

城市生态补偿能力衡量和应用

叶文虎 魏 斌 全 川 (北京大学环境科学中心, 北京 100871)

文 摘 城市生态补偿在城乡开发、城市规划等许多工作中具有重要的意义。为衡量城市生态补偿能力, 本文提出了绿当量的概念, 并以济南市为例, 探讨了对二氧化碳、降尘和二氧化硫的生态补偿方法。根据实际情况, 以街道办事处为单元评价济南市内现有绿地的生态补偿能力, 并根据环境目标的要求, 提出了各办事处需增加的公共绿地面积, 为制定市区公共绿地配置规划提供了依据。计算结果表明, 从总体上说, 济南市现有的绿色植物可补偿济南市排放到大气中的二氧化碳的 22.3%, 二氧化硫的 23.1%; 其总吸尘能力略大于年排尘能力。绿当量概念和计算方法在济南市城区公共绿地配置规划中的成功应用, 表明它可对其它城市绿地生态补偿能力的评价和城市环境规划的制定发挥指导和借鉴作用。

关键词 城市生态补偿 绿当量 公共绿地配置

Measurement and application of urban ecological compensation. Ye Wenhui, Wei Bin, Tong Chuan (Center for Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871). *China Environmental Science*. 1998, 18(4): 298~ 301

Abstract—Urban ecological compensation plays an important role in county development, city planning and many other works. In order to measure the abilities of urban ecological compensation and formulate the macroscopic planning for policy-management, this article puts forward the concept of green equivalent and application methods of urban ecological compensation. Taking Jinan city as an example, the abilities of its existing greenland in each unit of subdistrict are evaluated and the areas of greenland to be enlarged according to the requirement of air environmental target are calculated. The results demonstrate that the green plant of Jinan city could compensate 22.3% of carbon dioxide and 23.1% of sulfur-dioxide emission in the air, and its abilities of adsorbing dust is a little bigger than that of discharging dust. Owing to successful application of the concept and measuring methods of green equivalent in the public greenland planning of Jinan urban district, it may also be referential in directing other cities in ecological compensation evaluation of greenland and the design of environmental planning.

Key words: urban ecological compensation green equivalent public greenland allocation

自然生态补偿(Natural Ecological Compensation)指“生物有机体、种群、群落或生态系统受到干扰时, 所表现出来的缓和干扰、调节自身状态使生存得以维持的能力; 或者可以看作生态负荷(Ecological Loading)的还原能力”^[1]。它包括环境自净(物理自净、化学自净和生物自净)^[2]和系统内的组分负反馈(自我调节机制)。城市生态补偿是指城市自然生态系统对由于城市社会、经济活动造成的对城市生态环境的破坏所起的缓冲和补偿作用, 在城乡开发^[3]、工程建设、城市污染的总量控制以及生态恢复等工作中具有重要的理论和实际意义。国内一些学者^[4,5]曾在广州、南京等大城市作过一些城市市区碳氧平衡问题的定性或半定量的研究, 但都

未能从生态补偿的角度给出规划绿地面积的计算办法。

1 城市生态补偿及绿当量概念的提出

在城市生态补偿中, 绿地发挥着至关重要的作用, 常被称为城市的“肺”, 其功能主要表现在吸热降温、吸收 CO₂、释放 O₃、滞尘、减噪、增加土壤渗透和净化水质、吸收 SO₂ 以及满足休憩需要等方面。不同类型绿地(草地、乔木林地、灌木林地和绿篱)的城市生态补偿能力不一样。对于同一补偿目的, 不同类型的绿地, 所需面

积不一样; 对于同种类型绿地, 出于不同的补偿 目的, 所需要的面积也不一样(表 1)。

表 1 不同绿地类型城市生态补偿能力比较
Table 1 The comparison of urban ecological compensation abilities
among different kinds of greenlands

绿地类型	年吸收 CO ₂ ^[6] (hm ² /t)	年滞降尘 ^[7] (hm ² /t)	减噪 ^[7] (hm ² /dB)	年增加渗透* (hm ² /t)	年吸收 SO ₂ ^[7] (hm ² /t)
草地	1.4423	0.0012	1.5~2.5	3.98	16.22
绿篱*	1.2000	0.00096	7.5 左右	2.0~3.0	2.53
灌木	0.8982	0.00075	7.5 左右	2.10	2.03
乔木	0.7212	0.00046	3.0~4.29	0.43	1.04

