

# 湖南省大嵊山大气污染与杉木衰亡的关系

李寒娥 \*

朱忠保

(佛山大学, 广东佛山 528000) (中南林学院, 湖南株洲 412006)

**摘要** 对湖南省大嵊山杉木衰亡现象进行了探讨。内容包括大气环境质量监测、杉木叶片叶绿素含量、钾离子外渗率、电解质外渗率、杉木叶片含硫量、杉木叶全N、P、K、Ca、Mg、杉木生长量的测定、树干解析。研究表明, 大嵊山大气污染严重, 研究地的大气综合污染指数对照区Site 3为1, 污染监测区Site 1和Site 2分别为2.65和1.80。杉木叶片钾离子外渗率、电解质外渗率、全S含量、全N含量为大嵊山污染区>对照区; 而P、K、Ca、Mg元素含量为对照区>污染区。而且杉木叶片含硫量与大气SO<sub>2</sub>之间存在较好的相关性, 冬季二者的相关公式为:  $Y = 1.3657 + 25.8146X$  ( $r = 0.6319$ ,  $p < 0.05$ ), 分析认为: 大气污染是大嵊山杉木衰亡的重要原因之一。

**关键词** 杉木衰亡 大气污染 树干解析 营养元素 生理特性

## RELATIONSHIP BETWEEN AIR POLLUTION AND THE DECLINE OF CUNNINGHAMIA LANCEOLATA (LAMB.) HOOK. IN DASHENG MOUNTAIN, HUNAN

LI Han-E \*

ZHU Zhong-Bao

(Foshan University, Foshan Guangdong 528000) (Central South Forest College, Hunan 412006)

**Abstract** The present paper deals with the declining of *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. Based on the analysis of air monitor, chlorophyll, K<sup>+</sup> efflux, electric conductivity of leachate from the leaves, nutrient elements such as N, P, K, Ca, Mg and total sulfur content in the leaves, and tree stem analysis. The result indicates that the chlorophyll, P, K, Ca, Mg of *C. lanceolata* and its growth yield in the controlled zone were larger than that in the air polluted zone. However K<sup>+</sup> and electrolyte of the leachate from the leaves of *C. lanceolata* effused in greater number through the membrane than that in the controlled zone. The total sulfur and nitrogen content had been accumulated in the leaves of *C. lanceolata* in Dasheng Mountain.

**Key words** *Cunninghamia lanceolata*, Air pollution, Tree stem analysis, Nutrient element, Physiological metabolism

关于大气污染对植物生长的影响, 国内外已进行了大量的研究。其研究方法主要包括野外调查法和模拟熏气实验法。用野外调查法研究大气污染与植物生长之间的关系, 最多的是大气污染物浓度与污染区植物叶片中某种相对应污染元素含量之间的相关性研

本文于1998-04-13收稿, 1999-05-24收到修改稿。

本课题在研究过程中, 得到湖南省环境保护局总工程师曾北危研究员的热诚帮助, 南海市环境保护局工程师唐建华先生协助作图, 作者在此表示衷心感谢。

\* 李寒娥现为华南农业大学在职博士研究生 In-job doctoral student, South China Agricultural University

究,如大气  $\text{SO}_2$  与植物叶片含硫量之间的相关性(Raitio *et al.*, 1995; 潘如圭等, 1987)及大气氟污染与植物叶片含氟量的相关关系(敦婉如等, 1990)。而要探明大气污染对植物生长影响的机理或植物抗大气污染性能的大小,则通常采用模拟熏气实验法,如有人采用封顶式熏气箱进行植物对氯气的反应和抗性研究(孔国辉等, 1984)。国外则主要采用开顶式熏气箱进行模拟实验(Murray & Wilson, 1988)。

