具有季风性气候, 年平均降雨量为 1927 mm, 其中 75% 分布在 3 月到 8 月份, 而 12 月到次年 2 月仅占 6%。年平均相对湿度为 80%, 年平均温度为 21.4 °C, 最冷月(1月)和最热月(7月)的平均温度分别为 12.6 °C 和 28.0 °C<sup>[4]</sup>。

研究样地位于保护区核心区三宝峰东北坡上的南亚热带常绿阔叶林 1 号永久性样地内。海拔 250–350 m, 坡度 26–30°。植物群落为锥栗、荷木、黄果厚壳桂群落。该群落是南亚热带常绿阔叶林代表性森林类型, 保存较完好, 已有 400 多年的保护历史。群落种类丰富, 结构复杂, 垂直结构可分为六层, 即乔木三个亚层, 幼树灌木层、草本苗木层, 层间植物层。层间植物主要是木质藤本植物和少量的附生植物<sup>[5]</sup>。

研究样地的母岩为砂岩和页岩, 土壤为赤红壤, 土层较深(60–90 cm)。土壤化学营养特征见表 1。

### 1.2 样品采集

根据永久样地植被调查的结果在用样木收获法测定生物量的同时, 于 1996 年 8 月选取各层

中的主要植物种类进行采样。取样层次分为乔木三个亚层(I: 树高于 20 cm; II: 10-20 cm; III: 5-10 cm), 灌木层, 草本层, 藤本。每层采代表性植物 5-8 种(共 33 种, 表 2), 每种选择 3 株(实际采样株数为 102 株, 因为有几种植物是同种乔木处于不同亚层或下木层)。乔木层植物按根、干、皮、枝、叶取样, 分别组合成混合样品(共 115 个样品)。灌木、草本、藤本按叶、枝、干、根在收获法测定生物量后取各自的混合样品(共 60 个样品)。

表 1 不同层次中土壤 pH 值、有机质和营养元素含量\*

Table 1 pH value, contents of organic matter and nutrient elements in different soil depth\*

土层深度 Soil depth (cm)	pH	有机质 Organic matter (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
0-20	4.19	5.18	0.18 (173.84)	0.03 (2.22)	2.67 (64.08)	0.17 (37.86)	0.24 (15.62)
20-40	4.35	1.96	0.09 (90.23)	0.02 (0.34)	2.96 (40.77)	0.16 (34.67)	0.26 (8.57)
40-60	4.39	1.42	0.08 (69.44)	0.02 (0.03)	3.07 (37.79)	0.18 (34.92)	0.26 (8.05)

\*引自余清发等<sup>[3]</sup>; 括号内数据为速效养分 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )。

Data in parentheses are available nutrient content ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). (Cited from reference 3)

### 1.3 样品分析

所有样品在收集后, 立即在 60 °C 下恒温箱烘至恒重。然后磨碎过 0.15 mm 孔径的网筛和装瓶, 以供化学分析。然后, 每个样品在分析前分开两部分, 其中一部分在 105 °C 烘至恒重, 用来计算重量换算率(60/105 °C); 另一部分作营养元素含量分析。N 用凯氏法, P 用钼磷比色法, K、Ca、Mg 用原子吸收分光光度法。本研究的全部结果以 105 °C 恒重为基准。

## 2 结果和分析

### 2.1 营养元素含量在不同植物种中的分布特征

尽管它们在同一生境, 但不同植物种间营养元素含量的差异很大(表 2)。在所测的 33 种代表植物中, 叶片 N 元素的含量在 0.946% - 2.535% 之间, 其中以乔木 III 层的黄叶树叶片的含量最高(2.535%), 白颜树次之(2.461), 再其次为乔木 II 层的黄杞(2.445%) 和乔木 I 层的黄果厚壳桂(2.339%), 最低为灌木层的罗伞树(0.946%), 不及乔木 III 层黄叶树叶子 N 浓度的 1/2。其他不同元素含量变化亦很大, P 在 0.030% - 0.127% 之间, K 0.614% - 1.833%, Ca 0.442% - 1.995%, Mg 0.024% - 0.188%。这五种元素在植物叶片中最低和最高含量的比值分别为: 1:2.7 (N), 1:4.2 (P), 1:3.0 (K), 1:4.5 (Ca), 1:7.8 (Mg)。可见, 植物营养元素含量以 Mg 元素的种间差异最大, 其次是 Ca 元素, P 和 K 处于中间, 最小为 N 元素。以上现象充分反映了植物种对营养元素的选择吸收性。