注: * 绿篱的宽度一定, 本文取 1m 计算 ** 数据取自祁连山水源涵养所人工降雨模拟实验

由于在制定为决策管理服务的宏观规划时, 不可能从每一种类型绿地的生态补偿方案去着手研究, 因此, 如何用一个共同的度量尺度来表示各种类型绿地对城市环境污染的生态补偿能力, 已成为制定城市环境规划的关键问题之一。为此, 本文提出绿当量(Green Equivalent)的概念, 即补偿某种单位污染物所需要的绿量。

这一概念只限于对单要素的补偿对象, 因此可看作狭义绿当量。广义的绿当量概念可定义为最低满足全部绿地功能所需要的最大绿量, 一般可称为综合绿当量其数学形式可表示为:

$$GC = \max_i \left[\frac{1}{\prod_{j \neq i} K_j^l} G_i^l \right] \quad (1)$$

式中: GC 为综合绿当量; G_i^l 为 l 种绿地 i 种生态补偿目的; K_j^l 为 l 种绿地在完成 j 种生态补偿目的时受完成其它生态补偿目的干扰的系数, 在 0~1 之间, 可由实验获得; l 为绿地类型, $l = 1, 2, 3, \dots, M$; i, j 为生态补偿目的, $i, j = 1, 2, \dots, N$ 。

将草地对各种污染物(t/a) 的补偿能力定义为单位绿当量, 于是依据其它类型绿地与草地的补偿能力之比便可得到各种类型绿地的绿当量(表 2)。

表 2 不同类型绿地的绿当量
Table 2 The green equivalent of different kinds
of greenlands

绿地类型	G_{CO_2}	G_{SO_2}	$G_{降尘}$	$G_{噪声}$	$G_{渗透}$
草地	1	1	1	1	1
乔木林地	0.50	0.06	0.4	0.5	9.09
灌木林地	0.62	0.13	0.65	1	1.79
绿篱	0.83	0.16	0.83	1	1.52

由表 2 可见, 对于同一补偿目的, 不同类型

绿地的绿当量是不同的。因此, 如何将不同类型绿地进行组合, 使其既能够达到美化环境的目的, 又能够减轻城市环境受污染程度的目的, 是提出绿当量概念、开展城市生态补偿活动的根本出发点。

2 济南市城市生态补偿能力评价

近年来, 济南市随着经济的高速发展, 环境污染在不断加重, SO₂ 和 TSP 浓度连续超标。根据城市生态补偿原理和绿当量的概念, 以街道办事处(以下简称办事处) 为单元评价了济南市内现有绿地的生态补偿能力, 并以各办事处地面以上一定高度内的二氧化硫浓度年均值达到国家二级标准为目标, 提出各办事处需增加的绿地面积。

2.1 对温室气体 CO₂ 及降尘污染的生态补偿能力评价

计算各办事处绿地吸收 CO₂ 和滞尘能力[P(CO₂ 滞尘)]的公式如下:

$$P(CO_2 \text{ 滞尘}) = \sum_{j=1}^4 A_j / G_j \quad (2)$$

式中: G_j 为第 j 种绿地类型吸收 CO₂ 和滞尘的绿当量; A_j 为该办事处内第 j 种绿地类型的面积(通过地面实际调查得出)。

计算结果表明, 济南市绿色植物平均可补偿济南市排放到大气中二氧化碳的 22.3%(油气等燃料燃烧排放二氧化碳未计算在内)。但西青龙、馆驿街、宝华街、南村、共青路、大观园等少数地区对 CO₂ 的补偿量较低, 其原因在于人口过分集中, 或耗煤过多或绿地过少, 但不管是何种原因所致, 其改善途径都是一方面要改变能源

结构,另一方面要增加城市绿地面积。

对于降尘,计算结果表明,其吸收能力约为年排尘能力的 1.12 倍。其中,趵突泉和建筑新村对降尘的补偿能力达 4.0 以上,但在其它地区,尤其是西青龙、共青团路、馆驿街等处则不到 0.05。需要指出的是,由于年排尘量的统计中无法把飘尘和二次扬尘(这些量要远远大于年排尘量)考虑在内,因此济南市的降尘污染问题十分严重,特别是济南市极其缺少草地,而草地的防尘作用,尤其是对抑制二次扬尘的独特作用,又是乔木所不能代替的。

