

重庆某些树种对 SO₂ 的耐性和净化能力的研究

李一川* 刘厚田

马良清 杜世才

王继武

(中国环境科学研究院生态所)

(重庆市林业局)

(重庆市林业科学研究所)

摘要 本文研究重庆市绿化树种对 SO₂ 的耐性和净化能力,为针对大气污染的绿化树种选择和树种区域配置提供科学依据。用开顶式熏气装置对树苗进行人工 SO₂ 处理,确定树木的 SO₂ 急性和慢性伤害阈值剂量。根据植物对 SO₂ 的净化能力是叶片对硫的积累强度和运转速率的函数这一原理,用熏气前后叶片硫含量的变化估算树木净化 SO₂ 的能力。耐性大和净化能力强的树种(杉木、喜树和香樟等)可做优先选择树种。耐性大而净化能力弱的树种(洋槐等)也可选用。在 SO₂ 污染程度不同的各区,宜配置相应的不同耐性和净化能力的树种。

重庆是高煤耗的城市,且煤含硫量高达 5%,加之地形和气象条件不利于气态污染物扩散,所以大气 SO₂ 污染相当严重。因而带来一系列生态环境问题,包括绿化植物和市郊森林的受害。据研究,重庆南山大面积马尾松衰亡就与酸雨、酸雾和大气 SO₂ 污染有关^[1,2,6]。城区许多绿化树种也出现了各种 SO₂ 伤害症状。

SO₂ 对植物有一定毒性,但不同种的植物对 SO₂ 的耐性有差异。另一方面,植物能吸收、转化、积累和利用一部分 SO₂,所以对大气能起一定净化作用。因此,在有大气 SO₂ 污染的地区,可以利用植物对 SO₂ 的耐性和净化能力采取一定绿化对策。

本工作通过人工 SO₂ 熏气试验,确定不同树种的 SO₂ 伤害阈值,并根据熏气前后叶片含硫量的变化,测算各树种净化 SO₂ 的潜力,为重庆市绿化和植被保护提供树种选择和树种区域配置的科学依据。

一、研究方法

(一) 树种和树苗

受试树种为重庆森林植被优势种和南方城市常见绿化树种,共 9 种,即杉木 (*Cuni-*

nghamia lanceolata (Lamb.) Hook)、喜树 (*Camptotheca acuminata* Dence)、丝栗 (*Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth) Tutch)、大头茶 (*Polyspora axillaris* (Roxb) Sweet)、香樟 (*Cinnamomum plilyphyelum* (DICK) Allen)、桉树 (*Eucalyptus robusta* Smith)、洋槐 (*Robinia pseudoacacia* L.)、慈竹 (*Sinocalamus affinis* (Rendle) McClure) 和马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)。

树龄 2—4 年,生长正常。熏气处理前一个月移栽入瓦钵中。熏气前 5 天移进熏气罩。于生长旺盛期进行熏气处理。

(二) SO₂ 熏气装置

人工模拟 SO₂ 熏气系统包括开顶式熏气罩、配气仪和 SO₂ 浓度监测仪三个部分。熏气罩为开顶式,圆筒形,高 2.2m,直径 2.0m,组合式钢架,外围覆以无色透明聚乙烯薄膜套。熏气罩内空气每分钟交换 2 次。空气经活性炭过滤。SO₂ 浓度由 DP-3 型动态配气仪控制。实际 SO₂ 浓度由 4108 型 DASIBI SO₂ 荧光分析仪监测。实验所用 SO₂ 气体为四川硫酸厂出品的一级品。稀释

* 现在工作单位:四川省林业科学研究院生态室(成都)

SO₂ 的 N₂ 气系重庆特殊钢厂出品的普氮。

(三) SO₂ 急性处理

SO₂ 处理浓度分别为 1.0, 1.5 和 2.0 ppm. 熏气时间 4h. 熏气停止 24h 后观察伤害症状, 统计受害叶面积, 确定急性伤害阈值。

(四) SO₂ 慢性处理

SO₂ 处理浓度分别为 0.25 和 0.5 ppm. 每天熏气 8h(9.00—17.00), 直至 5% 叶面积上出现可见伤害症状 (即达伤害阈值剂量) 时, 停止熏气。