大气污染带来的一个最为明显的生态环境问题是大气污染对森林衰亡的影响,这方面研究在国外较多,如美国的 Smith(1981)系统地总结了大气污染物分别在低剂量污染、中剂量污染、高剂量污染等条件下,森林生态系统中发生的各种变化。Pearce(1986)认为欧洲森林的奇异死亡与酸雨有关。

在我国,余叔文等(1990)和严昌荣等(1996)曾先后分别就重庆南山马尾松衰亡及湖南大嵊山马尾松衰亡与大气污染的关系进行了研究,研究认为马尾松衰亡与大气污染关系密切。张万国等(1980)则通过野外调查和模拟熏气实验相结合的方法,探讨了威远气田硫的大气污染对桐、茶等植物的影响。

杉木是我国特有的优良速生树种,以分布广,生长快,材质优良,用途广泛,更新容易等特点而驰名中外,因此,国内研究杉木尤其是人工杉木林的生长情况的报道很多,如潘维伟等(1989)对亚热带人工林生态系统水文学过程和养分动态的研究。但大气污染对杉木生长的影响尚未见报导。本研究通过污染区大气污染监测与杉木若干生态生理指标的测定,探讨大气污染对杉木衰亡的影响,对了解杉木生长与污染因子间的相互关系,拯救当地杉木林而采取有效防治大气污染措施等方面具有重要的理论和实践意义。

## 1 研究地概况

研究地大嵊山位于北纬  $27^{\circ}42'$ ,东经  $111^{\circ}35'$ ,在湖南省冷水江市市郊,毗邻某氮肥厂。海拔高度 209.5~685.5m。气候属大陆性较强的亚热带季风气候,年均温  $16.8^{\circ}\text{C}$ ,年均日照 1410.4h,无霜期 279d,年均降雨量 1380~1500mm。土壤为红壤。在此环境条件下,该地生长着大片杉木,少量的马尾松和楠木。据调查,该地附近的某氮肥厂建成投产后,大嵊山杉木出现日益衰亡的现象,从零星死亡发展到成片死亡,受害面积占总林地面积的 54.1%。现在杉木衰亡现象仍在继续,海拔 350m 以下的迎污染源方向,整片林地的杉木叶片大部分枯萎。

## 2 研究方法

### 2.1 研究地点

根据杉木林地距某氮肥厂的远近及杉木受害严重的程度,在污染区设置两个监测点为 Site 1 和 Site 2,其中 Site 1 位于里福,离厂址较近,杉木受害较严重,Site 2 位于球溪,离厂址较远,杉木受害较轻。另设一对照点 Site 3 在双星,其所在位置的气候、土壤条件,杉木年龄等与大嵊山的基本一致,远离污染源,杉木生长良好。

### 2.2 大气环境质量监测

一年分春夏秋冬四季同时在 3 个监测点采集并测定  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{NH}_3$  等污染气体样

品。 $\text{SO}_2$  用盐酸副玫瑰苯胺比色法,  $\text{NH}_3$  用纳氏试剂比色法,  $\text{NO}_x$  用盐酸萘二乙胺比色法测定。其分析方法均按全国统一的《环境监测分析方法》进行。

### 2.3 杉木生长量研究

于每个监测点所在地区, 选定一个标准地, 样地面积  $0.065\text{hm}^2$ , 选取并砍伐平均木, 测定其当年生枝长, 进行树干解析。

### 2.4 杉木叶片营养元素含量分析

在进行大气环境监测的同时, 在每个监测点所在的地区随机选取 9 棵杉木, 于树冠中部按东南西北 4 个方位, 各选取一当年生枝条, 每次在这几个部位分别采样, 采集鲜重约 300g, 用大量自来水冲洗其上附着的污染物, 再以蒸馏水淋洗 3 遍, 烘干后粉碎成供试样品, 置于干燥器内备用。全 K 用上海分析仪器厂生产的 6400 型火焰光度计测定, 全 N 用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消煮, 苯酚次氯酸盐比色法, 全 P 用钼锑抗比色法, 全 Ca 和全 Mg 用北京第二光学仪器厂生产的 WFX-1E2 型原子吸收分光光度计测定。

