

鼎湖山黄果厚壳桂、鼎湖钓樟群落主要营养元素的分配和生物循环

莫江明 周国逸 彭少麟 张德强 余清发

(中国科学院华南植物研究所, 广东 广州 510650)

摘要: 较系统地研究了鼎湖山黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*) - 鼎湖钓樟 (*Lindera chinii*) 群落植物主要营养元素 (P、K、Ca、Mg) 的分配和生物循环特征。营养元素含量随群落层次、组分 (器官) 和元素不同而异。群落植物营养元素贮量为 (kg hm^{-2}): P 61.253, K 928.764, Ca 1 212.771 和 Mg 79.349。各元素贮量在不同层次中的大小分布序列为: 乔木 (94.3%–97.8%) > 藤本 (1.3%–4.1%) > 灌木 (0.8%–1.4%) > 草本 (0.05%–0.15%)。在乔木层, 元素贮量则主要分布在树干和树枝两组分 (38.6%–61.7%)。各元素在植物组分中的贮量序列为: Ca > K > Mg > P (根、干和皮) 和 K > Ca > Mg > P (其余器官)。群落植物营养元素年积累量为 (kg hm^{-2}): P 2.677, K 41.550, Ca 63.309 和 Mg 3.693, 其在群落植物中的分配格局与贮量的相类似。群落植物营养元素利用系数为: P 0.18, K 0.11, Ca 0.09 和 Mg 0.28; 循环系数: P 0.76, K 0.61, Ca 0.41 和 Mg 0.84; 周转期 (a): P 7.36, K 15.12, Ca 28.05 和 Mg 4.30。

关键词: 南亚热带常绿阔叶林; 鼎湖山; 黄果厚壳桂群落; 营养元素分配; 生物循环

中图分类号: Q948.15

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395 (2003) 02-0099-05

Distribution and Biological Cycle of Nutrients in *Cryptocarya concinna* / *Lindera chinii* Community in Dinghushan

MO Jiang-ming ZHOU Guo-yi PENG Shao-lin ZHANG De-qiang YU Qing-fa

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

Abstract: Studies of the distribution and contents of nutrients in 40-yr-old *Cryptocarya concinna* / *Lindera chinii* community of lower subtropical evergreen broadleaved forest in Dinghushan Biosphere Reserve showed that the total nutrient standing stock in the community was estimated to be 61.253 for P, 928.764 for K, 1 212.771 for Ca, and 79.349 kg hm^{-2} for Mg. Nutrient allocation in different layers in the community was in the order of trees > lians > shrubs > herbs. In tree layer, 38.6%–61.7% of nutrient elements was in tree trunks and branches. Standing stock of nutrients in roots, trunks and barks was Ca > K > Mg > P, and that in other organs was K > Ca > Mg > P. Annual nutrient accumulations of P, K, Ca and Mg were 2.677, 41.550, 63.309 and 3.693 kg hm^{-2} , respectively. Nutrient use coefficients in the community were 0.18 (P), 0.11 (K), 0.09 (Ca) and 0.28 (Mg), the nutrient cycling coefficients being 0.76 (P), 0.61 (K), 0.41 (Ca) and 0.84 (Mg). Nutrient cycling period for P, K, Ca and Mg was 7.36, 15.12, 28.05 and 4.30 years, respectively. It is concluded that the community had greater nutrient reserve ability but lower nutrient use efficiency as compared to the previous study on *Pinus massoniana* community.

收稿日期: 2002-04-18 接受日期: 2002-07-15

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (39899370); 中国科学院知识创新项目 KZCX2-407; 中国科学院华南植物研究所所长基金项目资助

丁明慧、张祝平、蚁伟民、方运霆等同志参加部分工作, 在此一并致谢。

Key words: Lower subtropical evergreen broadleaf forest; Dinghushan; *Cryptocarya concinna* / *Lindera chinii* community; Nutrient distribution; Biological cycle

养分循环是森林生态系统基本功能过程之一,也是影响森林生态系统演化的重要因素,对其研究不但有助于了解森林生态系统营养需求、周转率以及收支平衡等动态,还有助于了解森林结构和生产力的影响因素,为森林资源的保护、利用和管理提供科学依据。研究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。这些数据的比较可用来监测全球变化的效应^[1]。

