

# 鼎湖山马尾松林降水再分配对养分动态影响

莫江明<sup>1</sup>, 方运霆<sup>1</sup>, 张德强<sup>1</sup>, 孔国辉<sup>1</sup>, 冯肇年<sup>2</sup>

(1. 中科院华南植物研究所鼎湖山森林生态系统定位研究站, 广东肇庆鼎湖, 526070;

2. 广东省肇庆市林业局, 广东肇庆 526040)

**摘要:** 在鼎湖山马尾松林中, 降水到达森林重新分配后, pH 值的大小变化顺序为: 茎流 > 径流 > 穿透雨 > 降水, 且它们均呈酸性。与 pH 值变化基本上相类似, 养分元素浓度在各过程中均以茎流最高, 降水最低。不同元素比较, 其大小次序为: Ca > N > Mg > P。Ca、P 和 Mg 三种元素浓度在各过程中的月变化较明显, 但 pH 值和 N 元素浓度的月际变化不强。该生态系统养分元素呈积累状态, 大气降水的养分输入为 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ): 20.629(N)、1.015(P)、46.332(Ca)、3.508(Mg); 输出为 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ): 7.120(N)、0.632(P)、23.640(Ca)、2.133(Mg)。此外, 还对该生态系统生物地球化学循环特征进行了讨论。

**关键词:** 鼎湖山; 马尾松林; 降水再分配; 养分动态

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2002)06-0529-05

## Effects of rainfall reallocation on nutrient dynamic of a pine forest in Dinghushan

MO Jiang-ming<sup>1</sup>, FANG Yun-ting<sup>1</sup>, ZHANG De-qiang<sup>1</sup>,  
KONG Guo-hui<sup>1</sup>, FENG Zhao-nian<sup>2</sup>

(1. Dinghushan Forest Ecosystem Research Station, South China Institute of Botany, Academia Sinica, Zhaoqing 526070, China; 2. Forestry Bureau of Zhaoqing City, Guangdong Province, Zhaoqing 526040, China)

**Abstract:** Effects of rainfall reallocation on nutrient dynamic of a pine forest in Dinghushan were studied using small catchment method during the period of 1997~1999. Results indicated that pH values were all acid and varied in the following order: stemflow > throughfall > runoff > rainfall. Similarly, nutrient concentrations in different processes showed the highest in stemflow and the lowest in rainfall. Comparing with different elements, their concentration order was: Ca > N > Mg > P. Monthly rhythm of nutrient concentrations was significant for Ca, P and Mg in all processes, but not for pH values and N. Nutrients in this ecosystem were accumulating, with nutrient input by rainfall ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ): 20.629(N), 1.015(P), 46.332(Ca), 3.508(Mg), and output via runoff ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ): 7.120(N), 0.632(P), 23.640(Ca), 2.133(Mg), respectively. The amount of nutrient leaching via stemflow and throughfall was ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ): 1.414(N), 0.531(P), 46.897(Ca), 1.057(Mg). The characteristic of biogeochemical cycling of this ecosystem was discussed in this paper

**Key words:** Dinghushan; *Pinus massoniana*; rainfall reallocation; nutrient dynamic

水分和养分循环以及能量流动是森林生态系统 基本功能过程。水作为养分的载体影响着整个养分

收稿日期: 2001-07-24

作者简介: 莫江明(1964-), 男, 广东肇庆人, 研究员, 主要从事生态系统生态学及自然保护区管理研究。

基金项目: 中科院知识创新项目(KZCX2-407); 国家自然科学基金重大基金(39899370); 中科院留学经费择优支持回国工作基金; 华南植物研究所所长基金(960808)资助。