### 2.5 杉木衰亡生物学特性研究

在进行大气监测的同时, 于衰弱树木的当年生和二年生枝条上采集杉木叶片, 放入盛有冰块的冰壶带回实验室, 洗净后, 立即测定叶片的叶绿素含量、钾离子外渗率和电解质外渗率。叶绿素用 Aron 法测定, 钾离子用 6400 型火焰光度计测定, 电解质外渗率用 DOS-11A 电导仪测定。

## 3 结果与讨论

### 3.1 大嵊山大气污染现状

大嵊山全年的大气污染物测定结果为:  $\text{SO}_2$  浓度为  $0.020\sim0.356\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $\text{NO}_x$  浓度为  $0.023\sim0.238\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $\text{NH}_3$  为  $0.307\sim1.732\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。对各监测点的监测数据进行综合分析评价, 拟采用大气污染综合指数  $P = \sum W_i \cdot P_i$ , 这里,  $i = 1, 2, 3$ ,  $P_i = C_i / S_i$ ,  $C_i$  为第  $i$  种污染物的浓度( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-3}$ ),  $S_i$  为第  $i$  种污染物评价标准( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-3}$ ),  $W_i$  为某一监

表 1 大嵊山污染区与相对清洁区大气污染指数比较

Table 1 Comparison of air pollution index between polluted site and relatively clean site in Dasheng Mountain

大气污染物指数 Index of air pollution	点 1 Site 1	点 2 Site 2	点 3 Site 3
$P_{\text{SO}_2}$	1.000	0.510	0.258
$P_{\text{NO}_x}$	1.000	0.251	0.144
$P_{\text{NH}_3}$	1.000	0.075	0.042
$P$	1.000	0.836	0.444

测点上某一污染物的权重值(赵勇等, 1994; 宋永昌等, 1988)。本文根据  $P_i$  的计算结果并参考环境质量评价方法, 确定  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{NH}_3$  的权重分别为 0.6、0.3、0.1。计算结果表明(见表 1), 无论是单一污染物指数  $P_i$  还是综合污染指数  $P$  均为 Site 1 > Site 2 > Site 3, 说明离污染源越近, 污染越严重。

### 3.2 大嵊山杉木生长量与大气污染的关系

在 3 个监测点的每块标准地中, 对均为 20 年生的 3 棵平均木, 进行当年生枝梢长的测定及树干解析, 测定结果列于表 2。

从表 2 可以看出, 杉木平均木当年生枝梢长、胸径、树高、材积等均一致地表现为 Site

表 2 大嵊山 20 年生杉木平均木生长量

Table 2 Growth amount of 20-year-old *Cunninghamia lanceolata* in Dasheng Mountain

监测点 Monitoring site	当年生枝梢长(cm) Branch length	树高(m) Tree height	胸径(cm) DBH	材积( $m^3$ ) Volume
Site 1	11.85	7.90	6.80	0.0191
Site 2	14.37	7.70	10.20	0.0279
Site 3	16.17	11.40	13.90	0.0594

1< Site 2< Site 3, 该研究结果表明大气污染物浓度与杉木生长量成负相关。为探明杉木生长与环境关系的历史背景,对 Site 1 重污染区的标准木与对照点 Site 3 的标准木进行了树干解析。其纵剖面图见图 1。

由图 1 可知,在气候、土壤条件基本一致的条件下,杉木生长前 4 年生长量比较接近,之后,污染区 1 的杉木平均木的胸径生长及高生长均不及对照区的杉木平均木。这一研究结果与刘厚田等(1988)对重灾区衰亡的马尾松的树干解析结论基本一致。用树木年轮指示过去年代大气污染变化的情况,通常采用测定各年轮中相应的污染物含量来推断(蒋高明,1994)。