南亚热带森林是全球生物地球化学循环研究的重要组成部分。近期我们在中美合作项目的推动下,较系统地开展了鼎湖山南亚热带常绿阔叶林养分循环研究,并已报道了 40 a 林龄的黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*)-鼎湖钓樟 (*Lindera chunii*) 群落 N 元素的分布和循环情况以及锥栗 (*Castanopsis chinensis*)、荷木 (*Schima superba*)、黄果厚壳桂群落植物营养元素含量分布及其养分生物循环的特征^[1-4]。本文作为该项目的一部分,继续报道南亚热带常绿阔叶林 40 a 林龄的黄果厚壳桂、鼎湖钓樟群落植物主要营养元素 (P、K、Ca、Mg) 的分配和生物循环特征,为全球森林生物地球化学循环研究以及从养分循环角度进一步了解本地带代表性植被类型的生态学特征提供依据。

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 1 927 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^[5]。

研究样地位于保护区核心区三宝峰至庆云寺以北,海拔 200 m 的山坡上,坡向 SW 29°,坡度 26°。植物群落为黄果厚壳桂、鼎湖钓樟群落^[1,2]。该群落乔木层在 40 a 前曾经受人为砍伐影响,有部分植株是砍伐后萌生的,属多优势种群落。按优势度顺序是黄果厚壳桂、鼎湖钓樟、华润楠 (*Machilus chinensis*)、荷木、锥栗。群落种类丰富,结构复杂,成层现象明显 (垂直结构可分为六层),乔木层有三个亚层,此外,还有灌木层、草本苗木层和层间植物层 (主要为木质藤本植物)。土壤为发育于砂岩母质上的赤红壤, pH 4.3 左右,土层较深 (30-70 cm)^[1,2]。

1.2 样品采集

根据用样木收获法测定生物量的结果^[6],选取各层次中的主要植物种类,共选主要种类 15 种 45 株,其中乔木 6 种 18 株,灌木 6 种 18 株,草本 2 种 6 株,木质藤本 1 种 3 株。乔木层植物按根 (≤ 1 cm, > 1 cm 两级,但考虑到节省工作量原因选最大直径为 5 cm)、干、皮、枝、叶取样,分别组成混合样品。灌木、草本、藤本按叶、茎、根取样,分别组成混合样品^[2,4,6]。

1.3 实验室分析

所有样品在收集后立即在 60 °C 恒温箱烘至恒重。磨碎、过 0.15 mm 孔径的网筛和装瓶,以供化学分析用。每个样品在分析前分开两部分,一部分在 105 °C 烘至恒重,用来计算重量换算率 (60 °C/105 °C); 另一部分作营养元素含量分析。在植物样品用凯氏法消煮后, P 用钼磺比色法, K、Ca、Mg 用原子吸收分光光度法测定^[4,7,8]。本研究的全部结果以 105 °C 恒重为基准。

1.4 养分计算

根据 15 种主要植物各器官的生物量、年增长量及其养分元素含量计算相应植物的营养元素贮量和年积累量。其它次要种以其各器官的生物量、年增长量及同一层次主要植物的平均营养元素含量计算它们的营养元素贮量和年积累量。前后两项合计即为群落的营养元素贮量和年积累量^[2,4,7]。生物量和年增长量参照已有报道^[2,6]。根据已有报道的凋落物量及其元素含量计算群落营养元素的归还量^[2,7,9,10]。然后按下列公式计算群落营养元素的吸收量、利用系数、循环系数和周转期。吸收量 = 年积累量 + 归还量, 利用系数 = 吸收量 / 贮量, 循环系数 = 归还量 / 吸收量, 周转期 = 贮量 / 归还量^[2,7]。

