

# 湖南省冷水江市大嵎山大气污染 与马尾松衰亡

严昌荣

朱忠保

(中国科学院植物研究所, 北京 100093) (中南林学院, 湖南株洲 412006)

**摘要** 作者对湖南省冷水江市大嵎山大气污染与马尾松衰亡进行了研究, 研究结果表明大气综合污染指数在3个研究点上分别为1.00(对照)、1.76和2.23。而以林分密度、林分非衰亡率、针叶长度、针叶干重、马尾松平均高、平均胸径等因子计算出的林分外貌综合得分从173.9下降到143.5和132.5。在一年四季, 马尾松针叶中叶绿素含量也是清洁区显著高于污染区, 而叶绿素 *a/b* 值则是污染区的高, 峰值较正常的提前。马尾松在受到大气污染作用后, 针叶中营养元素含量呈下降趋势, 尤其是氮。根据树干解析发现大气污染对马尾松高生长和胸径生长都具有抑制作用, 但并不表现出同步效应, 对高生长的抑制有一个滞后现象, 时间在2~3年。另外, 大气污染对马尾松的结果影响很大, 污染区的马尾松单株拥有球果数仅为清洁的25%, 用灰色系统理论对马尾松材积与相关影响因子进行关联度分析发现, 材积与综合污染指数的倒数有很好的关联性, 关联度达到了0.773。

**关键词** 大气污染 马尾松衰亡 生理特性 关联度分析

## 1 研究地概况、研究内容、材料及方法

### 1.1 基本概况

大嵎山位于湖南省冷水江市郊区, 与资江氮肥厂毗邻, 海拔高度约400m, 相对高度50m, 坡度5~15°。属中亚热带季风气候区, 年平均气温16.8℃, 年降雨量1400mm左右, 土壤为砂岩发育的红壤、呈酸性、有机质、氮、磷、钾含量中等。植被以马尾松、杉木、楠木、栎类组成的混交林为主。

### 1.2 样地选择

大嵎山的马尾松为50年代人工种植, 根据马尾松(*Pinus massoniana*)的衰亡情况和地形特点将大嵎山马尾松林划分为1区和2区, 1区离污染源近, 马尾松衰亡严重, 2区离污染源较远, 背风, 马尾松受害较轻。另在远离污染源的双星村也选择50年代人工种植, 地形、土壤条件及抚育管理和大嵎山马尾松林一致的马尾松林作为对照区——3区。每一区选择一具代表性样地, 面积为0.065hm<sup>2</sup>, 林木株数在60株以上。在各样地上进行大气监测和常规的样地调查, 选取马尾松解析木, 采集马尾松、土壤分析样品。

### 1.3 大气质量的测试及评价方法

根据大嵯山污染物的来源,实地调查林木受害后的症状,以及当地政府、环保部门提供的监测资料,确定将二氧化硫、氮氧化物、氨气作为监测对象。一年分四季在大嵯山1区、2区和对照区—3区进行同时、同步监测大气污染物浓度。

为了评价大嵯山1区、2区的大气质量,我们以相对清洁的3区的污染物浓度为基准计算污染物的污染指数(宋永昌,1988),具体算法是:

单一污染物污染指数的计算,  $IP = C_m / C_b$

$C_m$ ——某一监测点某一污染物浓度,  $C_b$ ——相对清洁区某一污染物浓度。

求出  $IP$  值后,参照环境质量评价方法,再计算各区的综合污染指数( $IIP$ )(宋永昌,1988)

$$IIP = \sum_{i=1}^n W_i \times IP_i, i=1, 2, \dots, n \text{ 污染物的种数。} W_i \text{——某一污染的权重}$$

值,它是根据各种污染物对马尾松等敏感植物的危害剂量来确定的(见表1)。 $IP_i$ ——单一污染物的污染指数。

表1 三种污染物的权重值

Table 1 The weighted average of three pollutants

污染物 Pollutants	等级 Class	权重值 Weighted average
SO <sub>2</sub>	4	0.65
NO <sub>x</sub>	3	0.25
NH <sub>3</sub>	1	0.10