生物地球化学循环过程,它们之间相互作用,密不可分。因此,研究水分循环过程中养分动态对于了解森林生态系统功能及生产力均具有重要的意义。马尾松(*Pinus massoniana*)是我国松属树种中分布最广的一种,也是我国亚热带东部湿润地区典型的针叶乡土树种。目前,马尾松林的面积和蓄积量均占全国针叶树种的首位,是我国南方最具代表性的森林类型之一<sup>[1,2]</sup>。然而,马尾松林水循环过程中养分动态的研究报道极少<sup>[3,4]</sup>。为此,我们1997年始对亚热带鼎湖山马尾松林水文学过程及其养分动态进行了三年的定位观测。本文为该项目的一部分,报道其降水再分配对养分动态的影响,为马尾松林生态系统的管理和生态效益评价提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样地概况

本研究在鼎湖山自然保护区进行。保护区位于广东省中部,112°33' E, 23°10' N,总面积为1 155 hm<sup>2</sup>,其中约10%为马尾松林所覆盖。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>[5]</sup>。

研究样地位于保护区东南角过渡区马尾松林里,其马尾松是为恢复退化地而人工种植。样地的坡度在26.5°~34.5°之间,平均为30°,海拔高度50~250 m。森林以马尾松为主,还有少量的大叶桉(*Eucalyptus robusta*)。10 a以前,由于允许当地农民收割林下层和凋落物作薪柴,导致目前马尾松林密度较低,平均为700株·hm<sup>-2</sup>。平均高度为11.38 m,平均胸径15.4 cm,平均年龄40 a。林冠稀疏但林下层的灌木、草本、蕨类植物较稠密。林下植物以桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、芒萁(*Dicranopteris linearis*)等为主。样地的母岩为沙岩。土壤为砖红壤性红壤,pH值介于4.5~5.0之间,土层较浅(20~30 cm)<sup>[2]</sup>。

### 1.2 方法

本研究采用集水区法,集水区面积为1.85 hm<sup>2</sup>。其边界依据自然分水岭,在收口处则建有挡水墙。在集水区内林冠上方支起两个雨量筒,测定大气降水(每日8:00测量),另放置一只自计雨量

计,以记录和测定降水时间、强度和降水过程。树干茎流采用按径级法选测株,加权求算各径级和林分的树干茎流。根据样地林木调查结果,在样地选择20株各径级的样木,在这些样木茎干上用剖开的聚乙烯管环绕,与水平面呈30°角。为了防止漏水,管与树干空隙用橡皮泥密封。再用胶管引出至密封口的容器,雨后测量。在马尾松林里按不同坡向坡位设置15个承接穿透雨装置,雨后及时收集测定穿透雨量。在集水区出口处安置自计水位计记录,测定径流输出(包括地表径流和地下径流)。

1997年始旱季在雨后,雨季则每星期各取一次水样进行酸度和N、P、Ca、Mg等养分元素含量的分析。每种养分浓度和pH的月平均值则是三年中相同月份数值的平均值。pH用酸度计测定,氮的分析用开氏法消煮后维氏卡分析仪定氮。磷的浓度用钼锑抗比色法,其它营养元素浓度则用原子吸收光谱法分析。因实验操作原因,K元素在此未作报道。

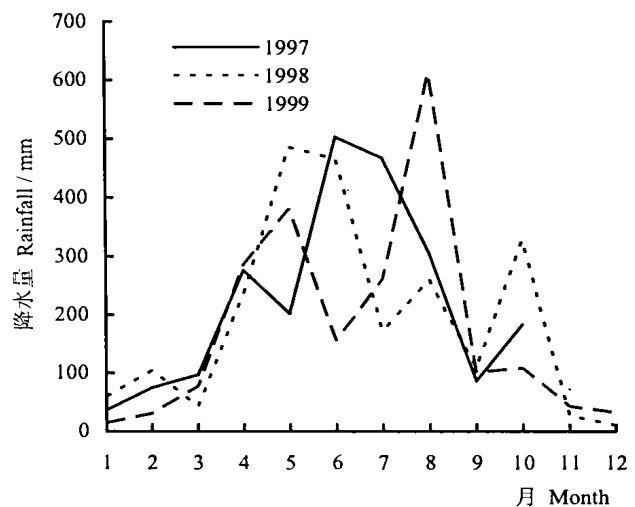


图1 鼎湖山马尾松林1997~1999年林外降水月分配格局  
Fig. 1 Patterns of rainfall in a pine forest of Dinghushan(1997~1999 year)

