

城市公园绿地生态效应的定量评估

王晓明¹, 李贞², 蒋昕², 廖文波³

(1. 深圳市梅林公园管理处, 广东深圳 518049; 2. 中山大学地理科学与规划学院, 广东广州 510275;
3. 中山大学生命科学学院, 广东广州 510275)

摘要: 以位于亚热带地区的城市公园(深圳市莲花山公园)绿地为例, 选取了碳-氧平衡、水土涵养和小气候调节 3 方面的 CO₂-O₂ 吸释量、群落蓄水量、保土量、蒸散量、蒸散耗热量等指标, 对城市公园植被的不同群落结构类型进行了生态效应的定量评价。结果表明, 有乔、灌、草 3 层结构的林地群落的生态效应平均为单层结构的草坪群落的 2~3 倍。

关键词: 公园绿地; 生态效应; 群落结构

中图分类号: Q149 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2005)04-0042-04

Quantitative evaluation on the ecological benefit of public park green space WANG Xiao-ming¹, LI Zhen², JIANG Xin², LIAO Wen-bo³ (1. Meilin Park of Shenzhen City, Shenzhen 518049, China; 2. School of Geography Sciences and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 3. School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2005, 14(4): 42-45

Abstract: Taking the public park green space in the subtropical areas (Lianhuashan Park in Shenzhen City) as an example, three aspects have been put into consideration including the balance of CO₂ and O₂, maintenance of soil and water, and the regulation of climate. Based on the indices of CO₂ absorption-O₂ release, water holding, soil holding, transpiration and dissipative heat of transpiration, the evaluation of the ecological benefit has been performed for different community structure types. The result shows that the ecological benefits of the forest community with three layer structure of trees, shrubs and grasses are two or three times as much as the lawn community with one layer structure in average.

Key words: public park green space; ecological benefit; community structure

城市绿地对城市环境具有积极的生态和景观调节作用, 特别是城市绿地系统中面积相对最大、群落结构相对较复杂的公园绿地, 其生态功能对城市生态影响更为突出。自 20 世纪 80 年代以来, 国内外一些学者对城市绿地的生态功能效应进行了不同程度的研究^[1,2], 近年来, 一度兴起用专家咨询评价等方法估算区域的植被等生态系统的生态服务功能与价值的研究^[3]。本文以深圳市莲花山公园为例, 以群落生物量及其生态系统优势种的样品分析和参考数据为基础, 探讨不同群落结构的生态功能效应, 从而揭示绿地系统种植结构的生态效应差异, 以期在城市绿地系统的规划及建设提供科学依据。

总面积 166.41 hm², 其中绿地面积为 154.74 hm², 绿化率达 93%, 是深圳市区面积最大的公园之一。公园地形为丘陵, 最高峰海拔 113.37 m。土壤类型为赤红壤。属于南亚热带海洋性季风气候, 年平均气温 22.4℃, 年平均降雨量 1937.3 mm。

本区气候有利于南亚热带季风常绿阔叶林的发育, 但由于长期的人类活动影响和开辟为城市公园, 现状植被是以次生性的台湾相思 (*Acacia confuse*) 林、柠檬桉 (*Eucalyptus citriodora*) 和赤桉 (*E. camaldulensis*) 林等人工林为主, 该类群落已作为风景林保护, 林下灌草自然恢复、演替增强, 故称次生性人工群落; 其次是园林种植植被, 大致划分出 10

1 研究区的植被与群落结构分类

莲花山公园位于深圳市福田区中心区的北面,

收稿日期: 2005-04-18

作者简介: 王晓明(1961-), 男, 浙江东阳人, 博士, 高级工程师, 主要从事园林植物的研究及园林管理。

类群丛 19 种群落^[4]。根据群落或种植的优势层可分为 4 类群落结构：I 类为林地，是有乔、灌、草 3 层结构的次生林或人工林；II 类为灌丛，是以灌、草 2 层结构为主的次生灌丛或园林花木灌丛；III 类为园林的稀树草坪；IV 类为草坪。主要样地的群落结构

