

深圳梧桐山林地固碳释氧与减污净气 生态服务价值预测*

李佩武¹ 李贵才² 陈 莉¹ 李子鹤³ 徐 凤¹

(1. 天津师范大学城市与环境科学学院 天津 300387 ; 2. 北京大学深圳研究生院 深圳 518055 ;
3. 天津师范大学教育学院 天津 300387)

关键词 : Citygreen 模型 ; 固碳释氧 ; 减污净气 ; 生态服务价值 ; 深圳梧桐山

中图分类号 : Q14 ; Q948 文献标识码 : A 文章编号 : 1001 - 7488(2010)04 - 0133 - 07

Ecosystem Service Value 's Prediction of Forest Carbon Fixation ,Oxygen Release and Air Purification of Wutong Mountain in Shenzhen

Li Peiwu¹ Li Guicai² Chen Li¹ Li Zih³ Xu Feng¹

(1. Urban and Environmental Science College ,Tianjin Normal University Tianjin 300387 ; 2. Institute of Graduate Studies ,
Peking University Shenzhen 518055 ; 3. College of Education ,Tianjin Normal University Tianjin 300387)

Abstract : This study is designed to evaluate the ecological value of forests in purifying the air , decreasing carbon dioxide and releasing oxygen in Wutong Mountain of Shenzhen , China in 2005. The aerial photography of 0. 3 m resolution and the data of eight forest quadrats of Shenzhen Wutong Mountain in 2005 were collected and analyzed by using ArcGIS software and Citygreen model. Based on some newly established models and optimized parameters , we estimated that the ecological value of Wutong Mountain's forests in terms of fixing carbon , releasing oxygen , and purifying the air in 2005 was worth 155. 60 million RMB. The predictive carbon fixation and oxygen release values of Wutong Mountain forest would be 178. 35 , 197. 40 , 215. 97 , 235. 01 , and 255. 91 million RMB respectively in 2015 , 2025 , 2035 , 2045 and 2055. The estimated ecological service value in reducing pollution and purifying the air was 4. 52 million RMB in 2005. The accordingly predictive values would be 5. 176 0 , 5. 727 7 , 6. 271 2 , 6. 793 1 and 7. 4259 million RMB respectively in 2015 , 2025 , 2035 , 2045 and 2055. These results show there are huge ecological service values of forests in fixing carbon , releasing oxygen , reducing pollution and purifying the air. The difference between the varied growth rates of trees and the growth rate of ecological benefits in different years depends upon the constraint and influence of the growth patterns among different kinds of trees.

Key words : Citygreen model ; carbon fixation and oxygen release ; air purification ; ecosystem service functional value ; Wutong Mountain in Shenzhen

近年来 ,生态系统服务价值已成为环境生态学和生态经济学的热点问题。植被生态服务功能越来越受到城市规划及园林景观规划学者的关注(杨小波等 2002 ;任志远等 2003)。林地是植被最主要的组成形态 ,其功能与价值正在被深入挖掘。林地显著的生态服务功能体现在保持水土、调节气候、净化空气、固碳释氧、径流缓排、美化环境和防止噪音等方面 ,其中削减径流、固碳释氧、减污净气的功能尤为重要。目前 ,生态过程与经济过程之间的关系难以准确建立 ,致使我国区域生态价值测评和环境

损失评价工作存在困难(陈仲新等 2000 ;闵庆文等 2004)。基于原理分析、GIS 与遥感技术、模型计算与软件应用的定量方法 ,对城市植被生态服务价值进行计算、分析与评价逐渐成为主要研究方法。目前城市绿色空间生态服务定量评价模型正不断地完善与发展(Akbari *et al.* ,1999 ; Bolund *et al.* , 1999) ,以高清晰分辨率的遥感影像和 GIS 为技术基础的 Citygreen 模型 ,已作为评价模型的代表在发达国家的城市生态、土地利用与规划等方面得到广泛应用 ,如美国林业署采用该模型对 10 个城市的植被

进行了详细的效益与生态分析。我国相关学者在沈阳市区、杭州市区、南京主城区运用 Citygreen 模型分析城市绿地结构与生态服务价值(胡志斌等, 2003; 张侃等, 2006; 彭立华等, 2007), 但模型的引进与城市植被生态效益的研究尚属初始阶段。

