

重庆南山大气SO₂污染与马尾松 衰亡的关系

刘厚田 李一川

(中国环境科学研究院生态研究所, 北京)

摘 要

本文运用开顶式熏气装置研究重庆南山大气SO₂污染与马尾松衰亡的关系。通过SO₂模拟熏气试验确定了SO₂对马尾松急性和慢性伤害阈值和可见伤害症状。长期定点SO₂浓度监测结果表明南山马尾松衰亡区的大气SO₂浓度超过了马尾松的慢性伤害阈值。SO₂浓度与马尾松衰亡程度的空间分布一致, 衰亡中的马尾松针叶上出现的可见症状与SO₂熏气实验中所出现的症状相似。现场空气过滤实验证明SO₂污染是马尾松针叶受害的原因。

关键词: SO₂污染, 森林衰亡, 马尾松, 模拟熏气, 现场空气过滤实验。

我国近年来发生了森林衰亡现象, 重庆南山的马尾松 (*Pinus massoniana*) 衰亡最为典型^[1]。重庆是全国大气SO₂污染、酸雨和酸雾较严重的城市之一。关于南山马尾松衰亡与酸雨和酸雾的关系已进行了初步研究^[2,3]。另有报道认为, 南山的SO₂和氟化物的复合作用可能导致马尾松衰亡^[4]。本文通过SO₂模拟熏气实验和现场空气过滤实验研究大气SO₂污染对南山马尾松的影响, 以便准确地评价SO₂污染与南山马尾松衰亡的关系。

一、方 法

1. 马尾松林区大气SO₂浓度监测

在林区选5个点进行大气SO₂浓度监测。其中3个点(铁疗、黄桷埡、真武山)位于马尾松衰亡重灾区; 一个点(黄山)位于轻灾区; 另一个点(南山公园)位于相对正常区(图1)。监测用4108型DASIBI SO₂荧光自动分析仪。每个点分别在污染较重的秋、冬季监测2次, 每次连续测24小时。另在黄桷埡做长期(4个月)连续定点监测。

2. 试验材料

取生长于大气清洁区重庆市歌乐山林场的3—5年生的健康马尾松幼树, 于试验前1个月移栽入瓦钵, 常规管理。于熏气前5天将苗钵移入熏气罩。

3. SO₂模拟熏气试验

实验地点在歌乐山重庆市林业科学研究所的苗圃内。采用开顶式熏气装置。熏气罩直径2m, 高2.2m, 外罩聚乙烯透明薄膜套。由DP-3型动态配气仪控制SO₂稳定浓度气流。SO₂气体为四川硫酸厂出品, 纯度不低于99.95%。稀释SO₂所用氮气为重庆特种钢厂出产的普氮。

本文于1989年10月2日收到。

SO₂处理分急性伤害和慢性伤害试验。限于设备条件,每个试验用两种SO₂浓度。急性伤害:2.62和3.93mg/m³,分别处理4小时和10小时。慢性伤害:0.66和1.31mg/m³,每天处理8小时(9:00—17:00),直到出现伤害症状为止。伤害阈值定为引起5%叶面积上出现症状的SO₂剂量(浓度×暴露时间)。以上各种处理均为5次重复。

4. 现场空气过滤实验

实验地点选在位于马尾松衰亡重灾区黄桷垭的重庆市森林病虫害防治检疫站内。这里原来生长的马尾松已大部分死亡。采用两套开顶式熏气装置。其中一套不装过滤器,直接通入现场空气。另一套加过滤器,过滤器内装无纺布和活性炭。现场空气经过滤器通入罩内。监测结果表明,无过滤器的熏气罩内SO₂浓度与现场一致,加过滤器的熏气罩内SO₂浓度为零,说明过滤效果良好。每天通气8—10小时,实验历时近4个月,累计通气时间816小时。

