

三维绿色生物量的遥感模式研究 与绿化环境效益估算

周坚华 孙天纵

(上海师范大学 上海 200234)

摘要 本文从理论和技术上叙述了绿量的遥感模式研究和绿化环境效益估算,并取得了以下几个方面的进展:(1)提出了绿量的概念,进一步完善了城市绿化的量化指标体系;(2)成功地修正了“逻辑斯蒂曲线”方程,并以平面量模拟立体量的方法测算了上海市全市的绿量,不仅节省了人力物力,而且提高了精度;(3)提出了模式林的概念及测定了以绿量估算绿化环境效益中所必须的标准换算量;(4)首次用绿量在全市范围估算了绿化群落的吸碳产氧、吸收二氧化硫、滞尘及夏季降温等环境效益。为分析现有绿化群落布局与结构的合理性,及为绿化规划乃至整个城市的总体规划提供了很有价值的技术参数。

关键词 三维绿色生物量,模拟立体量,模式林,环境效益

人工绿化群落不仅能够美化城市,更主要的是它有助于改善城市环境、调节城市气候及维持城市地区的生态平衡。绿色植物所具有的吸碳产氧、消声滞尘、净化空气等环境功能是人造的环保设备、设施所无法替代的。但是它能降解和吸收的污染物总量是多少?就这些人造绿化群落的环境功能而言,它能有多少经济效益?要保证各项环境指标达标,还要在全市范围补多少绿?这些是城市规划中所需要的重要参数。

关于绿色植物所能产生的环境效益,目前可以搜集到的典型试验值很多。如每万平方米阔叶林每日可吸收1t二氧化碳,同时放出0.73t氧气;每万平方米柳杉林每年可吸收二氧化硫720kg等等。但具体到估算某个城市的绿化环境效益值,就不那么容易了。所以,许多城市关于这方面的研究也多停留在数个典型小区的比较上。如绿化地与非绿化地相比,同一时间毒害气体量、粉尘量、细菌个数等少多少?夏日温度降低了多少?氧气量、空气负离子量多多少等。但不能进行全市范围的绿化环境效益分析与经济产出估算。这里的关键问题在于城市绿化具有分布零散、结构形式多样等特点,其数量难以计量;且现行的绿化覆盖率、人均绿地面积等平面量化指标无法与上述野外典型试验值的植物数量(多为森林面积)进行换算。经我们的研究所提出的绿量的概念及所建立的该三维量的遥感测量模式和数据库初步解决了城市绿化植物量与典型试验区森林植物量间的转化问题,并首次估算了上海市绿化植物的吸碳产氧量、吸收二氧化硫量、滞尘量及夏季降温量等几个绿化环境效益的典型值。“绿量”是三维绿色生物量的简称,指所有生长中植物茎叶所占据的空间体积。下面将分4个方面介绍绿量的测量、建库及据绿量进行绿化环境效益估算的基本思路与方法。

收稿日期:1994年5月5日;收到修改稿日期:1995年1月10日

1 建立绿量的遥感测量模式

我们对绿量的测定不是采用常规立体摄影测量的方法,而是采用“以平面量模拟立体量”的方法。对于某一特定树种而言,其冠径和冠高(或树高)之间总具有某种统计相关关系,通过回归分析建立相关方程,就可以由该方程根据航空像片上量得的冠径求取冠高,最后求得树冠的体积(树冠绿量)。这种方法以计算机的模拟计算代替复杂的人工立体量测过程,不仅可以节省大量人力物力,而且有助于绿量数据库的建立及便于数据的存储、管理和应用。通过精度测试对比分析还证明,使用模拟法计算绿量比用立体摄影测量法精度提高 1 倍以上,避免了因城市绿化植物高差较小,使用立体摄影测量法测量相对误差较大的弊病。并较好地解决了立体摄影测量法不能分别测算冠下绿量的问题。

上海市目前使用的绿化植物种类有数百种,不可能、也没有必要对每种植物都建立绿量计算模式。我们从这些植物中选出 23 种上海地区常见的乔灌木,其植株量已占全市绿化植株总数的 90% 以上;其余的类别归为杂类,使用上述常见类别的平均模式计算绿量。

不同树种,其冠径与冠高关系不同,就是同一树种,在不同的生长阶段,其径—高关系也不相同。因此,绝大多数树种很难用“单弧”曲线(如直线、对数曲线、指数曲线等)来描述其生长全过程的径—高关系。为此园林界常采用具有“S”形特征的增大曲线(又称“逻辑斯蒂曲线” Logistic Curve)来描述植物的某些生长因素。为了将该方程实际应用于依冠径求取冠高(冠下高)及得到更高的拟合精度,我们对原曲线方程作了修正,增加了自变量的系数 c 。修正后方程的一般形式为:

$$y = \frac{1}{a + be^{-cx}} \quad (1)$$

式中 x 为冠径; y 为冠高(或冠下高、树高); b 为回归系数; a 、 c 为系数。

我们称该方程为“径—高相关方程”。如进行变量替换,令:

$$X = e^{-cx}$$

$$Y = 1/y$$

代人(1)式可有:

$$Y = a + bX \quad (2)$$

此时,可按常规线性回归方法求取系数 a 、 b 。在回归计算前的变量替换中,一个较难解决的问题是如何确定 c 值。因为 c 值总大于零(如 c 小于零,则曲线变为负增长形态),我们可以零为初值,以一定步长向正方向取值进行迭代计算。每迭代一次,计算和比较一次相关系数 r ,如 r 达到峰值 r_{\max} ,并开始回落,则终止迭代,并以 r_{\max} 对应的 c 值为最佳值,由该 c 值参与回归计算系数 b 。由 c 值的确定方法可知, c 值的选定对于提高拟合精度的作用是不言而喻的。原始逻辑斯蒂曲线方程与修正方程的拟合精度比较表明:加入 c 值修正后,将使相关系数 r 平均提高 17.9%。

系数 c 的几何意义何在? 如果我们把修正后的逻辑斯蒂曲线分为许多小段,只要分段足够细,则可将每一小段曲线近似看作直线。由一般直线方程系数的几何意义可知,自

表 1 径—高相关

Table 1 Diameter—Height Correlation Equations and

乔、灌种类	类别 编码	选配的 树冠立体 几何图形	冠径—冠高相关方程 $y = 1/(a + be^{-cx})$			信 度 (%)	相关系数 r		树冠绿量方程
			a	b	c		限值	实际值	
广玉兰	3. A	卵形	0.047223	0.941057	0.37	1	0.325	0.703	$\pi x^2 y / 6$
雪松	B	圆锥	0.080197	0.743925	0.47	1	0.325	0.910	$\pi x^2 y / 12$
香樟	2. C	球形	0.086886	2.886574	0.57	1	0.254	0.870	$\pi x^2 y / 6$
龙柏	D	圆锥	0.069298	5.265099	1.27	1	0.354	0.972	$\pi x^2 y / 12$
桂花	E	卵形	0.171565	1.049986	0.55	1	0.325	0.837	$\pi x^2 y / 6$
黄杨	F	扁球	0.442418	4.155346	1.49	1	0.267	0.896	$\pi x^2 y / 6$
夹竹桃	G	球扇	0.053725	0.438881	0.19	1	0.463	0.738	$\pi(2y^3 - y^2 \cdot \sqrt{4y^2 - x^2}) / 3$
棕桐	0. H	球缺	0.340591	18.699022	1.89	1	0.254	0.481	$\pi(3xy^2 - 2y^3) / 6$
罗汉松	I	球扇	0.138702	0.766532	0.49	1	0.456	0.717	$\pi(2y^3 - y^2 \cdot \sqrt{4y^2 - x^2}) / 3$
二球悬铃木 (自然生长)	J	卵形	0.051754	0.714014	0.35	1	0.393	0.959	$\pi x^2 y / 6$
珊瑚	K	圆柱	0.092766	5.788508	1.25	1	0.449	0.768	$\pi x^2 y / 4$
红叶李	L	卵形	0.074203	0.890401	0.41	1	0.456	0.865	$\pi x^2 y / 6$
腊梅	M	球扇	0.206989	0.913253	0.65	1	0.456	0.931	$\pi(2y^3 - y^2 \cdot \sqrt{4y^2 - x^2}) / 3$
白玉兰	N	卵形	0.122672	1.052523	0.67	1	0.463	0.836	$\pi x^2 y / 6$
水杉	P	圆锥	0.038946	1.206990	0.77	1	0.325	0.769	$\pi x^2 y / 12$
银杏	Q	圆锥	0.027305	0.170260	0.09	1	0.449	0.735	$\pi x^2 y / 12$
乔杂	R	卵形	0.091784	4.056425	0.83				$\pi x^2 y / 6$
枫杨	6. T	卵形	-0.166144	0.287828	0.01	1	0.456	0.606	$\pi x^2 y / 6$
女贞	9. U	卵形	0.177828	568.2129	3.51	1	0.463	0.930	$\pi x^2 y / 6$
海桐	V	球缺	0.176288	1.376193	0.49	1	0.456	0.885	$x(3xy^2 - 2y^3) / 6$
柳	W	卵形	0.095657	365.5584	2.27	1	0.463	0.972	$\pi x^2 y / 6$
灌杂	X	球缺	0.284842	3.364457	1.09				$\pi(3xy^2 - 2y^3) / 6$
八角金盘	Z	球扇	0.505751	4.588984	1.55	1	0.449	0.905	$\pi(2y^3 - y^2 \cdot \sqrt{4y^2 - x^2}) / 3$
二球悬铃木 (修剪)	1	扁球	0.105595	1.534633	0.39	1	0.325	0.918	$\pi x^2 y / 6$
青桐	7	卵形	0.091679	2.802301	0.65	1	0.478	0.705	$\pi x^2 y / 6$
白榆	8	卵形	0.054157	0.102883	0.13	1	0.449	0.814	$\pi x^2 y / 6$

