

福建武夷山黄山松群落的氮、磷累积和循环

林益明 李振基 杨志伟 林鹏

(厦门大学生物学系, 厦门 361005)

刘初钿 何建源

(武夷山自然保护区管理局, 武夷山 354315)

摘要 本文是福建武夷山森林生态系统研究的一部分, 主要讨论黄山松 (*Pinus taiwanensis*) 群落的氮磷累积和循环。测定结果表明: (1) 群落现存量中氮 (N)、磷 (P) 的库量分别为 $925.844 \text{ kg hm}^{-2}$ 和 $45.981 \text{ kg hm}^{-2}$, 其中地上部分分别为 $719.438 \text{ kg hm}^{-2}$ (占总库量的 77.706%) 和 $35.534 \text{ kg hm}^{-2}$ (占 77.280%), 地下部分分别为 $206.406 \text{ kg hm}^{-2}$ (占 22.294%) 和 $10.447 \text{ kg hm}^{-2}$ (占 22.720%); (2) N、P 的生物循环中, 年吸收量分别为 $65.344 \text{ kg hm}^{-2}$ 和 2.627 kg hm^{-2} , 年存留量分别为 $37.019 \text{ kg hm}^{-2}$ 和 1.695 kg hm^{-2} , 年归还量分别为 $28.325 \text{ kg hm}^{-2}$ 和 0.932 kg hm^{-2} ; (3) 氮、磷的富集率分别为 1.324 和 1.083, 两者均大于 1, 说明该群落对 N、P 仍在不断累积。

关键词 黄山松群落; 生物循环; 氮、磷元素累积; 武夷山

ACCUMULATION AND BIOLOGICAL CYCLE OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN *PINUS TAIWANENSIS* COMMUNITY IN WUYI MOUNTAINS

Lin Yiming Li Zhenji Yang Zhiwei Lin Peng

(Department of Biology, Xiamen University, Xiamen 361005)

Liu Chudian He Jianyuan

(The Administrative Bureau of the Wuyishan National Nature Reserve, Wuyishan 354315)

Abstract The accumulation and biological cycle of N and P nutrients in *Pinus taiwanensis* community in Wuyi mountains, Fujian Province, were studied. The results were as follows: 1) The amounts of N and P in the standing crop of this community were $925.844 \text{ kg hm}^{-2}$ and $45.981 \text{ kg hm}^{-2}$, respectively, in which the amounts of the two nutrients in the above-ground biomass were $719.438 \text{ kg hm}^{-2}$ for N and $35.534 \text{ kg hm}^{-2}$ for P, and in the underground biomass were $206.406 \text{ kg hm}^{-2}$ for N and $10.447 \text{ kg hm}^{-2}$ for P. 2) In biological cycle of N and P of this stand, the annual vegetation mineral uptakes amounted to $65.344 \text{ kg hm}^{-2}$ and 2.627 kg hm^{-2} , respectively. The retention of N and P were $37.019 \text{ kg hm}^{-2}$ and 1.695 kg hm^{-2} , and their return being $28.325 \text{ kg hm}^{-2}$ and 0.932 kg hm^{-2} , respectively. 3) The enrichment

福建省自然科学基金和武夷山自然保护区管理局的资助项目

1996-04-15 收稿; 1996-10-03 修回

ratios of both N (1.324) and P (1.083) were larger than 1, demonstrating the two nutrients being continuously accumulated in the community.

Key words *Pinus taiwanensis* community; Biological cycle; Accumulation of N and P; Wuyi mountains

N、P 是植物体不可缺少的重要元素。植物体,特别是凋落物中 N 元素的含量水平,密切关系着凋落物的矿化速度,同时也反映出归还土壤的肥力效应及森林生态系统食物链中微生物的营养源状况^[1];在热带和亚热带地区,P 元素往往成为植物生长、发育的限制因子,因此,亚热带地区的 P 循环特征具有重要的意义^[2]。为此,我们选择了中亚热带武夷山黄山松群落,进行了 N、P 的生物循环研究,为了解该森林生态系统的特点及其功能,以及土壤肥力评价、自然保护区的生产建设和管理提供系统的科学资料。