### 1.4 样品的采取和测试

#### 1.4.1 土壤样品

在每个样地上梅花形设点五个,分0~15cm和15~30cm两层采样,同层混合,带回风干制成供试样品,然后用常规方法测定土壤中有有机质、全磷、全氮、速效钾和pH值。

#### 1.4.2 马尾松针叶营养元素分析样品的采集和分析

进行大气监测时,在每个样地上随机选择3~5株马尾松,从其树冠中部采集2年生马尾松针叶经冲洗、晾干后再用65℃恒温烘干、粉碎、过筛制成供试样品。

全氮采用硫酸——双氧水消煮,苯酚次氯酸盐比色法,全磷采用硫酸——双氧水消煮,钼锑抗比色法,全钾采用硫酸——双氧水消煮,火焰光度计法(中国土壤学会农业化学物委员会,1983)。

#### 1.4.3 马尾松针叶生理分析样品的采集及分析

在进行大气监测的同时于各样地上选择有代表性的马尾松样木,在其树冠中部采取2年生针叶,置于带有冰块的冰壶中,带回实验室进行其叶绿素含量、过氧化物酶活性的分析。

叶绿素用丙酮提取,721分光光度计在663、645nm下测定其光密度,根据Aron法计算叶绿素含量。

过氧化物酶用0.1mol/l Tris—HCL (pH=8.5)缓冲溶液提取酶液,用反应混合液与其反应,以反应时间为横坐标,光密度值为纵坐标绘制酶促反应的进程曲线,并根据反应初速度计算酶的相对活力。

## 2 结果与分析

### 2.1 大嵎山大气污染的基本情况及综合评价

大气监测结果显示大嵎山大气质量差,污染严重。二氧化硫检出率达93.7%,最高检出浓度达0.357mg/m<sup>3</sup>;氮氧化物和氨气检出率均达100%。最高检出浓度分别为0.239mg/m<sup>3</sup>和1.731mg/m<sup>3</sup>。

表2 马尾松生长季节污染物浓度(mg/m<sup>3</sup>)和污染指数表

Table 2 The concentrations of pollutants and pollution index during growing season of *Pinus massoniana*

污染物 Pollutant	1区 Site 1	2区 Site 2	3区 Site 3
SO <sub>2</sub>	0.120	0.102	0.052
IP <sub>SO<sub>2</sub></sub>	2.27 <sup>a</sup>	1.95 <sup>a</sup>	1.00 <sup>b</sup>
NO <sub>x</sub>	0.129	0.108	0.062
IP <sub>NO<sub>x</sub></sub>	2.08 <sup>c</sup>	1.74 <sup>c</sup>	1.00 <sup>d</sup>
NH <sub>3</sub>	0.176	0.132	0.075
IP <sub>NH<sub>3</sub></sub>	2.34 <sup>e</sup>	1.76 <sup>e</sup>	1.00 <sup>f</sup>
IIP	2.23 <sup>g</sup>	1.76 <sup>g</sup>	1.00 <sup>h</sup>

同行中不同字母表示存在显著性差异,而同字母表示不存在显著性差异

根据  $IP = C_m/C_b$  和  $IIP = \sum_{i=1}^n W_i \times IP_i$  求得大嵎山1区、2区和对照区综合污染指数(表2),结果显示大嵎山马尾松衰亡严重的1区无论是各污染物的IP值还是IIP值均高于2区,而且都显著高于3区,即对照区的,据方差分析1区、2区和对照区的污染指数存在显著差异。因而,大嵎山和对照区的大气质量具有明显的差异。