变量的系数表示直线的斜率,通过 c 值的变化可以改变曲线的倾斜度,由此提高曲线对不同树种样本的适应性。换言之,自变量系数 c 值的引入,相当于扩展了原始曲线方程,而原方程只是修正后方程的一个特例 ($c = 1$ 的情况),这种扩展有利于提高方程的适应性和扩大其使用范围。

对于每一种选定的建模树种,一般都实地采集 50 个以上的样本(最少 30 个,最多 112 个)。在样本采集中,注意了样本的代表性,既反映植物的不同生长阶段,又反映不同的生长环境。样本信息包括:树种、冠径、树高、冠下高、胸径、立地条件、采集地点、以及树冠形态立面图等。

全部样本数据首先被分类编制成样本数据文件,然后按修正后的逻辑斯蒂曲线方程分别回归建立冠径—冠高及冠径—冠下高相关方程。对于不同的树种,分别按与其树冠形态接近的立体几何图形公式计算树冠绿量;对于多层结构绿地,还要按圆柱体公式计算

方程及绿量方程

3-dimensional green Biomass Equations

冠径—冠下高相关方程 $y = 1/(a + be^{-cs})$			信度 (%)	相关系数 r		冠下绿量方程 $d = 0.618$	备注
a	b	c		限值	实际值		
0.121964	1.690402	0.25	1	0.325	0.585	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	不计冠下绿量
0.203695	0.802080	0.25	1	0.267	0.627	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
0.643233	9.970680	1.53	1	0.325	0.930	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
0.274726	1.493678	0.41	1	0.325	0.770	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	不计冠下绿量
0.335152	8.529904	0.75	1	0.478	0.928	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
0.147341	2.460076	0.89	1	0.254	0.704	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
0.045220	9.729908	0.55	1	0.470	0.890	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	不计冠下绿量
0.243269	0.541233	0.31	1	0.393	0.708	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
0.696720	6.862028	1.19	1	0.463	0.808	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
0.611531	2282.935	5.19	1	0.456	0.700	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	不计冠下绿量
0.153643	1.438865	0.49	1	0.302	0.500	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
-1.630858	2.159873	0.01	1	0.449	0.685	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
0.162732	3.006119	0.50				$\pi x^2(d \cdot y)/4$	不计冠下绿量
-0.320078	0.654394	0.01	1	0.456	0.815	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
0.478101	69.255112	1.97	1	0.470	0.708	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
0.070942	0.414980	0.07	1	0.463	0.783	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	不计冠下绿量 不计冠下绿量
0.128888	0.291402	0.11	1	0.325	0.746	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
0.146980	0.235105	0.23	1	0.470	0.761	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	
0.063300	0.246980	0.07	1	0.463	0.858	$\pi x^2(d \cdot y)/4$	

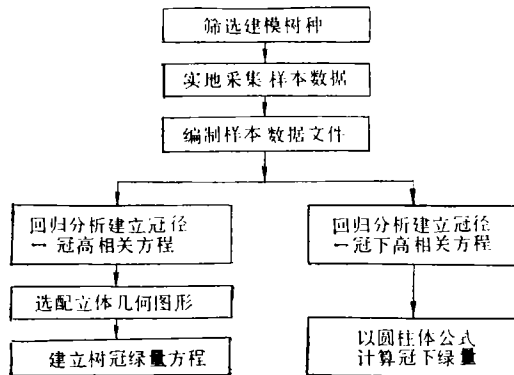


图 1 绿量计算系列模型建立过程框图

Fig. 1 Frame diagram for Establishing Series Model of 3-dimensional green Biomass

冠下绿量,并以树冠及冠下绿量之和作为总绿量。图1显示了绿量计算系列模型的建立过程,表1列出了各树种的径-高相关方程及绿量方程。

由表1可见,修正原始逻辑斯蒂曲线方程得到的径-高方程具有较高的拟合精度,当信度为1%时,实际相关系数值一般优于限值2-3倍左右。

2 绿量数据库的建立与输出功能

表现城市绿化分布的图斑具有图形极不规则、小面积图斑多及零散分布等特点,因而不宜采用矢量数据结构建库。为此我们采用“栅格式”作为绿量数据库的基本数据结构,并以FOXBASE关系数据库管理系统作为绿量数据库的基本建库与管理软件。

栅格的基本尺寸为50m×50m。每个栅格为1个记录项,每个记录项包含8个字段的字符或数字编码。这8个字段分别为:(1)栅格位置;(2)区(街道)属;(3)境界;(4)树种;(5)冠径;(6)棵数;(7)草地面积;(8)绿地面积。后5个字段的内容由航空像片判读取得,主要用于依相应树模计算绿量;前3个字段的内容主要用于绘图及按行政区划统计各有关量。

为了强化绿量数据库的管理与输出功能,我们使用FOXBASE开发出一个方便实用的应用软件——绿化信息管理系统,该软件的基本设计采用模块结构,图2为该系统的结构与功能框图。

