

福建和溪亚热带雨林凋落物营养元素动态

郑文教 邵成 王良睦 林鹏

(厦门大学环境科学研究中心、生物系, 厦门 361005)

摘要 探讨了福建和溪亚热带雨林主要营养元素通过凋落物的归还动态。结果表明, 该森林一年中凋落物不同组分各元素的含量具有波动性, 加权平均含量为 $N > K > Ca > Mg > P$ (落果 $Ca = Mg$, 落枝 $Ca > K$)。通过凋落物归还 N、P、K、Ca、Mg 元素的年库流量, 分别为 87.41、3.82、40.80、28.81 和 15.32 $kg\ hm^{-2}$, 灰分量为 284.57 $kg\ hm^{-2}$, 其中以落叶形式居最大, 分别各占总量的 73.4%、68.1%、77.2%、72.9%、74.5% 和 79.9%; 各元素的年库流量与年凋落物量的月分布相一致, 有明显的季节性。森林地表残留物 N、P、K、Ca、Mg 元素的累积储量, 分别为 54.83、2.45、9.69、17.0 和 9.25 $kg\ hm^{-2}$ 。五种元素在林下地表的滞留时间, 分别为 N 0.61、P 0.61、K 0.23、Ca 0.56 和 Mg 0.53 年。

关键词 亚热带雨林; 凋落物; 元素动态

DYNAMIC OF NUTRIENT ELEMENTS IN LITTERFALL OF SUBTROPICAL RAIN FOREST OF HEXI IN FUJIAN

Zheng Wenjiao Shao Cheng Wang Liangmu Lin Peng

(Research Center for Environmental Science, Department of Biology, Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract Study on the dynamics of nutrient elements returned to the forest floor from litterfall in a subtropical rain forest of Hexi in Fujian Province showed that the contents of elements in various fractions of litterfall fluctuated within a year, and the weighted average contents of elements were in the order $N > K > Ca > Mg > P$ ($Ca = Mg$ for fruit, $Ca > K$ for branch). The annual flows of N, P, K, Ca, Mg and ash from litterfall were 87.41, 3.82, 40.80, 28.81, 15.32 and 284.57 $kg\ hm^{-2}$, respectively. The pool amounts of N, P, K, Ca and Mg in residues on the floor were 54.83, 2.45, 9.69, 17.0 and 9.25 $kg\ hm^{-2}$, respectively. The residence time of the five elements on the floor was 0.61, 0.61, 0.23, 0.56 and 0.53 year, respectively.

Key words Subtropical rain forest; Litterfall; Nutrient flow

森林凋落物是研究森林生态系统物质循环和能量流动的重要环节, 其中凋落物的物质流是其重要的组成部分, 在国内外不同森林类型已做了不少的研究^[1-6]。亚热带雨林是南亚热带地带性典型植被类型, 处亚热带向热带过渡地带, 《中国植被》称之为季风常绿阔叶林^[7]。由于人为的干

扰和破坏, 此类森林面积已大为减少。1962年, 国家对福建南靖县和溪乡的亚热带雨林设立自然保护区, 这是我国目前亚热带东段保存较为完好的代表性植被, 具有重要的科学研究价值。本文是该森林生态系统研究的一部分, 主要探讨营养要素通过凋落物的归还动态, 为揭示亚热带雨林物质循环特征, 提供科学的依据。

1 自然概况及群落特征

工作样地位于福建东南部的南靖县和溪乡(24°56'N, 117°14'E)盆地上缘的六斗山, 海拔200-250m的低丘坡地。年平均气温20.4℃, 年降水量2001.2mm, 年雨日175.3d, 年平均相对湿度81.4%。该森林的优势种以壳斗科、桃金娘科、樟科等的热带性种类为主, 形成以红栲(*Castanopsis hystrix*) + 乌来栲(*C. uraiana*) + 红鳞蒲桃(*Syzygium hancei*)—罗伞树(*Ardisia quinquegona*) + 九节木(*Psychotria rubra*)—单叶新月蕨(*Pronephrium simplex*)的群落类型^[8-9]。群落总盖度90-95%, 建群层高22-28m, 种类丰富, 结构复杂。森林土壤为花岗岩发育成的赤红壤, 土层1.5m以上, 主要的理化特征如表1。

