

文章编号: 0529-6579 (1999) 02-0109-05

广州城市建成区绿地对 大气二氧化硫的净化作用^{*}

管东生¹, 刘秋海², 莫大伦¹

(1. 中山大学环境科学系, 广东 广州 510275; 2. 中山大学城市与资源规划系)

摘 要: 研究广州城市建成区绿地植物的硫贮量和净生产量中的硫量, 从而讨论城市绿地植物对大气中硫的净化作用. 结果表明: 建成区绿地植物的净生产量为 64 948 t/a, 净生产量中的硫量为 40 956 kg/a, 净生产量中的硫量接近城市上空的平均硫贮量 (42 690 kg). 广州城市绿地的净化能力仍有发展潜力.

关键词: 城市绿地; 硫; 贮存; 净化; 广州

中图分类号: X 171 **文献标识码:** A

自 70 年代以来, 国内外学者对城市绿地进行了大量的研究^[1]. 但是, 这些研究主要集中在利用植物监测空气污染方面, 没有把城市绿地视为城市系统中的一个子系统, 定量估算它对整个城市环境中污染物的净化作用. 本文通过研究广州城市建成区绿地植物的生物量和净生产量, 以及绿地系统内硫的含量特征、贮量分布和年吸收量, 从而探讨广州城市绿地系统对城市大气中二氧化硫的净化作用.

1 研究方法

1.1 生物量和净第一性生产量的估算

乔木层地上部生物量的估算利用维量分析法^[2], 地下部生物量根据各种林分类型的地上部与地下部生物量的比值推算^[3]. 本文调查了广州城市 274.53 hm² 各类绿地树木和 367 条街道的行道树, 以这些资料的计算为基础, 推算建成区乔木的生物量. 灌木和草本的生物量则根据典型群落的生物量收割获得, 共收获 16 个 2 m×2 m 样方, 以此推算灌木和草本的生物量.

利用林分生物量的资料以及方精云等^[3] 建立的各种森林群落生产力与生物量关系方程, 估算森林的净生产量, 其中阔叶林的方程是作者根据广东鼎湖山、黑石顶、鹤山、小良以及云南等地的资料建立^[4], 其方程为 $1/y = 2.615 - 11x + 0.0471$ ($r = 0.85$, $n = 21$, $P < 0.01$). 其中, y 为净生产量 ($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$), x 为生物量 (t/hm^2). 森林中植物不同器官的净生

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49571064)

收稿日期: 1998-06-23 作者简介: 管东生, 男, 1958 年生, 博士, 副教授.

产量则根据已报道的相同类型群落不同器官的净生产量平均分配比率估算^[2,5,6]。草地的净生产量在广州城市绿地中只占很小部分，其净生产量根据生物量除以平均年龄 2 a 而得。

1.2 植物和土壤的硫的质量分数

植物分析样品根据调查选择各地段的优势种或特征种，按器官分别采样；土壤按 1 m 深剖面分层采样。植物样品在实验室用水冲洗干净，于 70 ℃烘箱中烘干，用粉碎机磨碎。土壤样品则在室温下自然风干，磨碎通过 100 目尼龙筛。植物硫质量分数测定采用湿灰化 BaSO₄ 比浊法，土壤硫质量分数测定采用Mg(NO₃)₂ 氧化—BaSO₄ 比浊法。