(五) 叶片含硫量分析

对慢性处理的树苗分别在熏气前、伤害阈值和熏气停止后 1, 5, 10d 采集叶片, 80℃ 烘干, 粉碎, 过筛。用燃烧法测定硫含量。

二、实验结果

(一) SO₂ 伤害症状

通过 SO₂ 熏气, 受试树苗叶片出现的 SO₂ 伤害症状为:

慈竹: 叶脉间出现条状黄色或褐色坏死斑。

喜树: 叶脉间出现深黄色或棕色斑, 叶缘卷曲、失水。幼叶先于成熟叶受害。

大头茶: 叶脉间组织失绿枯黄、坏死, 成熟叶先于幼叶受害。

香樟: 叶脉间出现棕黄色坏死斑, 受害叶失水、卷曲。

马尾松: 从针叶尖端开始出现黄色失绿斑, 直至全叶枯死。

洋槐: 靠近叶缘的叶脉间出现黄色或深黄色伤斑。

丝栗: 叶脉间失绿, 呈黄褐色或红褐色伤斑, 幼叶先于成熟叶受害。

杉木: 枝端幼叶的尖端最先出现黄色坏死斑。成熟的老叶很少出现伤斑。

桉树: 脉间枯黄, 严重时伤斑连成片呈水渍状, 叶缘反卷。

九种植物 SO₂ 伤害症状的共同点是: 叶

脉间出现各种失绿斑点, 严重时叶片失水, 叶缘卷曲。针叶一般从叶尖开始出现伤斑。阔叶一般是靠近叶尖的叶肉细胞受害, 叶尖先出现伤斑。不同植物上伤斑的颜色形状各异。有些植物是成熟叶先出现症状 (如喜树), 有些植物幼叶先出现症状 (如香樟、杉木)。

(二) 急性伤害剂量阈值

在 SO₂ 3 种浓度 4h 急性熏气处理中, 受试树种出现了不同的叶片伤害面积。按照 5% 叶面积上出现可见伤害症状时的剂量定为伤害阈值, 9 种受试树种的 SO₂ 急性伤害阈值判定如表 1。

表 1 SO₂ 急性伤害剂量阈值

树种	剂量 (浓度×时间)
杉木	>2.0ppm × 4h
慈竹	>2.0ppm × 4h
香樟	2.0ppm × 4h
喜树	<2.0ppm × 4h
洋槐	1.5ppm × 4h
马尾松	1.0ppm × 4h
桉树	<1.0ppm × 4h
丝栗	1.0ppm × 4h
大头茶	1.0ppm × 4h

(三) 慢性伤害剂量阈值

受试的 9 种树苗在 2 种较低浓度 SO₂ 处理下, 经过不同时间分别达到了在 5% 叶面积上出现可见伤害症状, 从而可确定这些树种的 SO₂ 慢性伤害剂量阈值 (表 2)。

表 2 SO₂ 慢性伤害剂量阈值

树种	剂 量 (浓度×时间)
丝栗	250ppb × 62h 500ppb × 28h
桉树	250ppb × 77h 500ppb × 20h
洋槐	250ppb × 160h 500ppb × 70h
大头茶	250ppb × 169h 500ppb × 78h
慈竹	250ppb × 169h 500ppb × 40h
马尾松	250ppb × 183h 500ppb × 102h
喜树	250ppb × 220h 500ppb × 141h
杉木	250ppb × 220h 500ppb × 188h
香樟	250ppb × 230h 500ppb × 156h

(四) 叶片硫含量的变化

受试树苗叶片在慢性 SO_2 处理过程中和熏气停止后的叶片含硫量的分析结果见表 3。 SO_2 熏气开始后, 叶片含硫量逐渐增加; 达到伤害阈值时含硫量趋于稳定; 停止熏气后, 硫含量又逐渐下降, 直至恢复到熏气前的水平。 阈值时硫的增加量和停止熏气至恢复到原来的含硫水平的时间与树种净化 SO_2 的能力大小有关。

表 3 0.5ppm SO_2 处理前后叶片含硫量的变化
(mg/g 干重)