### 3.3 大嵊山杉木叶片叶绿素含量与大气污染

叶绿体是植物进行光合作用的场所,其叶绿素含量的变化直接影响到植物的生长量。本次研究结果显示,杉木叶片叶绿

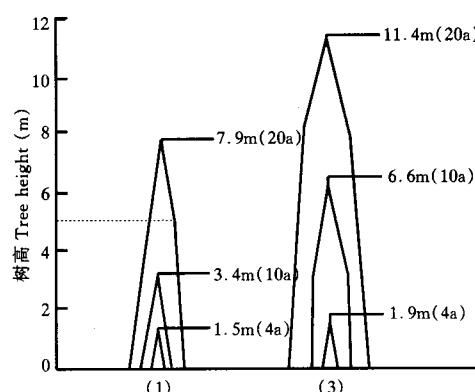


图 1 污染点(1)和对照点(3)标准地杉木树干解析纵剖面图比较

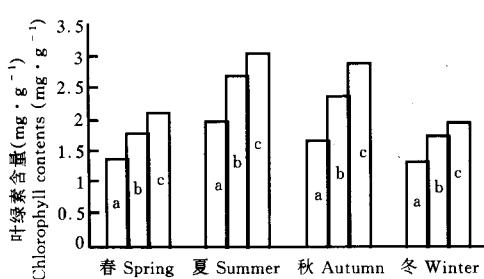
Fig. 1 Comparison of tree stem analysis of *Cunninghamia lanceolata* between controlled site (3) and polluted site (1)

图 2 不同季节、地点杉木叶片叶绿素含量比较

Fig. 2 Chlorophyll content of *Cunninghamia lanceolata* changed with the season and site  
a: 1 监测区 site b: 2 监测区 site c: 3 监测区 site

素含量随时间和杉木距污染源的距离而变,如图 2 所示,同季度所采的杉木叶片中,其叶绿素含量表现为 Site 3>Site 2>Site 1。一年之内,污染区当年生杉木叶片叶绿素含量,从春季到夏季,其含量递增,冬季降至最低。总的变化趋势是:叶绿素含量在冬季和春季两季较低,夏秋两季较高。

叶绿素 a/b 值是常用来表示植物对逆境条件反应的一个重要指标,将不同季节和不同污染监测点的杉木叶片叶绿素 a/b 值的平均

值列于表 3。从表 3 可以看出,杉木叶片叶绿素 a/b 值从春季至秋季逐渐升高,之后便逐渐减少。污染区的杉木叶片叶绿素 a/b 值普遍高于对照区的杉木叶片叶绿素 a/b 值。刘燕云等(1989)研究表明,一般正常生长的植物暴露于 SO<sub>2</sub> 时,SO<sub>2</sub> 浓度越高,a/b 值下降越快,叶绿素 a 的破坏快于叶绿素 b。本研究点的 SO<sub>2</sub> 为 Site 1>Site 2, 对应的杉木叶叶

绿素 a/b 值是 Site 2 > Site 1。本次野外研究结果与刘燕云等(1989)的室内模拟研究结论一致。

表 3 不同季节、不同污染监测点杉木叶片叶绿素 a/b 值

Table 3 Chlorophyll a/b value of *Cunninghamia lanceolata* leaves in Dasheng mountain

监测点 Monitoring stite	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
点 1 Site 1	0.610	0.8549	1.110	0.979
点 2 Site 2	0.721	0.8972	1.150	1.030
点 3 Site 3	0.938	0.9388	1.717	1.305

### 3.4 大嵊山杉木叶片钾离子外渗率和电解质外渗率与大气污染的关系

叶片钾离子外渗率与电解质外渗率常被用作揭示植物体在外界逆境条件下的生理特性指标。本研究对污染区和对照区采集的杉木叶片的钾离子外渗率和电解质外渗率进行了测定，将其平均值列于表 4。结果表明，无论

