

珠海市城市生态环境质量评价及问题分析*

栾 勇¹,陈绍辉²,尹忠东¹,高世明³,周心澄¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院,教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室,北京 100083;

2. 国家林业局 西北林业调查规划设计院,西安 710048;3. 中国城市规划设计研究院,北京 100037)

摘 要:城市生态环境问题近年来越来越受到人们的关注,对城市生态环境现状进行评价研究也显得尤为重要。对珠海运用碳氧平衡法、生态阈值法、氧气需求法等城市生态指标的计算方法对珠海市的生态绿化现状进行分析研究,并提出珠海城市生态规划建议,以不断改善城市生态环境,提高城市生态效益。

关键词:生态环境;生态控制性指标;珠海市;碳氧平衡;氧气需求法;生态阈值法

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)01-0186-04

The Analysis of the Zhuhai City Ecosystem Environment
Quality Evaluation and Problem

LUAN Yong¹,CHEN Shao-hui²,YIN Zhong-dong¹,GAO Shi-ming³,ZHOU Xin-cheng¹

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Northwest Institute of Forest Inventory, Planning and Design, SFA, Xi'an 710048, China; 3. China Academy of Urban Planning and Design, Beijing 100037, China)

Abstract :Evaluation researches on city ecosystem environments seem to be as important to ecosystem environment condition of the city while the problem is becoming more and more serious in recent years. The analysis on the present greening of Zhuhai city is made using carbon-oxygen balance ,ecology threshold value and the oxygen requirement etc ,and some suggestions are put forward to improve the city ecosystem environment quality and the city ecological effect continuously.

Key words :ecosystem environment ;the ecosystem controlling index ;Zhuhai City ;balance of carbon-oxygen balance ;oxygen requirement ;ecology threshold value

随着近年来世界范围内城市化进程的不断加速,“生态危机”在城市地区肆虐,成为人类社会可持续发展的“瓶颈”。为了及时、准确地了解城市生态环境的质量状况和由于人类活动对城市生态环境的影响,建立城市生态环境评价指标和评价方法具有十分重要的理论和实践意义。我国对于生态环境质量的评价,在 20 世纪 80 年代末 90 年代初开始引起人们的重视,对城市环境质量评价方法的研究应运而生。城市生态环境评价是城市可持续发展和生态城市建设的前提和基础。生态环境质量的好坏最直观的衡量指标就是生态用地占土地总面积的比例,对城市生态来说,主要衡量指标有绿化覆盖率、绿地率、人均绿地面积、人均公共绿地面积、城市绿色容积率(绿量)等,这些指标也是我国生态城市、园林城市、宜居城市、健康城市等城市生态环境评比的重要指标。一个城市需要多少绿地,才能满足城市生态良好的需求,人均需要多少绿地面积,才能满足城市居民良好生活的生态需要呢?理论上当然越多越好,但事实上,每个城市除了建设用地外,能够支配用于城市绿化的用地是非常有限的,确定城市森林最低数量需求及合理布局,能为科学规划城市生态用地,实现单位面积城市生态用地功能最大化提供

很好的依据。

以珠海市作为研究对象,本着城市生态系统的稳定和城市的可持续发展,为改善和提高城市绿地的生态质量,对珠海市城市生态用地指标加以研究,探讨珠海市城市绿化评价指标完善的方向。该文将以碳氧平衡法、生态阈值法、氧气需求法等几种方法进行珠海市城市生态控制性指标研究确定珠海城市的生态用地面积。

1 珠海市绿地概况

珠海作为一个美丽的海滨城市,依山临海,城中有山,多年来,注重保护生态环境和绿化建设,是“国家园林城市”、“国家环境保护模范城市”,1998 年被联合国人居中心授予“国际改善居住环境最佳范例奖”,其生态环境建设和城市森林建设在全国已具有了一定的典型性和示范性。珠海沿海而建,背山面海,中心位置由凤凰山、板障山、将军山、黑白将军山 4 大山地将四周的城区自然地分隔为组团式,形成城中有山、山后有城的山城相隔的格局。

据管理部门统计,目前城市绿地总面积 3 602 hm²,其中公共绿地面积 1 195 hm²,建成区绿化覆盖率 44.39%,人均

* 收稿日期:2006-09-09

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)“中国西部荒漠化防治技术集成研究与示范”(2004AA649380)