### 2.2 大嵎山马尾松林分外貌特征与大气污染的关系

植物受大气中有害气体危害后,叶片往往是最先受到伤害,它们的可见伤害症状也是最直观和最明显的。在大嵎山1区和2区,马尾松针叶一般都比较细弱,针叶叶尖上部分布着比较多的深褐色坏死斑,或是叶尖上半部分坏死,有些甚至整个针叶全部坏死。根据测定,大嵎山1区和2区马尾松针叶长度分别较对照区的马尾松针叶长度下降了13.7%和3.6%。而针叶干重则分别较对照区下降了48.2%和24.1%。此外,从表3中可见大嵎山1区和2区马尾松林分密度下降,枯死木、衰亡木增多,树高和胸径都较对照区小。

以马尾松林分密度、林分非衰亡率,针叶长度、每百针叶干重、针叶非黄化率和样地马尾松平均高、平均胸径作为反映林分外貌特征的主要因子(表3)。根据数值综合评价分析方法(严昶升,1988),将原始数据先用模标准化,即:

$Q_i = \sum_{j=1}^m X_{ij}$ ,然后将每列的数据除以本列的模,  $X'_{ij} = \frac{X_{ij}}{Q_i}$  而求出的数据,再经过一系列的计算求出各因子对林分外貌特征的贡献值,最后求出各区林分外貌得分值(表3)。从林分外

貌综合得分可以看出,大嵯山1区得分值最低,2区稍高,3区即对照区得分值最高,这和大嵯山1区、2区和对照区的综合污染指数是相吻合的,即综合污染指数越大,林分外貌得分值越低。

表3 大嵯山马尾松林分外貌因子及综合得分表

Table 3 The factors and total score of physiognomy of masson pine stand in Dachengshan

分区 Site	1区 Site 1	2区 Site 2	3区 Site 3
林分密度 Density (No./hm <sup>2</sup> )	1020 (11.4)	1125 (12.6)	1455 (16.4)
林木非衰亡率 <sup>a</sup> Survival rate(%)	91.2 (22.3)	94.9 (22.8)	99.0 (23.4)
针叶长度 Needle length(cm)	12.06 (17.3)	14.07 (19.0)	14.60 (19.4)
针叶干重 Needle dry weight (g)	1.3136 (13.3)	1.9230 (16.9)	2.4336 (19.9)
针叶非黄化率 <sup>b</sup> Non-chlorotic leaves raie(%)	51.4 (13.8)	60.5 (15.3)	90.2 (20.4)
单株球果数(个) Cones/tree	8.9 (4.3)	9.8 (4.6)	38.0 (15.4)
平均树高 Height(m)	10.6 (15.6)	11.6 (13.3)	13.6 (16.4)
平均胸径 Diameter(cm)	9.5 (34.5)	11.6 (39.0)	13.3 (42.6)
总分 Total score	(132.5)	(143.5)	(173.9)

a——林木非衰亡率为样地上正常生长的马尾松株数同样地上全部马尾松株数的比,b——针叶非黄化率为样地9月份时在10棵马尾松样木随机采取100束马尾松针叶正常生长的长度与针叶长度的比。

### 2.3 大嵯山马尾松叶绿素和过氧化物酶的变化特点

叶绿体是林木进行光合作用的器官,叶绿素含量的多少、叶绿素的特性直接影响着林木的生长,大嵯山马尾松和对照区马尾松针叶中叶绿素含量的差异十分显著,从图1中可以看出,一年中均以对照区马尾松针叶中叶绿素含量最高,大嵯山1区马尾松针叶中叶绿素含量最低,2区马尾松针叶中叶绿素含量居中。而且表现出明显的季节变化,以秋季叶绿素含量最高,夏季次之,冬、春两季最低。