5. 针叶含硫量分析

在熏气实验过程中和达到阈值时采集针叶,现场空气过滤实验于停止后采集针叶,并在南山各点采集针叶。针叶置于80℃烘干、粉碎。用燃烧法分析硫含量。

二、结 果

1. 南山马尾松林区大气SO₂污染状况

SO₂浓度监测结果列于表1。其中南山公园的SO₂日平均浓度和任何一次最高值接近国家大气质量一级标准*,可视为无SO₂污染。黄山的大气SO₂日平均浓度和任何一次最高值介于国家一级标准和二级标准之间,属轻度污染。另外3个点(黄桷垭、真武山和铁疗)的二项指标均超过国家二级标准1—3倍,属严重污染。

表1 重庆南山马尾松林区大气SO₂浓度分布(mg/m³)
Table 1 Distribution of SO₂ concentration in air of the masson pine forest (mg/m³)

地 点	南山公园		黄 山		黄 桷 垭		真 武 山		铁 疗	
时 间	1988年 10月	1989年 1月	1988年 10月	1989年 1月	1988年 10月	1989年 1月	1988年 10月	1989年 1月	1988年 10月	1989年 1月
最大值	0.05	0.08	0.15	0.20	1.00	1.08	1.14	1.25	1.26	1.30
日平均值	0.03	0.05	0.07	0.13	0.24	0.35	0.30	0.40	0.36	0.45
SO ₂ 污染指数*	0.27		0.67		2.0		2.3		2.7	

*即相当于国家大气质量二级标准(0.15mg/m³)的倍数。

在马尾松衰亡严重的黄桷垭,4个月的SO₂浓度连续监测结果见表2。可见此地的SO₂的污染持续地处于高水平。冬季SO₂污染还要比秋季严重些。SO₂浓度日变化的总趋势是昼间高,夜间低,每天约有16小时(5:00—21:00)超过国家二级标准。

2. SO₂熏气对马尾松的影响

(1)马尾松的SO₂伤害阈值 从较少的SO₂浓度等级的熏气试验中可以大致判断出SO₂对马尾松的伤害阈值(表3)。在急性处理中,3.93mg/m³SO₂处理4小时达到伤害阈值;2.62mg/m³SO₂处理也只需10小时就达到伤害阈值。在慢性处理中,0.66mg/m³和1.31

*按国务院环境保护领导小组1982年4月8日颁布的《大气环境质量标准》规定SO₂浓度限值(日平均)一、二、三级标准依次为0.05、0.15、0.25mg/m³。

表2 黄桷埡实验现场大气SO₂浓度(mg/m³)
Table 2 The SO₂ concentration in air of the experiment site(Huangjiaoya).(mg/m³)

时间	1988年10月	1988年11月	1988年12月	1989年1月
最大值	1.00	1.25	0.90	1.08
日平均 浓度范围	0.07—0.59	0.12—0.57	0.07—0.51	0.10—0.60
日平均值	0.24	0.32	0.35	0.35

mg/m³ SO₂ 处理分别于183和92小时达到伤害阈值。总的来看,马尾松对SO₂是比较敏感的。

(2)马尾松的SO₂伤害症状 图版I照片a显示SO₂处理后马尾松针叶上出现的可见伤害症状。主要是:褐色或红褐色坏死斑,可出现于全叶任何部位;枯黄,从叶尖开始逐步向下发展,直至全叶枯黄;提前脱落。症状出现顺序一般为:坏死斑→叶尖枯黄→全叶枯黄→死亡或脱落。症状及其出现规律大致类似于已报道的针叶植物的SO₂伤害症状^[5]。

(3)针叶硫含量 从表3中可以看出,在不同剂量的SO₂熏气处理中,当马尾松达到伤害阈值时,针叶含硫量接近一个恒定值。急性处理前后硫含量之比约为1:2;慢性处理前后的比值约为1:1.7。这说明针叶吸收了空气中的SO₂,并在体内积累。

3. 现场空气过滤实验结果

近4个月的污染现场空气过滤实验结果表明,生长于过滤空气中的马尾松与生长于未经过滤的空气中的马尾松有明显的差异。

(1)症状 图版I照片d显示,生长于清洁空气中的马尾松生长正常;针叶上无坏死斑;没有异常落叶现象。照片c显示,生长于现场污染空气中的马尾松针叶淡绿、细弱、叶尖枯黄、有褐色坏死斑;由于针叶提前脱落,枝条上针叶稀疏。