作者简介:栾勇(1978-),男,山东高密人,硕士研究生,主要从事土地资源评价与管理研究。

通信作者:尹忠东。

公共绿地面积 20.47 m²。建成区公共绿地 725.24 hm²,专用绿地2 630.4 hm²,防护绿地 225.61 hm²,风景绿地275.73 hm²,生产绿地 66 hm²,街道绿地 404 hm²,建成区绿化覆盖率 43.05%,人均绿地面积 114.97 m²,其中人均公共绿地 20.47m²。根据绿化达标的调查资料,建成区的住宅区平均绿地率为 26.08%,工厂区的平均绿地率 22.11%,机关单位的平均绿地率 24.55%,各项绿化指标均居全国前列。全市已建成各类自然保护区和森林公园 11 个,自然保护区面积 180.48 km²,自然保护区覆盖率 10.92%。珠海市森林覆盖率为 33.2%,现有植物种类约 145 科 385 属 556 种,常用绿化植物约 300 种,其中乔木 170 余种、灌木 69 种。乔灌木之比为 1 : 3.6,其中常绿阔叶植物 138 种,占总量 63%,使用频率最高的仅 80 种,常用树种中常绿阔叶仅占 28%。

2 研究内容

主要研究和计算内容:珠海市城市生态用地控制性指标分析研究。主要用碳氧平衡法计算得出城市森林覆盖率指标,使用生态阈值法得到区域碳氧关系、潜在非农用地及维持碳氧平衡需要补偿的森林面积,用氧气需求法计算城市居民生活需要的城市森林面积及城市森林覆盖率以适合城市建成区的实际。

3 研究方法与结果分析

3.1 碳氧平衡法

碳氧平衡对城市规划指标的影响问题,多年来国内外生态学界已有一些研究。具体可以归纳为以下几点^[1]:(1)城市绿地在数量上不仅要吸收城市居民排出的 CO₂,更主要的是吸收工业燃烧和其它途径排出 CO₂,美国和西德都提出城市公园绿地定额应为 30~40 m²/人;(2)为确保绿地内生物多样性,城市绿地在尺度上的阈值应为 2.3 hm²,小于此值时,对生物生存不利,大于此值时,生物多样性又相对下降。但与欧美等国社会经济水平与自然条件相比,我国有较大的差距,尤其是西部地区很难直接参照引用其指标体系。

从碳循环和氧平衡的角度,通过城市耗氧量计算,概算出需要的绿地制氧量,从而推算出绿地总量,即目前城市森林发展规划中常用的碳氧平衡方法。具体方法:分别计算城市耗氧项和制氧项。选取的耗氧项包括城市地区(一般为市域范围)当年的主要燃料(煤、油、液化石油气)燃烧耗氧量、人群呼吸作用和排泄物的生物化学氧化过程耗氧量之和(可从城市统计年鉴查阅),其他生物有机体的呼吸作用暂不考虑。制氧项为市域范围内的各类生态绿地。计算中所选取的绿地制氧参数按:1 hm² 阔叶林在生长季中每日照小时释放 70 kg 氧气。农田、园地、灌丛、乔木林等绿地形式,折算成等效光合作用的阔叶林面积。然后二者总量进行比较,并按照陆生植物对大气氧平衡度的贡献系数(约为 0.6),从而概算出城市绿地系统对维持碳氧平衡的合理规划值^[2]。城市绿化配置和布局不同,碳氧平衡计算绿地量需求差异很大。

根据“碳氧平衡”理论,城市及其周邻的森林植物数量应足以吸收城市居民及其它燃质等产生的 CO₂,同时其光合作用释放的 O₂ 能够维持居民生命。

主要的算式^[3]如下:

(1)石油类燃料,将石油成份平分为 C_nH_{2n},按下式氧

化,不考虑 S,N 及其他成份。

$$C_nH_{2n} + 3n/2O_2 \rightarrow nCO_2 + nH_2O$$
$$O_2 \text{ 消耗量} = \text{石油燃料量} \times 48n \div (12n + 2n) = \text{石油燃料量} \times 3.429$$

(2)煤平均含碳量约 0.8,不考虑其他成份的氧化,则
$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$O_2 \text{ 消耗量} = \text{燃煤量} \times 32 \div 12 \times 0.8 = \text{燃煤量} \times 2.133$$