### 2.2 营养元素含量在不同植物器官中的分布特征

植物不同器官间营养元素含量差异明显(表 2), 但绝大部分植物以叶片中的含量最高, 干中的含量最低。不同营养元素在各器官中平均浓度的排列顺序为: N 叶 > 皮 > 枝 > 根 > 干;







P 叶 > 枝 > 根 > 皮 > 干; K 叶 > 枝 > 皮 > 根 > 干; Ca 皮 > 叶 > 枝 > 根 > 干; Mg 叶 > 干 > 根 > 皮 > 枝。以上现象反映了植物不同器官具有不同的生理和生物学特性。同一器官中各营养元素含量比较, 绝大部分植物以 N 的含量最高, P 为最低。它们的平均浓度序列为: 叶、枝和根为  $N > Ca > K > Mg > P$ ; 干的  $K > Ca > N > Mg > P$ ; 皮的  $Ca > N > K > Mg > P$ 。

对植物叶片各营养元素浓度进行相关的分析表明, 无论是乔木层植物还是全部植物, 其叶片营养元素含量间相关性较差, 仅 P 与 Mg 及 Mg 和 K 之间存在显著的相关性(表 3)。

表 3 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林主要植物叶片营养元素含量相关分析

Table 3 Coefficient of leaf nutrient contents in lower subtropical evergreen broad-leaved forest in Dinghushan

	N	P	K	Ca
P	0.3869 (0.1889)			
K	0.0293 (0.1368)	0.2671 (0.4849)		
Ca	-0.0713 (-0.2435)	-0.1884 (-0.2371)	-0.0319 (-0.2277)	
Mg	0.159 (-0.0535)	0.4799**(0.4177*)	0.3384* (0.7519**)	-0.0601(0.1947)

\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; 括号内数据仅为乔木树种。Values in parentheses are for trees only.

### 2.3 植物叶片营养元素含量的层间比较

前面分析了植物各营养元素含量在植物种间以及不同器官间的分布特点。方差分析结果还表明, 营养元素含量随植物所处层次不同而异( $p < 0.05$ , 图 1)。叶片的 N 元素平均浓度在乔木三个亚层中随植物层次升高而下降, 其它层次则相反, 其分配格局为: 乔木 III > 乔木 II > 乔木 I > 灌木 > 藤本 > 草本; 其它营养元素平均浓度随层次分配的规律性则不甚明显, 但总的趋势为乔木层植物略低于其它层植物。同种植物比较(由于同种植物同时分布在不同层次的植物种类有限, 仅对黄果厚壳桂进行比较), 如黄果厚壳桂(图 2), N、P 和 K 三种元素浓度均随层次升高而上升(N、P: 乔木 I > 乔木 II > 乔木 III > 灌木; K: 乔木 I  $\approx$  乔木 II > 乔木 III > 灌木)。可见, 植物营养元素含量的层间差异是植物种类成分和植物对其所处层次生态条件的适应性共同作用的结果。

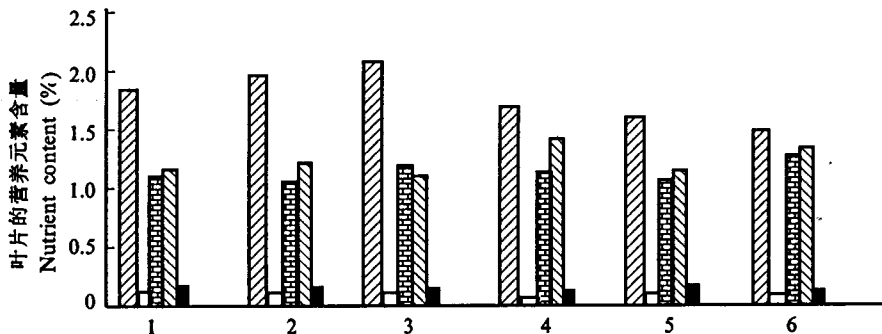


图 1 不同层次植物叶片营养元素量的比较

Fig. 1 Comparison of leaf nutrient content in plants at different layers

1: 乔木 I Tree I; 2: 乔木 II Tree II; 3: 乔木 III Tree III;

