

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^①

余清发 温达志 张德强

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要 本文报道了鼎湖山南亚热带常绿阔叶林代表类型—锥栗(*Castanopsis chinensis*)+黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)群落内主要营养元素的贮存、积累、分配和循环。0~60cm 土层中元素的贮量为 N 7738.8、P 1445.4、K 199571.4、Ca 11641.9、Mg 17333.5 kg·hm⁻²。元素贮量在土层中的分布为,全量 K、Ca、Mg 随土层的加深而增加,全量 N、P 及速效养分则随土层的加深而减少。植被中元素贮量为 N 1546.1、P 79.9、K 1227.1、Ca 2648.8、Mg 129.0 kg·hm⁻²。植被中元素贮量以乔木层占绝对优势,为植被总贮量的 95%左右,且干>枝>根>皮>叶。植被中元素年存留量为 N 38.5、P 2.0、K 30.6、Ca 66.0、Mg 3.2 kg·hm⁻²·a⁻¹,凋落物和死亡细根之和为 N 144.9、P 7.0、K 51.7、Ca 34.4、Mg 14.0 kg·hm⁻²·a⁻¹,每年通过凋落物和死根的分解归还到土壤中的营养元素为 N 139.0、P 7.4、K 65.3、Ca 19.6、Mg 12.0 kg·hm⁻²·a⁻¹,植被年吸收量为 N 188.4、P 9.0、K 82.3、Ca 100.6、Mg 17.2 kg·hm⁻²·a⁻¹。

关键词 鼎湖山生物圈保护区, 南亚热带常绿阔叶林, 营养元素, 生物循环。

鼎湖山自然保护区建立于 1956 年,1978 年设立森林生态系统定位研究站,先后许多学者对鼎湖山森林生态系统进行了多方面的研究。营养元素是植物赖以生存、维持正常生理功能的物质基础。森林生态系统的生物量、生产力无不受土壤养分供应能力、植物对养分的吸收利用能力的影响。有关鼎湖山森林养分循环方面的部分研究始于 80 年代,起初的研究工作比较孤立、零碎,如屠梦照等^[1,2]、翁轰等^[3]对南亚热带季风常绿阔叶林的凋落物量及分解规律进行了长达 10 年的研究,林植芳等^[5]对 64 种植物叶片中 19 种矿质元素含量进行了分析,并探讨植物叶片元素含量与植物种类、生活型之间的相关关系。邓邦权等^[6,7]、付声雷等^[8]对土壤微生物营养元素贮量、归还量进行了研究;近几年来,养分循环方面的研究有了较大的进展,Ding 等^[9~13]对鼎湖山南亚热带常绿阔叶林,40 年林龄的黄果厚壳桂生态系统 N 素的循环作了较为系统和全面的研究。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类型,基于森林群落结构和功能的长期监测,本文在分析群结构、借助生物量资料的基础上,较为系统的研究了主要营养元素在群落内的贮存、积累、分配和循环。

1 研究地概况

鼎湖山自然保护区位于广东省中部的肇庆市,东经 112°30' 39"~112°33' 41",北纬 23°09'

^① 本项研究获中国科学院生态系统研究网络、国家自然科学基金(9390011)、国家科委重大项目“中国生物多样性保护生态学研究(PD-85-31)”项目的资助。参加野外工作的有:孔国辉、黄忠良、黄玉佳、张佑昌、魏平、张倩媚、王俊浩、韦彩妙。

21°~23°11' 30",属南亚热带季风气候,年平均气温 21℃,年降雨量 1929mm,干湿季节明显,4~9月为雨季,10月至翌年3月为旱季,年相对湿度为 81.4%。土壤为发育于砂岩、页岩母质的赤红壤,土层厚约 60~90cm。样地位于保护区核心区三宝峰的东北坡,海拔 250~350m。坡度 26°~30°。群落保存完好,组成种类绝大部分为常绿树种,垂直结构大致可分为五层,即乔木三个亚层,幼树灌木层和草本苗木层。此外,还有多种藤本植物和附生植物。主要建群种是锥栗、荷木、黄果厚壳桂。