2 结果

2.1 营养元素含量

叶片营养元素含量随层次分配的规律性不明显,但各层营养元素平均含量均以草本最高,并基本上以乔木最低 (表 1)。例如, K 元素各层平均含量大小顺序为: 草本 (1.337%) > 藤本 (1.002%) > 灌木 (0.649%) > 乔木 (0.563%)。植物不同组分 (器官) 间营养元素含量随层次和元素不同而异。灌木层植物所有元素含量均以叶最高,而且绝大部分元素以根最低。乔木层除 Ca 含量以皮最高外,其余元素含量也以叶最高但树干最低。草本层植物各

表1 鼎湖山黄果厚壳桂、鼎湖钓樟群落植物主要营养元素含量
(g kg⁻¹, 括号内为标准误差)

Table 1 Nutrient concentration in plants of *Cryptocarya concinna*/
Lindera chinii community in Dinghushan (g kg⁻¹, SE in parentheses)

组分 Plant organs	P	K	Ca	Mg
乔木层 Trees				
根 Roots	0.26 (0.07)	3.66 (0.62)	7.95 (1.94)	0.64 (0.15)
干 Trunk	0.20 (0.08)	2.70 (0.56)	3.68 (0.99)	0.14 (0.01)
皮 Barks	0.32 (0.06)	4.31 (0.72)	12.74 (2.22)	0.41 (0.07)
枝 Branches	0.36 (0.06)	6.99 (1.32)	7.31 (2.13)	0.38 (0.07)
叶 Leaves	0.88 (0.11)	10.47 (1.22)	8.71 (0.92)	1.20 (0.08)
平均 Mean	0.40 (0.08)	5.63 (0.89)	8.08 (1.64)	0.55 (0.08)
灌木层 Shrubs				
根 Roots	0.27 (0.06)	4.40 (0.45)	3.83 (0.62)	0.60 (0.15)
茎 Stems	0.29 (0.05)	5.33 (1.01)	4.02 (0.75)	0.60 (0.19)
枝 Branches	0.21 (0.06)	5.66 (0.58)	6.25 (1.03)	0.69 (0.27)
叶 Leaves	0.47 (0.05)	10.56 (1.30)	13.82 (1.95)	1.02 (0.19)
平均 Mean	0.31 (0.06)	6.49 (0.84)	6.98 (1.09)	0.73 (0.20)
草本层 Herbs				
根 Roots	0.34 (0.01)	11.95 (3.08)	4.88 (0.35)	1.28 (0.04)
茎 Stems	0.53 (0.11)	14.97 (1.40)	7.75 (2.93)	1.63 (0.05)
叶 Leaves	0.41 (0.04)	13.20 (3.04)	11.57 (4.28)	0.97 (0.56)
平均 Mean	0.43 (0.05)	13.37 (2.51)	8.07 (2.52)	1.29 (0.22)
藤本 Lianas				
根 Roots	0.71	8.54	2.20	0.83
茎 Stems	0.15	9.42	1.53	0.17
叶 Leaves	0.44	12.11	5.14	0.81
平均 Mean	0.433	10.023	2.96	0.60

元素含量基本上以茎最高,根最低。藤本层植物元素含量在各组分中分布的规律性不明显。不同营养元素含量比较,各组分均以P元素含量最低,其次为Mg,但最高则根据层次不同而异。例如,乔木层植物叶片各元素含量的大小序列为:K > Ca > Mg > P,灌木层植物叶片则为:Ca > K > Mg > P(表1)。可见,植物营养元素含量随层次、组分和元素不同而异。

2.2 营养元素贮量

本研究群落植物各营养元素贮量绝大部分集中在乔木层(94.3%–97.8%)。各元素贮量在不同层次中的分布序列均为:乔木 > 藤本 > 灌木 > 草本(表2)。然而,各层元素贮量占总贮量的百分比根据元素不同而异。例如,乔木层各元素占总贮量的百分比为(%) : P 97.16, K 95.16, Ca 97.84 和 Mg 94.33; 藤本层的百分比为(%) : P 1.91, K 3.63, Ca 1.33 和 Mg 4.08。