本研究以深圳梧桐山林地为例, 利用 2005 年的 0.3 m 分辨率航片及遴选出的 8 个林地样地数据, 以 ArcGIS 软件为平台, 嵌入生态价值 Citygreen 拓展模块, 采用局地分析方法计算、预测梧桐山林地样地的树木生长与固碳释氧、减污净气生态效益(价值), 并基于样地数据推算、评价梧桐山林地的固碳释氧、减污净气生态效益。为促进资源调查、探讨定量预测评价方法、科学进行城市规划与建设生态宜居城市提供参考依据。

1 研究区概况

深圳梧桐山为莲花山余脉, 地处深圳市东部, 跨罗湖和盐田两区, 西临深圳水库, 东至沙头角、盐田港, 南北临近特区, 在深圳景观生态功能分区的生态支持区中的生态脆弱型支持功能亚区内, 包括东湖公园、仙湖植物园和沙头角林场的部分区域, 与香港新界山脉相连。属亚热带海洋性季风型气候, 全年温暖湿润, 光热充足, 雨量充沛, 干湿分明, 年均气温 22.4 °C, 年均降水量 1 948 mm, 为深圳河的发源地。地势自西南向东北崛起, 在主山脊线上, 分布着海拔 692, 706 和 943.7 m(深圳最高点)的三大主峰。地质以花岗岩和沙页岩为主, 地貌由山地、丘陵、台阶地组成, 土壤有赤红壤、山地红壤和黄壤等类型, 自山体中下部至峰顶依次规则分布着南亚热带常绿阔叶林、南亚热带山地常绿阔叶林、南亚热带山顶常绿阔叶林和山顶矮林。深圳梧桐山有林地 3 090.6 hm², 有木本植物 600 种, 天然植被有维管束植物 233 科 764 属 1 376 种, 其中包括刺桫欏(*Alsophila spinulosa*)、白桂木(*Artocarpus hypargyreus*)、土沉香(*Aquilaria sinensis*)和粘木(*Ixonanthes chinensis*)等珍稀、濒危物种(董仕勇等, 2005)。

2 研究方法

2.1 基础数据 植物状态数据(树名、树种株数、树种类型、树冠形状与胸高断面积等)与属性数据(林冠生长因子、最大胸径、最大树高、叶面积指数等)均来自深圳梧桐山植被(林地)8 个 10 m × 10 m 样地(分别编号为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 和 8)的实测资料(表 1)。表 1 中胸高断面积是 8 个样地中同种树

木的平均值, 生长速率数值源于中国高等植物图鉴(中国科学院北京植物研究所, 1975); 研究区景观与样地定位数据来自深圳市 2005 年 0.3 m 分辨率的航片、深圳市分辨率为 30 m 的 TM 遥感影像与深圳政府 2005 年关于植被状况的报告; 研究区地形数据来自深圳梧桐山数字高程模型(DEM)与地形图; 年最大日降水量数据来自深圳统计年鉴中深圳水库站 1974—2002 年共 29 年的实测资料。

2.2 数据处理 利用 SPSS 统计分析软件包中的相应程序与 Excel 制表软件, 选择皮尔逊 - III 型曲线(Γ 分布), 通过适线法(金光炎, 2006)计算研究区频率 P 为 50%(重现期 2 年)的设计暴雨雨量。基于 ArcGIS 的地形分析模块, 利用 DEM 高程图确定出梧桐山山地平均坡度等模型评价参数。

根据遥感影像, 对深圳市 0.3 m 航片(390 幅)进行统一编号, 确定坐标原点, 将梧桐山的经纬度范围及主要标志物与 Google earth 进行比对, 确定其所在的 4 幅航片。

根据野外实测样地的经纬度坐标, 利用 ENVI 遥感图像软件, 在经过几何纠正和拼接的航片上进行定位, 确定出林地样地的具体位置。通过 ArcGIS 软件平台, 利用 Citygreen 生态价值评估模型, 添加树木的基本信息到数据库中, 进行数据匹配处理。

2.3 模型及应用 Citygreen 模型是 1996 年美国林业署研制的基于 ArcGIS 平台计算城市绿地生态服务价值的扩展模块, 至今已经经过多次版本升级, 每次升级都集成了 U. S. Forest Service 和 Lawrence Livermore Laboratory 在生态服务价值计算上的最新研究成果, 增强了对城市植被的生态和经济效益分析功能。该模型有局地(小区域适用)与区域(大区域适用)2 种分析尺度, 本研究基于林地样地数据, 采用局地分析方法进行效益预测。选取 8 个林地样地, 并以 2005 年为初始状态, 以 10 年为周期, 先对梧桐山 2015 年至 2055 年林地样地中树木进行生长预测与生态价值预测, 再推算整个梧桐山林地的生长与生态服务价值。实现途径为: 通过 ArcGIS 软件平台, 嵌入 Citygreen 生态价值评估模型, 加载研究样地的源数据, 利用生长预测模块, 首先进行树木增长预测, 再加载对应矢量数据, 输入研究区水文土壤状况、降水类型、空气质量、坡度正切值与频率 $P = 50%$ 降水量等参数, 运行 Analysis data 后, 得到样地固碳释氧与减污净气的生态效益预测值, 再根据样地单位面积预测值与林地面积的乘积, 得出梧桐山林地的生态服务价值。