2 结果与讨论

2.1 植物体内的硫质量分数

不同生活型植物叶片的硫质量分数($w(S)$)为落叶阔叶树> 常绿阔叶树> 常绿针叶树> 棕榈树(表 1)。其中前 3 种生活型植物叶片的平均 $w(S)$ 差别不大，棕榈科植物则比它们低大约 30%。叶片 $w(S)$ 较高的植物有地轮桃(*Dillenia turbinata*, 5.77 mg/g)、刺桐(*Erythrina variegata*, 4.51 mg/g)、一品红(*Euphorbia pulcherrima*, 3.71 mg/g)、樟树(*Cinnamomum camphora*, 3.60 mg/g)、黄槐(*Cassia surattensis*, 3.56 mg/g)、白千层(*Melaleuca leucadendra*, 3.08 mg/g)、大叶紫薇(*Lagerstroemia speciosa*, 3.08 mg/g)、构树(*Broussonetia papyifera*, 3.08 mg/g)、仙加树(*Khaya senegalensis*, 2.99 mg/g)、蝴蝶果(*Cleidiocarpon cavaleriei*, 2.91 mg/g)、细叶榕(*Ficus microcapa*, 2.84 mg/g)、木棉(*Bombax malabaricum*, 2.72 mg/g)和木麻黄(*Casuarina equisetifolia*, 2.69 mg/g)等。以上一些树木如细叶榕、樟树、蝴蝶果、木麻黄和构树等，已被实验证明是对 SO₂ 的抗性较强^[7]。由于这些植物对硫的吸收能力强，而又不容易受害，因此是净化大气中 SO₂ 的优良树种。

表 1 不同生活型植物叶片的硫质量分数
Tab 1 Mass fractions of sulfur in plants of different life forms

生活型	样品数	$w(S)/(mg \cdot g^{-1})$					变异系数/%
		最大值	最小值	中间值	平均值	标准差	
落叶阔叶树	12	4.51	0.93	2.36	2.30	1.15	50.0
常绿阔叶树	58	5.77	0.75	1.92	2.18	1.09	50.0
常绿针叶树	6	2.83	1.21	2.14	2.11	0.57	27.0
棕榈树	6	2.67	0.56	1.43	1.56	0.96	61.5
所有树	82	5.77	0.56	2.03	2.15	1.06	49.3

棕榈科树木是另一类对 SO₂ 抗性较强的植物^[7]。这类植物叶片的 $w(S)$ 较低。它们由于叶片的蜡质层和角质层厚，而叶面又较光滑，因此有较少的 SO₂ 进入叶肉内，从而对 SO₂ 有较强的抗性。广州城市绿地其他一些 $w(S)$ 低的植物，如印度榕(*Ficus elastica*, 0.75 mg/g)、高山榕(*Ficus altissima*, 1.02 mg/g)、扁桃果(*Mangifera persiciformis*, 1.03 mg/g)、鸡蛋花(*Plumeria rubra*, 1.03 mg/g)等，也具有相似的特征，它们也被实验证明对 SO₂ 具有较强的抗性^[7]。此外，植物不同器官的 $w(S)$ 也有显著差异(表 2)。由于树叶是植物体内生理代谢作用最活跃的器官，而且其与空气接触的面积大，因此其 $w(S)$ 约相当于树干材

的 15 倍，树根的 8 倍。从表 1 和表 2 的变异系数看，不同种类的针叶树叶子的 $w(S)$ 变化最小。而对不同器官来说，则是叶子的 $w(S)$ 变化最小。

表 2 优势种植物($n=16$)不同器官的硫质量分数

植物器官	$w(S)/(mg\cdot g^{-1})$					变异系数/ %
	最大值	最小值	中间值	平均值	标准差	
树 叶	3.47	1.21	2.43	2.51	0.74	29.5
树 枝	1.35	0.07	0.24	0.38	0.35	92.1
树干皮	1.21	0.08	0.51	0.51	0.28	54.9
树干材	0.37	0.04	0.12	0.17	0.13	76.5
树 根	0.92	0.03	0.30	0.33	0.22	66.7

2.2 城市绿地植物和土壤的硫贮量

广州城市建成区绿地植物硫贮量在各种绿地类型的分布与生物量分布格局相似（表 3），其中公园和大学绿地硫贮量所占的比例略低于生物量的比例，而道路的比例则略高，说明行道树受 SO_2 的影响较大。城市土壤中的硫贮量相当于植物硫贮量的 119 倍。从土壤硫贮量看，城市道路绿地硫贮量较大。由于城市道路绿地的土壤通常含有煤渣及其他生活垃圾，这可能是其硫贮量较高的一个原因。