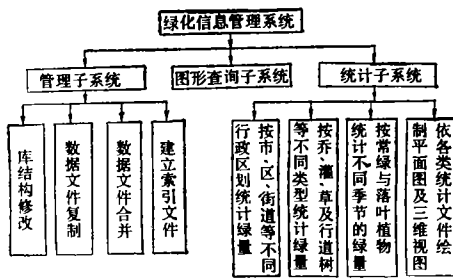


图2 绿化信息管理系统结构与功能框图

Fig. 2 Frame diagram for the structure and Functions of Greenery Information Management System

该信息管理系统所具有的便捷的查询功能、严谨的管理功能、特别是齐全的输出功能,为后面的绿化环境效益估算奠定了基础。

3 模式林的选择及有关标准量的计算

城市绿化群落绿量的测算成功使得引用野外森林环境效益值估算城市绿化环境效益成为可能。但是,一定绿量的城市绿化群落相当于多少面积的森林?或者一定面积的森林相当于多少绿量的城市绿化群落?我们可以考虑以一些具有代表性的、成龄的针、阔、常、

落人工林作为模拟野外森林的“模式林”,并以分类测算的模式林的面积和绿量作为上述换算的标准量。如果将绿量比作连接野外森林植物量与城市绿化植物量间的“桥梁”,那么模式林就是这座桥梁的“桥墩”或支撑点。

研究中所使用的模式林数据取自上海动物园。这样选择一方面考虑到该园已建园 40 多年,大多数乔灌木都已成龄,而且植物的种类和数量较多;另一方面考虑到它远离中心城区和工业区,环境污染对植物的影响相对较小,其植物的生长状态既具有普通林区植物的特点,也具有城市绿化植物的特点。从它的地理位置来看,它是连接野外森林与城市人工绿化群落的一个恰当的支撑点。表 2 列出了该园内各类模式林的面积及绿量值。另据 Whittaker 与 Woodwell 等人的测定,森林的叶面指数(植物总叶面积与森林土地面积之比)为:郁闭落叶林 4.0—6.0;浓密常绿林 6.0—7.0。

表 2 上海动物园模式林的单位面积绿量

Table 2 3-Biomass for Unit Area of Mode Forest in Shanghai Zoo

林类	建林主要树种	统计林地块数	总面积 (m ²)	总绿量 (m ³)	单位面积绿量 (m ³ /10 ⁴ m ²)	林类单位面积绿量 (m ³ /10 ⁴ m ²)
针叶落叶	水杉	6	9724	66832.2	68729.1	68729.1
针叶常冠	雪松	6	4520	17207.0	38068.6	46096.9
	罗汉松	2	2672	12864.7	48146.3	
	龙柏	1	448	2333.0	52075.9	
阔叶落叶	枫杨	5	12352	128485.7	104020.2	95666.9
	二球悬铃木	5	13794	192182.5	139323.3	
	白榆	2	2480	33851.5	97274.4	
	银杏	2	1570	7774.5	49519.1	
	柳	1	400	3527.9	88197.5	
阔叶常绿	香樟	3	6301	58859.3	93412.6	78934.8
	棕榈	2	1104	6473.5	58636.8	
	香樟、棕榈混生	1	10000	82862.8	82862.8	
	桂花	2	3616	15318.3	42362.6	
	珊瑚	1	704	7249.2	102971.6	
	广玉兰	2	1536	14340.5	93362.6	

由此可得这两类林的单位绿量总叶面面积(见表 3)。

我们认定通过模式林测定的标准量可以将野外森林试验值转换代入到城市绿化环境效益的估算中去,主要是基于以下几方面的考虑:

(1) 植物的叶面是植物产生环境效益的主体。绿色植物所产生的一系列环境效益主要来源于植物的光合作用与呼吸作用,而这两种作用过程又主要是通过其绿色叶表面与阳光和周围环境产生交流与相互作用而完成的。

(2) 以分类植物群落绿量估算植物叶面积比以平均叶面指数估算叶面积要精确。这是由于植物绿量(主要指植冠体积)与植物叶片总面积间的关系远比植物占地面积与植物叶片总面积间的关系密切。

(3) 就产生的环境效益而言, 森林与人工绿化群落许多方面具有可比性。我们将

**表 3 由模式林参数推求的单位体积绿量
对应的叶面积**

**Table 3 Leaf Area Corresponding to Unit
3-Biomass Derived According to the Para-
meter of Mode Forest**

林类	每万平方米林地面积对应的叶面积 (m ²)	每万立方米绿量对应的叶面积 (m ²)
落叶植物林	50000	6082.9
常绿植物林	65000	10397.4

多组森林环境试验值套用到城市绿化环境效益估算中, 主要换算媒介是绿量, 即认为绿量相同的森林与绿化群落将产生相同的环境效益, 而基本未考虑森林与城市绿化群落的环境差别。这是由于对植物的环境效益产生直接或间接影响的环境因素很多, 它们之间相互影响, 又互为补充, 而达到某种新的均衡。以光合作用效率为例, 在层次完整的针阔混交林中, 林冠表层承受全光照, 但处中层的