是一年生还是二年生杉木叶片，其钾离子外渗率和电解质外渗率均为污染区 > 对照区。根据以往的研究成果，这种现象的出现可能与大气污染有关。已有研究结果表明，当植物处于逆境条件下，植物细胞质膜发生改变，导致细胞内电解质和钾离子的外渗能力增加，细胞受害。暴露于 SO<sub>2</sub> 中的植物叶片组织中的 K<sup>+</sup> 渗漏到培养介质中，其原因是 SO<sub>2</sub> 可引起细胞膜结构蛋白质的变化，导致细胞膜透性改变，使营养离子外渗(曹洪法等, 1985)。本研究结论与以前的研究结果一致。据此可推论，杉木长期受氮肥厂排放出来的各种污染气体的协同作用，其叶片细胞透性受到破坏。

表 4 污染区与对照区的杉木叶片 K<sup>+</sup> 和电解质外渗率比较(%)

Table 4 Comparison of K<sup>+</sup> efflux and electrolyte conductivity of leachate from *Cunninghamia lanceolata* between polluted and controlled site(%)

采样区 Site	叶龄 Leaf age	钾离子外渗率 K <sup>+</sup> efflux of leachate	电解质外渗率 Electrolyte conductivity of leachate
对照区	一年生 One-year old	10.48	13.85
Controlled site	二年生 Two-years old	10.00	12.50
污染区	一年生 One-year old	20.56	47.30
Polluted site	二年生 Two-years old	16.36	22.60

### 3.5 大嵊山杉木叶片营养元素含量与大气污染

一年生杉木叶片对环境变化极为敏感，将各季节所采的杉木叶片的营养元素的平均值见表 5。从表 5 可知，污染区内杉木叶片的营养元素中，全 N、P、K 的大小顺序是 Site 1 > Site 2 > Site 3，污染区的全氮量显著高于对照点。而全 P 和全 K 虽然也呈此规律，但在同一季节的规律性不明显。

不同植物对环境胁迫表现不同。如有人对马尾松的研究结果表明，污染区的马尾松针叶含氮量比对照区的马尾松针叶氮素低(严昌荣等, 1996)。而对杉木的研究结果却与此相反。这可能是由于某氮肥厂排放的污染物中除 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 外，还有大量的 NH<sub>3</sub>，多种污染气体会产生各种复杂的相互关系，如，一方面，NH<sub>3</sub> 与 SO<sub>2</sub> 同时作用于杉木时，可产生具拮抗作用的亚硫酸铵。2NH<sub>3</sub> + SO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>S = (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>。在这里，(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 是植物的肥料，被杉木根系吸收后增加了杉木叶片内的含氮量；另一方面，NH<sub>3</sub> 可能通过几种途径危害植物：一是在叶片上形成(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 直接危害树木；二是在土壤中形成硝酸，使

之增高含酸量;三是使土壤承受大量的额外氮的负担(Pearce, 1986),导致植物吸收的营养物质中氮远远大于其它元素,营养元素失去平衡,正常生理代谢紊乱,最后致使杉木衰亡。大嵊山杉木衰亡的原因是复杂的,有待进一步的研究。

表 5 大嵊山一年生杉木叶片营养元素含量(%)

Table 5 Nutrient element content of one-year *Cunninghamia lanceolata* in Dasheng Mountain(%)

采样季节 Season	采样点 Site	N	P	K	Ca	Mg
春季 Spring	Site 1	1.120	0.049	0.369	0.352	0.246
	Site 2	0.850	0.064	0.394	0.360	0.285
	Site 3	0.779	0.110	0.558	0.213	0.212
夏季 Summer	Site 1	1.400	0.052	0.395	0.220	0.225
	Site 2	0.965	0.068	0.481	0.175	0.229
	Site 3	0.733	0.087	0.570	0.205	0.252
秋季 Autumn	Site 1	1.493	0.049	0.409	0.260	0.193
	Site 2	1.093	0.053	0.415	0.240	0.257
	Site 3	0.723	0.104	0.486	0.315	0.282
冬季 Winter	Site 1	1.102	0.083	0.467	0.210	0.210
	Site 2	0.989	0.087	0.532	0.180	0.205
	Site 3	0.715	0.082	0.560	0.250	0.255