营养元素贮量在各组分中的分布根据层次和元素不同而异(表2)。在乔木层,营养元素贮量则主要集中在树干和枝条两个组分,占乔木层各元素贮量的百分比为(%) : P 55.7, K 61.7, Ca 54.3 和 Mg 38.6。营养元素贮量在乔木层植物各组分中的分布序列为: P 干 > 枝 > 叶 > 根 > 皮; K 枝 > 干 > 叶 > 根 > 皮; Ca 枝 > 干 > 根 > 叶 > 皮; Mg 根 > 叶 > 枝 > 干 > 皮。

同一组分各营养元素贮量比较,除了乔木层的根、干和皮表现为:Ca > K > Mg > P外,其余所有组分营养元素贮量的大小序列均为:K > Ca > Mg > P(表2)。

2.3 营养元素年积累量

与元素贮量变化相类似,群落植物各营养元素年积累量在不同层次中的分布序列也为:乔木 > 藤本 > 灌木 > 草本(表2),绝大部分集中在乔木层(90.8%–96.9%),但略低于贮量的百分比(94.3%–97.8%)。各层元素年积累量占总积累量的百分比亦根据元素不同而异。

在乔木层,营养元素年积累量主要集中在茎和枝条两个组分,占乔木层各元素年积累量的百分比为(%) : P 66.1, K 70.8, Ca 73.8 和 Mg 53.0(表2)。

同一组分各营养元素年积累量的分布与贮量也相类似。除了乔木层的根、茎和枝表现为:Ca > K > Mg > P外,其余所有组分营养元素年积累量的大小序列均为:K > Ca > Mg > P(表2)。

2.4 营养元素生物循环

本研究群落营养元素循环系数介于0.41–0.84之间(表3)。各元素循环系数大小序列为:Mg > P > K > Ca。周转期则相反,其序列为:Ca > K > P > Mg。可见,镁循环速度最快,利用效率最高;钙循环速度最慢,利用效率也最低。表3中各营养元素利用系数序列也反映了同样的结果。

3 讨论

本研究表明,群落植物营养元素的贮量为(kg hm⁻²) : P 61.3, K 928.8, Ca 1 212.8 和 Mg 79.3。据报道,附近相同林型400 a生群落的贮量为(kg hm⁻²) : P 79.8, K 1 227.2, Ca 2 648.2 和 Mg 129^④。可见,虽然林龄相差较大(40 a与400 a),但群落的营养元素贮量是成熟林的46%–77%。另外与同一地区66 a生的马尾松林比较,本群落营养元素贮量分别为马尾松林的(倍) : P 9.2, K 18.2, Ca 11.7,

表 2 鼎湖山黄果厚壳桂、鼎湖钓樟群落植物主要营养元素贮量和年积累量
Table 2 Nutrient standing stock and annual accumulation in *Cryptocarya concinna* / *Lindera chunii* community in Dinghushan