(3)液化石油气(LPG)以丙烷为主要成份,反应式:
$$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$
$$O_2 \text{ 消耗量} = \text{LPG 燃烧量} \times 160 \div 44 = \text{LPG 燃烧量} \times 3.636$$

(4)呼吸耗氧只考虑人类,按每人每日消耗 800 g 计;
$$O_2 \text{ 消耗量} = \text{总人口(人)} \times 0.0008 \times 365 = \text{总人口(人)} \times 0.292 \text{ (t/a)}$$

(5)排泄物(生物化学耗氧量)每人每日排泄物的氧化耗氧量平均按 40 g 计;
$$O_2 \text{ 消耗量} = \text{人口(人)} \times 0.00004 \times 365 = \text{总人口(人)} \times 0.0416 \text{ (t/a)}$$

从珠海市情况来看,燃料耗氧主要为煤和液化石油气,居民耗氧为呼吸排泄等生理活动耗氧。分别选取不同燃料的耗氧系数:煤的耗氧系数为 2.133,液化石油气耗氧系数 3.636,呼吸耗氧系数每人 0.292 t/a,排泄物分解耗氧每人 0.0416 t/a^[2-3]。计算所选取的城市森林制氧参数为 0.07 t/hm²,即 1 hm² 阔叶林在生长季内每日照小时释放 70 kg O₂。按照陆生植物对大气氧平衡度的贡献系数(约为 0.6),从而概算出城市绿化对维持碳氧平衡的合理规划值。

以 2002 年为基准年,根据该方法,珠海市区内所需阔叶林理论值为 M,则:

$$M = (K/c) \div (a \times b \div d) = dK/abc \tag{1}$$
$$K = \text{燃煤量} \times 2.133 + \text{总人数} \times 0.292 + \text{总人数} \times 0.0416 \tag{2}$$

式中:K——各项人类活动的年总耗氧量(t/a);d——365 d;a——年无霜期天数(365 d);b——年日照小时数(1 983.8 h);c——阔叶林制氧参数(0.07 t/hm²)。

2002 年,珠海市消耗煤炭 2 134 342 t,焦炭 1 143 t,汽油 137 410 t,煤油 40 110 t,柴油 160 503 t,燃料油 244 312 t,石油气 70 910 t,电力 184 542 ×10⁴ kW·h,折合为322.94 ×10⁴ t 标准煤。珠海市能源结构以煤炭为主。珠海市消费的能源中,天然气、风电、核电是空白。

则根据公式(1)和(2)可得到珠海市 2002 年的城市耗氧量及市区内所需阔叶林理论值见表 1,2。

城市未来的生态用地面积与城市发展规模有很大关系,从生态系统的服务功能上来说,体现在碳氧平衡等方面。根据珠海市“珠海市城市总体规划(2001 - 2020 年)”所确定的工业规模,采用碳氧平衡法确定届时城市所需森林覆盖率为 30.24%,仍小于珠海市现状森林覆盖率 32.6%。

从碳氧平衡角度来看,在全市范围内可以达到平衡,但是如需在西区内做到碳氧平衡,则西区森林覆盖率要达到 51.4%。由于西区是珠海市主要耕作区,农田经过折算后相当于其本身面积的 20%,这样要达到碳氧平衡所需阔叶林面积具有一定难度。

表 1 城市耗氧量计算

城市	工业能源 (10 ⁴ t 标准煤)	燃煤耗氧量/ (t · a ⁻¹)	人口/ 万人	市区面积/ km ²	呼吸耗氧/ (t · a ⁻¹)	排泄物耗氧/ (t · a ⁻¹)	总耗氧量/ (t · a ⁻¹)	呼吸、排泄 耗氧占总量/ %	需要阔叶林 总面积/ hm ²	城市森林 覆盖率/ %
珠海	322.94	6888310.2	123	1687.8	359160	51168	7298638.2	5.62	35164.68	20.83

表 2 能源所需的森林面积						hm ²
时间	人口 / 万人	工业 能源 - 煤/ 10 ⁴ t	需要阔叶林 总面积/ hm ²	生理需求 森林面积/ hm ²	城市森林 覆盖率/ %	
现状	123	322.94	35164.68	1976.2	20.83	
2020 年	234	525	48384.42	2913.2	30.24	