## 2 结果与分析

### 2.1 林外降水和马尾松林生态系统的水量平衡

林外降水具有明显的年际和季节变化特点。年均降水量为2 209.9 mm,变异系数为2.8%。其中83.8%~84.5%的降水集中在春夏两季,而秋冬两季仅占15.5%~16.2%。其季节变化大小顺序为:夏(48.9%~57.7%)>春(26.0%~35.4%)>秋(7.6%~12.0%)>冬(3.7%~7.9%)。就月际变

化而言,降水高峰期在 5~8 月份,这 3 个月的降水量占了全年的 66.9%~71.9%,而 11、12 月极少降水(<3.6%),甚至点滴未下(图 1),可见降水的月际变化非常悬殊。

根据实地观测和统计,采用森林水分平衡法将降水作为收入,蒸发散和径流的损失作为支出(其中蒸发散包括林地、植物表面、单纯物理蒸发和植物生理蒸腾),将马尾松林水量平衡结果列于表 1。从表 1 可见,降水到达林冠进行重新分配后,穿透雨占 82.7%,林冠截留 17.2%,树干流 0.15%。降水通

过林分后,34%通过径流形式流出,其余 66%通过蒸发散形式返回大气层。

## 2.2 降水重新分配过程中 pH 值、养分浓度的变化

降水到达森林后,在林冠、树干、林下植物及土壤层等各组中发生重新分配,在此过程中,pH 值发生明显变化(表 2)。各过程的 pH 值大小变化顺序为:茎流>径流>穿透雨>降水。虽然 pH 值在各过程中的大小不一样,但它们均呈酸性,而且以降水的酸性最强。可见,本研究样地酸雨较严重以及马尾松林对酸雨具有一定缓解作用。

表 1 鼎湖山马尾松林水量平衡(1997~1999)

Table 1 The water balance of a pine forest in Dinghushan(1997~1999)

降水量 Rainfall	穿透雨 Throughfall		林冠截留 Interception		树干流 Stemflow		径流 Runoff		蒸发散 Evapotranspiration	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
2 209.9	1 826.9	82.67	379.6	17.18	3.37	0.15	751.4	34.00	1 458.5	66.00

表 2 马尾松林降水重新分配过程中 H 值及养分元素浓度<sup>1)</sup>

Table 2 pH and nutrient concentrations in different processes of rainfall redistribution of a pine forest<sup>1)</sup>

项目 Items	pH	N (mg/L)	P (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)
林外雨 Rainfall	5.438(0.194)	0.935(0.185)	0.046(0.028)	2.100(1.374)	0.159(0.196)
穿透雨 Throughfall	5.603(0.330)	1.012(0.290)	0.075(0.039)	4.641(3.572)	0.216(0.142)
树干茎流 Stemflow	6.052(0.156)	1.233(0.264)	0.084(0.050)	18.636(7.299)	0.679(0.303)
径流 Runoff	5.900(0.475)	0.958(0.476)	0.085(0.077)	3.181(4.089)	0.287(0.284)

<sup>1)</sup> 括号内为标准差 <sup>2)</sup> S. E. in parentheses

与 pH 值变化基本上相类似,养分元素浓度在各过程中的变化均以茎流最高,降水最低(表 2)。然而,元素浓度在各过程中变化程度根据元素不同而异,其变幅大小次序为:Ca>Mg>P>N。Ca 元素浓度最高(树干茎流)与最低(林外雨)的比值为 8.87,N 元素浓度仅为 1.30,说明了降水对 Ca 元素的淋溶力最强,对 N 元素则最弱。不同元素浓度在各过程中的大小次序均为:Ca>N>Mg>P。