组分 Plant organs	贮量 (Standing stock)					年积累量 (Annual accumulation)				
	生物量 * Biomass (t hm ⁻²)	P	K	Ca	Mg	生物量 Biomass (t hm ⁻² a ⁻¹)	P	K	Ca	Mg
乔木层 Trees										
根 Roots	35.875	9.327	131.422	285.086	23.020	1.401	0.364	5.133	11.135	0.899
干 Wood**	85.601	16.978	231.266	315.298	11.842	3.785	0.984	13.267	31.080	1.038
皮 Barks	9.338	3.004	40.232	118.953	3.829					
枝 Branches	44.963	16.187	314.366	328.754	17.086	1.941	0.699	13.568	14.189	0.737
叶 Leaves	15.899	14.018	166.490	138.508	19.079	0.565	0.498	5.913	4.919	0.678
小计 Subtotal	191.676	59.513	883.776	1186.598	74.855	7.692	2.545	37.882	61.323	3.352
占总量百分比 Percentage of total (%)		97.16	95.16	97.84	94.33		95.05	91.17	96.86	90.76
灌木层 Shrubs										
根 Roots	0.486	0.132	2.138	1.860	0.291	0.020	0.005	0.089	0.077	0.012
茎 Stems	0.972	0.279	5.182	3.912	0.579	0.056	0.016	0.298	0.225	0.033
叶 Leaves	0.267	0.126	2.822	3.693	0.273	0.015	0.007	0.155	0.203	0.015
小计 Subtotal	1.726	0.536	10.142	9.465	1.142	0.091	0.028	0.543	0.506	0.060
占总量百分比 Percentage of total (%)		0.88	1.09	0.78	1.44		1.06	1.31	0.80	1.64
草本层 Herbs										
根 Roots	0.059	0.020	0.707	0.288	0.075	0.045	0.015	0.540	0.220	0.058
茎 Stems	0.013	0.007	0.189	0.098	0.020	0.101	0.053	1.510	0.781	0.164
叶 Leaves	0.021	0.008	0.270	0.237	0.020	0.024	0.010	0.315	0.277	0.023
小计 Subtotal	0.092	0.035	1.166	0.623	0.116	0.170	0.078	2.366	1.278	0.245
占总量百分比 Percentage of total (%)		0.06	0.13	0.05	0.15		2.91	5.69	2.02	6.62
藤本 Lianas										
根 Roots	0.321	0.109	3.835	1.564	0.409	0.015	0.011	0.130	0.033	0.013
茎 Stems	1.331	0.699	19.931	10.312	2.164	0.040	0.006	0.377	0.061	0.007
叶 Leaves	0.819	0.360	9.914	4.208	0.663	0.021	0.009	0.253	0.107	0.017
小计 Subtotal	2.471	1.168	33.680	16.084	3.236	0.076	0.026	0.760	0.202	0.036
占总量百分比 Percentage of total (%)		1.91	3.63	1.33	4.08		0.97	1.83	0.32	0.98
合计 Total		61.253	928.764	1212.771	79.349		2.677	41.550	63.309	3.693

* 引自张祝平等^[6] Cited from reference 6. ** 年积累量包括茎皮 Including stem barks for annual accumulation.

表 3 鼎湖山黄果厚壳桂、鼎湖钓樟群落主要营养元素的生物循环
Table 3 Biological cycle of nutrients in *Cryptocarya concinna* / *Lindera chunii* community in Dinghushan

	P	K	Ca	Mg
贮量 Storage (kg hm ⁻²)	59.51	883.78	1186.60	74.85
吸收量 Absorption (kg hm ⁻² a ⁻¹)	10.63	96.35	103.62	20.77
归还量 Return (kg hm ⁻² a ⁻¹)*	8.09	58.47	42.30	17.42
存留量 Retention (kg hm ⁻² a ⁻¹)	2.54	37.88	61.32	3.35
利用系数 Use coefficient	0.18	0.11	0.09	0.28
循环系数 Cycling coefficient	0.76	0.61	0.41	0.84
周转期 Recycling period (a)	7.36	15.12	28.05	4.30

* 凋落物营养元素含量引自翁轰等^[9], 凋落物量引自莫江明等^[2]和蚊伟民等^[10]。Data for nutrient concentration of litterfall were cited from reference 9, and for litterfall quantity from refernces 2 and 10.

Mg 4.8 [马尾松林营养元素贮量分别为 (kg hm⁻²): P 6.66, K 51.13, Ca 103.71 和 Mg 16.44^[7]], 这反映了本研究群落植物具有较高的营养元素存贮能力, 阔叶林在营养存贮方面显著优于马尾松林。

营养元素的生物循环是指营养由植物-凋落物-土壤-植物的流动过程。植物从土壤中吸收的营养元素, 一部分用于自身的生存发展, 另一部分主要通过凋落物形式回归到土壤。循环系数和周转期是反映这一生物循环的重要指标。循环系数大, 周转期短, 说明该元素归还快, 利用效率高^[7]。生长在林地肥力低的森林通常会形成某种机制 (如缩短周转期), 从而提