1 自然条件和样地概况

黄山松群落的实验地设在福建省距武夷山保护区管理局 11 km 处的桐木关西侧,北纬 27° 47', 东经 117° 42', 海拔 1300 m 左右。气候为典型的亚热带季风气候。林下土壤为山地黄壤,土层厚度 90 cm。表土层多细根,上覆盖枯枝落叶 2-4 cm。土壤理化性质见表 1。群落结构简单,分层明显,一般具乔、灌、草三层,通常地被物与草本的种类及数量都不多。林内乔木层林冠一般 9 m,最高植株 12 m。林内乔木层主要是黄山松,并有少量的木荷 (*Schima superba*)、甜槠 (*Castanopsis eyrei*); 林内灌木层有肿节少穗竹 (*Oligostachyum oedegonatum*)、马银花 (*Rhododendron ovatum*)、江南山柳 (*Clethra cavaleriei*)、细齿柃木 (*Eurya loquaina*) 等; 草本层有扁穗莎草 (*Cyperus compressus*)、双蝴蝶 (*Tripterispermum affine*), 林缘有蕨 (*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)、芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) 等。林冠郁闭度达 80%。平均密度 19.3 株/100m², 平均胸径 11.67 cm, 叶面积指数 2.9。

表 1 桐木关黄山松群落土壤的理化特性

Table 1 Some physical and chemical properties of soil in *P. taiwanensis* community

土壤深度 Soil depth (cm)	pH	容重 Bulk density (g cm ⁻³)	全 N Total N		全 P Total P	
			%	库量 Pool amount (kg hm ⁻²)	%	库量 Pool amount (kg hm ⁻²)
0-30	4.200	0.715	0.360	7722.000	0.023	493.350
30-60	4.500	0.885	0.159	4221.450	0.020	531.000
60-90	5.000	1.035	0.070	2173.500	0.015	465.750
总和 Total				14116.950		1490.100

2 材料和方法

在黄山松群落内测定了 3 个 10 m × 10 m 样方内树木的树高、胸径并砍伐标准木, 然后分别

求得树干材、树皮、幼枝、多年生枝、枯枝、叶、果、根、灌木、草本等样品的生物量，并采得分析样品 100–500 g，待测。鲜样 60 °C 烘干后，经粉碎机研成粉末，过 60 号筛后贮于试剂瓶中备用。凋落物的收集采用收集箱法，每 10 天收集一次，分出叶、大枝、小枝、花、果。烘干称重后合并全年逐月统计。

土壤样品分层采样，风干、磨碎，过 10 号筛贮存待测。

黄山松群落各组分、凋落物样品的氮测定采用纳氏试剂比色法^[3]，磷的测定采用钼蓝比色法^[4]，土壤样品总氮的测定采用凯氏定氮法，全磷的测定采用酸溶-钼蓝比色法。

3 结果与讨论

3.1 黄山松群落的 N、P 元素含量及其分配

黄山松群落各组分 N、P 的含量见表 2。

黄山松群落各组分中 N 含量地上部分高于地下部分，且以叶的含量最高，为 1.502%，这是因为高等植物能利用无机态氮，根系从土壤中吸收硝酸根离子或铵离子，然后输送至叶中，结合成氨基酸，最后合成蛋白质、核酸等。地下部分根系含 N 量并不高，是因为根这个吸收器官从土壤中吸收了无机氮后，很快输送给地上部分的同化器官。含 P 量最高的也是叶，为 0.069%，其次为树皮(除灌木和草本外)为 0.042%，幼枝 0.036%。树材的 N、P 含量在各组分比较中均是最低。

表 2 黄山松群落各组分的 N、P 含量 (% DW)

Table 2 N and P concentrations in different fractions of *P. taiwanensis* community

组分 Fraction	N	P
叶 Leaf	1.502	0.069
幼枝 Twig	1.264	0.036
多年生枝 Perennial branch	1.013	0.026
枯枝 Dead branch	0.910	0.027
果 Fruit	0.600	0.020
树材 Wood of trunk	0.153	0.013
树皮 Bark of trunk	1.070	0.042
灌木 Shrub	0.860	0.057
草本 Herb	0.760	0.056
地上部合计 Total aboveground	8.132	0.346
粗根 Macroroot	0.280	0.017
中根 Midroot	0.801	0.034
细根 Microroot	0.634	0.022
枯根 Deadroot	0.204	0.033
地下部合计 Total underground	1.919	0.106

表 3 黄山松群落 N、P 的库存量 (kg hm⁻²)

Table 3 Pool amounts of N and P in *P. taiwanensis* community

组分 Fraction	N	%	P	%
叶 Leaf	48.199	5.206	2.214	4.815
幼枝 Twig	8.987	0.971	0.256	0.557
多年生枝 Perennial branch	204.008	22.035	5.236	11.387
枯枝 Dead branch	53.963	5.829	1.601	3.482
果 Fruit	0.414	0.045	0.014	0.030
树材 Wood of trunk	115.465	12.471	9.811	21.337
树皮 Bark of trunk	100.409	10.845	3.941	8.571
灌木 Shrub	187.841	20.289	12.450	27.076
草本 Herb	0.152	0.016	0.011	0.024
地上部合计 Total aboveground	719.438	77.706	35.534	77.280
粗根 Macroroot	115.662	12.493	7.022	15.272
中根 Midroot	34.515	3.728	1.465	3.186
细根 Microroot	56.160	6.066	1.949	4.239
枯根 Deadroot	0.069	0.007	0.011	0.024
地下部合计 Total underground	206.406	22.294	10.447	22.720
总和 Total	925.844	100.000	45.981	100.000