2 研究材料和方法

2.1 植物样品的采集

取样层次为乔木三个亚层($H > 20\text{m}$, $10 \leq H < 20\text{m}$, $5 \leq H < 10\text{m}$),幼树、灌木层,小苗、草本层,藤本。在永久样地的外围,每层采 7~8 种,每种选择 2~3 株,按根、干、皮、枝、叶取样,分别组成混合样品。幼树、灌木,幼苗、草本、藤本按叶、枝、干、根在收割测定生物量后取各自的混合样品。所有样品在 60℃ 烘干,磨碎,供化学分析。

2.2 土壤样品采集

1、4、7、10 月在永久样地外围分别挖 10 个土壤剖面,按 0~20、20~40、40~60cm 分层采集样品,并测容重。每季节测土壤的 pH 及 N、P、K、Ca、Mg 速效养分含量,10 月份测 N、P、K、Ca、Mg 全量和有机质。

2.3 林地枯枝落叶、凋落物的采集

用铁皮制成的 0.1m² 四方形采样框,在林地随机选 10 个点,1、4、7 和 10 月分别采集。根据腐解程度将枯枝落叶分为未分解(L)、半分解(F)和完全分解(Y)三个结构层次,各层取混合样品 60℃ 烘干至恒重。年凋落物量、元素含量和贮量引用翁轰等的测定结果^[3]。

2.4 元素测定方法

植物^[14]: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。

土壤^[14]:pH 用水提,有机质用重铬酸钾外加热法,全 N 用半微量凯氏法,水解 N 用碱解蒸馏法,全 P、速效 P 用钼锑抗比色法,速效和全量 K、Ca、Mg 用原子吸收分光光度法。

2.5 计算

土壤库营养元素贮量:元素含量和土壤容重为 10 个样本的平均值;速效养分的含量为 4 个取样季节的均值。不同土层营养元素的存贮量为相应土层的元素含量、容重和土层深度的乘积,各层中元素贮量相加得到土壤(0~60 cm)中元素库存总量。

植被中营养元素贮量:乔木分层、分主要树种和器官取样,测定不同组分的元素含量,再根据相应层相对应的树种器官的生物量计算得到元素在这些树种中的贮量;其它次要种的元素含量未测定,以该层所有被测树种的均值近似代替,来计算它们的元素贮量。灌木层、草本层及藤本植物分器官直接取样测定元素含量,与相应器官的生物量相乘得到元素贮量。通过以上各项的计算可得到不同元素在乔木层、灌木层、草本层和藤本植物中的存贮量,各层相加得到不同元素在整个群落中的贮量。

3 结果和分析

3.1 土壤营养元素含量、贮量和分布格局

3.1.1 土壤营养元素含量和分布格局 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林主要生长在发育于砂

页岩母质的赤红壤,土层厚度在 60~90cm,各土层中全量营养元素含量见表 1。表层土有机质含量 5.18%,且随土层的加深明显下降。不同土层 pH 的变化较小,表层土为 4.19,略高于深层土。此外,元素含量也因土层的不同而有差异,全量 K、Ca、Mg 元素的含量随土层的加深而增加,全量 N、P 含量则随土层的加深而减少,且以 N 元素最明显。和元素全量相比,速效养分含量因土壤层次的不同差异更大(表 2),均随土层的加深而下降。营养元素在土层中的两种分布格局,是地带性土壤成土特点的基础上和受现代成土作用所形成的。在南亚热带高温高湿的环境条件下,风化作用强烈,矿物强烈分解,来自矿物风化的 K、Ca、Mg 相对累积在下层。全量 N、P 及土壤中的速效养分在生物循环成土作用过程中,因生物富集而归还到土壤表层。

3.1.2 土壤营养元素的贮量与分布格局 由于元素本身的生物化学特性不同,功能不同,被植物吸收利用的效率也不同,它们在土壤中的贮量差异也很大,K 的贮量明显高于其它元素(表 3)。元素贮量还因土层的不同而有差异,N、P 以表层土较高,深层土较低,K、Ca、Mg 则相反。

表 1 不同层次中土壤 pH 值,有机 C 和全量营养元素含量(%)

Table 1 pH value, contents of organic matter and major nutrients in different soil depth(%)

土层深度 (cm)	pH	有机质	元 素				
			N	P	K	Ca	Mg
0~20	4.19	5.18	0.18	0.03	2.67	0.17	0.24
20~40	4.35	1.96	0.09	0.02	2.96	0.16	0.26
40~60	4.39	1.42	0.08	0.02	3.07	0.18	0.26
平均	4.31	2.85	0.12	0.02	2.90	0.17	0.25