4: 灌木 Shrub; 5: 藤本 Liana; 6: 草本 Grass

▨ N; □ P; ▩ K; ▧ Ca; ■ Mg

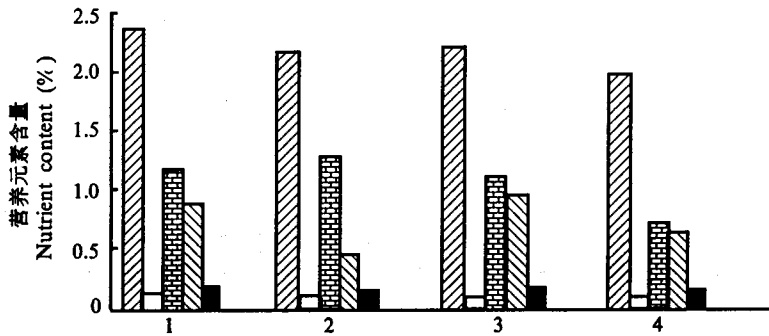


图2 不同层次黄果厚壳桂叶片营养元素含量的比较

Fig. 2 Comparison of nutrient content in leaves of *Cryptocarya concinna* at different layers

1: 乔木 I Tree I; 2: 乔木 II Tree II; 3: 乔木 III Tree III; 4: 灌木 Shrub

▨ N; □ P; ▩ K; ▨ Ca; ■ Mg

### 3 讨论

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,也是植物与环境之间相互作用的结果,因此它不仅能揭示植物种的特性,同时还能反映植物与环境之间的相互关系。前人研究结果认为,影响植物营养元素含量的内因是植物种的特性,外因是它们生长地的环境(如气候、土壤等)条件。此外,营养元素含量在同一植物中的分布还根据不同器官和不同营养元素而异<sup>[6-9]</sup>。本研究结果表明,森林植物营养元素含量总的来说在不同器官中的排列顺序与热带、亚热带和温带的相似,以叶片中的含量最高,干中的含量最低;以N的含量最高,P的含量最低。各元素含量在叶片中的排列序列与热带森林植物的完全一致,为:  $N > Ca > K > Mg > P$ <sup>[8]</sup>。可见,前人研究的一些结论在本文研究中得以进一步证实。

然而,由于鼎湖山南亚热带常绿阔叶林是本地带保存最完好的森林类型,地处热带与亚热带过渡区域,群落中植物组成结构复杂,既有热带成分也有亚热带成分,因而形成了其本身的森林生态特征。前人研究结果认为,热带与亚热带、温带植物叶片营养元素含量一样,在垂直结构上呈现由上而下递增的趋势,即草本植物含量 > 灌木层植物含量 > 乔木层植物含量<sup>[8]</sup>。本研究的结果似乎并不支持这一规律,甚至有些元素表现出截然相反的分配格局。如植物叶片N元素平均含量在乔木层显著高于草本和灌木层(图1);黄果厚壳桂叶片N、P和K三种元素浓度均呈现由上而下递减的趋势(图2)。林植芳等对与本研究同一地区的南亚热带三种植被类型研究时亦发现与本文完全一致的结果<sup>[1]</sup>。她们发现植物叶片大量元素含量为:乔木层(2.536%) > 灌木层(2.498%)。可见,南亚热带植物叶片营养元素含量由于受诸多因素影响,表现得十分复杂。

将陈灵芝等对我国各气候带代表植物叶片营养元素含量总结的结果<sup>[8]</sup>与本研究比较,鼎湖山植物叶片N和K含量略高于我国各气候带的平均水平,Ca元素含量与各气候带的平均值相似,其余两种元素(P和Mg)则显著低于各气候带的平均水平,它们仅分别占各气候带总平均水平的43%和33%。由于叶片是植物进行光合作用的最重要场所,它的营养元素含量特征最



具代表性并最能反映群落的生境条件,因此从叶片营养元素含量特征可以推断,在鼎湖山南亚热带常绿阔叶林中,P和Mg两种元素可能是植物生产力的限制因素。这一推论与 Vitousek 的结论<sup>[10]</sup>基本吻合。Vitousek (1984)通过分析各气候带植物营养利用效率的大量数据后,认为限制热带植物生长的关键营养元素为P而不是N元素。