树种	熏气前	阈值时	熏气后 5d	熏气后 10d
香樟	3.20	7.07	5.64	4.16
慈竹	3.71	8.68	3.84	/
桉树	1.55	3.70	3.43	1.90
杉木	3.34	7.47	5.14	3.92
大头茶	2.72	3.98	2.85	2.80
喜树	5.25	9.29	8.64	6.95
洋槐	8.08	11.92	8.79	8.28
丝栗	8.51	11.06	9.25	8.71
马尾松	5.53	9.33	6.66	5.76

三、讨 论

(一) 树种对 SO_2 的耐性

SO_2 急性和慢性的伤害阈值的实验结果反映出树种对 SO_2 的耐性有明显差异。 树种对 SO_2 急性处理的耐性顺序为: 杉木 > 慈竹 > 香樟 > 喜树 > 洋槐 > 马尾松 > 桉树 > 大头茶 > 丝栗。 树种对 SO_2 慢性处理的耐性顺序是: 杉木 > 香樟 > 喜树 > 马尾松 > 大头茶 > 洋槐 > 慈竹 > 丝栗 > 桉树。 两种耐性大致相符, 即耐急性污染的树种对慢性污染的耐性亦强。 但也有例外: 慈竹和洋槐对高浓度 SO_2 短时间污染的耐性较强, 而对低浓度 SO_2 长时间污染的耐性则较弱。 大头茶与此相反, 对急性污染耐性较弱, 而对慢性污染的耐性则较强。

根据 SO_2 伤害阈值的大小, 可将试验树种分成三种类型: 杉木、香樟和喜树对 SO_2

的耐性较强, 可称耐性型; 丝栗和桉树对 SO_2 抗性较弱, 可称敏感型; 洋槐、大头茶、马尾松和慈竹对 SO_2 的耐性介于耐性型和敏感型之间, 可称中间型。

(二) 树种净化 SO_2 的能力

根据刘厚田等创立的植物净化 SO_2 能力的估算理论和方法^[3,4,5], 树木净化 SO_2 的能力体现为每年叶片对硫的积累能力和运转能力之和, 可以通过叶片对硫的积累强度、转运速率、叶片生物量和叶片功能时间来计算。 用公式表示为:

$$P = 2M(A + RT)$$

式中, P 为树木净化 SO_2 的能力; M 为树木叶片的年生物量; A 为叶片对硫的积累强度; R 为叶片对硫的转运速率; T 为树木叶片功能时间。 “2” 为从 S 换算成 SO_2 的系数。

叶片硫积累强度(A)由公式

$$A = c - c_0$$

来计算。 c 为阈值时叶片含硫量; c_0 为处理前叶片含硫量。

叶片对硫的转运速率(R)由公式

$$R = \frac{c - c_0}{t}$$

来计算。 t 为熏气停止后叶片硫含量恢复到熏气前水平所需的时间。

九种受试树种的 A 值和 R 值列于表 4。

表 4 叶片硫积累强度(A)和硫转运速率(R)值

树种	大头茶	桉树	马尾松	丝栗	洋槐	香樟	喜树	杉木	慈竹
$A(\text{mg/g})$	1.26	2.15	2.35	2.55	3.84	3.87	4.01	4.13	4.97
$R(\text{mg/g} \cdot \text{d})$	0.24	0.18	0.20	0.24	0.36	0.29	0.23	0.36	0.97

树木叶片功能期(T)因树种和生境而异。 年生物量指叶片的总干重, 数值依评估对象而异。 在重庆, 历年日平均温度稳定在 10°C 以上的时期约为 270 天(大致为 3 月 7 日至 11 月 30 日)。 应用公式 $P = 2M(A + RT)$, 可将 9 个树种的 SO_2 年净化率(单位

表 5 树叶对 SO_2 的净化率

树种	SO_2 净化率 (SO_2 mg/g 叶 · a)
慈竹	533.74
杉木	202.66
洋槐	202.08
香樟	164.34
丝栗	134.70
喜树	132.22
大头茶	132.12
马尾松	112.70
桉树	101.50