表1 和溪亚热带雨林林地土壤的某些理化特性

Table 1 Some soil properties of Hexi subtropical rain forest

土壤深 Depth of soil (cm)	pH	容重 Volume weight (g cm ⁻³)	有机质 Organic matter (%)	C/N	总氮 Total N (%)	总磷 Total P (%)	交换性盐基 Exchangeable base (me 100g ⁻¹ soil)		
							K	Ca	Mg
0-17	4.78	1.036	3.27	16.21	0.117	0.021	0.179	0.098	0.225
17-35	4.83	1.096	2.13	15.84	0.078	0.018	0.159	0.065	0.175
35-80	5.14	1.159	1.49	17.64	0.049	0.017	0.157	0.054	0.102

2 材料与方方法

2.1 材料

1987年1月-1989年12月连续三年于和溪亚热带雨林林地随机设置20个收集箱收取凋落物。每个收集箱面积1×1m², 箱边高25cm, 底部较密, 用竹杆固定于离地20-25cm高, 水平放置。每5d收取凋落物一次, 全月6次, 风干后合并统一计量, 并分称花(包括花序)、果(包括种子)、叶和枝四个组分。林下地表残留物的测定时间按季节分别在3、6、9和12月份的下甸进行。用木质框架固定取样面积, 框架面积0.5×0.5m²。每次采集时于收集箱附近随机选取10个样点收集残留物, 并分叶、花(包括花序)、果(包括种子)和枝四个组分计量。上述样品分别抽样于105℃烘干至恒重测定含水量。同时取样作分析样品, 于60℃烘干, 研磨成粉过60号筛后贮瓶待测。土壤样品根据土层的色泽和结构等判断, 分0-17、17-35和35-80cm三层采集, 同时测定土壤容重。

2.2 分析方法

植物样品含氮量测定采用钠氏试剂比色法^[10]; 磷的测定采用钼蓝比色法; 钾、钙、镁测定采用

原子吸收分光光度法^[1]；灰分测定采用干灰化法。土壤样品总氮测定采用定氮法^[1]；全磷测定采用酸溶-钼蓝比色法^[2]；交换性盐基的测定采用醋酸-EDTA 浸提，原子吸收分光光度法测定交换性钾、钙、镁的含量；有机质测定采用重铬酸钾容量法；土壤 pH 值用电位法，水土比为 2.5:1^[2]。

3 结果与讨论

3.1 凋落物各组分 N、P、K、Ca、Mg 元素及灰分含量

根据 1987 年各月凋落物各组分样品的分析统计结果，和溪亚热带雨林凋落物各组分主要营养元素及灰分含量见图 1 和表 2。

从图 1 可见，该森林一年中不同月份凋落物各组分主要营养元素及灰分含量，具有波动性，波动大小：N 为枝 > 果 > 叶 > 花，各组分最高含量月份分别是最低月份的 2.91、2.09、1.40 和 1.14 倍；P 为枝 > 果 = 花 > 叶，各组分最高含量月份分别是最低月份的 2.26、1.79、1.74 和 1.49 倍；K 为花 > 枝 > 果 > 叶，各组分最高含量月份分别是最低月份的 7.92、4.78、2.23 和 1.97 倍；Ca 和 Mg 为果 > 叶 > 枝 > 花，各组分 Ca、Mg 最高含量月份各分别是最低月份的 4.19、1.66、1.59、1.19 和 2.21、1.60、1.42、1.18 倍；灰分为果 > 枝 > 花 > 叶，各组分最高含量月份分别是最低月份的 2.60、1.52、1.33 和 1.15 倍。N、P、K、Ca、Mg 的含量分别是 0.5—2.3%、0.02—0.13%、0.1—1.0%、0.1—0.5% 和 0.1—0.3%，灰分为 2—5%。