### 3.6 大嵊山杉木叶片含硫量与大气污染

对植物叶片含硫量监测大气 SO<sub>2</sub> 污染程度及其二者之间相关性的研究,国内外均已取得不少研究成果(Johnson *et al.*, 1986; 潘如圭等, 1987)。研究认为,不同的植物及同一植物的不同生长阶段,植物吸收 SO<sub>2</sub> 并转化为 S 的能力是不同的。本研究方法是在 3 个常年监测点,各大气污染物采集与杉木叶片采集时间一致,以寻找大气污染与叶片含硫量之间的相关关系。杉木叶片全硫含量分析结果列于表 6。从表 6 中可以看到,各污染点的杉木叶含硫量均高出对照点,且污染区内杉木叶全硫含量有随时间延长逐渐积累的趋势,而对照点的杉木不表现该特征。

对冬季的杉木叶片含硫量与大气 SO<sub>2</sub> 进行相关分析,得出一元线性回归公式为  $Y = 1.3657 + 25.8146X$   $r = 0.6318$ ,  $p < 0.05$ ,其中 Y 表示叶片含硫量, X 表示大气中 SO<sub>2</sub> 的含量。以上分析表明,杉木叶片含硫量与大气中的 SO<sub>2</sub> 存在较好的对应关系。大气污染是引起杉木死亡的重要原因之一。

## 4 结 论

大嵊山大气污染物 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、NH<sub>3</sub> 浓度明显高于对照区,大气环境质量差,与杉木衰亡存在密切关系。通过对比研究,大气污染被认为是造成杉木生长量下降,生理活性降低,叶片含硫量累积,营养元素 N 增加, P、K、Ca、Mg 含量发生变化的重要原因。但大气污染对杉木叶片中的 Ca、Mg 含量的影响不大。杉木衰亡机理有待进一步研究。

表 6 大嵊山杉木叶片全硫含量平均值

Table 6 Total sulfur content of *Cunninghamia lanceolata* in Dasheng Mountain(%)

采样地点	春	夏	秋	冬
	Site	Spring	Summer	Autumn
Site 1	1.208	3.327	3.603	4.417
Site 2	1.144	2.258	2.503	3.175
Site 3	0.504	0.551	0.675	0.676