表 2 不同层次中土壤速效养分含量(mg/kg)

Table 2 Contents of available nutrients in differnt soil depth (mg/kg)

土层深度 (cm)	元 素				
	N	P	K	Ca	Mg
0~20	173.841	2.22	64.08	37.86	15.62
20~40	90.23	0.34	40.77	34.67	8.57
40~60	69.44	0.03	37.79	34.92	8.05
平均	111.17	0.86	47.55	35.82	10.75

速效养分总量的排列顺序为 $N > K > P > Ca > Mg$, 20cm 以下的土层中, N、P、K 的量明显减少, Ca、Mg 在三个土层中的分配则相对均匀。这种差异的形成与元素本身的特性以及在土壤中存在状态密切相关, 如 $NO_3^- - N$ 和 $H_4^+ - N$, 有容易被淋溶的特性, Ca、Mg 常常容易以难溶的化合物如硫酸盐、磷酸盐等形式被固定, $(PO_4)^{2-}$ 存在的 P 既容易被淋溶也可能被固定成难溶解的磷酸盐。此外, 土壤中元素贮量还受许多复杂的物理、化学和生物学过程的影响, 如土壤中离子的吸附与释放, 土壤与植物、分解动物微生物间的交换等。

从表 3、表 4 中可计算各元素的有效百分数, 为 N 9.4%、P 0.36%、K 0.16%、Ca 2.1% 和 Mg 0.41%。可见 N 的有效百分数最高。地表层中土壤动物、微生物最为活跃, 同时伴随凋落物的分解和元素的释放, 而以植物叶为主的凋落物有较高的含 N 量。

表 3 各层土壤中全量元素的贮量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)Table 3 Storage of major elements in different soil depths ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

土层深度 (cm)	元素全量				
	N	P	K	Ca	Mg
0~20	3595.4	566.7	52210.9	3400.0	4611.42
0~40	2140.2	428.0	70412.6	3709.7	6111.5
40~60	2003.2	450.7	76947.9	4532.2	6610.6
合计	7738.8	1445.4	199571.4	11641.9	17333.5

表 4 各层土壤营养元素贮量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)Table 4 Storage of available nutrients in different soil depths ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

土层深度 (cm)	速效养分				
	N	P	K	Ca	Mg
0~20	339.7	4.3	125.2	74.0	30.5
20~40	214.7	0.8	97.0	82.5	20.4
40~60	173.6	0.1	94.5	87.3	20.1
合计	728.0	5.2	316.7	243.8	71.0

3.2 植被中营养元素含量、贮量与存留量

3.2.1 植被中元素含量 表 5 中营养元素含量是经加权处理后的数值。可见,植物中营养元素含量因元素种类和器官的不同而异,就 N 而言,叶>皮>枝>根>干,P 和 K 则叶>枝>皮>根>干,Ca 为皮>叶>枝>根>干,Mg 则叶>根>枝>皮>干。以上结果表明,植物并不是等量地吸收利用不同的营养元素,元素在不同植物器官中的积累存留也有很大的差异。Ca 在皮中的含量最高,叶是有机物质合成的场所,是代谢活动最活跃的器官,积累的营养元素含量最高,树干以木质为主,其生理功能最弱,元素含量最低。

表 5 植物不同器官中的营养元素含量 (%)

Table 5 Contents of nutrient elements in different plant components (%)

器 官	元 素				
	N	P	K	Ca	Mg
叶	1.819	0.075	1.121	1.178	0.128
枝	0.652	0.042	0.556	1.084	0.052
干	0.284	0.017	0.292	0.540	0.021
皮	0.781	0.025	0.418	1.720	0.048
根	0.617	0.024	0.408	1.048	0.072

3.2.2 不同生活型植物的营养元素含量 不同生活型植物中元素含量的排列顺序大致为草本>灌木>藤本>乔木(表 6)。乔木的三个亚层也存在差异,林冠下层(5~10m)木本植物中元素含量高于中层(10~20m),最上层(>20m)的最低。不同生活型、同一生活型不同层次中植物营养元素含量的差异,表现出不同性状,不同层次的植物对生境的适应性和对营养元素的利用不同。

3.2.3 营养元素在植被中的贮量 养分状况直接或间接影响植物的生长,随着森林群落的发育,营养物质伴随着生物量的积累而被留于植物各器官中,存贮在系统内。表 7 为植物各器