表 1 林地植物概况
Tab.1 Survey of woodland plant

物种 Species	株数 Tree number	树种类型 Species type	树冠形状 Crown form	胸高断面面积 Stand basal area/ cm ²	生长速率 Growth rate
鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	11	常绿小乔木 Small evergreen arbor	椭圆形 Elliptic	81.113 5	中 Moderate
假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	1	常绿阔叶乔木 Evergreen broadleaved arbor	圆形 Round	7.958 0	慢 Slow
九节 <i>Psychotria rubra</i>	6	常绿灌木 Evergreen shrub	圆柱状 Cylindrical	75.282 5	中 Moderate
鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>	6	常绿乔木 Evergreen arbor	椭圆形 Elliptic	92.816 6	快 Fast
密花树 <i>Rapanea nerifolia</i>	12	常绿小乔木 Small evergreen arbor	椭圆形 Elliptic	25.246 7	慢 Slow
杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	5	落叶灌木 Deciduous shrub	圆形 Round	15.178 7	慢 Slow
润楠 <i>Machilus microcarpa</i>	7	常绿乔木 Evergreen arbor	伞状 Cymose	20.372 4	快 Fast
茶 <i>Thea</i>	14	常绿灌木 Evergreen shrub	圆形	21.787 8	中 Moderate
短序润楠 <i>Machilus breviflora</i>	41	常绿乔木 Evergreen arbor	伞状 Cymose	329.646 5	快 Fast
薄叶润楠 <i>Machilus leptophylla</i>	2	常绿乔木 Evergreen arbor	伞状 Cymose	114.913 3	快 Fast
黎蒴 <i>Castanopsis sfissa</i>	3	常绿乔木 Evergreen arbor	圆形 Round	602.339 6	快 Fast
罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	3	落叶小乔木 Small deciduous arbor	圆形 Round	114.913 2	快 Fast
豹皮樟 <i>Litsea coreana</i> var. <i>sinensis</i>	1	常绿小乔木 Small evergreen arbor	圆形 Round 延展性散布	6.446 0	中 Moderate
雀梅藤 <i>Sageretia thea</i>	2	藤状灌木 Vine shrub	Ductile and storabic	20.372 4	中 Moderate
黄牛木 <i>Cratoxylon ligustrinum</i>	3	小乔木 Small arbor	圆形 Round	75.362 1	慢 Slow
八角枫 <i>Alangiaceae chinese</i>	3	落叶小乔木 Small deciduous arbor	圆形 Round	215.183 8	快 Fast
网脉山龙眼 <i>Helicia reticulata</i>	1	常绿乔木 Evergreen arbor	圆形 Round	22.998 6	中 Moderate
假柿树 <i>Litsea monopetala</i>	8	常绿乔木 Evergreen arbor	圆形 Round	70.507 8	快 Fast
腺叶野樱 <i>Prunus phaeostica</i>	1	落叶小乔木 Small deciduous arbor	椭圆形 Elliptic	58.013 7	慢 Slow
亮叶冬青 <i>Ilex viridis</i>	10	常绿小乔木 Small evergreen arbor	椭圆形 Elliptic	336.017 9	快 Fast
水同木 <i>Ficus fistulosa</i>	2	常绿小乔木 Small evergreen arbor	椭圆形 Elliptic	31.831 9	慢 Slow
山油柑 <i>Acronychia pedunculata</i>	3	常绿乔木 Evergreen arbor	圆形 Round	129.674 2	快 Fast
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	1	常绿小乔木 Small evergreen arbor	圆形 Round	38.516 6	中 Moderate
土沉香 <i>Aquilaria sinensis</i>	1	常绿乔木 Evergreen arbor	小而密 Small and glomerate	31.831 9	快 Fast
狗骨柴 <i>Tricalysia dubia</i>	5	小乔木 Small arbor	椭圆形 Elliptic	27.662 0	慢 Slow
银柴 <i>Aporosa dioica</i>	2	小乔木 Small arbor	椭圆形 Elliptic	25.783 9	慢 Slow
杨梅 <i>Myrica rubra</i>	11	常绿小乔木 Small evergreen arbor	圆形 Round	232.054 8	快 Fast
南方皂荚 <i>Gleditsia australis</i>	1	落叶乔木 Deciduous arbor	圆形 Round	561.515 2	快 Fast
华南山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	1	落叶小乔木 Small deciduous arbor	圆形 Round	6.446 0	慢 Slow
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	1	常绿针叶乔木 Evergreen needle-leaved arbor	金字塔形 Pyramidal	258.554 8	快 Fast
天料木 <i>Homalium cochinchinensis</i>	1	常绿乔木 Evergreen arbor	圆形 Round	13.449 0	中 Moderate