## 2.3 降水与 pH 值、养分浓度的月变化动态

图 2 可见,各过程 pH 值基本上以 3 月份相对较高及月际变化不大。林外降水 pH 值在 5.25~5.71 间波动,树干茎流和穿透雨在全年基本上高于林外雨,总体上起伏甚微,但径流的 pH 值变异稍大些。元素 N 的变化与 pH 的月际变化相类似,也缺乏明显的规律性。元素 Ca、P 和 Mg 浓度变化规律性则较强,各过程均呈现“U”形状变化。其原因可能是:在冬季受降水少而树木吸附较多养分和春季初期树木开始生长养分浓度较高,在夏季和初秋受降水稀释效应(5、6、8 月份为降水高峰期,图 1)浓度

相对较低。

## 2.4 生态系统养分平衡

马尾松林生态系统从大气降水获得的养分(元素 N、P、Ca、Mg)总量为 71.484 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,其中以元素 Ca 贡献最大,占总量的 64.49%,其次是元素 N,占 28.72%,元素 P、Mg 占的份量极低,仅为 1.4 和 4.9%。通过径流的养分输出总量为 33.525 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,其中还是以元素 Ca 贡献最大,占总量的 70.52%,其余依次为 21.24%(N)、6.36%(Mg)、1.88%(P)。养分输出和输入相抵,生态系统各养分均出现净积累,总量为 37.96 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,其中元素 Ca 和 N 占 59.78%和 35.59%(表 3)。

## 3 讨论

### 3.1 穿透雨和树干茎流对养分淋洗生态功能

本研究结果表明,鼎湖山马尾松林的穿透雨和树干茎流养分淋洗量(kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>)为 1.414(N)、

表 3 鼎湖山马尾松林生态系统养分平衡表<sup>1)</sup>  
Table 3 Nutrient balance of a pine forest ecosystem in Dinghushan<sup>1)</sup>

项目 Items	N (kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	P (kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	Ca (kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	Mg (kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	合计 Total (kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )
降水输入 Input by rainfall	20.629(0.036)	1.015(0.002)	46.332(0.080)	3.508(0.006)	71.484(0.124)
径流输出 Output via runoff	7.120(0.501)	0.632(0.044)	23.640(1.665)	2.133(0.150)	33.525(2.361)
养分平衡 Nutrient balance	13.509(0.537)	0.383(0.046)	22.692(1.745)	1.375(0.156)	37.96(2.485)