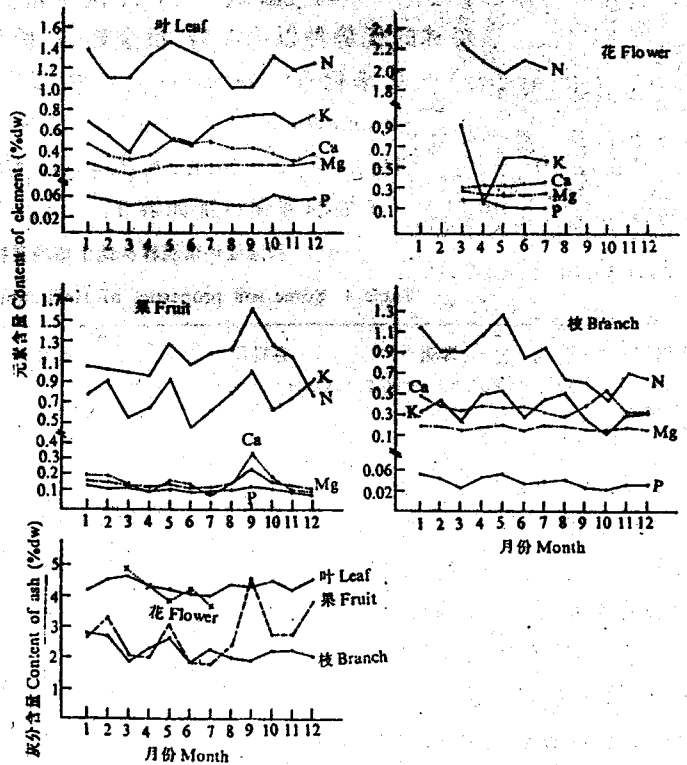


图 1 和溪亚热带雨林凋落物主要元素及灰分含量(%dw) (1987)

Fig.1 Content of main elements and ash in various fractions of litterfall of Hexi subtropical rain forest (%dw)

从凋落物各组分的元素含量全年各月的加权平均值看(表 2)，N 在各个组分中含量均居最高，P 含量最低，5 种元素含量大小依次为 N>K>Ca>Mg>P (果 Ca=Mg，枝 Ca>K)。在不同组分中，含量依次为：N 花 > 叶 > 果 > 枝，P 花 > 果 > 叶 > 枝，K 果 > 叶 > 花 > 枝，Ca 叶 > 枝 > 花 > 果，Mg 叶 = 花 > 枝 > 果，灰分叶 > 花 > 果 > 枝。森林凋落物各营养元素含量差异因不同森林类型及不同的土壤条件而异。不少研究表明，凋落物中 Ca 的含量大于 K^[3,6,12]。本试验结果，该森林凋落物除落枝某些月份 Ca>K (全年各月加权平均亦 Ca>K) 外，其余组

分 K 均明显高于 Ca, 这可能与该森林土壤呈酸性, 强烈富铝化作用使得交换性 Ca 含量低有关。

3.2 森林通过凋落物归还 N、P、K、Ca、Mg 的年库流量及月动态

森林凋落物元素含量和凋落物量的乘积, 在森林生态系统植物与土壤物质循环中, 是营养元素通过凋落物归还的库流量。此处凋落物量采用 1987—1989 三年平均值计算, 结果见表 3。从表 3 可知, 和溪亚热带雨林 N、P、K、Ca、Mg 元素通过凋落物归还的

年库流量分别为 87.41、3.82、40.80、28.81 和 15.32 kg hm⁻², 灰分量为 284.57 kg hm⁻²。其中以落叶归还的途径居最大, N、P、K、Ca、Mg 分别占各自总量的 73.4%、68.1%、77.2%、72.9% 和 74.5%, 灰分占 79.7%; 落枝居其次, 5 种元素各占总量的 16—24%; 落花、落果各占较小的比例。