灌木层仅接收到 7% 的光照, 其下的草本层仅接收约 4% 的光照。城市绿化具有分散分布的特点, 从理论上讲, 接受光照的植冠表层应当比林区植物大。但城市上空大气的烟尘含量较高, 散射掉了一部分太阳辐射; 城市中高大建筑物的阴影也直接影响到植物所能接收到的光照量, 等等。在这些环境因素的综合影响下, 使得森林与城市绿化群落之间, 关于光合作用效率在新的基础上又建立了可比性。

(4) 成龄植物模式林与野外森林具有基本相同的树高。在城市绿化环境效益估算时, 首先要将野外森林面积按模式林标准值换算为绿量值。在换算中, 一般认为野外森林与模式林具有基本相同的树高。根据对 1000 多个样本的回归分析, 我们发现绝大多数植株的径—高比例关系可以由逻辑斯蒂曲线方程来描述, 该曲线方程的基本形态说明了大多数植物进入其成龄后期, 其树高增长很慢或基本不再增长, 即每一类植物有各自的“极限树高”。上海动物园内模式林的主要建林树种的树龄一般都在 40 年以上, 即树高已接近其极限树高, 因此可以认为它们已与野外同类森林具有基本相同的树高, 或说野外森林应与同面积、同类型的模式林具有基本相同的绿量。

另外, 各种植物由于其自身特性不同(如叶面大小、疏密、质量不同等)及所处的环境不同, 其环境效益会有较大差别。为了较准确地估算大多数绿化植物的环境效益, 我们注意了尽可能细分植物群落类别(如针叶、阔叶、常绿、落叶等), 以使其与野外试验的林类相一致。而且我们还注意了样本的代表性, 和以尽可能多类样本的平均值来表征大多数植物类的一般情况。

4 主要绿化环境效益值估算

随着城市化程度的不断提高, 一般大城市, 特别是大工业城市普遍存在着下述问题:

- (a) 耗氧点过于集中、耗氧密度过大而引起城市上空及周围地区大气中碳氧比例失衡;
- (b) 燃煤点过于集中、燃煤量大而引起局部地区二氧化硫(SO₂)超标;
- (c) 工业与民用燃煤排放烟尘量过大及建筑工地与裸土地面扬尘较大而引起的空气混浊, 悬浮颗粒物总数超标;
- (d) 人工建材铺装面反射辐射量大、空气中 CO₂ 浓度增大而产生的“温室效应”及能源消耗产生的大量热量等而在中心城区形成一个较其周围地区具有显著温差的高温

热岛。

绿色植物、特别是绿色生物量达到一个较大数量的植物群落具有显著的吸碳产氧、吸收 SO_2 、滞尘和蒸腾降温等功能。下面将以上海市为例,先依据上海动物园模式林所得的各标准量将野外森林环境效益实验值换算为以单位绿量表达的环境效益值,再按照绿量数据库提供的全市各类绿化群落的绿量值估算吸碳产氧总量、吸收 SO_2 总量、滞尘总量及分析绿化的夏季降温效益。

表 4 列出了从有关资料上摘录的有代表性的野外森林环境效益实验值(或叶片等实物分析值)及按模式林标准量归纳、换算所得的以单位绿量表示的绿化环境效益估算使用值,表 5 列出了依表 4 给出的绿化环境效益估算使用值及绿量数据库分类绿化群落绿量值估算的全市绿化环境效益,并将这种效益值与实际需求量进行了比较。下面对表 5 中各项的计算结果作一简要分析。

(1) 氧气与二氧化碳

由表 5 可见,目前上海市的绿化产 O_2 量冬季仅为需求量的 0.037%,夏季也仅为需求量的 0.086%。因而所需 O_2 几乎全部依赖于郊区农田、附近林区及海藻等海洋植物的产氧,遇静风和空气对流量较小的气候条件,市区上空大气便会出现严重的碳氧比例失衡现象。所以在夏季无风时,住在工业区和人口稠密区的居民常常会有胸闷的感觉。

(2) 二氧化硫

就绿色植物的吸收 SO_2 能力而言,上海市现有的绿化群落已可以吸收全市工业与民用燃煤排放的 SO_2 。但是,绿化群落与排 SO_2 点并不是一一对应,均匀分布的,那些排 SO_2 较集中的工业区,一般恰好是低绿量地区,因此在许多工业小区仍存在着 SO_2 超标现象。

此外,上海市 SO_2 浓度存在着明显的季节变化。由表 6 可见,冬季浓度较高,约为夏季的 2.7 倍。关于这种变化的原因众说不一,但多数认为它与降水量、风的频速等气候条件的季节变化有关。我们的研究表明,上海市 SO_2 浓度的季节变化主要与绿量的季节变化有关,上海市依绿量计算的常落比为 1:1.75,由此可得夏季植物群落的吸收 SO_2 量为冬季的 2.749 倍。冬夏季 SO_2 测定浓度的相差倍数与绿化植物群落冬夏季吸收 SO_2 能力的相差倍数如此惊人的接近,并不是偶然的巧合,这是由于植物吸收 SO_2 量的显著季节变化,必将影响到大气中 SO_2 浓度的变化。