(2)针叶含硫量 表4列出现场空气过滤实验和南山各采样点的针叶含硫量。生长于过滤空气中的马尾松针叶硫含量低于未过滤空气中生长的针叶含量,而接近于相对正常林区(南山公园)的针叶含量。生长于未过滤空气中的针叶含硫量则相近于重污染区(铁疗、真武山和黄桷埡)的针叶含量。

表4 马尾松针叶含硫量
Table 4 Sulfur content in needles

样品来源	含硫量 (mg/g d.w.)
歌乐山林场	5.53
南山公园	6.06
铁路工人疗养院	8.26
真武山	8.55
黄桷埡	8.16
黄桷埡(空气未过滤)	8.61
黄桷埡(空气过滤)	5.64

表3 马尾松SO₂伤害阈值和阈值时针叶含硫量
Table 3 Injury threshold dose of SO₂ to masson pine and sulfur content in needles exposed to SO₂ at threshold

SO ₂ 处理	SO ₂ 伤害阈值剂量 (浓度×暴露时间)	阈值时针叶含硫量* (mg/g干重)
急性	2.62mg/m ³ ×10h 3.93mg/m ³ ×4h	11.28 10.87
慢性	0.68mg/m ³ ×183h 1.31mg/m ³ ×92h	8.98 9.33

*处理前针叶含硫量为5.53mg/g干重。

三、讨 论

1. 南山SO₂浓度与马尾松衰亡程度在地区分布上的一致性

根据监测结果,南山马尾松林区内5个点的SO₂污染程度大小顺序是:铁疗(2.7)>真武山(2.3)>黄桷埡(2.0)>黄山(0.67)>南山公园(0.27)。(括号内数字为SO₂污染指数,即相当于国家大气质量二级标准的倍数)。