从理论计算结果来看(表 3),维持城市碳氧平衡所需的理论阔叶林面积为 351.65 km²,占城市总面积的 20.83%,小于森林覆盖率现状值(32.6%)。该覆盖度远小于用同种方法计算得出的南京、北京等城市的相应值,表明珠海城市生态系统的制氧荷载远小于北京、南京,生态系统功能良好。从碳氧平衡角度来看,明显反映出工业、人口对生态环境的压力,我国的特大、大城市由于人口数量多、工业规模大,导致城市碳氧平衡失调。珠海市在其城市发展过程中,由于一贯注重于环境保护,工业、人口给生态环境造成的压力尚在允许范围之内。未来城市建设必须考虑环境与经济协调发展,其中重要的衡量指标是碳氧平衡,具体做法是营造乔灌木相结合的生态系统,将城市广场、公园等均一性的草坪绿地控制在一定范围之内。所以说建设森林只是改善区域碳氧平衡的途径之一,同时也充分说明城市是一个开放的系统,与外界环境存在较强的依存关系,城市森林生态系统的建设空间也是超出本区域的开放空间。

3.2 生态阈值法

根据生态系统平衡的阈值原理,利用土地承载力和碳氧平衡两组生态要素作为绿地规划的共轭限制因子^[4],从保障区域粮食消费中的土地承载力和城市森林用地的矛盾关系上,计算维持区域生态平衡所要求的农业用地与森林面积,以期能够为城市森林建设找出发展潜力与方向。其中,土地承载力是指在不破坏生态环境的条件下,合理投入物质、能量和劳务后单位耕地面积的产出水平所能供养的人口数。

具体研究思路^[5]如下:

(1) 计算珠海区域碳氧平衡制氧林面积理论值:

$$M = dK/abc$$

(2) 从粮食安全角度,计算珠海理论上所需最小耕地面积:

$$R = G \times I/15f$$

式中:R——最小耕地面积(hm²);G——规划区当年总人口(人);I——区域粮食自给率;f——土地承载力系数(人/hm²)。

(3) 计算实有耕地面积、林地面积、城市绿地面积,根据等效阔叶林换算系数折合计算制氧林总面积:

$$N = R_1 \times J_1 + R_2 \times J_2 + R_3 \times J_3 + \dots$$

式中:R₁——市域实有农田面积(hm²);R₂——园地与林地面积(hm²);R₃——园林绿地面积(hm²);J₁——农田等效阔叶林换算系数 0.2;J₂——林地、园地等效阔叶林换算系数 1.0;J₃——园林绿地等效系数 1.0。

(4) 计算绿地空间的大气平衡贡献率:

$$Q = N/M \times 100\%$$

陆生植物体供大气氧平衡贡献率,理论上应该保持到

60%以上。
(5) 计算在保证粮食安全潜在的非农用地,探索城市森林发展潜力。

(6) 计算维持区域 CO₂ - O₂ 平衡超出或需要补偿的森林面积。

结合珠海市域实有耕地面积、林地面积、城市绿地面积等利用现状,按照国家保证区域粮食安全的政策,若在规划期内保证粮食供给自给和供求平衡,则 I 取值 1.0。珠海市粮食平均每 1 hm² 产量为 3 242.7 kg,土地承载力为 f = 57(人/hm²)^[6]。

表 3 满足粮食供求平衡所需最小耕地面积及制氧林面积

不同指标	各类面积
所需阔叶林理论值/hm ²	58607.8
所需阔叶林理论值 ×0.6	35164.68
实有制氧林面积/hm ²	35559.1
实有绿地面积/hm ²	4039.5
林地面积/hm ²	50600
市域实有耕地面积/hm ²	21399.6
市域理论耕地面积/hm ²	21578.9
大气氧平衡系数/%	60.6
维持粮食安全后潜在非农用地/hm ²	- 179.3
维持 CO ₂ - O ₂ 平衡需要补偿森林面积/hm ²	- 394.42

从计算结果来看,珠海市的大气氧平衡系数接近 60%,区域碳氧关系基本平衡,在保持现有区域土地承载能力的前提下,若要保持珠海市碳氧平衡,可通过区域农业结构调整从现有的农业用地中调整制氧林类型,增加制氧系数高的森林面积。另外,珠海目前的实有制氧林面积满足碳氧平衡的需要,不需要额外补偿森林面积,生态环境建设情况尚好。