类型见表 1。

本研究采用样方法，调查每一群丛的种类、树高、冠幅、胸径、乔木层的郁闭度和灌草层的覆盖度，以及测定土壤、优势植物和枯枝落叶的含水量。

表 1 深圳市莲花山公园主要样地及其群落结构
Table 1 The typical plots and their community structures in Lianhuashan Park of Shenzhen City

群落结构类型 ¹⁾ Community structure type	群丛 Association	样方面积/m ² Plot area	总面积/hm ² Total area
I	I ₁ 台湾相思-银柴群丛 Assoc. <i>Acacia confusa</i> - <i>Aporosa chinensis</i>	1 200	10.50
	I ₂ 台湾相思 + 桉树群丛 Assoc. <i>Acacia confusa</i> + <i>Eucalyptus</i> sp.	1 100	47.42
	I ₃ 荔枝群丛 Assoc. <i>Litchi chinensis</i>	600	26.73
II	II ₁ 豹皮樟 + 桃金娘群丛 Assoc. <i>Litsea rotundifolia</i> + <i>Rhodomyrtus</i> sp.	400	1.23
	II ₂ 垂枝榕 + 龙船花群丛 Assoc. <i>Ficus benjamina</i> + <i>Ixora</i> sp.	600	48.22
III	III ₁ 榄仁树稀树草坪 Assoc. <i>Terminalia catappa</i>	600	5.89
	III ₂ 窿缘桉 + 荔枝稀树草坪 Assoc. <i>Eucalyptus exserta</i> + <i>Litchi chinensis</i>	600	9.59
	III ₃ 阴香稀树草坪 Assoc. <i>Cinnamomum burmannii</i>	600	2.13
IV	IV ₁ 类芦高草群丛 Assoc. <i>Neyraudia reynaudiana</i>	25	1.06
	IV ₂ 结缕草草坪 Assoc. <i>Zoysia tenuifolia</i>	25	2.32

¹⁾ I：林地 Forestry land；II：灌丛 Bush-wood；III：稀树草坪 Open forest lawn；IV：草坪 Lawn.

2 评估指标的计算

对绿地生态功能的效应评价选取了碳-氧平衡、水土涵养和小气候调节等 3 方面共 5 个指标，具体计算方法如下。

2.1 碳-氧平衡效应

吸收 CO₂ 释放 O₂ 是绿色植物对大气影响最重要的生态效应之一，常用的计算方法有叶面积法、植株法和生产量法等^[1,5]，本研究基于前 2 种方法，并采用优势种平均吸收 CO₂ 量和释放 O₂ 量以及层冠有效面积替代叶面积指数求算。

$$(1) \text{层冠法: } Fc = E \times (Qc + Gc);$$

$$E = Eh \times Rh.$$

$$(2) \text{植株法: } Fi = [(Ei \times La \times Qi) + (Es \times Gs)] \times 10^{-3} \times Rd \times Lu;$$

$$La = (N \times Tc) / Ys.$$

以上各式中：Fc 和 Fi 分别为采用层冠法和植株法计算出的群落年吸收 CO₂ 及释放 O₂ 量 (t · hm⁻² · a⁻¹) (简称吸释量)；E 为层冠年吸释量 (t · hm⁻² · a⁻¹)；Eh 为层冠时吸释量 (t · hm⁻² · h⁻¹)；Rh 为全年有效日照时数 (深圳市为 2 208.6 h)；Qc 为乔木层郁闭度；Gc 为灌草层覆盖度；Ei 为乔木植株平均吸释量

(kg · d⁻¹)，一般吸收 CO₂ 量取值 1.84，释放 O₂ 量取值 1.34；La 为有效光照面积系数；N 为样方乔木株数；Tc 为平均立木冠幅 (m²)；Ys 为样方面积 (m²)；Qi 为总株数 (株 · hm⁻²)；Es 为灌草层平均吸释量 (kg · d⁻¹ · m⁻²)，一般吸收 CO₂ 量取值 0.12，释放 O₂ 量取值 0.087；Gs 为每公顷灌草层覆盖面积 (m²)；Rd 为年日照天数 (d)；Lu 为年有效光照利用率，乔灌层混合取值 0.4 ~ 0.35，灌草层取值 0.6 ~ 0.5。