根据以前的研究^[11],依衰亡程度,南山马尾松林大致可划分为三个区:①重灾区;铁

疗、黄桷垭和真武山一带, 成片死亡和半数死亡。②轻灾区: 黄山和八角亭一带, 零星死亡; ③相对正常区: 南山公园和放牛坪一带。

分析 SO_2 浓度分布和马尾松衰亡程度的分布情况, 两者间存在明显的正相关(图1)。说明马尾松林衰亡可能与 SO_2 污染有关。

2. 南山马尾松衰亡症状与 SO_2 熏气实验中所出现的症状之相似性

在南山实地观察到的衰亡马尾松的针叶症状与熏气实验中的 SO_2 伤害症状有很多相似

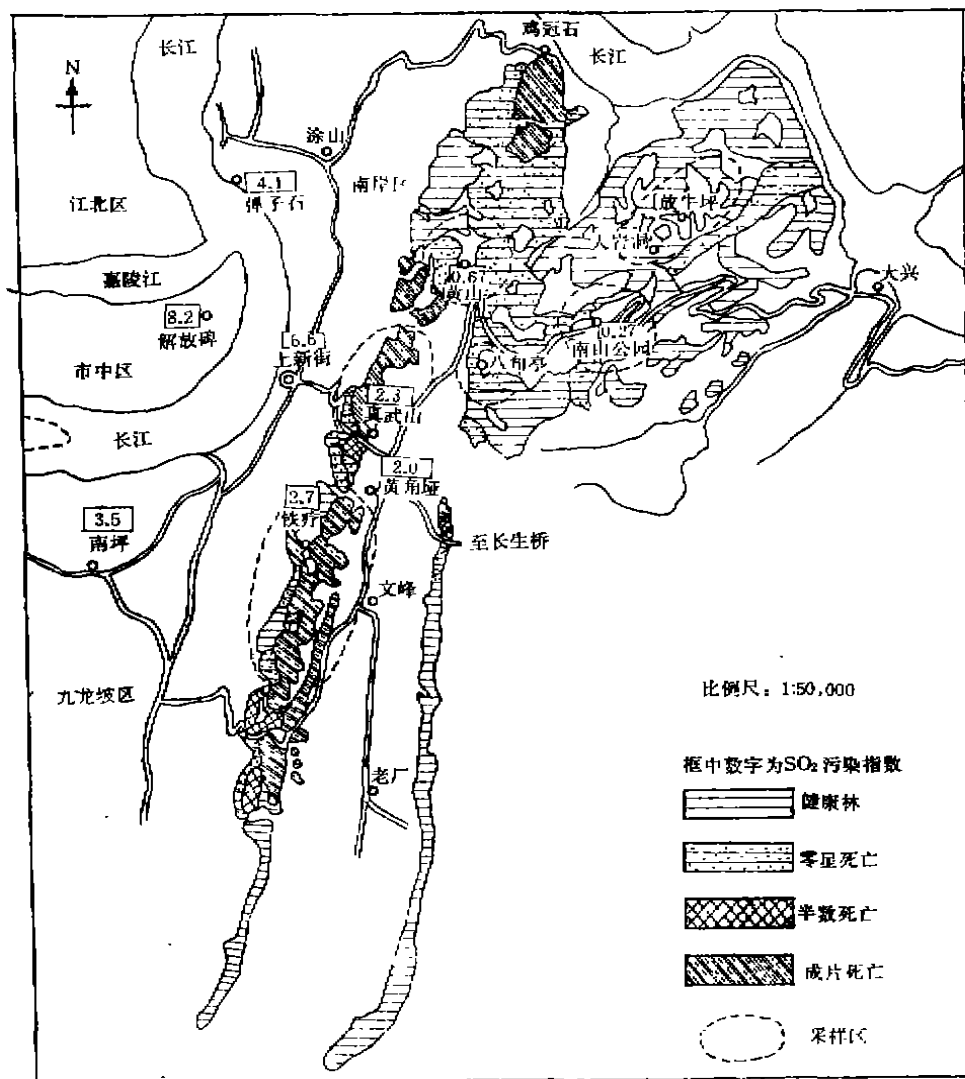


图 1 重庆南山马尾松衰亡程度及大气 SO_2 污染分布图

Fig.1 Distributoin map of masson pine decline and SO_2 pollution in Nanshan, Chongqing

之处。诸如: 针叶枯尖、全叶枯黄甚至枯死; 针叶淡绿; 褐色坏死斑; 提前落叶, 以致枝条上针叶稀疏等等(图版 I 中照片 a 和 b)。这些伤害症状也与人报道的 SO_2 伤害针叶症状相似^[6,7,9]。据此可以认为, 南山衰亡马尾松可能受到了 SO_2 的伤害。

3. 南山重灾区SO₂污染超过了马尾松的SO₂慢性伤害阈值

南山重灾区SO₂浓度的最大值(1.30mg/m³),远低于模拟实验中引起急性伤害的最低浓度(2.6—3.9mg/m³),但却超过引起慢性伤害的最低浓度(0.66mg/m³)近一倍,监测期间超过这个浓度的天数占37.9%。可以判断,南山大气SO₂污染程度还不至于使马尾松受到急性伤害,但产生慢性伤害的可能性是较大的。

根据O'Gara方程^[7] $(C - C_R)t = K$, (其中C为污染现场SO₂浓度, C_R为植物受害的起始浓度, t为暴露时间, K为植物伤害阈值), 只要C > C_R, 经过一定的暴露时间(t), 生长于污染现场的植物就会受到SO₂的伤害。南山重灾区的马尾松就处于这种情况之下, 因为: ①熏气实验结果证实马尾松的C_R < 0.66mg/m³; ②重灾区大气SO₂浓度(C)以相当高的频率(37.9%)超过C_R值。所以经过足够长的暴露时间(t)后, 作用于马尾松的SO₂剂量就会超过阈值(K)。因此可以肯定南山重灾区的SO₂污染能够对马尾松产生慢性伤害。

4. 现场空气过滤实验证明南山SO₂污染对马尾松确有伤害

长达4个月的现场空气过滤实验取得了明确结果, 生长于过滤空气中的马尾松生长正常; 而生长于未过滤空气中的马尾松却出现一系列与SO₂熏气实验中所出现的伤害症状相同的症状。过滤空气与现场未过滤空气的主要差异是前者去除了SO₂。因此可以肯定上述症状是现场空气中的SO₂引起的。这证明南山受灾林区的大气SO₂污染足以导致马尾松受到明显伤害。