表 3 广州城市建成区绿地植物的生物量和硫贮量

绿地类型	面积	生物量	植物硫贮量	土壤硫贮量
	hm^2	$(t\cdot hm^{-2})$	$(kg\cdot hm^{-2})$	$(t\cdot hm^{-2})$
公园	996	86.43	30.21	2.93
大学	505	77.65	25.93	2.70
道路	295	88.98	34.07	3.14
其他	3 967	60.74	21.40	2.84
合计	5 763	68.11	23.97	2.86

在广州城市建成区绿地中，乔木的总生物量和总硫贮量分别为 372 973 t 和 117 450 kg，占绿地植物生物量和硫贮量的 95.0% 和 85.0%。乔木各器官硫贮量分配序列为树干材> 树叶> 树根> 树枝> 树干皮（表 4），这一分配序列与生物量分配序列不同，树叶在生物量分配序列中排最后，而在硫贮量分配序列中仅次于树干材排第 2 位（表 4）。

表 4 广州城市建成区树木各器官的总生物量和总硫贮量

Tah 4 Biomass and sulfur content of various organs of trees in urban Guangzhou				
器官	总生物量/ t	生物量比例/ %	总硫贮量/ kg	硫贮量比例/ %
树叶	11 891	3.2	26 062	22.2
树枝	56 768	15.2	19 516	16.6
树干皮	29 918	8.0	14 667	12.5
树干材	208 277	55.9	33 698	28.7
树根	66 119	17.7	23 507	20.0
合计	372 973	100.0	117 450	100.0

2.3 城市绿地植物的净生产量及净生产量中的硫量

广州城市建成区绿地植物的净生产量为 64 948 t/a，净生产量中的硫为 40 956 kg/a（表 5）。其中乔木的净生产量及其硫量分别为 58 221 t/a 和 31 124 kg/a，占总量的 89.6%和 76.0%。乔木各器官净生产量中的硫量分配序列为树叶>树根>树枝>树干材>树皮，这一序列既不同于各器官净生产量的分配序列（表 6），也不同于各器官生物量中硫贮量的分配序列（表 4）。其中树干材的净生产量和树干材生物量的硫贮量在其分配序列中所占比率最大，分别为 37.1%和 28.7%，而其在净生产量中的硫量只占 8.6%；叶子的净生产量和叶子生物量的硫贮量占其序列中的比率分别为 20.7%和 22.2%，而其在净生产量中的硫量却占 67.9%。这一结果表明，树叶是净化环境中硫的最重要器官。

表 5 广州城市建成区绿地植物的净生产量及净生产量中的硫量
Tah 5 Net primary production and its sulfur mass of urban vegetation in Guangzhou

绿地类型	单位面积净生产量/(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	净生产量/(t·a ⁻¹)	净生产量的比例/%	单位面积净生产量中硫量/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	净生产量中的硫量/(t·a ⁻¹)	净生产量中硫量的比例/%
公园	12.37	12 319	19.0	9.16	9 122	22.3
大学	12.04	6 083	9.4	6.55	3 308	8.1
道路	11.60	3 423	5.3	5.90	1 740	4.2
其他	10.87	43 123	66.3	6.75	26 786	65.4
合计	11.27	64 948	100.0	7.11	40 905	100.0

表 6 广州城市树木各器官的净生产量及净生产量中的硫量

Tah 6 Net production of trees and the sulfur mass in net production of various organs in urban Guangzhou

器官	净生产量/t	净生产量的比例/%	净生产量中的硫量/kg	净生产量中硫量的比例/%
树叶	12 037	20.7	21 137	67.9
树枝	10 500	18.0	2 986	9.6
树干皮	2 678	4.6	1 051	3.4
树干材	21 609	37.1	2 691	8.6
树根	11 397	19.6	3 259	10.5
合计	58 221	100.0	31 124	100.0