2.2 水土涵养效应

2.2.1 群落蓄水量 包括贮存于植物体内、枯枝落叶层以及土壤中的水分^[5]。

$$Cw = W_{\text{植物}} + W_{\text{土壤}} + W_{\text{枯层}}.$$

式中，Cw 为群落蓄水量 (t · hm⁻² · a⁻¹)；W_{植物} 为植物蓄水量 (t · hm⁻² · a⁻¹)，W_{植物} = 生物量 × 植物体含水百分比；W_{土壤} 为土壤蓄水量 (t · hm⁻² · a⁻¹)，W_{土壤} = 土壤容重 (g · cm⁻³) × 表土深 (m) × 表土含水量 (g · kg⁻¹) × 10；W_{枯层} 为枯枝落叶层蓄水量 (t · hm⁻² · a⁻¹)，W_{枯层} = 枯枝落叶鲜质量 × 枯枝落叶含水百分比。

2.2.2 保土效应 采用荒地土壤侵蚀量为最少保土量的方法计算群落的保土效应^[5]。

$$PS = PS_{\min} - X_i;$$

$$PR = PS \times PS_{\min}^{-1} \times 100\%.$$

式中, PS 为群落保土量 ($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$); PS_{min} 为最小保土量 (荒山土壤年流失量一般为 $75 \sim 50.85 t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$, 取后值); X_i 为第 i 类群落土壤侵蚀量 ($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$); PR 为群落保土率 (%)。

2.3 小气候调节效应

根据水分平衡方程式测算各植被群落地段的水分蒸散量。植被的蒸腾作用伴随着能量的消耗和潜热能的转换, 利用蒸散量可以计算出各群落地段蒸散耗热量, 从而了解植被调节小气候湿度和降温的功能。

$$Q = Le \times L;$$

$$Le = Lw \times Ep + Pr \times Es。$$

式中, Q 为蒸散耗热 ($kJ \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$); Le 为植物和

表土水分蒸散量 ($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$); Lw 为鲜叶质量 (t); Ep 为蒸腾强度, 取 $451.9 t \cdot t^{-1} \cdot a^{-1}$ (鲜叶); Pr 为多年平均降雨量, 深圳市平均为 $19373 t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$; Es 为土壤蒸发系数, 一般为降雨量的 $5\% \sim 10\%$; L 为汽化 $1 t$ 水所消耗的热量, 取 $22.579 \times 10^5 kJ$ 。

3 结果和分析

根据层冠法和植株法计算出的碳-氧平衡基础数据见表2。依据上述方法, 通过10个样方的植物、土壤分析及经验数据, 得出深圳市莲花山公园绿地4类群落结构的生态效应计算结果(见表3)。

表2 深圳市莲花山公园主要群落2种碳-氧平衡计算基础数据表¹⁾

Table 2 The basic datum of two methods in calculating the quantities of CO_2 absorption and O_2 release of the typical communities in Lianhuashan Park of Shenzhen City¹⁾

群丛 Association	Qc	Gc	Eh		Fc		N	La	Fi	
			CO_2	O_2	CO_2	O_2			CO_2	O_2
I ₁	0.80	0.75	9.436	5.866	323.025	200.813	189	0.788	269.848	196.248
I ₂	0.85	0.65	9.062	6.615	310.222	226.453	194	0.705	265.524	193.115
I ₃	0.85	0.25	7.307	5.405	177.521	131.312	127	0.741	250.491	182.375
II ₁	0.30	0.85	7.792	5.688	223.722	163.313	36	0.315	204.292	148.337
II ₂	0.00	0.95	5.842	4.262	122.575	89.424	54	0.180	153.644	111.392
III ₁	0.10	1.00	6.307	4.605	153.226	111.877	15	0.050	162.067	117.509
III ₂	0.25	1.00	5.866	4.284	161.946	118.271	23	0.153	173.351	125.726
III ₃	0.35	0.85	6.307	4.605	160.191	116.962	51	0.213	171.257	124.305
IV ₁		0.90	5.600	4.648	123.682	102.656	0	0.060	129.976	94.749
IV ₂		0.95	6.000	4.800	132.516	106.013	0	0.050	118.160	86.135
Total compare	/t · a ⁻¹				33 588.0	24 245.7			33 494.4	24 343.2