官营养元素的贮量。营养元素在不同器官中的积累与生物量密切相关,排列顺序为干>枝>根>皮>叶。对于高大的森林群落,干枝根拥有庞大的生物量,尽管这些器官中元素含量很低,但仍然具有较大的贮量。营养元素在植物各器官中的积累和分布与群落的发展过程相关,成熟的群落,枝条大于叶^[10]。本群落枝条营养元素的贮量是叶片贮量的6倍,这与本群落有较长的历史相符。

表 6 不同生活型植物的营养元素含量 (%)

Table 6 Contents of nutrient elements in different life forms of plants (%)

生活型	元 素					
	N	P	K	Ca	Mg	
>20m	0.455	0.029	0.366	1.069	0.040	
乔木	10~20m	0.575	0.022	0.455	0.674	0.042
	5~10m	0.702	0.030	0.495	0.607	0.056
藤本	1.218	0.049	0.905	0.854	0.106	
灌木	0.718	0.035	0.659	0.740	0.082	
草本	0.991	0.039	1.133	0.752	0.112	

表 7 植物器官营养元素贮量 (kg · hm⁻²)

Table 7 Storage of nutrient elements in different plant components (kg · hm⁻²)

生活型	生物量 (t · hm ⁻²)	元素贮量				
		N	P	K	Ca	Mg
叶	6.79	123.50	5.10	76.20	80.00	8.70
		(8.0)	(6.4)	(6.2)	(3.0)	(6.7)
枝	80.99	528.30	33.60	450.50	878.30	42.20
		(34.2)	(42.1)	(36.7)	(33.2)	(32.7)
干	128.96	366.70	21.60	376.00	695.90	27.30
		(23.7)	(27.1)	(30.7)	(26.3)	(21.2)
皮	25.03	195.50	6.30	104.70	430.40	12.00
		(12.6)	(7.9)	(8.5)	(16.2)	(9.3)
根	53.87	332.20	13.20	219.80	564.30	38.80
		(21.5)	(16.5)	(17.9)	(21.3)	(30.1)
合计	295.64	1546.20	79.80	1227.20	2648.90	129.00

括号内的数值为占总量的%。

群落内不同生活型植物营养元素贮量见表8,不同生活型植物营养元素贮量排列顺序为乔木>灌木>草本>藤本,乔木的三个亚层则是>20m的最高,其次为10~20m,5~10m一层最小。乔木层营养元素的贮量占植被总贮量95%左右,充分表明乔木层在森林生态系统营养元素循环中的重要地位。在高温多雨地区,分解迅速,淋溶强烈,速效养分难于保存在土壤中,营养元素存留在植被中,特别是存贮于乔木层中,是热带和亚热带森林生态系统保持养分的重要机制。

表 8 不同生活型植物营养元素贮量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)Table 8 Nutrient storage in different plant life forms ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

生活型	生物量 ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	元素贮量					
		N	P	K	Ca	Mg	
乔木	$H > 20\text{m}$	168.50	766.9	49.0	616.9	1801.8	68.0
层	10~20m	92.80	534.0	20.0	422.0	625.4	39.1
	5~10m	24.77	173.8	7.4	122.7	150.4	13.8
小计		286.07	1474.7	76.4	1161.6	2577.6	120.9
		(96.8)	(95.4)	(95.7)	(94.6)	(97.3)	(93.7)
藤本		0.35	4.3	0.2	3.2	3.0	0.4
		(0.1)	(0.3)	(0.3)	(0.3)	(0.1)	(0.3)
灌木		8.90	63.9	3.1	58.7	65.8	7.3
		(3.0)	(4.1)	(3.9)	(4.8)	(2.5)	(5.6)
草本		0.33	3.3	0.1	3.7	2.5	0.4
		(0.1)	(0.2)	(0.1)	(0.3)	(0.1)	(0.3)
合计		295.64	1546.2	79.8	1227.2	2648.9	129.0

括号内的数值为占总量的%。

表 9 为优势树种的营养元素贮量。从表中可以看出,5 个建群树种贮量占群落植物总贮量的一半以上,为 N 59.4%、P 81.2%、K 63.1%、Ca 72.7%和 Mg 55.0%,其中又以锥栗、黄果厚壳桂、荷木 3 个种为优势。可见,南亚热带常绿阔叶林虽具有较高的物种多样性,复杂的群落结构,然而在养分循环方面优势树种的主导作用仍然非常明显。