5. 马尾松针叶中含硫量的增加反映了SO₂的侵入

植物叶片中含硫量在一定范围内与空气中的SO₂浓度呈正相关关系^[8]。南山各采样点的马尾松针叶含硫量也与立地的SO₂浓度相关。相对正常区与作为清洁区对照的歌乐山林场的以及黄桷埡过滤空气中的马尾松针叶含硫量相近。重灾区三个采样点的以及现场未过滤空气中的针叶含硫量均接近于SO₂熏气达到慢性伤害阈值时的针叶含硫量。这反映出受灾区的SO₂污染已达到或超过马尾松的伤害阈值。总之, 硫含量分析结果说明, 在南山SO₂污染较重的林区, SO₂进入了马尾松体内; 结合观察到的针叶症状可以确认SO₂使马尾松受到了伤害。

6. 酸沉降是南山马尾松衰亡的主要原因

通过上述几方面的研究, 结合以前对马尾松衰亡症状的观察^[11], 可以认为, 南山空气中较高浓度的SO₂长期作用于马尾松针叶, 产生直接伤害, 引起生理损伤, 使生长滞缓, 树势减弱, 最终导致树体衰亡。

空气中的SO₂或被氧化成SO₃, 可以与降水结合形成酸性降水(酸雨、酸雾等)。重庆的酸性降水主要来源于当地的SO₂污染。已知, 南山酸雨是马尾松衰亡的重要原因之一^[12]; 酸雾则主要作用于马尾松针叶^[13]。酸雨和酸雾的影响都可看作是SO₂的间接影响。由于南山的SO₂污染与酸雨和酸雾往往是伴随存在的, 它们可能对马尾松有复合作用。从这个意义上说, 酸沉降是南山马尾松衰亡的主要原因, 而SO₂是酸沉降的主要来源。

参 考 文 献

- [1] 刘厚田等, 1988, 植物学报 30(3):318—324.
- [2] 刘厚田等, 1988, 环境科学学报 8(3):330—339.

- [3] 杜晓明等, 1988, 环境科学学报 8(4):467—473.
 [4] 余叔文等, 1988, 环境科学 9(3):77—81.
 [5] 余叔文等, 1981, 大气污染伤害植物图谱, 上海科技出版社.
 [6] Freer, P.H., 1985, *New Phytologist* 99:417—428.
 [7] Mudd, J.B., et al., 1975, *Responses of Plant to Air Pollution*, Academic Press, Washington, 7—19.
 [8] Pratt, G. C., 1983, *Environment Pollution(A)* 32(2):91—102.
 [9] Smith, W. H., 1981, *Air Pollution on Forest*, Springer-Verlag, New York Inc., 287—353.

ATMOSPHERIC SO₂ POLLUTION AND DECLINE OF MASSON PINE(*PINUS MASSONIANA*) FOREST IN NANSHAN, CHONGQING

Liu Houtian Li Yichuan

(Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing)

The relationship between the atmospheric SO₂ pollution and the decline of the masson pine forest located in Nanshan on the south bank of Yangtze River near Chongqing was studied. This work included SO₂ pollution monitoring, SO₂ fumigation, filtered air experiment in situ, and analysis of sulfur content in needles. The results of air monitoring indicated that the SO₂ pollution in this area was heavy, and the SO₂ concentration in air was 0.35 mg/m³ averagely, with maximum 1.30mg/m³. The fumigation tests showed that masson pine was rather sensitive to SO₂. The threshold dose of SO₂ to masson pine was about 0.66mg/m³ × 180 hours. The distribution of ambient SO₂ in Nanshan was coincided with the degree of the masson pine decline. The sulfur content of needles in the heavy SO₂-pollution area was much higher than the control in the clean area. The masson pine saplings growing in the air-filtered chamber were more vigorous, and lower sulfur content than the control. The saplings growing in situ showed obviously decline symptoms such as wilting, necrosis spots and abnormal needles abscission. It was concluded from all of the results that the heavy SO₂ pollution in Nanshan should be one of the main reasons for the decline of the masson pine forest.

Key words: SO₂ pollution, forest decline, masson pine, simulated fumigation, filtered air experiment in situ.