Citygreen 模型用生物量推算法计算植被固碳价值。碳存储量计算公式为：

$$C_v = A_r \times G_c \times C_f \quad (1)$$

式中： C_v 为碳存储量(t)， A_r 为研究区域面积(km^2)， G_c 为绿地覆盖率， C_f 为碳储存系数。年碳固定率计算公式为：

$$C_r = A_r \times G_c \times C_{rf} \quad (2)$$

式中： C_r 为年碳固定率， C_{rf} 为碳固定系数。

植被对空气的净化功能主要表现在分解、吸收、过滤和固定大气中的有害物质。主要空气污染物有 O_3 、 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 和 CO 。Citygreen 模型根据净化以上 5 种污染物所需的费用，计算出相应的生态服务价值。年减污计算公式为：

$$C = L_A \times V_d \times E_t \quad (3)$$

式中： C 为污染物去除量(t)， L_A 为叶表面积(m^2)， V_d 为沉积速率， E_t 为暴露时间(h)。

模型环境评价参数反映研究区的气候与下垫面状况，是 Citygreen 模型计算的主要变量与参数，依据梧桐山的具体状况，主要环境参数确定方法如下。1) 设计暴雨量(P)： P 值为研究区重现期 2 年(频率为 50%)的暴雨雨量。计算方法用年最大值法，基于深圳 1974—2002 共 29 年暴雨量，采用皮尔逊-III 型曲线，通过适线法(皮尔逊-III 型曲线与实测经验频率曲线做最优拟合)得出深圳梧桐山重现期为 2 年的 24 h 设计暴雨量为 170.48 mm。2) 平均坡度(S)：根据深圳市数字高程模型(DEM)数据，先利用 ArcGIS 软件进行重新分类，得出坡度图，然后利用坡度图和政区图进行分区统计，再参考坡度计算公式($S = dh/dl$ ， dh 为高程差的微分值； dl 为距离的微分值)计算出的 3 个主峰坡度的平均值，得出梧桐山百分比平均坡度为 25.8%。3) 暴雨时程分配类型：美国水土保持局对全国各地暴雨特征概化描述，分为 I~IV 型。II 型表示暴雨历时短，强度大；IV 型表示暴雨历时长，强度小；I 型与 III 型的暴雨强度介于两者之间。我国各区域尚未有与之相适应的暴雨时程曲线，故在综合分析梧桐山多年的丰、平与枯水年的 24 h 暴雨资料时，分别绘制雨量时程曲线，根据曲线分布趋势与各型曲线的比较，选出与之相近的暴雨时程类型。经分析比较，梧桐山暴雨强度较适中，暴雨时程分配曲线分布趋势与 II 型曲线最为接近，故选用 II 型曲线。4) 水文土壤类型：模型要求将水文土壤类型分为 A、B、C 和 D 4 类，表征研究区土壤的渗水能力。从 A 到 D 表示土壤的粘性逐渐增加，渗透能力逐渐降低。经对梧桐山水文特征与土壤结构和类型的整体考虑，深圳梧桐山光热充足，雨量充沛，主要分布有赤红壤、山地红壤

和山地黄壤，土壤渗透能力较强，可确定其水文土壤类型为 B 型。

3 结果与分析

3.1 样地固碳释氧生态服务价值 利用 Citygreen 生态价值模型与公式(1)和(2)，预测出 2015、2025、2035、2045 和 2055 年多样地的固碳释氧生态服务价值(表 2)。表 2 表明：不同样地中树木生长状态与生态价值有明显差异，样地 1 的固碳释氧生态效益较小，2005 年为 336.62 元，50 年后为 613.14 元；样地 8 的固碳释氧生态效益较大，2005 年为 829.54 元，50 年后为 1 130.10 元；2005 年各样地固碳释氧生态效益平均值为 503.44 元，2055 年为 828.04 元。2005—2055 年 50 年间不同年份林地各样地固碳释氧生态服务价值增长率不均衡。