¹⁾ Qc: 郁闭度 Canopy density; Gc: 盖度 Cover degree; Eh: 层冠时吸释量 Horary quantities of CO_2 absorption and O_2 release ($g \cdot hm^{-2} \cdot h^{-1}$); Fc: 层冠法计算的吸收 CO_2 释放 O_2 量 Quantities of CO_2 absorption and O_2 release with the layer-crown method ($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$); Fi: 植株法计算的吸收 CO_2 释放 O_2 量 Quantities of CO_2 absorption and O_2 release with the individual number method ($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$); N: 乔木株数 Individual number; La: 有效光照面积系数 The coefficient of effective sunshine leaf-area; Total compare: 总量比较 ($t \cdot a^{-1}$). I₁: 台湾相思-银柴群丛 Assoc. *Acacia confusa*-*Aporosa chinensis*; I₂: 台湾相思+桉树群丛 Assoc. *Acacia confusa* + *Eucalyptus* sp.; I₃: 荔枝群丛 Assoc. *Litchi chinensis*; II₁: 豹皮樟+桃金娘群丛 Assoc. *Litsea rotundifolia* + *Rhodomyrtus* sp.; II₂: 垂枝榕+龙船花群丛 Assoc. *Ficus benjamina* + *Ixora* sp.; III₁: 榄仁树稀树草坪 Assoc. *Terminalia catappa*; III₂: 窿缘桉+荔枝稀树草坪 Assoc. *Eucalyptus exserta* + *Litchi chinensis*; III₃: 阴香稀树草坪 Assoc. *Cinnamomum burmannii*; IV₁: 类芦高草群丛 Assoc. *Neyraudia reynaudiana*; IV₂: 结缕草草坪 Assoc. *Zoysia tenuifolia*.

由表1和表3得知:莲花山公园植被每年吸收 CO_2 约 33 600 t, 释放 O_2 约 24 300 t。按成年人每人每年排出 CO_2 328.5 kg、消耗 O_2 273.8 kg 计算, 则公园的植被可提供 10.2 万人的 O_2 需求量、吸收 8.9 万人的 CO_2 排出量。

从表2和表3中可看出, 由于群落结构不同, 碳-氧平衡效应有明显差异, 其中林地 I₁ (台湾相思-银柴群丛) 约为草坪 IV₂ (结缕草群丛) 的 2.4 ~ 2.2 倍。林地具有较高的净化空气能力的生态效能

主要取决于优势种单位叶面积吸收 CO_2 量、释放 O_2 量和滞留灰尘、吸收有害气体的强度, 以及群落多层的结构而增大叶面积指数。据报道, 乔木叶片层次多, 叶面积指数大, 叶面积可达到乔木树冠正投影面积的 20 倍左右, 而灌木只有 5 ~ 10 倍, 草坪则更小。

莲花山公园植被每年涵水总量为 253 652 t, 相当于 1 个容量为 $25 \times 10^4 m^3$ 的绿色潜流水库。公园全年平均保土量为 5 448 t, 平均保土率达 70%, 其中林地涵水总量和保土量分别是草坪的 2.7 倍和 2

倍。以 I 类的林地结构和 III 类的稀树草坪结构比较,平均每公顷林地要比草坪增加蓄水量 896 t,增加保土量 16 t。

植物群落的蒸散量包括植物的蒸腾量和地表土的蒸发量,并在蒸散过程中同时蒸散耗热,这是植被增加大气湿度、降低气温、改良小气候环境的特征值。莲花山公园绿地年蒸散总量为 806 830.8 t,年蒸散耗热 $18\ 207.64 \times 10^8$ kJ,比同面积的裸地蒸散