<sup>1)</sup> 括号内为标准差 <sup>1)</sup> S. E. in parentheses

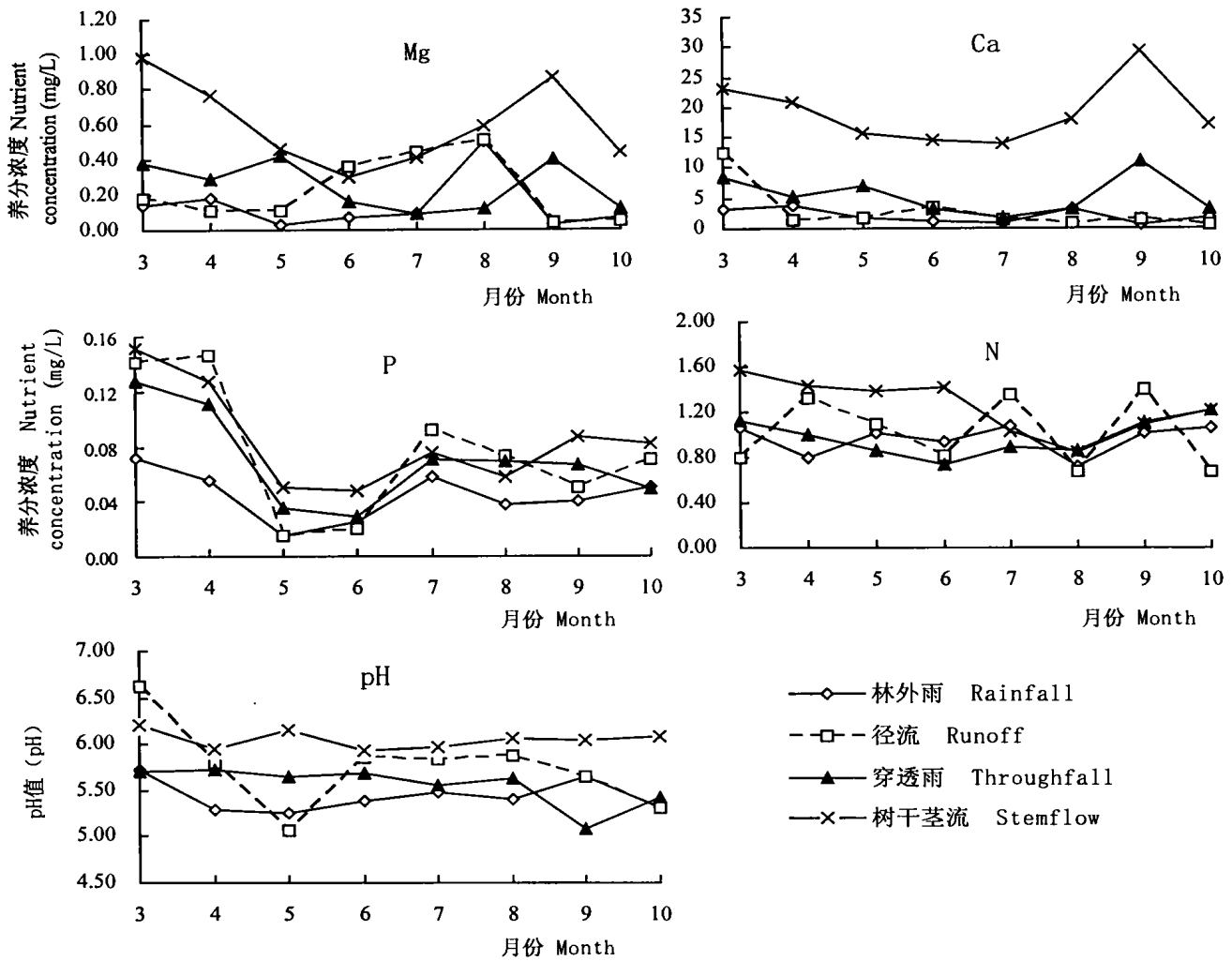


图 2 pH 值、养分浓度的月变化  
Fig. 2 The monthly rhythm of pH and nutrient concentrations

0.531(P)、46.897(Ca)、1.057(Mg), 占了大气降水各元素养分输入的 6.8%、52.3%、101.22% 和 30.13%(表 3)。与浙江淳安马尾松林的养分淋洗量(12.52(N)、0.07(P)、46.53(Ca)、25.93(Mg) kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>)比较,除了 N、Mg 较低以及 Ca 相当外, P 则较高。然而,与江西分宜马尾松林比较,其 P、Ca、Mg 淋洗量均高于江西分宜马尾松林(0.117(P)、1.544(Ca)、0.566(Mg) kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>)<sup>[4]</sup>。

可见,本研究样地的养分淋洗量比较高,尤其是 Ca 元素,它的输入与降水输入相当,且高于以上两个马尾松林的 Ca 淋洗量。其原因可能是由于马尾松林样地处在保护区外围,与铁路、公路和附近农田距离较近,马尾松林植物体表面吸附尘埃引起。因为雨水对林冠的淋洗物是水溶性,不需经过复杂的分解便可被植物吸收和利用,加速了养分循环,因此高比例的养分淋洗对于生长在土壤营养较贫瘠的马尾松

林生态系统养分自循环有着重要的现实意义。

### 3.2 养分地球化学循环特征

森林生态系统的地球化学循环是一个开放式的循环过程,通过系统的养分输入和输出,以净变化值可以直接反映系统对养分的贮存能力。一般来说,森林生态系统处于稳定状态时,系统的养分输入和输出基本平衡,当养分输入大于养分输出时,系统处在发展阶段,其养分的存贮能力也强<sup>[7,8]</sup>。从本文研究结果看,马尾松林元素 N、P、Ca、Mg 流失率依次为 0.345、0.622、0.510、0.608,降水输入养分总量有 46.9% 通过径流流失(表 3)。此值低于浙江淳安马尾松林养分流失率(N、P、Ca、Mg 流失率依次