但是,随着珠海城市化进程不断提高,城市建设用地所占比例越来越大,实有耕地面积已经不能满足区域粮食供求平衡的最低需求,潜在非农用地已经亏缺 179.3 hm²,出现农业用地不足的情况。针对这种情况,必须要加强城市用地法律法规建设,保护农业用地不被乱占乱用。

从表中还能得出,由于城市和区域都是开放的生态系统,所以城市以及区域的生态环境建设是开放的建设过程,必须与周围的环境建立生态联系,孤立的生态建设,特别在城市化程度高的地区,很难实现生态平衡。需要通过城郊森林建设,通过省省联合乃至区域联合,以城镇点为核心,建设绿色廊道连接城市内外片状森林景观,共同改善更大范围的生态环境建设,最终在全国范围内形成点、线、面相互作用的森林生态网络体系,实现国土生态良好。

3.3 氧气需求法

上述 2 种方法都表现出在城市化程度较高的城市地区,城市建设用地占城市的绝大部分面积,城市森林建设空间已受到很大限制,所计算的总量指标不适合城市建成区的实际。随着对城市环境改善的日益重视,许多工矿企业都迁到城郊,在城市建成区内城市耗氧主要以满足城市居民生活需求。所以,以城市居民为核心,可以确定建成区城市森林需

求的目标。从满足城市居民氧气需求计算,该方法将先后求得满足居民氧气需求的自然环境下健康阔叶林面积和生长于城市中城市森林的面积。

首先,采用常用的健康阔叶林单位面积的制氧量参数 0.07 t/hm^2 ,在珠海建成区范围,2002 年城市人口 68 万人,耗氧量为 $208\,488\text{ t/a}$ 得出满足城市居民生理需求的氧气量需要 $1\,501.36\text{ hm}^2$ 森林面积所提供,建成区面积 105.55 km^2 ,则建成区的城市森林覆盖率为 14.22% ;按照珠海城市总体规划,2020 年建成区城市人口将达到 101 万人,建成区面积 200 km^2 ,则满足到时建成区城市居民氧气需求所需阔叶林面积 $2\,229.96\text{ km}^2$,建成区城市森林覆盖率为 11.14% 。

表 4 珠海建成区城市森林发展面积估算

森林类型	森林需求	2002	2020
阔 叶 林	森林面积/ hm^2	1501.36	2229.96
	森林覆盖率/ $\%$	14.22	11.14
城市森林	森林面积/ hm^2	4080	6060
	森林覆盖率/ $\%$	38.67	30.3

针对城市的绿化树种生长环境不同于自然环境的状况,参考姜东涛(2001)^[7]的计算方法得出城市森林生长量:一般城市森林的林木平均胸径为 20 cm 、树高 10 m ,树干材积 $0.094\text{ m}^3/\text{株}$,500 株/ hm^2 ,干材蓄积 $47\text{ m}^3/\text{hm}^2$;树干、枝、根生物量 $65.8\text{ m}^3/\text{hm}^2$,生物量的生长量 $2.303\text{ m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$;树叶相当于生物量的 10% ,即 $6.58\text{ m}^3/\text{hm}^2$;城市森林总生物量的生长量为 $8.883\text{ m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ ($2.303+6.58$);换算干物质,干、枝、根为 45% ,叶为 15% ,则城市森林总生物量生长量的干物质为 $2.023\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ ($2.303\times45\%+6.58\times15\%$)。根据光合作用原理,每产生 1 t 干物质,释放氧气 1.2 t ,吸收 $\text{CO}_2\ 1.63\text{ t}$,则城市森林释放氧气 $2.589\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,吸收 $\text{CO}_2\ 3.297\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 。设一般成年人呼吸 $\text{O}_2\ 20.75\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$,即 $0.274\text{ t}/(\text{人}\cdot\text{a})$,排出 $\text{CO}_2\ 0.95\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$,即 $0.329\text{ t}/(\text{人}\cdot\text{a})$,排泄物耗氧(生物化学耗氧量) $40\text{ g}/(\text{人}\cdot\text{d})$,即 $0.0146\text{ t}/(\text{人}\cdot\text{a})$,据此,每 1 hm^2 城市森林可解决 90 个人的需氧量,净化 10 人所排出的 CO_2 ,按照各发达国家城市森林净化空气标准取森林净化率为 10% ,综上可得满足居民耗氧需求所需城市森林面积大体为城市人口的 $1/100$ 。2002 年珠海建成区内非农业人口 68 万人,则满足城市居民呼吸消耗氧气所需城市森林面积为 $6\,800\text{ hm}^2$,若考虑水体固定 CO_2 量的作用,按照森林对碳氧平衡贡献率 60% 计算,则满足建成区城市居民需求所需城市森林面积为 $4\,080\text{ hm}^2$,建成区城市森林覆盖率为 38.67% ;目前珠海市的城市绿化面积为 $4\,039.5\text{ hm}^2$,绿化覆盖率 42.2% ,已达到满足城市居民氧气需求所需城市森林面积。根据珠海城市总体规划,到 2020 年城市建设用地将增加到 200 km^2 ,城市人口达到 101 万人,因此需要的城市森林面积将达到 $6\,060\text{ hm}^2$,建成区森林覆盖率 30.3% 。即在现有绿化水平下,满足 2020 年城市居民氧气需求,需要增加城市森林面积 $2\,020\text{ hm}^2$ 。随着城市建成区面积的扩大,