量高出约 20 倍,故公园绿地的湿度明显比非绿化区高,而气温要低,为改善社区小气候环境作出了贡献。此外,从群落结构分析,林地蒸散量是草坪的 2.7~3.5 倍,是稀树草坪和灌草结构群落的 2.4~1.6 倍,说明浓厚的树冠把太阳辐射和蒸腾作用面抬到离地面较高的位置,降低了地面的温度;而灌木、草坪虽然也有防暑降温作用,但因其植株矮小,太阳辐射几乎接近地面,对地面的降温作用不明显。

表 3 深圳市莲花山公园单位绿地生态效应测定

Table 3 The measurement of ecological benefits of green space in Lianhuashan Park of Shenzhen City

群落结构类型 Community structure type	Fc		Cw	PS	PR	Le	Q
	CO ₂	O ₂					
I	270.26	186.19	2 130.2	42.44	85.45	6 377.2	143.65
II	173.15	126.37	1 365.7	33.83	66.53	3 982.5	89.89
III	158.45	115.70	1 234.6	26.41	51.93	3 638.9	82.10
IV	128.10	104.34	786.8	21.94	43.14	2 321.5	164.56
总计 Total	33 588.00	24 245.70	253 652.1	5 447.83	70.31	806 830.8	18 207.64

¹⁾ Fc: 层冠法计算的吸收 CO₂ 释放 O₂ 量 Quantities of CO₂ absorption and O₂ release with the layer-crown method ($t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); Cw: 群落蓄水量 Community water preservation ($t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); PS: 保土量 Soil preservation ($t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); PR: 保土率 Soil preservation ratio (%); Le: 蒸散量 Quantity of transpiration ($t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); Q: 蒸散耗热量 Dissipative heat of transpiration ($\times 10^8 \text{ kJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$). I: 林地 Forestry land; II: 灌丛 Bush-wood; III: 稀树草坪 Open forest lawn; IV: 草坪 Lawn.

4 讨论和结论

通过应用上述 2 种碳-氧平衡的估算公式,并结合深圳莲花山公园植被进行定量分析,从而可以推断出具乔、灌、草复层群落结构的林地的碳氧平衡绿地生态效应是单层群落结构草坪的 2.4 倍,基本符合“林地是草地碳氧平衡生态效益的 2.5 倍”^[6]的绿地指标理论值的推算,即城市人均绿地面积的理论需求为林地每人 10 m²,草坪每人 25 m²。

如按深圳莲花山公园植被的 4 种群落结构类型比例归并为 2 类,即 I 类的林地和 II 类的灌丛归为一类,III 类的稀树草坪和 IV 类的草坪为一类,分别占公园绿地面积的 56.7% 和 43.3%,又以公园吸收 CO₂ 的环境容量 8.9 万人计算,可得出:以 6 林 4 草的绿地结构,可比纯稀树草坪结构的绿地效应提高 30% 左右,即城市人均绿地面积为每人 17 m² 就可基本达到理论上的环境容量标准。

由于乔、灌、草结合建造的复层结构绿地生态效应明显大于双层或单层结构绿地,因此,通过改善绿地种植结构,可提高单位绿地的生态效应。在城市

用地紧张,扩大绿地规模难度较大的条件下,因地制宜,多种植树冠大的乔木,以增加复层种植的垂直高度和单位绿地上的叶面积,是有效提高绿地生态效应的对策之一。

综合碳-氧平衡、水土涵养和小气候调节 3 方面的多个指标分析,林地的生态效益平均是草坪的 2~3 倍。

参考文献:

- [1] 杨士弘. 城市生态环境学 [M]. 北京: 科学出版社, 1996. 77-84.
- [2] 拉夏埃尔 W. 植物生理生态学 [M]. 李博, 等译. 北京: 科学出版社, 1985.
- [3] 欧阳志云. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究 [J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
- [4] 王晓明, 李贞, 廖文波, 等. 深圳莲花山公园的植被类型及植被分类系统 [J]. 中山大学学报, 2002, 41(增刊): 5-9.
- [5] 李贞, 覃朝锋. 广东龙川县铁场河流域植被的生态功能及其生态效应评价 [J]. 中山大学学报论丛, 1991, 10(2): 47-56.
- [6] 李敏. 城市绿地系统与人居环境规划 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. 79-82.

(责任编辑: 惠红)