2.4 城市绿地对大气中硫的净化作用

根据文献[8] 的方法, 大气硫贮量可根据下式计算

大气平均硫贮量=年平均 SO₂ 浓度×(32/29)×1.03×面积

由上式算得, 广州城市建成区上空的平均硫贮量为 42 690 kg, 分别相当于绿地植物和土壤硫贮量的 30.9%和 0.26%。

广州城市的 SO₂ 排放量较大, 其值为 11.2×10⁴ t, 相当于 5.60×10⁴ t 的 S。但是环境中 S 的循环属于沉积型循环, 城市产生的 SO₂ 通过大气扩散和干湿沉降, 在广州城市上空停留的 SO₂ 只是其排放量的极小部分。广州城市绿地植物净生产量中的硫量接近于城市上空的平均 S 贮量。如果建成区绿地植物净生产量的硫量主要来自大气, 植物的净化作用大约可使大气中的硫每年更新循环一次, 虽然植物根和茎净生产量中的硫可能不是主要来自

大气，但乔木 67.9% 净生产量中的硫来自叶子，而草本和灌木叶子净生产量中的硫量所占的比例更大。此外，本研究没有考虑被植物吸收后硫的淋溶损失和植物体表面对 SO_2 的吸附作用。从现有的研究看，城市中有林地比其附近无林地大气中 SO_2 的体积分数低 20% ~ 50%^[1]，可见城市绿地对大气中 SO_2 的净化作用是明显的。

广州城市建成区绿地植物的生物量和净生产量分别为 68.11 t/hm² 和 11.27 t/(hm²·a)，南亚热带常绿阔叶林的生物量和净生产量可达 357.97 t/hm² 和 29.61 t/(hm²·a)^[5,6]，相当于广州城市建成区绿地植物生物量和净生产量的 5.3 和 2.6 倍。如果广州城市绿地得到适当的保护和改良，提高生物量和净生产量，并选择种植对 SO_2 吸收能力和抗性较强的植物，城市绿地对大气中硫的净化能力将可大大加强。

参考文献：

- [1] 冯采芹编. 绿化环境效应研究 [M]. 北京：中国环境科学出版社，1992，208.
- [2] 管东生. 流溪河水库林区四个林分类型的生物量与生产力 [J]. 生态科学，1986 (2)：45~52.
- [3] 方精云，刘国华，徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量 [J]. 生态学报，1996，16 (5)：497~508.
- [4] 管东生，陈玉娟，黄芬芳. 广州城市绿地系统碳的贮存、分布及其在碳氧平衡中的作用 [J]. 中国环境科学，1998 18 (5)：437~441.
- [5] 陈章和，张宏达，王伯荪，等. 广东黑石顶自然保护区南亚热带常绿阔叶林生物量及其分配的研究 [J]. 植物生态学报，1993，17 (4)：289~298.
- [6] 陈章和，张宏达，王伯荪. 黑石顶自然保护区南亚热带常绿阔叶林生物量与生产量研究——生物量增量及第一性生产量 [J]. 生态学报，1992 12 (4)：377~385.
- [7] 孔国辉，易敬度，余清发等. 抗二氧化硫、氯气植物的选择 [J]. 中国环境科学，1983 3 (6)：36~40.
- [8] 方精云，刘国华，徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳循环及其全球意义 [M]. 见：王如松等编. 现代生态学的热点问题研究. 北京：中国科学技术出版社，1996. 240~250.

The Role of Guangzhou Urban Vegetation in Removing Atmospheric Sulfur

GUAN Dong-sheng^{*}, LIU Qiu-hai, MO Da-lun

Abstract: The paper deals with the roles of urban vegetation in removing atmospheric sulfur by studying its sulfur storage and sulfur mass in net primary production (NPP) in Guangzhou. The results show that the sulfur in atmosphere is renewed once a year by the vegetation if the sulfur mass in NPP is mainly from atmosphere.

Keywords: urban vegetation; sulfur; storage; removing; Guangzhou

^{*} Department of Environmental Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China