3.2 黄山松群落 N、P 的库存量

从表 3 可以看出，武夷山 29 龄黄山松群落 N、P 的现存库量分别为 925.844 kg hm⁻²和 45.981 kg hm⁻²，其中地上部分分别为 719.438 kg hm⁻² (占总库存量的 77.706%) 和 35.534 kg hm⁻²

(占77.280%), 地下部分分别为 206.406 kg hm⁻²(占 22.294%)和 10.447 kg hm⁻²(占 22.720%)。

与其它森林群落 N、P 的库存量相比, 武夷山黄山松群落 N 的库存量为 925.844 kg ha⁻¹, 低于北京人工刺槐林 1601.4 kg hm⁻²[5] 和广东流溪河水库的常绿阔叶林 1162.8 kg hm⁻²[6], 而与广东流溪河水库的马尾松的 981.3 kg hm⁻²[6] 相近。可见, 在 N 素积累上, 阔叶林优于针叶林。

武夷山黄山松群落 P 的库存量为 45.981 kg hm⁻² 低于北京人工刺槐林的 165.200 kg hm⁻²[5], 而与广东流溪河水库的常绿阔叶林的 49.9 kg hm⁻²[6] 和比利时 Virelles 地区橡树林的 44 kg hm⁻²[7] 接近; 但高于广东流溪河水库马尾松林的 36.5 kg hm⁻²[6]、杉木林的 16.2 kg hm⁻² 和毛竹林的 15.7 kg hm⁻²[6]。

黄山松群落 N、P 的库量比为 23:1, 低于广东流溪河水库的马尾松林的 27:1, 而与广东流溪河水库的常绿阔叶林的 23:1 相同。

3.3 黄山松群落凋落物的 N、P 含量

元素的含量在森林凋落物中差异甚大。不同森林类型及土壤地形条件都会影响到营养元素含量。N 是植物体的原生质和酶的必要成分, 凋落物又以落叶为主, 所以在凋落物中含量高, P 元素含量较低, 这是由于 P 是可再利用元素, 凋落前可能部分转移到活体内, 加以在酸性土壤条件下, 磷酸可与铁或铝化合, 形成难溶性的磷酸铁或磷酸铝, 植物体较难吸收, 使得植物体内磷含量较小。黄山松群落凋落物的 N、P 含量及其月变化见图 1。

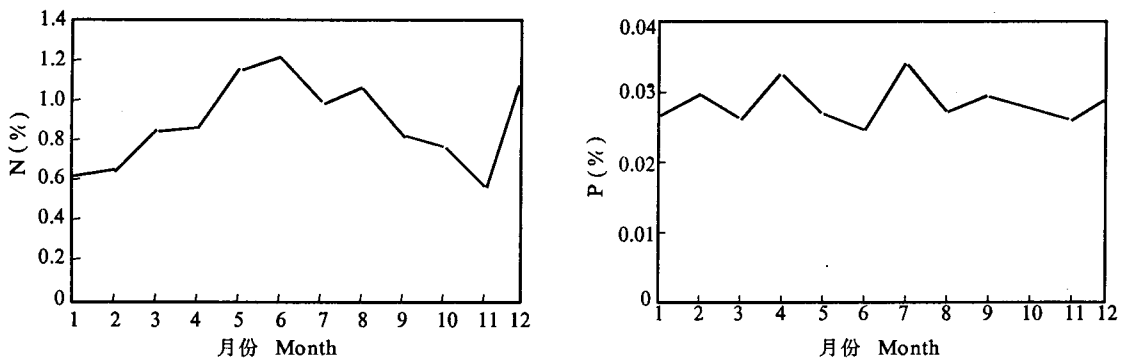


图 1 黄山松群落凋落物的 N、P 含量的月变化

Fig. 1 Monthly change in N and P concentrations of litterfall in *Pinus taiwanensis* community in 1993

凋落物的各组分某元素含量和凋落物相应组分的生物量乘积之和, 构成凋落物中某营养元素的库量。1993 年黄山松群落通过凋落物的归还量为 N 28.256 kg hm⁻² 和 P 0.921 kg hm⁻² (表 4)。