表 9 建群树种营养元素贮量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)Table 9 Nutrient storage in dominant species ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

树种	元素贮量				
	N	P	K	Ca	Mg
黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	180.1(11.6)	14.2(17.8)	171.3(14.0)	176.0(6.6)	8.7(6.8)
锥栗 <i>Castanopsis chinensis</i>	483.5(31.3)	32.4(40.5)	418.7(34.1)	1392.4(52.6)	36.3(28.1)
荷木 <i>Schima superba</i>	94.8(6.1)	9.9(12.4)	85.3(7.0)	256.1(9.7)	17.2(13.3)
肖蒲桃 <i>Acmena acuminatissima</i>	79.9(5.2)	5.8(7.2)	55.1(4.5)	52.0(2.0)	6.2(4.8)
厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	81.1(5.2)	2.7(3.3)	42.8(3.5)	46.4(1.8)	2.5(2.0)
合计	919.4(59.4)	65.0(81.2)	773.2(63.1)	1922.9(72.7)	70.9(55.0)

括号内的数值为占植物群落元素总贮量的百分数。

3.2.4 营养元素的年存留量 营养元素年存留量是年净生产量与植物营养元素浓度的乘积。鼎湖山年净生产量为 $7395.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,营养元素存留量见表 10。营养元素存留量的排列顺序为 $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$,元素在植物器官中存留量的排列顺序为枝 > 干 > 根 > 皮 > 叶,营养元素年存留量为 $140.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,年存留率为 2.5%。对于一个成熟森林,林木的吸收量和存留量保持相对稳定,老林的存留量则比较低(2%~15%)^[15]。

3.3 凋落物

凋落物在森林生态系统的物质、能量转化中占有十分重要的地位,它是林地土壤有机质的主要来源,是植物与土壤间养分循环的联接环节。凋落物的质与量直接影响林地的土壤理化性质及其成土进程,从而影响森林地力和森林植被的生长发育。

表 10 植物器官营养元素年存留量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

Table 10 Nutrient retention in plants($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

组 成	元 素				
	N	P	K	Ca	Mg
叶	2.87(7.5)	0.12(6.0)	1.77(15.8)	1.86(2.8)	0.20(6.2)
枝	13.14(34.1)	0.85(42.3)	11.2(36.6)	21.84(33.0)	1.05(32.7)
干	9.19(23.9)	0.55(27.4)	9.44(30.9)	17.47(26.4)	0.68(21.2)
皮	4.9(12.7)	0.16(7.9)	2.63(8.6)	10.8(16.3)	0.30(9.4)
根	8.38(21.8)	0.33(16.4)	5.54(18.1)	14.2(21.5)	0.98(30.5)
合 计	38.5	2.0	30.6	66.2	3.2

括号内的数值为占总量的%。

3.3.1 林地枯枝落叶 表 11 为 1993 年不同月份地表枯枝落叶层现存量的测定值,介于 7624.5 和 8864.6 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均 8373.1 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,季节变化不大。就各层次量而言,地表未分解(L)层的量相对高于其它层,半分解(F)层和全分解层(Y)基本无差异。Robin 和 Basilevich(1967)采用林地凋落物现存量与年凋落量之比来表征生物循环强度^[16]。本文按这一方法计算得到的比值 <1 ,表明鼎湖山季风常绿阔叶林群落林地凋落物周转较快。鼎湖山地处南亚热带,气温高湿度大,为枯枝落叶的分解创造了十分有利的环境条件。

3.3.2 凋落物的分解与周转 林地枯枝落叶始终处于积累和分解的动态过程中,随凋落而增加,随分解而减少。凋落物的分解率等于年凋落量除以年凋落量与地表枯枝落叶量之和,其倒数即为周转期^[17]。这样计算得到凋落物分解率为 52.0%,周转期为 1.9 年。凋落物分解率稍高于屠梦照^[1]用网袋法的测定结果(49%),低于蚁伟民^[11]网袋法分解试验落叶的失重率(64.9%)和自然分解法的失重率(71.3%)。周转期则比蚁伟民^[11]按网袋分解法得到林地凋落物 99%被分解所需的时间(4.33 年)短。