(3) 粉尘

由表 5 可见,由于绿化群落的滞尘作用,可使全市大气含尘量减少 15.5%。据美国环境代表团访沪时的测试,上海市的飘尘数值为 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ (最大为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$),每年因此致病而损失工作日 4000 万个。由此推断,由于绿化群落的滞尘作用,全市每年可减少工作日损失约 620 万个,按《上海市统计年鉴·1993》公布的人均社会生产日产值 63.8 元/人计,仅此一项的经济效益就近 4 亿元/a,这里还未考虑节省的医疗费用,及人们身心健康而产生的其它效益。

(4) 蒸腾降温

绿化群落蒸腾降温的显著效益可以通过典型小区的分析得到证明。现以绿化较好的上海市同济新村南居住小区为例,其相对绿量为 $30883.9\text{m}^3/\text{ha}$ 。假定蒸腾效应将随相对

表 4 森林植物环境效益典型试验值

Table 4 Typical Test Values of Forest Plant Environmental Benefits

项 目	已发表的有代表性的森林植物环境效益试验值										资料来源	归纳、换算所得的最后使用值	
氧 气 (O ₂)	· 每公顷阔叶林在生长旺盛季节可产氧 0.73(t/d)										王铸豪 (1986)	常绿植物年产 O ₂ 量: 35.2 t/10 ⁴ m ² 绿量 落叶植物年产 O ₂ 量: 19.0 t/10 ⁴ m ² 绿量	
	常绿乔木年产量 (t/ha)												
	植物类别	华山松	油松	雪松	女贞	平均	植物类别	洋槐	五角枫	毛白杨	白蜡	紫丁香	平均
	年产 O ₂ 量	247	197	276	161	220	173	167	158	157	149	134	156
	落叶乔木(灌)木年产量 (t/ha)										冯采芹等人 (1989)		
	植物类别	悬铃木	洋槐	五角枫	毛白杨	白蜡	紫丁香	平均					
	年产 O ₂ 量	173	167	158	157	149	134	156	· 每公顷阔叶林在生长旺盛季节可吸收 CO ₂ (t/d)				
	常绿乔木年吸收 CO ₂ (t/ha)										王铸豪 (1986)	常绿植物年吸收 CO ₂ 量: 48.5 t/10 ⁴ m ² 绿量 落叶植物年吸收 CO ₂ 量: 26.2 t/10 ⁴ m ² 绿量	
	植物类别	华山松	油松	雪松	女贞	平均	植物类别	洋槐	五角枫	毛白杨			白蜡
	年吸收 CO ₂ 量	340	270	380	221	303	238	229	219	215	204	185	215
· 每公顷柳杉林每年可吸收 SO ₂ 720kg; · 每公顷垂柳林每年可吸收 SO ₂ 120kg										王铸豪 (1986)			
植物类别	悬铃木	洋槐	五角枫	毛白杨	白蜡	紫丁香	平均						
年吸收 CO ₂ 量	238	229	219	215	204	185	215	· 美国 Savarrah 地区春季空气中 SO ₂ 浓度为 21μg/m ³ 时, 每公顷南方松林每天可吸收 SO ₂ 0.14kg; · 美国纽约长岛地区 6 月份空气中 SO ₂ 浓度为 84μg/m ³ 时, 每公顷混生林每日可吸收 SO ₂ 0.6kg					
二 氧 化 碳 (CO ₂)											Murphy 等人 (1977)		
二 氧													