3.4 黄山松群落 N、P 的生物循环

3.4.1 N、P 的生物循环

元素的年存留量是指一年内群落净累积

表 4 黄山松群落凋落物 N、P 的年归还量 (kg hm⁻²)

Table 4 Annual return of N and P through litterfall in *P. taiwanensis* community

组分 Fraction	凋落物产量 Production of litterfall	N	P
叶 Leaf	2704.000	23.525	0.784
花 Flower	32.400	0.631	0.025
果 Fruit	6.000	0.052	0.001
大枝 Big branch	73.100	0.338	0.011
小枝 Small branch	416.900	3.710	0.100
总和 Total	3232.400	28.256	0.921

在植物体内元素的总重量。据黄山松群落 1993 年的干物质某组分的净增长量与相应组分的 N、P 含量的乘积之和得出的 N、P 年存留量分别为 37.019 kg hm⁻² 和 1.695 kg hm⁻²。

年归还量指通过凋落物和枯根在一年内归还给土壤的元素重量。黄山松群落 N、P 在 1993 年的归还量分别为 28.325 kg hm⁻² 和 0.932 kg hm⁻²。

年吸收量为年存留量与年归还量之和^[9]，依此推算出黄山松群落 1993 年的 N、P 的吸收量分别为 65.344 kg hm⁻² 和 2.627 kg hm⁻²。

与其它两种森林群落的比较可以发现(表 5)，黄山松群落 N、P 的年存留量均大于归还量，而橡栎林和橡、水青冈、鹅耳枥林正好相反，即 N、P 的年存留量小于年归还量。黄山松群落 N、P 的年存留量大于归还量，说明了 29 龄黄山松群落仍处于生长阶段。

表 5 几种森林的 N、P 元素循环的比较 (kg hm⁻²)

Table 5 N and P cycling in some forests

森林类型 Forest type	存留 Retention		归还 Return		吸收 Uptake		资料来源 Cited from
	N	P	N	P	N	P	
橡栎林 Oak and ash forest	44	4	79	5.4	123	9.4	[9]
橡、水青冈、鹅耳枥林 Oak, beech and carpinus forest	30	2.2	62	4.7	92	6.9	[9]
黄山松林 <i>P. taiwanensis</i> community	37.019	1.695	28.325	0.932	65.344	2.627	本文 This paper

3.4.2 黄山松群落 N、P 的循环系数

N、P 的周转期 某一元素的周转期是以某元素在现存量中的储存量与每年凋落物中元素重量的比率^[10]。经计算，武夷山黄山松群落 N 的周转期为 33 年，P 的周转期 51 年，N 的周转比 P 快。

N、P 的富集率 富集率是指净初级生产量中元素的平均浓度与群落现存生物量中对应元素的平均浓度的比值^[11]。在 1993 年黄山松群落净初级生产量中，N 元素的平均浓度为 0.641%，群落现存生物量中 N 元素的平均浓度为 0.484%，N 的富集率 0.641%/0.484% = 1.324；P 元素的平均浓度为 0.026%，群落现存生物量中 P 元素的平均浓度为 0.024%，P 的富集率 0.026%/0.024% = 1.083。黄山松群落 N、P 的富集率均大于 1，说明了该群落中 N、P 仍在不断地累积。

N、P 的流动系数 可以从元素的吸收量、归还量、现存量以及表土中的该元素含量之间的关系求出呼吸系数、利用系数和循环系数(表 6)。从表 6 可见，N 的吸收系数、利用系数和循环系数均比 P 大。

N、P 的迁移 根据《中国土壤》^[4]推算元素迁移的公式求出黄山松群落 N、P 的生物吸收、分解和归还的比率(表 7)。黄山松群落 N 的生物吸收率和生物归还率大于 P，而 N 的生物分解率小于 P。这个结果与管东生研究的常绿阔叶林、杉木林和马尾松林的结果一致^[6]。

表6 黄山松群落 N、P 的流动系数 (1993 年)