叶干重每年净化 SO_2 的量) 估算出来 (表 5)。估算出的净化率表示树种的净化潜力。净化潜力的发挥取决于植物本身的状态和外界的环境条件。通常只有部分净化潜力表现出来。

(三) 针对 SO_2 污染的绿化树种选择

由于重庆大气污染严重, 在选择绿化树种时首先应考虑树木对 SO_2 的耐性, 同时也要利用树木净化 SO_2 的能力。在大气污染严重的地区绿化时, 应优先选择耐性强和净化能力也强的树种。其次选择耐性强、净化能力弱的树种。对于耐性弱的树种, 无论其净化能力如何, 都不宜选用。

根据上述原则, 香樟、杉木和喜树耐 SO_2 污染能力较强; 洋槐和慈竹也有一定耐性; 同时, 这几种树对 SO_2 的净化能力也较强, 因

表 6 重庆市大气 SO_2 污染状况 (mg/m^3)^{*}

区域	1986		1987	
浓度	日均浓度 范围	年日均 浓度	日均浓度 范围	年日均 浓度
市中区	0.18~2.06	0.70	0.08~1.98	0.69
南岸区	0.12~1.90	0.48	0.05~3.10	0.42
江北区	0.002~2.08	0.53	0.01~1.74	0.52
沙坪坝区	0.02~1.27	0.39	0.06~1.40	0.31
九龙坡区	0.01~1.22	0.35	0.005~1.17	0.26
大渡口区	0.06~0.76	0.32	0.13~0.90	0.38
国家大气 质量二级标准	0.15	0.06		

^{*} 重庆市环保局, 重庆市环境质量报告, (1986, 1987)

而是重庆较适宜的绿化树种。

(四) 针对 SO_2 污染的绿化树种配置

重庆市不同区域 SO_2 污染水平不同, 但都超过国家大气质量二级标准数倍 (表 6)。与受试树种 SO_2 伤害阈值相比较, 可以判定不同区域空气中的 SO_2 对树木的伤害与否及其程度如何。

各区空气中 SO_2 浓度对多数树种都在急性伤害阈值之下, 只有对丝栗和桉树可能引起急性伤害。耐性型树种除在市中区可能受到 SO_2 慢性伤害外, 在其他各区均能正常生长。中间型树种在 SO_2 污染严重的市中区、江北区和南岸区会受到 SO_2 的慢性伤害。敏感型树种在城区任何地方都会受到 SO_2 的伤害; 在 SO_2 污染严重的市中区、江北区和南岸区会受到严重伤害, 甚至死亡。

根据研究结果, 可确定 9 种试验树种在重庆市各区的适当配置, 如表 7。

表 7 重庆市针对 SO_2 污染的绿化树种配置方案

树种	市中区	江北区	南岸区	九龙坡区	沙坪坝区	大渡口区
杉木	×	✓	✓	✓	✓	✓
香樟	×	✓	✓	✓	✓	✓
喜树	×	✓	✓	✓	✓	✓
洋槐	×	×	×	✓	✓	✓
马尾松	×	×	×	✓	✓	✓
大头茶	×	×	×	×	×	✓
慈竹	×	×	×	✓	✓	✓
丝栗	×	×	×	×	×	×
桉树	×	×	×	×	×	×

× 表示不适宜种植

✓ 表示种植后不会受到 SO_2 的明显伤害

参 考 文 献

- [1] 刘厚田等, 环境科学学报, 8(3), 330—339 (1988)
- [2] 杜晓明等, 环境科学学报, 8(4), 467—473 (1988)
- [3] 刘厚田等, 植物生态学及地植物学报, 12(3), 216—221 (1988)
- [4] 刘厚田等, 环境科学研究, 1(1), 28—34 (1988)
- [5] 张维平等, 中国环境科学, 8(4), 11—16 (1988)
- [6] 余叔文等, 环境科学, 9(3), 77—81 (1988)

(收稿日期: 1989 年 9 月 25 日)

Reclamation Treatment of the Scraps of Chrome Leather —Animal Test of the Feed Protein Powder. Jiang Tingda, Zhang Chunping (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(3), 1990, pp.2—6

The proteins extracted from scraps of chrome leather were mixed with bran and used as feed protein powder. The feeding test for mice showed that the animals grew faster by using the feed additive protein powder, compared with fishpowder after six weeks. No abnormal variations were observed in organs of the mice. The feeding test with the feed additive protein powder for chickens and middling hens showed that growth of the animals was accelerated in comparison with the group fed with fishpowder after 27 and 17 days respectively. The rate of layeggs in the initial stage was 40% higher than that of feeding fishpowder group. No abnormal variations were observed in organs, and chrome had not been detected out in muscle, liver and egg at ppm level.