按目前绿化情况碳氧平衡基本是可以实现的,通过加强建成区森林建设是能够满足未来城市居民的氧气需求的。另外,通过计算得到满足居民氧气需求(2002 年)仅需要自然条件下生长的阔叶林的森林面积 $1\,501.36\text{ hm}^2$,而需要城市森林的森林面积却为 $2\,229.96\text{ hm}^2$,因此可以看出目前城市森林的树木生长量较小(单位面积制氧量较小),远比不上自然条件下生长的阔叶林在氧气供应上的能力。今后珠海市不单只是重视绿化覆盖指标值,而且更需要不断提高城市绿地质量,加强城市森林建设,不断改善城市森林建设质量,做出自身城市生态特色。

4 结 论

(1)从碳氧平衡的角度来看,在珠海市全市范围内可以达到平衡。由碳氧平衡法计算的珠海 2002 年的森林覆盖率 (20.83%) 及规划 2020 年的森林覆盖率 (30.24%) 均小于珠海现状森林覆盖率 (32.6%),表明珠海城市生态系统的制氧荷载小,生态系统功能良好。

(2)珠海市的大气氧平衡系数接近 60% ,整个区域碳氧关系基本平衡,略显不足。从城市发展与土地承载的关系上,城市建设用地所占比例越来越大,实有耕地面积已经不能满足区域粮食供求平衡的最低需求,农业用地已经亏缺。通过农业结构调整、农林复合经营等土地利用方式,提高单位土地承载能力,尽可能减少农业用地亏缺;同时又有助于增加制氧林面积,提高区域生态平衡。

(3)从城市森林发展与土地承载的关系上,城市化水平越高,经济越发达的地区,区域碳氧平衡和土地受威胁越大。建议珠海在保证粮食安全的前提下,拿出部分富余土地,通过退耕还林、还经等土地结构调整和提高土地的综合利用水平等土地利用措施,充分利用潜在非农用地,提高制氧林面积,作为改善相邻地区生态环境建设用地的补充。

(4)综合评价该文用到的几种方法即碳氧平衡法、生态阈值法及氧气需求法,最后得到其中最为实用与科学的方法为碳氧平衡法。

参考文献:

[1] 王晓东,赵鹏军,王仰麟.城市景观规划中若干尺度问题的生态学透视[J].城市规划汇刊,2001(5):61-64.
[2] 王永安,恭映壁.计算城市绿化面积的碳氧平衡法[J].生态经济,2002(3):62-63.
[3] 中野尊正,沼田真,半谷高久,等.都市生态学[M].东京:共立出版株式会社,1978.
[4] 王如松.城市生态学及其发展战略研究[C]//马世骏.中国生态学发展战略研究.北京:中国经济出版社,1991:445-466.
[5] 张坤民,温宗国,杜斌.生态城市评估与指标体系[M].北京:化学工业出版社,2003:41-20.
[6] 珠海统计局.珠海统计年鉴[Z].2002.
[7] 姜东涛.城市森林与绿地面积的研究[J].东北林业大学学报,2001,29(1):70-73.