硫化物 (SO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> · SO₂ 的沉积速率在干燥林地地为 0.015m/s, 湿润林地地为 0.22m/s · 每公顷人工标准林(在 80×80m² 的松林外缘一圈 20m 宽的阔叶林带)的年吸 SO₂ 量为 748kg · 55 种植物 SO₂ 前后叶片含硫量平均比值(熏蒸后/熏蒸前) <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>常绿阔叶树 1.82</td> <td>常绿树 1.85</td> <td rowspan="4" style="text-align: center;">} 总平均 1.53</td> </tr> <tr> <td>常绿针叶林 1.88</td> <td></td> </tr> <tr> <td>落叶阔叶树 1.14</td> <td>落叶树 1.21</td> </tr> <tr> <td>落叶针叶树 1.27</td> <td></td> </tr> </table> 	常绿阔叶树 1.82	常绿树 1.85	} 总平均 1.53	常绿针叶林 1.88		落叶阔叶树 1.14	落叶树 1.21	落叶针叶树 1.27		Kabel 等人 (1976) 美国环保局 (1976)	针阔混生林年吸收 SO ₂ 量: 30.3kg/10 ⁴ m ² 绿量			
	常绿阔叶树 1.82	常绿树 1.85	} 总平均 1.53												
常绿针叶林 1.88															
落叶阔叶树 1.14	落叶树 1.21														
落叶针叶树 1.27															
大气总悬浮颗粒物 (T. S. P)	<ul style="list-style-type: none"> · 每公顷松林每年可吸附粉尘 36.4t; · 每公顷云杉林每年可吸附粉尘 32t; · 每公顷山毛榉林每年可吸附粉尘 68t <p style="text-align: center;">部分乔木阻挡粉尘百分率</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>山毛榉 5.90%</td> <td>松树 2.32%</td> <td>白桦 10.59%</td> </tr> <tr> <td>鹅耳枥 7.92%</td> <td>落叶松 4.05%</td> <td>洋槐 17.58%</td> </tr> <tr> <td>花楸 9.99%</td> <td>橡树 7.15%</td> <td>冷杉 2.94%</td> </tr> <tr> <td>杨树 12.80%</td> <td>白蜡 8.68%</td> <td>云杉 5.42%</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> · 每公顷油松林蒸腾量为 43.6~50.2t/d (夏日值); · 每公顷加拿大杨林蒸腾量为 57.2t/d (夏日值); · 每公顷山毛榉林蒸腾量为 15.7t/d (全年平均); · 每公顷针阔混生林蒸腾量为 24.7~41.1t/d (全年平均); · 在有林地区, 林冠可以截留大约 15~40% 的降雨, 并使 50~80% 的降雨得以渗入土壤中; · 每公顷森林每年将从土壤中吸取 4500~7500t 水; · 植物从土壤中和从降雨林冠截留得到的水份仅 1% 留于植物体内, 而 99% 通过蒸腾作用散发到大气中 	山毛榉 5.90%	松树 2.32%	白桦 10.59%	鹅耳枥 7.92%	落叶松 4.05%	洋槐 17.58%	花楸 9.99%	橡树 7.15%	冷杉 2.94%	杨树 12.80%	白蜡 8.68%	云杉 5.42%	王铸豪 (1986) 中科院植物研究所二室 (1978) 祝廷成等人 (1983) 王铸豪 (1986)	针阔混生林年带尘量: 11.0t/10 ⁴ m ² 绿量 针阔混生林的夏日蒸腾量 5.5t/10 ⁴ m ² 绿量; 相对绿量为 72357m ² /ha, 及考虑蒸腾范围为 100m 高的空间时, 温度降低值: 11.8°C
山毛榉 5.90%	松树 2.32%	白桦 10.59%													
鹅耳枥 7.92%	落叶松 4.05%	洋槐 17.58%													
花楸 9.99%	橡树 7.15%	冷杉 2.94%													
杨树 12.80%	白蜡 8.68%	云杉 5.42%													

表 5 上海市绿化群落的环境效益

Table 5 Environmental benefits of greenery community in Shanghai city

项 目	全市生产生活耗氧量或污染物排放量*	绿化群落环境效益**	绿化群落环境效益与实际需求量的比较
氧气 (O ₂)	日总需 O ₂ 量: 247361t/d 其中: 呼吸需 O ₂ 量: 3000t/d 消费能源需 O ₂ 量: 244361t/d	年产 O ₂ 总量: 64792t/a 夏季日产 O ₂ 量: 213.2t/d; 冬季日产 O ₂ 量: 91.3t/d	夏季仅占需求量的 0.086%; 冬季仅占需求量的 0.037%
二氧化碳 (CO ₂)	日总排放 CO ₂ 量: 296833t/d 其中: 呼吸排放 CO ₂ 量: 3600t/d 消费能源排放 CO ₂ 量: 293233t/d	年吸收 CO ₂ 总量: 89266t/a 夏季日吸收 CO ₂ 量: 293.8t/d 冬季日吸收 CO ₂ 量: 125.8t/d	夏季仅占排放量的 0.099%; 冬季仅占排放量的 0.042%
二氧化硫 (SO ₂)	年排放 SO ₂ 总量: 36t/a	年吸收 SO ₂ 总量: 64.13t/a 夏季日吸收 SO ₂ 量: 0.22t/d 冬季日吸收 SO ₂ 量: 0.08t/d	约为排放量的 1.78 倍
粉尘 (T.S.P)	年烟尘排放总量: 18.4 万 t/a	年滞尘总量: 28583t/a	约占排放量的 15.5%
蒸腾降温	中心城区较郊区平均气温高 3—5℃	蒸腾消耗总热量(夏季): 1.44 × 10 ¹⁰ cal./d	

* 此栏数据摘自《上海统计年鉴》(温度数值据周淑贞等人, 1989 年)。

** 此栏计算主要依据绿量数据库提供的下列数据:

常绿阔叶植物群落绿量: 7191704m³ }
常绿针叶植物群落绿量: 2280935m³ } 常绿植物群落绿量: 9472639m³
落叶阔叶植物群落绿量: 12556334m³ }
落叶针叶植物群落绿量: 4018740m³ } 落叶植物群落绿量: 16575074m³

表 6 上海市各季和全年 SO₂ 平均浓度*

Table 6 Average concentration of SO₂ for each season and whole year in Shanghai

时间(月)	浓度 (μg/m ³)
1	101.2
4	53.5
7	37.5
10	54.5
年均	61.7

* 凡观测日出现降水, 观测值剔除 (据杨伟民等, 1988 年)

表 7 第一期棚户区改造及现有绿化地结构改善完成后全市绿化环境效益预测

Table 7 Forecast of the greenery environmental benefits of the whole city after completing the transformation of shack region at the first phase and the improvement of existing greenery land structure