从图2中可看出,马尾松针叶中叶绿素 a/b 值有十分明显的季节变化,对照区的马尾松针叶中叶绿素 a/b 值从春季到秋季是逐渐增高,秋季达到最高值,然后开始下降。而大嵯山马尾松针叶叶绿素 a/b 值明显较对照区马尾松叶绿素 a/b 值高,最大值出现的时间提前。根据刘荣坤(1989)的研究结果,植物受低浓度二氧化硫等污染物危害后叶绿素 a/b 值上升,这是因为二氧化硫、氮氧化物等污染物在导致叶绿素分解,使其含量下降时,叶绿素 b 较叶绿素 a 分解更快。大嵯山马尾松针叶中叶绿素 a/b 值的变化可能是大嵯山马尾松长期受到低浓度二氧化硫、氮氧化物、氨气等污染物作用的结果。

过氧化物酶是植物体内普遍存在的一种酶,根据有关报道(Wellbum, 1989)在逆境条件下,过氧化物酶活性升高,从表4中可见,在一年四季中,春、夏、秋三季马尾松针叶中过氧化物酶活性都较高,而且过氧化物酶的活性是1区的大于2区大于3区的,这和各区的污染状况是相一致的,即污染越严重,马尾松针叶中过氧化物酶活性越高。而冬季1区、2区、3区

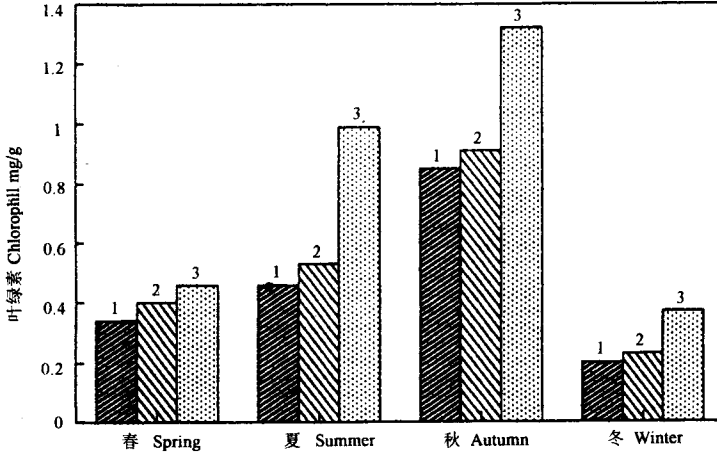


图1 马尾松针叶叶绿素季节变化图

Fig. 1 The seasonal variation of chlorophyll content of needles of *Pinus massoniana*  
 1:1区 Site 1 2:2区 Site 2 3:3区 Site 3(图2~4同此 Fig. 2~Fig. 4 are the as same)

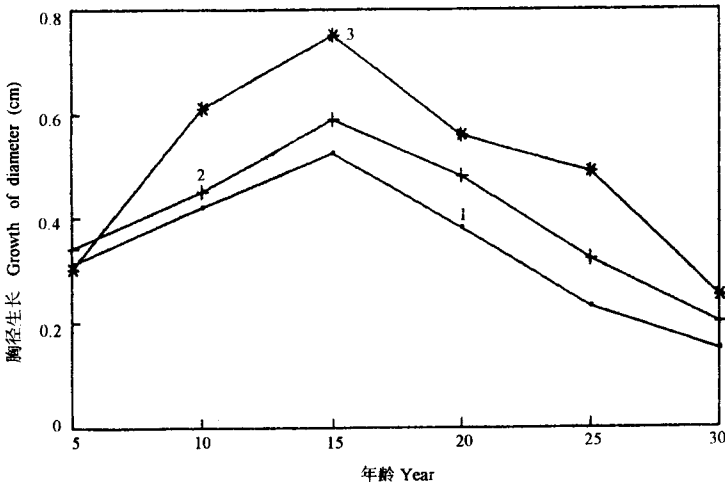


图2 马尾松针叶叶绿素 a/b 值季节变化曲线

Fig. 2 The seasonal variation curve of a/b chlorophyll of needles of *Pinus massoniana*