## 参考文献

- Cao H. F. (曹洪法), H. T. Liu(刘厚田), J. M. Shu(舒俭民) & Y. X. Gao(高映新). 1985. Response of plant on SO<sub>2</sub>. Chinese Journal of Environmental Science(环境科学), **6**(6): 59~66. (in Chinese)
- Dun W. R. (敦婉如), J. L. Chen (陈继榴) & S. H. Zhao (赵淑华). 1990. Correlation between fluoride pollution and fluoride contents in tree leaves. Environmental Science(环境科学), **11**(1): 39~43. (in Chinese)
- Jiang G. M. (蒋高明). 1994. study on the bio-indicating air pollution history by tree rings. Urban Environment & Urban Ecology(城市环境与城市生态), **7**(2): 17~20. (in Chinese)
- Johnson D. W., H. V. Miegroet & J. M. Kelly. 1986. Sulfur cycling in five forest ecosystems. Water, Air, and Soil Pollution, **30**(3/4): 965~979.
- Kong G. H. (孔国辉), Q. F. Yu(余清发), J. D. Yi(易敬度), H. X. Ao(敖惠修) & P. M. He(何培明). 1984. The reaction and relative resistance of plants to chlorine. Acta Ecologica Sinica(生态学报), **4**(1): 21~32. (in Chinese)
- Liu H. T. (刘厚田), W. P. Zhang (张维平), Y. W. Shen (沈英娃), X. M. Du (杜晓明), X. Y. Zou (邹晓燕), R. A. Liu (柳若安), L. Q. Ma (马良清), S. C. Du (杜世才), K. H. Lan (蓝康侯), R. Luo (罗韧), J. J. Luo (罗家菊) & Q. Tang (汤勤). 1988. A Study on some symptoms of the declining and mortal *Pinus massoniana* Lamb. forest on Nanshan Mountain in Chongqing. Acta Botanica Sinica(植物学报), **30**(3): 318~324. (in Chinese)
- Liu Y. Y. (刘燕云), H. F. Cao (曹洪法), J. M. Shu (舒俭民) & Y. X. Gao (高映新). 1989. SO<sub>2</sub> dose-response of five species of crops and their acute injury threshold. China Environmental Science (中国环境科学), **9**(3): 183~190. (in Chinese)
- Murray F. & S. Wilson. 1988. Joint action of sulfur dioxide and hydrogen fluoride on growth of *Eucalyptus tereticornis*. Environmental and Experimental Botany, **28**(4): 343~349.
- Pan R. G. (潘如圭), J. X. Wang (汪嘉熙), F. M. Liu (柳福妹) & Y. X. Wang (王玉玺). 1987. A study on the relationship between urban ambient SO<sub>2</sub> concentration and sulfur content in plants. China Environmental Science (中国环境科学), **7**(1): 31~34. (in Chinese)
- Pan W. C. (潘维伟), D. L. Tian (田大伦), X. Y. Chen (谌小勇) & S. Z. Wen (文仕知). 1989. Hydrologic process and nutrient dynamics of a subtropical Chinese fir plantation ecosystem. Journal of Central South Forestry College (中南林学院学报), **9**(18): 1~10. (in Chinese)
- Pearce F. (translated by Xu B. A. (徐丙安译)). 1986. Strange declining of forest in the Europe. World Science(世界科学), **10**(8): 52~54. (in Chinese)
- Raitio H., J. P. Tuovinen & P. Anttila. 1995. Relation between sulphur concentrations in the scots pine needles and the air in Northernmost Europe. Water, Air and Soil Pollution, **39**(3): 1361~1366.
- Smith W. H. 1981. Air Pollution and Forests. New York: Springer-Verlag. 1~360.
- Song Y. C. (宋永昌) & Y. J. Gu(顾泳洁). 1988. Air pollution monitored by heavy metal contents in urban trees. Urban Environment and Urban Ecology(城市环境与城市生态), **1**(1): 34~37. (in Chinese)
- Yan C. R. (严昌荣) & Z. B. Zhu (朱忠保). 1996. Declining of *Pinus massoniana* in relation to air pollution in Dashengshan, Lengshuijiang, Hunan. Acta Phytoecologica Sinica(植物生态学报), **20**(3): 207~215. (in Chinese)
- Yu S. W. (余叔文), Y. M. Bian (卞咏梅), G. J. Ma (马光靖) & J. J. Luo (罗家菊). 1990. Decline of masson pine forest in Nanshan, Chongqing and air pollution. Acta Scientiae Circumstantiae (环境科学学报), **10**(3): 378~383. (in Chinese)
- Zhang W. G. (张万国), Z. Q. Liao (廖志琴) & Q. C. Yang (杨其昌). 1980. Effects of air pollution from natural gas field in Weiyuan on *Aleurites fordii* Hemsl, *Aleurites montana*, *Theobroma cacao* Lour, *Sapium sebiferum* Roxb. Sichuan Forestry Science and Technology (四川林业科技), **1**(2): 1~9. (in Chinese)
- Zhao Y. (赵勇) & S. R. Li (李树人). 1994. A study on air pollution zoning and green pattern. Environmental Science (环境科学), **15**(6): 23~27. (in Chinese)