高其对有限养分的利用效率^[11,12]。群落植物营养元素通过凋落物的归还量占了植物年吸收量的大部分,尤其是Mg元素。可见,营养元素生物循环对群落的生长、生存和发展具有极其重要的作用。如能维持这一循环继续并正常进行,则群落的生长和发育将会持续下去。反之,这一循环遭到阻碍或破坏(如林冠层或地被物层受损),植物群落的生长和发育将受到抑制,生态系统也随之而退化。群落营养元素循环系数介于0.41-0.84之间,略高于成熟群落的循环系数(0.34-0.81)^[3]。然而,两群落中除了Mg元素外,其余三个元素的循环系数均较马尾松林的低。马尾松林四个元素的循环系数为:P 0.83, K 0.71, Ca 68, Mg 0.68^[7]。可见,本研究群落的营养利用效率较马尾松林低。Mg元素循环系数高的原因可能是由于鼎湖山南亚热带常绿阔叶林存在Mg供应不足现象引起^[4]。

然而,频繁的营养周转也会产生负面效应,即增加营养元素从生态系统流失的潜力(凋落物分解过程中养分淋溶)。因此本研究群落具有较高的营养元素存贮能力以及较长的周转期,对于位于南亚热带南缘,高温、多雨、潮湿等环境条件的南亚热带常绿阔叶林,防止营养流失及维持生态系统稳定和发展均具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] Mo J M, Brown S, Ding M M, et al. Nitrogen distribution in vegetation of a subtropical monsoon evergreen broadleaf forest in China [J]. *Tropics*, 1994, 3 (2): 143-153.
- [2] Mo J M (莫江明), Ding M M (丁明懋), Zhang Z P (张祝平), et al. Nitrogen accumulation and cycling in a monsoon evergreen broad-leaved forest—the *Cryptocarya concinna*, *Lindera chinii* community of Dinghushan [J]. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), 1994, 18 (2): 140-146. (in Chinese)
- [3] Yu Q F (余清发), Wen D Z (温达志), Zhang D Q (张德强). 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 chinese*, *Cryptocarya concinna* [A]. In: Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Vol. 8 [C]. Beijing: Meteorologic Press, 1998. 53-63. (in Chinese)*
- [4] Mo J M (莫江明), Zhang D Q (张德强), Huang Z L (黄忠良), et al. Distribution pattern of nutrient elements in plants of Dinghushan lower subtropical evergreen broad-leaved forest [J]. *J Trop Subtrop Bot* (热带亚热带植物学报), 2000, 8 (3): 198-206. (in Chinese)
- [5] Huang Z F (黄展帆), Fan Z G (范征广). The climate of Dinghushan [A]. In: *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Vol. 1 [C]. Guangzhou: Popular Science Press, 1982. 11-23. (in Chinese)*
- [6] Zhang Z P (张祝平), Ding M M (丁明懋), Shi G L (石国良), et al. Biomass of the *Cryptocarya concinna* community of Dinghushan [J]. *Ecol Sci* (生态科学), 1991, 18 (1): 8-11. (in Chinese)
- [7] Mo J M (莫江明), Brown S, Kong G H (孔国辉), et al. Nutrient distribution and cycling of a masson's pine planted forest in Dinghushan [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 1999, 19 (5): 635-640. (in Chinese)
- [8] Mo J M, Brown S, Lenart M, et al. Nutrient dynamics of a human-impacted pine forest in a MAB reserve of subtropical China [J]. *Biotropica*, 1995, 27 (3): 290-304.
- [9] Weng H (翁轰), Li Z A (李志安), Tu M Z (屠梦照), et al. The production and nutrient contents of litter in forests of Dinghushan mountain [J]. *Acta Phytocool Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), 1993, 17 (4): 299-304. (in Chinese)
- [10] Yi W M (蚁伟民), Ding M M (丁明懋), Zhang Z P (张祝平), et al. Litter mass and its nitrogen dynamics of *Cryptocarya concinna* community in the Dinghushan Biosphere Reserver [J]. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), 1994, 18 (3): 228-235. (in Chinese)
- [11] Brown S, Lenart M, Mo J M, et al. Structure and organic matter dynamics of a human-impacted pine forest in a MAB reserve of subtropical China [J]. *Biotropica*, 1995, 27 (3): 276-289.
- [12] Mo J M (莫江明), Kong G H (孔国辉), Brown S, et al. Litterfall responses to human impacts in a Dinghushan pine forest [J]. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), 2001, 25 (6): 656-664. (in Chinese)