马尾松针叶中过氧化物酶活性则基本一致,且活性特别低,因为在冬季马尾松处于休眠状态,各种生理生化活动基本停止,大气污染对其危害降低。

表4 大嵯山马尾松过氧化物酶活性表

Table 4 The activity of proxidase of *Pinus massoniana*(OD/g·min)

分区 Site	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
1区 Site 1	27.5	29.7	23.1	0.512
2区 Site 2	24.0	23.2	19.6	0.470
3区 Site 3	10.6	8.9	6.6	0.549

## 2.4 大嵯山马尾松针叶中营养元素氮、磷、钾水平与大气污染的关系

为了查明大嵯山马尾松的营养状态,对马尾松针叶中主要营养元素氮、磷、钾进行了分析,分析结果显示对照区马尾松针叶中氮、磷、钾在全年各季中都较大嵯山1区、2区的高,特别是氮(表5)。大嵯山1区、2区马尾松针叶中氮素含量仅分别为对照区的86.3%和91.2%,这与大嵯山马尾松的受害程度是相一致的。许多研究结果也证实植物在受大气污染作用后光合作用降低,呼吸作用被迫加强。大嵯山马尾松由于长期受到二氧化硫、氮氧化物、氨气及酸性沉降物的影响,可能导致光合作用减弱,呼吸作用加强,消耗其体内有机物,造成针叶中含氮量的降低,根据方差检验可知,一年四季里大嵯山1区和2区马尾松针叶中含氮量与对照区马尾松针叶含氮量均存在显著性差异。这可能是大嵯山马尾松衰亡的一个重要原因之一。

大嵯山马尾松针叶中磷、钾的年平均含量和各季节的含量都较对照区的低,综合来看,受到大气污染后马尾松针叶氮、磷、钾含量呈现降低趋势。特别氮素含量降低十分显著。

表5 马尾松针叶营养元素的含量

Table 5 The contents of chemical elements in needles of *Pinus massoniana*(%)

分区 Site	春季 Spring			夏季 Summer			秋季 Autumn			冬季 Winter		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1区 Site 1	1.111 <sup>a</sup>	0.074	0.227	1.061 <sup>a</sup>	0.090	0.453	1.115 <sup>a</sup>	0.089	0.448	0.956 <sup>a</sup>	0.076	0.304
2区 Site 2	1.222 <sup>b</sup>	0.085	0.390	1.073 <sup>a</sup>	0.084	0.532	1.183 <sup>a</sup>	0.084	0.522	1.065 <sup>a</sup>	0.078	0.404
3区 Site 3	1.326 <sup>b</sup>	0.094	0.430	1.288 <sup>b</sup>	0.093	0.601	1.226 <sup>b</sup>	0.076	0.540	1.216 <sup>b</sup>	0.098	0.598

## 2.5 大气污染对马尾松生长发育的影响

根据对大嵯山1区、2区及对照区马尾松解析木(每区3株)的分析,大气污染对马尾松的胸径生长影响明显。大嵯山1区、2区25年生马尾松胸径(去皮)仅分别为对照区马尾松胸径的68.3%和72.1%。图3显示大嵯山1区和2区马尾松胸径连年生长量明显低于对照区的,而且大嵯山马尾松胸径连年生长的最大值出现时间提前。

大气污染对马尾松高生长也具有抑制作用,由树高连年生长曲线(图4)可知,1974年前大嵯山1区、2区马尾松树高连年生长量比对照区马尾松树高连年生长量略高,以后马尾松树高连年生长量均较对照区的低,这和当地大气污染源的形时间相吻合。大气污染对马尾松胸径、树高均存在抑制作用,而且从树干解析结果还可看出,马尾松胸径生长受抑制比树高生长受抑制要提前2~3年,也就是说大气污染对马尾松的树高生长有一个滞后现象。