表 2 和溪亚热带雨林凋落物主要营养元素及灰分各月加权平均含量
Table 2 Weighted average content of main nutrient elements and ash in litterfall of Hexi subtropical rain forest (%dw)(1987)

凋落物 Litterfall	N	P	K	Ca	Mg	灰分 Ash
花 Flower	2.065	0.134	0.470	0.326	0.240	4.178
果 Fruit	1.128	0.105	0.780	0.144	0.147	2.792
枝 Branch	0.797	0.035	0.305	0.362	0.158	2.157
叶 Leaf	1.227	0.050	0.611	0.402	0.244	4.377

表 3 和溪亚热带雨林凋落物主要营养元素的年库流量

Table 3 Annual amount of main nutrient elements in litterfall of Hexi subtropical rain forest (kg hm⁻²)

项目 Item	落花 Flower fall	落果 Fruit fall	落枝 Branch fall	落叶 Leaf fall	总计 Total
凋落物量 Litterfall	218.8 (2.89)	245.8 (3.24)	1917.5 (25.30)	5196.9 (68.57)	7579.0 (100.0)
N	4.53 (5.18)	2.75 (3.15)	16.01 (18.32)	64.12 (73.35)	87.41 (100.0)
P	0.31 (8.12)	0.24 (6.28)	0.67 (17.54)	2.60 (68.06)	3.82 (100.0)
K	0.94 (2.30)	1.94 (4.75)	6.42 (15.74)	31.50 (77.21)	40.80 (100.0)
Ca	0.70 (2.43)	0.38 (1.32)	6.73 (23.36)	21.00 (72.89)	28.81 (100.0)
Mg	0.51 (3.33)	0.32 (2.09)	3.08 (20.10)	11.41 (74.48)	15.32 (100.0)
灰分 Ash	9.17 (3.22)	7.27 (2.56)	41.21 (14.48)	226.92 (79.74)	284.57 (100.0)

括号中数据为占总量的百分值 Numbers in parentheses indicate the percentage of each among the total amount

各元素的年库流量在全年各月的分布见图 2。从中可见其具有明显的季节性, 5 种元素及灰分量均表现为 1—2 及 11—12 月份的归还量较小, 而 3—10 月份较大, 总的趋势与年凋落物量的月分布(图 2)相似, 在 4 月份达全年的峰值。由于凋落物各月的元素含量具有一定的波动性, 因而各元素年库流量的月动态又不尽相同, 如 Ca 在 8—10 月份的月流量各相差不大, Mg 在 6—8 月份的月分布量也相近。

据调查, 和溪亚热带雨林中, 植物的根系分布较浅, 大都在 1m 深土壤层之内^[9]。根据对土壤理化分析结果(表 1)计算, 在该森林林地 0—80cm 深土壤层中, 总 N、总 P 和交换性 K、Ca、Mg 的库储量分别为 6155.0、1611.6、566.0、116.7 和 154.8 kg hm⁻²。据此, 该森林凋落物中 N、P、K、Ca、Mg 元素的年库流量(表 3), 分别占根系土壤层相应元素库储量的 1.42%、0.24%、7.21%、24.69% 和 9.90%。可以认为, 土壤库中每年约有 1/4 交换性 Ca、1/10 交换性 Mg 和 1/14 交换性 K 在凋落物中参与循环。