表 11 地表枯枝落叶现存量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 11 Standing crop of the forest floor litter($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

层 次	采 集 月 份				均值	变异系数 C.V.(%)
	1	4	7	10		
① 未分解(L)层	3297.4	3163.5	3670.5	3820.4	3488.0	7.7
② 半分解(F)层	2519.1	2475.3	2231.2	2483.0	2427.2	4.7
③ 全分解(Y)层	2447.2	3225.8	1722.8	2436.2	2458.0	21.6
合 计	8236.7	8864.6	7642.5	8739.6	8373.2	5.8

3.3.3 凋落物、地表枯枝落叶营养元素含量、贮量和归还量 凋落物的化学组成影响着其分解进程,从而影响营养元素归还。鼎湖山南亚热带常绿阔叶林的凋落物营养元素含量见表 12。可见,年凋落物和地表枯枝落叶都有较高 N 含量,其次是 K、Ca、Mg, P 的含量则相对

低得多。就层次而言, N、Ca、Mg 含量以未分解层 (L) 高于半分解层 (F), 全分解层 (Y) 最低; K 含量的正好相反; P 含量在各层中的差异不明显。当年凋落物 N、P、Ca、Mg 含量均高于林地枯枝落叶的任何一层, 暗示地表枯枝落叶中已经有部分营养元素经雨水淋溶和生物分解转移到土壤。

表 12 凋落物和地表枯枝落叶层营养元素含量(%)

Table 12 Nutrient content of litter fall and forest floor litter(%)

	N	P	K	Ca	Mg
年凋落物					
	1.410	0.065	0.470	0.340	0.140
地表枯枝落叶					
① 未分解(L)层	1.191	0.047	0.253	0.249	0.123
② 半分解(F)层	1.164	0.051	0.570	0.209	0.119
③ 全分解(Y)层	1.136	0.052	1.031	0.110	0.114

注释见表 11。

凋落物中元素贮量见表 13。年凋落物和地表枯枝落叶中元素总贮量为 N 225.4、P 10.1、K 90.6、Ca 47.3、Mg 22.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中年凋落物占 N 56.7%、P 58.4%、K 47.0%、Ca 65.1%、Mg 55.9%。据李志安 1995 凋落物养分动态研究, 年凋落物营养元素贮量的动态变化与凋落物量的变化类似, 4 月和 8 月最高, 12 月份则最低^[4]。地表枯枝落叶中 N、P、Ca、Mg 的贮量分别比年凋落物中的贮量少 23.4%、28.8%、46.4%、21.3%, K 的贮量则多 11.3%。

地表凋落物经雨水淋溶和生物分解, 营养元素不断释放归还到土壤。估算凋落物营养元素归还到土壤的量是根据凋落物营养元素总的贮量乘以年分解率(表 13)估算结果。凋落物中元素归还量为 N 117.4、P 5.3、K 47.1、Ca 24.6、Mg 11.8 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 分别占年凋落物中元素贮量的 N 92%、P 90%、K 111%、Ca 80%、Mg 93%, 占土壤表层(0~20cm)速效养分的 N 35%、P 123%、K 38%、Ca 33%、Mg 39%。可见, N 和 P 的归还率最高。P 在酸性红壤地区被 Fe、Al 等离子强烈固定, 而凋落物分解不断释放 P 到土壤, 正好能补偿或部分补偿土壤中有效 P 的不足。

表 13 凋落物营养元素贮量和年归还量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 13 Storage and annual return of nutrients of litters($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

项 目	N	P	K	Ca	Mg
年凋落物	227.7	5.9	92.6	30.8	22.7
地表枯枝落叶	97.7	4.2	48.0	16.5	10.0
年归还量	117.4	5.3	47.1	24.6	11.8

3.4 死细根量、营养元素贮量和归还量

3.4.1 死细根量和分解率 据温达志 1992~1993 年四个季度用“连续钻取土芯法”和“网袋法”试验研究的结果, 0~40 cm 土层中 $\leq 5\text{mm}$ 细根的现存量为 11.40 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中死根 3.07 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占现存量的 26.9%; 细根的年死亡量为 2.22 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。死细根分解速率因根级和分解袋网眼大小的不同而异。通常根级小, 网眼大的分解快, 年均分解率为 43.15%, 低于同