马尾松材积生长是多因子综合影响的结果,为了查明各因子对材积影响程度,利用灰色系统理论关联度分析原理来探讨各因子和材积的关系。

进行关联度分析的因子有综合污染指数(IIP)、林分外貌综合得分、针叶中叶绿素年均含量、针叶中氮、磷、钾年均含量。

以材积作为母序列记为  $\{x_1^{(0)}(i)\}$ ,  $i=1, 2, 3$ , 其它记为子序列, 分别为  $\{x_i^{(0)}(i)\} \dots$

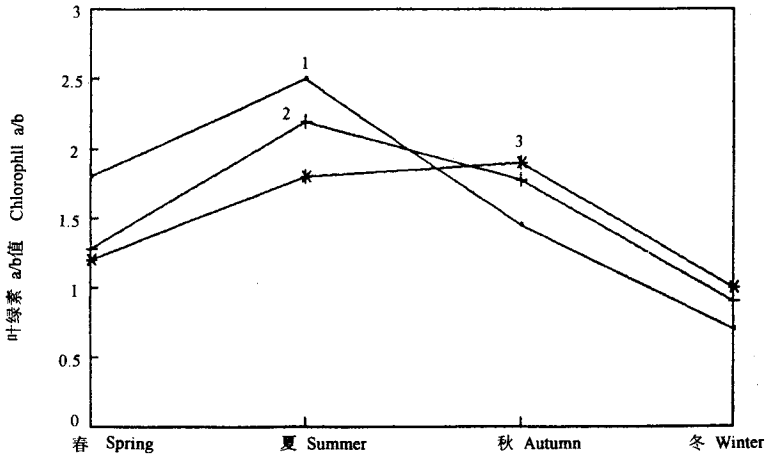


图3 马尾松胸径连年增长曲线

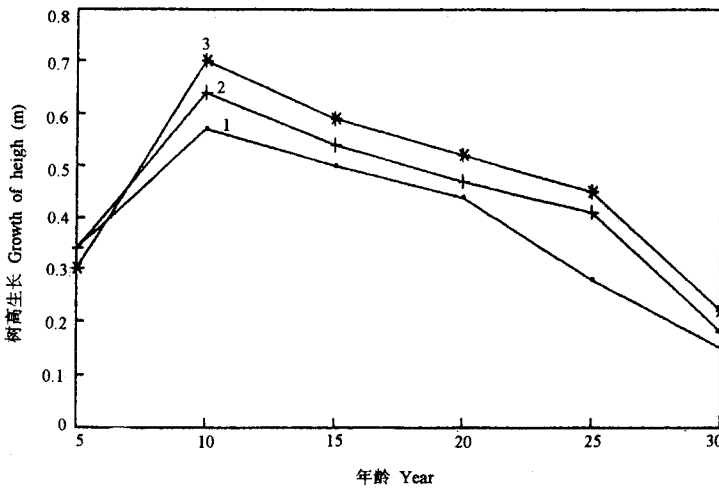
Fig. 3 The curve of yearly diameter growth of *Pinus massoniana*

图4 马尾松树高连年增长曲线

Fig. 4 The curve of yearly height growth of *Pinus massoniana*

$\{X_i^{(0)}(i)\} i=1,2,3$ , 经过一系列模化后求关联系数, 按关联度公式  $R_{oj} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n [\zeta_j(K)]$  得表6。

关联度分析结果表明, 马尾松材积的大小同马尾松针叶中叶绿素含量关系最为密切,  $1/IIP$  对马尾松材积的影响其次, 也就是说  $1/IIP$  值越大, 材积越大。同时由于  $IIP$  的大小对其它因子也具影响, 因而  $IIP$  是影响大嵯山马尾松材积生长的一个主要因子。

大嵯山1区、2区和对照区的马尾松开花、结果情况差距甚大, 大嵯山1区马尾松单株拥有球果数8.9个, 而对照区马尾松单株拥有球果数为38个(30株马尾松球果数的平均数), 1区、2区马尾松的球果数仅为对照区马尾松球果数的23.4%和25.8%。大嵯山马尾松单株拥有球果数不仅少, 而且球果小, 发育不良。大嵯山马尾松结果少, 发育不良可能原因有两