2.852、0.106、0.643、0.937),也低于同一地区季风常绿阔叶林的养分流失率(0.803、0.436、0.465、1.535)<sup>[3,9]</sup>。由此可以推断,本研究马尾松林生态系统有较强的养分积累能力。

### 3.3 养分生物地球化学循环特征

养分的生物地球化学循环,即物质从环境到生物然后再回到环境中去的过程,是生态学的一个重要的部分。研究其特征,理论上有助于对生态学的理解,实践上可为森林的经营管理提供理论指导。笔者曾对该马尾松林养分的生物循环做过研究<sup>[2]</sup>,现把该系统地球化学循环和生物循环结合起来探讨其生物地球化学循环特征。

表 4 马尾松林养分元素生物地球化学循环

Table 4 Biogeochemical cycling in pine forest ecosystem in Dinghushan

循环过程 Processes of cycling	N (kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	P (kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	Ca (kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	Mg (kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	合计 Total (kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )
大气降水输入 Input by rainfall	20.629	1.015	46.332	3.508	71.484
穿透雨 Throughfall	1.407	0.530	46.422	1.041	49.400
树干茎流 Stemflow	0.008	0.001	0.476	0.016	0.501
淋洗 Leaching by throughfall and stemflow	1.414	0.531	46.897	1.057	49.899
植物吸收 <sup>1)</sup> Plant absorption	20.760	0.580	8.400	1.250	30.990
凋落物归还 <sup>1)</sup> Return by litters	17.130	0.480	5.680	0.850	24.140
植物存留 <sup>1)</sup> Plant retention	3.630	0.100	2.720	0.400	6.850
径流输出 Output via runoff	7.120	0.632	23.640	2.133	33.525
生态系统净积累 Accumulation of ecosystem	13.509	0.383	22.692	1.375	37.959
土壤获得 Input to soil	39.173	2.0269	8.909	5.415	145.523
土壤转出 Output from soil	27.880	1.212	32.040	3.383	64.515
土壤净积累 Accumulation of soil	11.293	0.814	66.869	2.032	81.008

<sup>1)</sup> 数据引自莫江明等(1999) Data from Mo Jiangming, et al. (1999)<sup>[2]</sup>

从表 4 可见,从降水输入的养分分别是凋落物归还的 1.204(N)、2.114(P)、8.157(Ca)、4.127(Mg)倍,占土壤养分收入的 46.84%~64.78%。可见,大气降水中养分输入的重要性。此外,生态系统养分地化循环净变化为 37.959 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,是生物循环净变化(6.850 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>)的 5 倍多。其中以元素 Ca 表现得尤为明显,其它元素也不同程度的表现生物地球化学循环强度大于生物循环。说明了土壤有更多的养分积累以及土壤肥力在不断提高。可见,马尾松林在退化地里作为先锋树种,不仅为其它树种的侵入提供了屏蔽,而且改善了土壤,为维持更大的生产力提供了养分支持。

黄忠良、张佑昌和莫定升等同志参加部分野外工作,在此一并致谢!

### 参考文献:

[1] Mo J M, Brown S, Lenart M, et al. Nutrient dy-

namics of a human-impacted pine forest in a MAB Reserve of subtropical China[J]. *Biotropica*, 1995, 27(3): 290-304.

[2] 莫江明, Sandra Brown, 孔国辉, 等. 鼎湖山马尾松林营养元素的分布和生物循环特征[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 636-640.

[3] 马雪华. 在杉木林和马尾松林雨水的养分淋溶作用[J]. 生态学报, 1989, 9(1): 15-20.

[4] 马雪华, 杨茂瑞, 望建军, 等. 亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究[J]. 林业科学, 1993, 29(3): 199-206.