类树种枯叶的分解速率。

3.4.2 死细根营养元素贮量和归还量 死细根的营养元素含量、贮量和归还量见表 14。元素贮量为 N 52.9、P 26、K 21.7、Ca 9.0、Mg 3.2 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，其中年死亡细根中营养元素贮量为 N 22.2、P 1.1、K 9.1、Ca 3.8、Mg 1.3 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。由于各营养元素本身的特性和在根中存在的状态不同，因此不同元素的归还量也有所不同。表 14 中还可看出，P、K 的归还率最高，约 80%，其次是 N，约 40%，Ca 则被富集在残留物中。

表 14 死细根的营养元素含量(%)、库存量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和归还量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

Table 14 Nutrient content(%), standing stock($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) and return($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) of the dead fine roots

项 目	N	P	K	Ca	Mg
含 量	1.00	0.05	0.41	0.17	0.06
库存量	52.9	2.6	21.7	9.0	3.2
归还量	21.6	2.1	18.2	-5.0	0.2

4 营养元素的生物循环

4.1 生态系统内营养元素贮量的分配

在森林群落中，营养元素存贮在土壤、植被、凋落物和死根中，贮量大小为土壤 > 植物 > 凋落物和死根(表 15)。系统内的营养元素绝大部分存贮在土壤库中，占 98%，植被约 2%，凋落物和死根的贮量为 0.1% 左右。

4.2 营养元素的生物循环

营养元素的生物循环是指由植物—土壤—植物的循环过程。在大多数森林中，植物把吸收的养分用于自身代谢，随着产物的积累将养分部分地存留下来，另一部分又在枝叶凋落、根系更新时归还到土壤。土壤表面的分解层往往拥有大量的根系、土壤动物和微生物，它们直接从土壤溶液中或直接从有机物质的分解中吸取营养，保存养分，同时又通过死亡有机体的分解释放养分供植物吸收利用。而且，这些生物带酸性物质，当它们直接与土壤矿物质接触时能加速母质中的养分进入系统。生物吸收利用系数是营养元素由土壤进入植物的流动系数，它是反映植物和环境生物循环的重要指标，可用总生物吸收利用系数或年生物吸收利用系数来表征，它是植被营养元素贮量或年存留量与土壤、年凋落物、年死根贮量之和的比值。通常，吸收利用系数越小，植物对土壤中元素的需求越小，该元素的利用效率就越高。从表 15 可以看出，总生物吸收利用系数和年生物吸收利用系数的顺序排列均为 $\text{Ca} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{K}$ ，而土壤库中营养元素贮量的排列顺序为 $\text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{N} > \text{P}$ ，归还营养元素量的排列顺序为 $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P}$ ，表明植物对营养元素的吸收利用既有选择性又有相对独立性，而且对土壤库中 Ca 需求比较高。

表 15 可知，不同元素的年吸收利用系数介于 0.1%~0.7%，这表明每年从土壤中进入植物的营养相对土壤库中营养元素贮量而言是很小的。年存留率为 2.5%，而且植物每年从土壤中吸收的营养元素部分又通过凋落物形式归还林地。

循环系数(或周转期:年):植被中营养元素贮量与年凋落物和年死根元素贮量之比，数值越大表明元素的周转期则越长，归还就越慢，利用效率就越高。从表中可看出，Ca、K 周转期较

长,归还较慢;Mg、N、P的周转相对较快,归还期短,利用效率较低。

表 15 植物群落内营养元素贮量分配及流动系数

Table 15 Nutrient distribution and flow coefficient of the ecosystem

项 目	N	P	K	Ca	Mg
① 土壤养分贮量(kg·hm ⁻²)	7738.8	1445.4	199571.4	11641.9	17333.5
② 植被贮量(kg·hm ⁻²)	1546.1	79.9	1227.1	2648.8	129.0
③ 年存留量(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	38.5	2.0	30.6	66.2	3.2
④ 年凋落物与年死根贮量(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	144.9	7.0	51.7	34.4	14.0
⑤ 凋落物与死根归还量(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	139.9	7.4	63.5	19.6	12.0
⑥ 植被吸收量(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	188.4	9.0	82.3	100.6	17.2
⑦ 总生物吸收利用系(%)	19.6	5.5	0.62	2.7	0.7
⑧ 年生物吸收利用系数(%)	0.5	0.1	0.1	0.7	0.1
⑨ 循环系数(周转期:年)	10.7	11.4	23.7	77.0	9.2