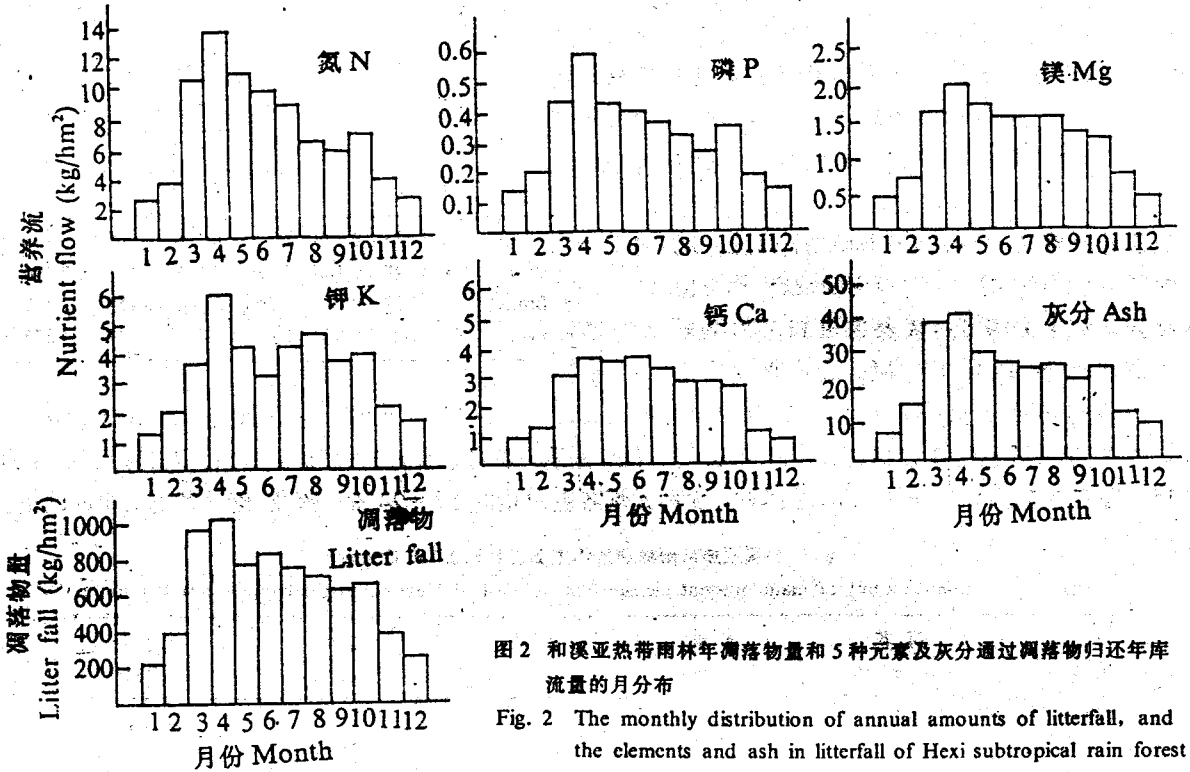


图2 和溪亚热带雨林年凋落物量和5种元素及灰分通过凋落物归还年库流量的月分布
 Fig. 2 The monthly distribution of annual amounts of litterfall, and the elements and ash in litterfall of Hexi subtropical rain forest

3.3 林地残留物 N、P、K、Ca、Mg 元素含量及储量

林地残留物是森林凋落物残留于林地，大都处半分解状态的枯枝落叶层。根据一年中不同季节测定和分析结果，和溪亚热带雨林地表残留物各组分中的 N、P、K、Ca、Mg 元素含量及储量见表 4。

表 4 和溪亚热带雨林地表残留物中 5 种元素的含量及累积储量

Table 4 Content and amount of five elements in residue on the floor of Hexi subtropical rain forest

组分 Fraction	残留物量 Residue (kg hm ⁻²)	含量 Content (% dw)					储量 Amount (kg hm ⁻²)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
花 Flower	6.0	1.91	0.077	0.165	0.085	0.184	0.11	0.01	0.01	0.01	0.01
果 Fruit	111.9	1.15	0.063	0.322	0.223	0.143	1.29	0.07	0.36	0.25	0.16
枝 Branch	1067.7	0.74	0.037	0.172	0.347	0.170	7.90	0.40	1.84	3.70	1.82
叶 Leaf	3076.4	1.48	0.064	0.243	0.426	0.236	45.53	1.97	7.48	13.11	7.26
总计 Total	4262.0						54.83	2.45	9.69	17.07	9.25