Study on Copper Pollution from Fertilizing the Soil with Sludge. Wang Hongkang, Yan Shoucang (Beijing Agricultural University): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(3), 1990, pp.6—11

The pot and plot experiments have been conducted for studying the effect of copper pollution on wheat and rice in calcareous soil fertilized with sludge containing copper. The results demonstrated that high concentrations of copper in soil affected on the growth of the crops and their yields. Rice was more susceptible to it than wheat, and reduced the yield about 10% when the soil had been treated with copper by 100 ppm. The order of absorption and accumulation of copper within the organs was as follows: root >> stem > leaf > grain. The copper content in grains of wheat and rice both were not higher than 20 ppm. In the soil fertilized with the sludge, the variation of available copper, its cation speciation and soil capacity were also studied in the paper. It is suggested that 130 ppm of copper as a critical value, and 800 ppm as a maximum permissible limit in sludge as it is fertilized to calcareous soil.

Structural Influence of Fulvic Acid in Rat Bone Formation. Yang Chunlin et al. (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(3), 1990, pp.11—15

The influence of fulvic acid from Beijing weathered coal on the structure of rat bone has been studied. Emphasis was put on the fluorescent spectrum, ultra-violet spectrum and gel chromatographic properties of water extract of the rat bone injected with fulvic acid. The results showed that the evidence incorporating of fulvic

acid into rat bone and the pathogenic significance of this incorporation in causing Chinese Kaschin-beck disease was evaluated.

Weathering of Copper Mine Waste Rock and Characteristics of Acid Wastewater. Dai Zhaohua, Wang Zhihai (Research Center for EcoEnvironmental Sciences, Academia Sinica, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(3), 1990, pp.15—19

In this paper the characteristics of acid mine water generated from weathering of copper mine waste rock have been described according to the survey in situ. The acidity and concentration of some elements in the acid water were higher. Except that the content of some elements released from the rock weathering affected by seasons, it was affected by rainfall, even if in a season. According to the relationship between elements and the molar ratio between sulfur and iron in the acid water, it was considered that some secondary minerals were formed during generation and transportation of the acid water and controlled the chemical equilibria and acidity of the acid water. Tetraivalent sulfur might be an important intermediate product during the process of acid generation from pyrite weathering on the basis of sulfur speciation analysed, and it was rapidly oxidized to sexavalent sulfur during transportation of acid water.

Tolerance and Purification Capacity of Some Species of Trees against Sulfur Dioxide

Li Yichuan, Liu Houtian (Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing); Ma Liangqing, Du Shicai (Chongqing Bureau of Forestry, Sichuan Province): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(3), 1990, pp.20—23

In order to determine the threshold doses of acute and chronic injury by SO₂, the saplings fumigated with SO₂ in the open top chamber were conducted. According to the principle that purification capacity of SO₂ by trees is in a function of sulfur intensity accumulated in leaves and its transfer rate out of leaves, the purification capacity of a tree can be estimated in varied sulfur contents in the leaves before and after fumigation. The experimental results show that the trees *Cunninghamia lanceolata*, *Camptotheca acuminata*, *Cinnamomum pilyphylum* possess strong tolerance and higher purification capacity against SO₂, but the capacity of *Robinia pseudacacia* etc are lower. Chongqing is a city with heavier SO₂ pollution, so the said trees can be selected for greening around the urban districts.

The Function of the Root Microecosystem in the Process of Dyeing Wastewater Treatment by the Hyacinth. Sun Tianhua, Liu Zhenghong, Lin Shaoning (China Textile University