个方面,一是马尾松受大气污染后树木长势衰弱,二是大气污染严重地阻碍马尾松花粉正常的萌发和受精作用,导致严重地落花落果、畸变(廖志琴,1984)。

表6 关联度分析因子及关联度表

Table 6 The factors and connectance of *Pinus massoniana* plant volume

组分 Items	3区 Site 3	1区 Site 1	2区 Site 2	$R_{oj}$
材积 Volume ( $m^3$ )	0.081	0.042	0.055	
1/IIP	1.000	0.448	0.568	0.773
林分外貌 Stand physiognomy	173.9	143.5	132.5	0.682
叶绿素含量 Content of chlorophyll(mg/g)	0.779	0.463	0.481	0.820
年均氮含量 Content of nitrogen(%)	1.239	1.070	1.130	0.524
年均磷含量 Content of phosphorus (%)	0.094	0.082	0.083	0.604
年均钾含量 Content of potasium (%)	0.567	0.383	0.462	0.669

### 3 结论

大嵊山大气污染严重,二氧化硫检出率达93.7%,最高浓度 $0.357mg/m^3$ ,氮氧化物和氨气检出率达100%,大嵊山1区、2区的综合污染指数分别为对照区的2.23倍和1.76倍。从研究结果来看,长期遭受大气污染的马尾松林分外貌特征会发生劣变,主要表现在林分密度下降、衰亡木增多,针叶纤细、黄化严重、结实量急剧下降。大气污染造成马尾松代谢功能改变,针叶的叶绿素含量降低,叶绿素 a/b 值上升;过氧化物酶活性增强。同时,大气污染的危害导致马尾松针叶中氮、磷、钾含量降低,特别是氮含量降低幅度大。大嵊山大气质量下降还抑制马尾松的胸径生长和高生长,但马尾松胸径生长和高生长对大气污染的反应在时间有差别,高生长被抑制有一定的滞后现象,从大嵊山马尾松树干解析结果分析,这个是时间差在2~3年。

### 参 考 文 献

- 中南林学院,经济林产品利用及分析,中国林业出版社,273~301。  
 中国土壤学会农业化学物委员会,1983年:土壤农业化学常规分析方法,科学出版社,192~210。  
 严昶升,1988:土壤肥力研究方法,农业出版社,232~247。  
 刘荣坤、李世承,1989,二氧化硫对蓖麻叶质膜透性,叶绿素含量和花粉生长的影响,中国环境科学,2,39~45。  
 宋永昌、顾泳洁,1988:用城市树木体内重金属含量监测空气污染,城市环境与城市生态1(1):34~37。  
 廖志琴,1984,江油县中坝厂附近大气污染对植物危害的观察,四川林业科技,(2)7~12。  
 Wellbum, J and Louis F. Pitella, 1989: Forest decline and acidic deposition, Ecology 70(1), 2~10。



## DECLINING OF *PINUS MASSONIANA* IN RELATION TO AIR POLLUTION IN DASHENGSAN, LENGSHUIJIANG, HUNAN

Yan Chang-rong

(*Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093*)

Zhu Zhong-bao

(*Centre South Forestry College, Hunan 412006*)

### Abstract

The coniferous forest in the subtropical zone of China is suffering from very severe decline. The paper studied the declining pattern of polluted *P. massoniana* stand in terms of stand characters, tree growth, physiological properties and contents of nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium of the needles. The results indicated that the number of chlorotic individuals increased with air pollution. The weight of needles and the number of cones per tree in the polluted site respectively, the contents of chlorophyll and nutritive elements of the needles in the polluted sites were lower than in the non-polluted site. In addition, the growth values of the height, diameter and volume of the pine in the polluted sites were lower than those of pine in the non-polluted site.

**Key words** Air-pollution, *Pinus massoniana*, Physiological metabolism, Stand physiognomy