从表 4 可知，该森林地表残留物各组分中的五种元素的含量与凋落物相应组分元素含量相比，残留叶的 N、P、Ca 含量大于落叶；残留枝的 Mg 含量大于落枝，P 含量与落枝相近；残留果的 Ca 含量大于落果，N、Mg 含量与落果相近；其余均表现为残留物元素含量低于凋落物，特别 K 元

素残留物中含量仅为凋落物中含量的 35—55%。这与不同组分的不同元素, 其存在形态及凋落物分解过程中各元素的迁移能力不同有关, 如 K 属易淋失元素, 因而残留物 K 含量明显低于新凋落物中的含量。根据残留物量及元素含量计算, 该森林地表残留物这一环节中的 N、P、K、Ca、Mg 元素的累积储量, 分别为 54.83、2.45、9.69、17.07 和 9.25kg hm², 其中残留叶中的储量居最大, 分别各占总量的 83.0%、80.4%、77.2%、76.8% 和 78.5%。

3.4 五种元素于森林地表的滞留时间及分解常数

由 $T = \frac{XC_1}{LC_2}$ 的关系式^[14](其中 T 为元素在森林地表的滞留时间, X、L 分别为林地残留物及年凋落物量, C₁、C₂ 是同一元素分别在残留物及凋落物中的含量), 可以对营养元素在森林地表的滞留时间(T)及其分解常数(K=1/T)进行估测^[14]。由此得出和溪亚热带雨林 5 种营养元素在森林地表的滞留时间和分解常数(见表 5)。从表 5 可见, K 元素分解最快, 在林地滞留时间最短; N、P 较慢, 滞留时间最长, 分解速率为 K>Mg>Ca>N=P。

表 5 和溪亚热带雨林 5 种元素在森林地表的滞留时间和分解常数
Table 5 Decomposition constant and residence time of elements on the floor of Hexi subtropical rain forest

	N	P	K	Ca	Mg
分解常数 Decomposition constant	1.64	1.64	4.35	1.79	1.89
滞留时间(年) Residence time (yr.)	0.61	0.61	0.23	0.56	0.53

参考文献

- 1 丁宝永等. 红松人工林凋落物营养元素的分析. 植物研究, 1986, 6(4):161—175
- 2 卢俊培, 刘其汉. 海南岛尖峰岭热带雨林凋落物研究初报. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(2):104—111
- 3 Brasell H M, Sinclair D F. Elements returned to forest floor in two rainforest and three plantation plots in tropical Australia. J Ecol, 1983, 71:367—378
- 4 Brasell H M, Unwin G L, Stocker G C. The quantity, temporal distribution and mineral element content of litterfall in two forest types at two sites in tropical Australia. J Ecol, 1980, 68:123—139
- 5 Cornforth I S. Leaf-litter in a tropical rain forest. J Appl Ecol, 1970, 7:603—608
- 6 Nye P H. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. Pl Soil, 1961, 13:333—346
- 7 吴征镒. 中国植被. 科学出版社, 1980, 868—869
- 8 林鹏, 丘喜昭. 福建南靖县和溪的亚热带雨林. 植物生态学与地植物学学报, 1987, 11(3):161—170
- 9 厦门大学生物系植物学教研组. 福建和溪亚热带雨林群落结构上的几个问题. 厦门大学学报(自然科学版), 1961, 8(1):35—47
- 10 华南热带作物研究院生理生化组. 用比色法测定橡胶叶片的氮含量. 热带作物科技通讯, 1974, (5):12—13
- 11 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海科学技术出版社, 1978, 62—367
- 12 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 科学出版社, 1983, 95—166
- 13 Greenland D J, Kowal J M L. Nutrient content of the moist tropical forest of Ghana. Pl Soil, 1960, 12:154—174
- 14 Gosz J R, Likens G E, Bormann F H. Organic matter and nutrient dynamics of the Hubbard Brook forest. Oecologia (Serl.), 1976, 22:305—320