据报道,植物对营养元素的吸收利用是按一定的比例关系进行的,因此植物叶片内大部分营养元素间存在显著的线性相关。某一元素供应过量或不足都有可能影响这种平衡关系<sup>[6,7]</sup>。P和Mg两种元素在本研究的森林土壤中供应力低的现象,也从植物叶片营养元素的相关分析结果中得以进一步证明。鼎湖山森林植物叶片营养元素含量之间的相关性很差,仅P与Mg及Mg和K之间存在显著的相关性。这说明供试森林可能存在某一元素供应过量或不足的现象,从而影响叶片营养元素含量间的平衡关系。从上述结果与我国各气候带代表植物叶片营养元素含量比较的结果可见,P和Mg供应不足的可能性较大。P和Mg作为细胞结构成分和代谢调节因子参与光合作用等重要的生理过程,其低含量可能成为影响南亚热带森林植物第一性生产力的重要因素。

本研究森林植物叶片N元素含量较高的原因可能与雨水中高N素输入有关。鼎湖山南亚热带常绿阔叶林在生物地球化学循环中通过雨水输入的N素极高(达 $35.6 \text{ kg hm}^{-2}\text{a}^{-1}$ ),位于我国南亚热带地区雨水N输入量( $8-35 \text{ kg hm}^{-2}\text{a}^{-1}$ )的上限<sup>[11]</sup>,是中国科学院鹤山定位研究站( $8.3 \text{ kg hm}^{-2}\text{a}^{-1}$ )的4倍<sup>[12]</sup>,且还略高于工业化程度高的广州市湿地松林( $34.8 \text{ kg hm}^{-2}\text{a}^{-1}$ )<sup>[13]</sup>。引起鼎湖山森林生态系统雨水中高N素输入的原因及其对森林可能产生的影响,值得进一步研究。

## 参考文献

- [1] 林植芳,李双顺,孙谷畴,等.鼎湖山南亚热带地区植物的叶片矿质元素[J].生态学报,1989,9(4):320-323.
- [2] 莫江明,丁明懋,张祝平,等.鼎湖山黄果厚壳桂、鼎湖钓樟群落氮素的积累和循环[J].植物生态学报,1994,18(2):140-146.
- [3] 余清发,温达志,张德强.鼎湖山南亚热带常绿阔叶林定位研究 VIII. 锥栗、黄果厚壳桂群落营养元素生物循环[A]. 热带亚热带森林生态系统研究[C],第8集.北京:气象出版社,1998,53-63.
- [4] 黄展帆,范征广.鼎湖山的气候[A].热带亚热带森林生态系统研究[C],第1集.广州:科学普及出版社,1982,11-23.
- [5] 孔国辉,叶万辉,黄忠良,等.鼎湖山南亚热带常绿阔叶林定位研究 I. 锥栗、黄果厚壳桂群落组成及对区域物种库的贡献[A].热带亚热带森林生态系统研究[C],第8集.北京:气象出版社,1998,1-6.
- [6] 莫大伦,吴建学.海南岛86种植物的化学成分特点及元素间的关系研究[J].植物生态学与地植物学学报,1988,12(1):51-62.
- [7] 卢俊培,吴仲民.尖峰岭热带林的植物化学特征[J].林业科学研究,1991,4(1):1-9.
- [8] 陈灵芝,黄建辉,严昌荣编著.北京中国森林生态系统养分循环[M].北京:气象出版社,1997,214.
- [9] 邱学忠,谢寿昌,刘文跃等编著.哀牢山森林生态系统研究[M].昆明:云南科技出版社,1998,75-83.
- [10] Vitousek P M. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests[J]. Ecology, 1984, 65(1):285-298.
- [11] 甘健民,薛敬意,赵恒康.云南哀牢山大气降雨过程中养分输入及输出变化的初步研究[J].自然资源学报,1995,10(1):43-50.
- [12] 姚文华,余作岳.广东鹤山丘陵地人工林内降雨养分含量[J].生态学报,1995,15(增刊A辑):124-131.
- [13] 唐常源,王翌.湿地松人工林中降雨对养分的淋溶影响[J].植物生态学与地植物学学报,1992,16(4):379-383.