项目	环境效益值	环境效益与实际需求量的比较
产 O ₂	7.8 × 10 ⁴ t/a	约占需 O ₂ 的 0.13%
吸收 CO ₂	10.7 × 10 ⁴ t/a	约占 CO ₂ 排放量的 0.17%
吸收 SO ₂	77t/a	约为 SO ₂ 排放量的 3.7 倍
滞尘	3.4 × 10 ⁴ t/a	约占烟尘排放量的 32.5%

绿量减少而线性降低, 则由表 4 归纳换算所得的降温效益使用值可知, 在该小区由于蒸腾作用将使气温下降 5℃ (实际上, 由于绿被的遮荫和减少下垫面反辐射等效果, 可能使温度值降低得更多)。一般一台 1.5 匹马力的空调器, 每小时制冷量约为 90800kcal/m³, 耗电为 3 度。假如无绿被时的外界气温为 37℃, 需调节达到的室内温度为 27℃。由于蒸腾作用使外界环境温度 (进气温度) 下降了 5℃, 而使需用空调器调节的温度范围缩小了 1/2。如果都是调节到 27℃ 时自动关机, 则可节省开机时间 1/2。如无绿化区的开机时间

为每天 4 小时(扣除达到舒适温度后自动关机的时间),则在该小区夏季高温日每台空调器每天可节电 6 度。如果按全市每 25 人一台工作、生活用空调器计,则空调器总数约为 16 万台,如果所有地区都能达到该居住小区的相对绿量水平,在夏季高温日仅绿化植物蒸腾降温一项就可节电 96 万度/d,约折合人民币 33.6 万元/d。

以上分析显示上海市的总绿量相对于环境需求而言还很不够,而且各城市功能区的绿化水平相差悬殊。在污染物排放量大、人口稠密的工业区和老式居住区,亟待提高绿化的环境容量。据统计,全市目前约有待改造的老式住宅区 16km^2 (其中首先需改造的棚户简屋区约 6km^2 ,及需第二期改造的石库门里弄简屋区约 10km^2)。按上海市发展战略的设想,棚户简屋区拆迁后的土地将全部用于绿化,如果该目标能够实现,则可能增加绿量 $2.6 \times 10^7\text{m}^3$ (考虑到绿化结构的多样性,这里按模式林地相对绿量的 60% 计算绿量),相当于目前全市绿量的总和。与此同时,如果能补种漏缺的行道树及改善现有绿地的结构,还可能在目前绿地面积不变的情况下增加绿量 10%,这两项总共可以使现有绿量增加 1.1 倍,与现有绿量一并考虑可能产生的环境效益的基本简况如表 7 所示。

由于待改造的老式住宅区与上海市的三个工业中心基本吻合,所以这些地区改造后,基本可以消灭 SO_2 超标现象,并大为降低空气中的粉尘含量。至于碳氧平衡,因市中心城区耗氧密度过大,仅靠提高相对绿量来解决供 O_2 问题是不可能的。所以,在增绿的同时,还必须疏散人口、疏散能耗大的工厂,以减小中心城区的耗氧密度。

如果在第二期石库门里弄简屋改造中还能继续拿出 60% 的土地用于绿化,则可以使目前的绿量总数又增加一倍。到那时,才能基本实现“把上海建成生态园林型的国际大都市”的宏伟蓝图。

绿量概念的提出及其测算方法的研究代表着精确地定量化研究城市绿化的新方向。绿量值的取得,不仅有助于估算绿化的环境效益;而且通过这种效益的估算可以反过来帮助我们分析现有绿化群落布局的合理性,并为绿化规划乃至整个城市的规划提供重要的技术依据。

Study on Remote Sensing Model of Three-Dimensional Green Biomass and the Estimation of Environmental Benefits of Greenery

Zhou Jianhua Sun Tianzong

(Shanghai Normal University)

Abstract Remote sensing model of 3-dimensional green biomass (hereinafter referred to as "3-biomass") and the estimation of environmental benefits of greenery the author obtains several major breakthroughs: (1) putting forward the concept of 3-biomass and further perfecting the quantitative index system of urban greenery; (2) successfully correcting "Logistic curve" equation, while the 3-biomass throughout Shanghai municipality has been measured and calculated in terms of the method of simulating the stereo quantity by the plane quantity, which not only saves the manpower & material resources, but also increases the accuracy; (3) putting forward the concept of mode forest and measuring the standard conversion quantities required in estimating the benefits of greenery environment in terms of 3-biomass; (4) by means of 3-biomass, estimating the environmental benefits of the whole city for the first time, e.g. absorbing carbon and producing oxygen, absorbing SO₂ and stagnating dusts and lowering the temperature in summer due to green community. Obtaining the value of 3-biomass not only helps the estimation of the environmental benefits of greenery, but also promotes us to analyze the rationality of the present greenery community and provides the important technical base for the plan of the whole city via the estimation of this benefit.

Key words 3-D green biomass, simulating stereo quantity, Mode forest, Environmental benefit