参 考 文 献

- 屠梦照等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物. 热带亚热带森林生态系统研究, 1984, 2: 18~20
- 屠梦照等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物的特征. 土壤学报, 1993, 30(1): 34~41
- 翁轰等. 鼎湖山森林凋落物量及营养元素全量研究. 植物生态学与地植物学报, 1993, 17(4): 299~304
- 林植芳等. 鼎湖山南亚热带地区植物的叶片矿质元素. 生态学报, 1989, 9(4): 320~32
- 邓邦权, 吕禄成. 鼎湖山自然保护区不同林被微生物的消长更新周期与生物营养的归还量. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, 7: 107~112
- 邓邦权, 吕禄成. 鼎湖山自然保护区不同林被土壤微生物的生物量与生物营养物质的库存量. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, 7: 113~118
- 傅声雷等. 鼎湖山不同植被类型下土壤微生物养分的矿化. 植物生态学报, 1995, 19(3): 217~224
- Ding Mingmao, Zhang Zhuping, Yi Weimin, et al. Nitrogen cycling and its relationship to the ecosystem stability and development of the evergreen broad leaf forest in southern subtropical zone. Proceedings of the International Conference on Natural Resources Management and Conservation in China Tropical and Subtropical Regions, ed. by Xiaofang et al., China Science and Technology Press, Beijing, China, 1993, 1~8
- 莫江明等. 鼎湖山黄果厚壳桂、鼎湖钓樟群落氮素的积累和循环. 植物生态学报, 1994, 140~146
- 蚁伟民等. 鼎湖山黄果厚壳桂群落的凋落物及其氮素动态. 植物生态学报, 1994, 18(3): 228~235
- 廖兰玉等. 鼎湖山森林植物群落根系生物量及其氮素动态. 植物生态学与地植物学报, 1993, 7(1): 56~60
- 黄忠良等. 鼎湖山季风常绿阔叶林的水文过程及其氮素动态. 植物生态学报, 1994, 18(2): 194~199
- 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 科学出版社, 1984
- 聂道平. 森林生态系统营养元素的生物循环. 林业科学研究, 1991, 4(4): 435~439
- Robin LE and Basilevich NL. Production and mineral cycling in terrestria vegetation. Transl. Scripta Technica. 1967. Oliver and Boyd, London
- 冯宗炜等. 亚热带杉木纯林生态系统中营养元素的积累、分配和循环的研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(4): 252

Long-term Monitoring of the Lower Subtropical Evergreen Broad-leaved Forest in Dinghushan Biosphere Reserve (VIII) Biological Cycle of Nutrient Elements in the Community of *Castanopsis chinensis*, *Cryptocarya concinna*

Yu Qingfa Wen Dazhi Zhang Deqiang

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650)

ABSTRACT The standing state, distribution and dynamics of five elements in plants and soil context were studied in the lower subtropical evergreen broad-leaved forest in Dinghushan Biosphere Reserve, with dominant species of *Castanopsis chinensis* and *Cryptocarya concinna*. The total amount of nutrients in the 0~60cm soil depth was N 7738.8, P1445.4, K 199571.4, Ca 11641.9 and 17333.5 (Mg) $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. The storage of nutrients increased with soil depth, for the total-K, -Ca and -Mg, while decreased for the total-N, -P and their available content. Nutrients stocked in vegetation were 1546.1(N), 79.9(P), 1227.1(K), 2648.8 (Ca) and 129.0(Mg) $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. Of the total nutrients in vegetation, about 95% was in the tree layer. Among tree components, the storage was in the order as: bole>branch>root>bark>leaf. The annual retention in plants was 38.5(N), 2.0(P), 30.6(K), 66.2(Ca) and 3.2(Mg) $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, the input of nutrients in litter fall and fine root ($\leq 5\text{cm}$) mortality was 144.9(N), 7.0(P), 51.7(K), 34.4(Ca), 14.0(Mg), the annual return through litter and fine-root decomposition was 139.0(N), 7.4(P), 65.3(K), 19.6(Ca), 12.0 (Mg) $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, the annual uptake by plants was 188.4(N), 9.0(P), 82.3(K), 100.6(Ca) and 17.2 (Mg) $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$.

Key words Dinghushan Biosphere Reserve, Lower subtropical evergreen broad-leaved forest, Nutrient elements, Biological cycling.