Table 6 Movement coefficients of N and P in *P. taiwanensis* community in 1993

项目 Item	N	P
现存量 Standing crop (kg hm ⁻²)	925.844	45.981
年吸收量 Uptake (kg hm ⁻²)	65.344	2.627
年归还量 Return (kg hm ⁻²)	28.325	0.932
表土含量 Amount in topsoil (kg hm ⁻²)	7722.000	493.350
吸收系数 Absorption coefficient ¹⁾	0.008	0.005
利用系数 Utilization coefficient ²⁾	0.071	0.057
循环系数 Cycling coefficient ³⁾	0.433	0.355

$$1) \text{ 吸收系数} = \frac{\text{年吸收量}}{\text{表土含量}}$$

$$\text{Absorption coefficient} = \frac{\text{the uptake}}{\text{the amount in topsoil}}$$

$$2) \text{ 利用系数} = \frac{\text{年吸收量}}{\text{元素现存量}}$$

$$\text{Utilization coefficient} = \frac{\text{the uptake}}{\text{the standing crop}}$$

$$3) \text{ 循环系数} = \frac{\text{年归还量}}{\text{年吸收量}}$$

$$\text{Cycling coefficient} = \frac{\text{the return}}{\text{the uptake}}$$

表7 黄山松群落 N、P 的迁移与生物循环

Table 7 Translocation and biological cycling of N and P in *P. taiwanensis* community

项目 Item	N	P
鲜叶化学组成 In fresh leaves (%)	1.502	0.069
凋落物的化学组成 In litterfall (%)	0.870	0.029
残留物的化学组成 In residues (%)	0.891	0.034
表土化学组成 In topsoil (%)	0.360	0.023
生物吸收率 Absorption rates ¹⁾ (AR)	417.222	300.000
生物分解率 Decomposition rates ²⁾ (DR)	168.575	202.941
生物归还率 Return rates ³⁾ (RR)	247.500	147.826

$$1) \text{ 生物吸收率} = \frac{\text{鲜叶化学组成}}{\text{表土化学组成}} \times 100$$

$$\text{AR} = \frac{\text{mineral nutrient in fresh leaves}}{\text{mineral nutrient in topsoil}} \times 100$$

$$2) \text{ 生物分解率} = \frac{\text{鲜叶化学组成}}{\text{残留物化学组成}} \times 100$$

$$\text{DR} = \frac{\text{mineral nutrient in fresh leaves}}{\text{mineral nutrient in residues}} \times 100$$

$$3) \text{ 生物归还率} = \frac{\text{残留物化学组成}}{\text{表土化学组成}} \times 100$$

$$\text{RR} = \frac{\text{mineral nutrient in residues}}{\text{mineral nutrient in topsoil}} \times 100$$

3.5 小结

在亚热带地区, 高温多雨, 分解和淋溶强烈, 有机态元素在土壤中难于保存, 而将元素保存于活的有机体内是适应于武夷山本区特点的一种养分保存方式。就这点来说, 常绿阔叶林和针阔混交林是极其有利于保存生态系统中营养元素的群落类型, 也进一步证明营造阔叶林和针阔混交林优于针叶林。

亚热带地区高温多雨, 分解和淋溶强烈, 一定要保护好枯枝、枯叶等凋落物, 防止人为收接, 对加速生态系统中物质循环是有促进作用的。

在森林生态系统中, 草本层干物质生产的存留量较小, 绝大部分生物量在当年枯死凋落, 且养分周转期短, 在生态系统营养元素的循环中, 草本层是一个不容忽视的因素。

在亚热带地区的酸性土壤, 往往缺乏磷元素, 这成为植物生长, 发育的限制因子。磷的循环研究对土壤肥力评价以及该地区群落的持续发展具有重要的意义。

参考文献

- 1 卢俊培, 刘其汉. 海南岛尖峰岭热带林凋落物研究初报. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(2):104-111
- 2 罗汝英. 森林土壤学. 北京: 科学出版社, 1983, 164-207
- 3 华南热带作物研究院. 用比色法测定橡胶叶片氮含量. 热作科技通讯, 1974, (5):12-13
- 4 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1978, 499
- 5 陈灵芝, 孔繁志, 缪有贵等. 北京人工刺槐林化学元素含量特征. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(4):245-254

- 6 管东生. 流溪河水库林区森林生态系统养分的研究. 热带亚热带森林生态系统研究, 第五集. 北京: 科学出版社, 1989, 123-134
- 7 Duvigneaud P, Denacyer-De S Smet. 彭克明, 陈佐忠译. 温带落叶林矿质元素的生物循环. 植物生态学译丛. 北京: 科学出版社, 1974, 1:72-95
- 8 Tsutsumi T. 陈佐忠译. 森林生态系统中营养元素的积累和循环. 植物生态学译丛. 北京: 科学出版社, 1982, 4:177-180
- 9 东北林学院主编. 森林生态学. 北京: 中国林业出版社, 1981, 155
- 10 Golley F B. 李文华译. 热带森林的生产量和矿质循环. 植物生态学译丛. 北京: 科学出版社, 1982, 4:123-134
- 11 Woodwell G M, Whittaker R H, Houghton R A. Nutrient concentrations in plant in Brookhaven Oakpine forest. *Ecology*, 1975, 56(2):318-332