[5] 黄展帆, 范征广. 鼎湖山的气候[A]. 见: 热带亚热带森林生态系统研究编辑. 热带亚热带森林生态系统研究(第一集)[M]. 广州: 科学普及出版社, 1982. 11-23.

[6] 柴锡周, 周重光, 俞似军, 等. 常绿阔叶林中雨水养分淋溶研究[A]. 见: 蒋有绪. 中国森林生态系统结(下转第 536 页 Continue on page 536)

环氧形成 Z; Z 在玉米黄质环氧化酶(Zeaxanthin epoxidase)的作用下环氧化又可以形成 A, 再进一步环氧化形成 V。作为衡量耗散过量光能大小的 qN 与叶黄素循环有密切的联系, Demmig-Adams 等证明叶黄素循环与类囊体膜的能量化一起调节能量耗散过程, 叶绿素荧光参数 qN 与叶黄素循环的 Z 呈正比关系<sup>[7~9]</sup>。DTT 是叶黄素循环的抑制剂<sup>[9]</sup>, 用 DTT 处理对照和 ABA 处理的水稻幼苗叶片后再进行高光处理, 发现两者之间的 Fv/Fm 没有重要的差别。这间接表明 ABA 提高水稻幼苗抗光抑制的能力与叶黄素循环密切相关, 至于其具体的作用位点有待进一步实验证明。

#### 参考文献:

- [1] Chen T H H, Gusta L V. Abscisic acid-induced freezing resistance in cultured plant cells[J]. *Plant Physiol.*, 1983, **73**: 71—75.
- [2] Kahn T L, Fender S E, Bray E A, et al. Characterization of expression drought and abscisic acid-regulated tomato genes in the drought-resistant species *Lycopersicon pennellii* [J]. *Plant Physiol.*, 1993, **103**: 597—605.
- [3] Xin Z, Li P H. Relationship between proline and abscisic acid in the induction of chilling tolerance in maize suspension-cultured cells[J]. *Plant Physiol.*, 1993, **103**: 607—613.
- [4] Larosa P C, Handa A K, Hasegawa P M, et al. Abscisic acid accelerates adaptation of cultured tobacco cells to salt[J]. *Plant Physiol.*, 1985, **79**: 287—292.
- [5] Ivanov A G, Kitchev M A, Christov A M, et al. Effects of abscisic acid treatment on the thermostability of the photosynthetic apparatus in barley chloroplasts[J]. *Plant Physiol.*, 1992, **98**: 1 228—1 232.
- [6] Schreiber U, Schliwa U, Bilger W. Continuous recording of photo→ chemical and non-photo→ chemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer[J]. *Photosyn Res*, 1986, **10**: 51—62.
- [7] Gilmore A M, Yamamoto H Y. Linear models relating xanthophylls and lumen acidity to non-photochemical fluorescence quenching, Evidence that antheraxanthin explains zeaxanthin independent quenching[J]. *Photosynth Res*, 1993, **35**: 67—78.
- [8] Demmig-Adams B. Carotenoids and photoprotection in plants: A role for the xanthophyll zeaxanthin[J]. *Biochem Biophys Acta*, 1990, **1 020**: 1—24.
- [9] Demmig-Adams B, Adams W WIII, Heber U, et al. Inhibition of zeaxanthin formation and of rapid changes in radiationless energy dissipation by dithiothreitol in spinach leaves and chloroplasts [J]. *Plant Physiol.*, 1990, **92**: 293—301.

(上接第 533 页 Continue from page 533)

- 构和功能研究[M]. 北京: 林业出版社, 1996. 133—138.
- [7] 李凌浩. 武夷山甜槠林生态系统的养分平衡研究[J]. *植物生态学报*, 1998, **22**(3): 193—201.
- [8] 刘世荣. 兴安落叶松人工林生态系统营养元素生物地球化学循环特征[J]. *生态学杂志*, 1992, **11**(5): 1—6.
- [9] 黄忠良, 孔国辉, 余清发, 等. 南亚热带季风常绿阔叶林水文功能及其养分动态的研究[J]. *植物生态学报*, 2000, **24**(2): 157—161.