2.2 对污染性气体 SO₂ 的生态补偿能力评价及其绿化方案

计算了各办事处在 SO₂ 浓度达到国家二级标准^[8]时所需的生态补偿量,然后将其换算成各种类型绿地的规划方案。计算如下:

$$GP_{ij} = \Delta B_i \times S_i \times H \times G_j \times 365 \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中: GP_{ij} 为在第 i 办事处补偿二氧化硫污染所需 j 种类型绿地的生态补偿量(hm^2 或株数); ΔB_i 为第 i 办事处二氧化硫浓度的超标值($\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$); S_i 为第 i 办事处的面积(km^2); H 为植物所能补偿二氧化硫的地面高度,本研究取 $H = 10\text{m}$; G_j 为 j 种绿地类型的绿当量($\text{hm}^2/\text{t} \cdot \text{a}$ 或株/ $\text{t} \cdot \text{a}$)。

乔木的叶面积指数为 65、灌木 50、绿篱 37、草地 25; 每平米干叶重 37g; 每克干叶吸收二氧化硫的量: 乔木 8.5mg、灌木 4mg、绿篱 4mg、草地 1mg(根据济南市绿化植物情况,由多种植物的实验资料平均获得)。

按照上述公式和参数,可以得到济南市主要办事处补偿二氧化硫污染所需的生态补偿量,并根据表 2,将其换算成各种类型绿地建设的规划方案(表 3)。

表 3 济南市主要办事处补偿二氧化硫的绿地建设方案*
Table 3 The construction plans of greenlands in which key subdistrict offices compensate sulfur dioxide

所属区	办事处	面积 (hm^2)	SO ₂ 浓度 (mg/m^3)	绿地建设方案(只选其一时)			
				草地(hm^2)	乔木(株数)	灌木(株数)	绿篱(m)
天桥区	官扎营	124.0	0.14	39.1	1761	12252	67601
	天桥东	54.0	0.11	10.7	479	3334	18399
	宝华街	83.0	0.14	26.2	1179	8200	45249
	无影山	177.0	0.20	97.8	4400	30605	168867
历下区	和平路	155.0	0.13	42.8	1927	13400	73938
	东 门	177.0	0.11	34.9	1571	10930	60309
	泉城路	127.0	0.12	30.1	1353	9411	51927
	趵突泉	164.0	0.13	45.3	2038	14178	78232
市中区	大观园	51.0	0.11	10.0	448	3118	17206
	馆驿街	28.0	0.11	5.4	244	1698	9370
	西青龙	69.0	0.11	13.6	613	4267	23544
	六里山	278.0	0.10	43.8	1972	13719	75697
槐荫区	西市场	71.0	0.11	12.6	567	3946	21772
	振兴街	252.0	0.12	59.7	2685	18674	103037
	道德街	62.0	0.12	14.2	639	4441	24505
	南辛庄	202.0	0.11	38.3	1722	11975	66074

注:限于篇幅,只列出主要的一些办事处

从表 3 可知,为补偿二氧化硫造成的空气污染,大部分办事处应大力加强绿化建设,少数几个办事处由于二氧化硫浓度已基本达标,故无需再行补偿,而另外一些办事处由于超标严重,不能完全依赖生态补偿措施,还应严格控制 SO₂ 气体的排放。

2.3 绿当量在市区公共绿地配置规划中的应用

济南市的“绿色工程计划”提出在市区内新建几个城市公园的设想。从二氧化硫生态补偿的角度,提出了公共绿地配置的初步意见。

设 SO₂ 生态补偿新增度(DC_{SO_2}) = 需新建草地的面积/办事处面积。

根据目前各办事处的绿化水平和 SO₂ 生态补偿新增度的分布,可计算出各办事处按表 3 方

案建设绿地后对二氧化硫污染的补偿新增度(表 4), 从而为济南市公共绿地布局规划提供依据。如果 $DC_{SO_2} = 0$, 表示完全补偿; $DC_{SO_2} \leq 20\%$, 表示补偿能力较大; $20\% \leq DC_{SO_2} \leq 30\%$, 表示补偿能力中等; $30\% < DC_{SO_2}$, 表示补偿能力较小, 应考虑建设公共绿地。

表 4 济南市主要办事处对 SO₂ 的生态补偿

Table 4 The ecological compensation of key subdistrict offices for sulfur dioxide									
办事处	面积 (hm ²)	需建绿地 (hm ²)	新增度 (%)	补偿程度	办事处	面积 (hm ²)	需建绿地 (hm ²)	新增度 (%)	补偿程度
玉函路	125.1	-	0	完全	北坦	85.0	20.1	23.6	中
舜玉路	373.0	-	0	完全	四里村	272.6	64.5	23.7	中
六里山	277.7	43.8	15.8	大	五里沟	92.0	21.8	23.7	中
经七路	44.3	7.0	15.8	大	泉城路	127.0	30.1	23.7	中
纬北路	112.0	17.7	15.8	大	经二路	67.4	16.0	23.7	中
西市场	71.0	12.6	17.7	大	建筑新村	192.0	53.0	27.6	中
南辛庄	202.0	38.3	19.0	大	和平路	155.0	42.8	27.6	中
刘家庄	24.0	4.7	19.6	大	司里街	491.0	135.6	27.6	中
馆驿街	27.5	5.4	19.6	大	趵突泉	164.0	45.3	27.6	中
共青路	42.2	8.3	19.7	大	解放路	136.0	37.6	27.6	中
西青龙	69.1	13.6	19.7	大	官扎营	124.0	39.1	31.5	小
制锦市	66.0	13.0	19.7	大	文东路	626.0	197.6	31.6	小
东 门	177.0	34.9	19.7	大	宝华街	83.0	26.2	31.6	小
杆石桥	127.8	25.2	19.7	大	二七新村	153.0	54.4	35.5	小
陈家楼	88.0	17.4	19.8	大	堤口路	383.0	151.1	39.5	小
魏家庄	40.4	8.0	19.8	大	甸柳村	149.0	58.8	39.5	小
大观园	50.5	10.0	19.8	大	北村	206.0	97.5	47.3	小
天桥东	54.0	10.7	19.8	大	南村	137.0	64.9	47.4	小
岔路街	10.5	2.1	20.0	中	无影山	177.0	97.8	55.3	小

从表 4 可知, 目前济南市的总体生态补偿能力为中间水平(23.1%), 但无影山、南村、北村、甸柳村、堤口路、二七新村、宝华街、文东路、官扎营等办事处的生态补偿能力极为有限, 应作为建设公共绿地的重点考虑对象。

3 结论

根据生态补偿原理, 以城市办事处为单元, 以“绿当量”概念为桥梁, 在计算出济南市城市绿地对温室气体和污染性气体补偿能力的基础上, 提出的城市绿地建设方案和城区公共绿地的配置规划, 已被济南市政府所接受。这表明, 绿当量概念在评价城市绿地功能, 指导城市环境规划与绿地建设布局规划工作中具有重要的理论和实用意义。

参考文献

1 《环境科学大辞典》编委会. 环境科学大辞典. 北京: 中国环境科学出版社, 1991. 326

2 Izreal Yu A. Ecological and control of the natural environment.

Kluwer Aread Puel, 1992. 40~ 70

3 邹振扬, 黄天其. 试论城乡开发自然生态补偿的植被还原原理. 重庆环境科学, 1992, 14(1): 26~ 29

4 扬士弘. 城市绿化树木碳氧平衡效应研究. 城市环境与城市生态, 1996, 9(1): 37~ 39

5 董雅文. 城市生态的氧平衡研究. 城市环境与城市生态, 1995, 8(1): 15~ 18

6 里恩 H, 惠特克 R H. 著, 王亚莲等译. 生物圈的第一性生产力. 北京: 科学技术出版社, 1985

7 冯采芹编. 绿化环境效应研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1992

8 国务院环境保护领导小组. 大气环境质量标准(GB3095-82). 1982-04-06, 1982

作者简介

叶文虎 男, 1939 年 2 月生. 北京大学教授、博士生导师, 现任北京大学中国可持续发展研究中心主任. 主要从事环境规划管理和可持续发展方面的研究工作. 曾主持“济南市环境规划”、“马尾松毛虫综合管理技术研究”(获林业部科技进步二等奖)、“福建湄洲湾新经济开发区环境规划综合研究”(获国家教委科技进步二等奖)、“马尾松毛虫预测预报研究”(获国家教委科技进步二等奖)等研究项目. 出版译著 1 本, 专著 5 本, 主编论文集 2 本, 发表论文 100 余篇。