3.2 样地减污净气生态服务价值 利用 Citygreen 模型取得的减污净气数据与公式(3)，预测出 2005、2015、2025、2035、2045 和 2055 年各样地的生态效益预测值(表 3)。表 3 也呈现出不同样地树木生长状态与生态价值有明显差异，这种现象是由于各样地的树木种类与大小、覆盖率、树冠与胸径状态、生长速率与最大生长极限值不一样造成的。如减污能力较强的样地 8，主要树种为八角枫(*Alangiaceae chinese*)和藜溯(*Castanopsis sfissa*)，其增长速率较快、树冠较大、胸径较粗，决定了该样地林木减污能力较强，产生的经济价值较大。2005 年各样地减污净气生态效益平均值为 14.62 元，2055 年为 24.03 元，增长比率为 64.36%，增长速率明显。

3.3 梧桐山林地固碳释氧与减污净气生态服务价值 用 8 个研究样地固碳释氧和减污净气的平均生态服务价值(表 4)与梧桐山林地面积所包含的林地样地数的乘积，预测整个深圳梧桐山林地的生态服务价值(表 5)。从表 5 可知：2005 年梧桐山林地仅固碳释氧与减污净气生态服务价值就达 1.601 1 亿元，50 年后为 2.633 4 亿元，增幅达 64.47%，可见梧桐山林地的生态服务价值显著，增速较大。但不同年份林地树木生长速率不同，生态效益年增长率之间存在差异，这取决于不同树木的生长发育规律，因为不同树木的寿命差异很大。树木个体和器官生长周期虽表现为“缓慢-旺盛-缓慢”的“S”形曲线过程，但对于多种树木构成的林地而言，各树种各自的生长曲线在时间上不一致，加之影响林木生长的因子众多且因子间关系复杂，预测时间又仅为 50 年，故梧桐山林地生长与生态碳释氧与减污净气生态服务价值增长难以出现想象中的“S”形生长规律。

表 2 样地固碳释氧生态服务价值

Tab. 2 Eco-service value of carbon fixation and oxygen release of sample plots

样地 Sample plot	年份 Year	碳存储量	固碳生态价值	释氧量	释氧生态价值	样地 Sample plot	年份 Year	碳存储量	固碳生态价值	释氧量	释氧生态价值
		Carbon storage capacity/t	Eco-service value of carbon fixation/(yuan·a ⁻¹)	Oxygen release capacity/t	Eco-service value of oxygen release/(yuan·a ⁻¹)			Carbon storage capacity/t	Eco-service value of carbon fixation/(yuan·a ⁻¹)	Oxygen release capacity/t	Eco-service value of oxygen release/(yuan·a ⁻¹)
1	2005	0.28	73.05	0.75	263.57	5	2005	0.23	60.01	0.61	216.47
	2015	0.33	86.10	0.88	310.64		2015	0.30	78.27	0.80	282.34
	2025	0.37	96.53	0.99	348.29		2025	0.38	99.14	1.01	357.64
	2035	0.41	106.97	1.09	385.95		2035	0.47	122.62	1.25	442.34
	2045	0.46	120.01	1.23	433.01		2045	0.56	146.10	1.49	527.04
	2055	0.51	133.06	1.36	480.08		2055	0.64	166.98	1.71	602.34
2	2005	0.34	88.71	0.91	320.05	6	2005	0.28	73.05	0.75	263.52
	2015	0.39	101.75	1.04	367.12		2015	0.36	93.92	0.96	338.51
	2025	0.44	114.80	1.17	414.19		2025	0.42	109.58	1.12	395.28
	2035	0.49	127.84	1.31	461.25		2035	0.48	125.23	1.28	451.75
	2045	0.54	140.89	1.44	508.32		2045	0.55	143.50	1.47	517.63
	2055	0.59	153.93	1.57	555.39		2055	0.61	159.15	1.63	574.10
3	2005	0.32	83.49	0.85	301.17	7	2005	0.61	159.15	1.63	574.10
	2015	0.34	88.71	0.91	319.99		2015	0.66	172.19	1.76	621.16
	2025	0.38	99.14	1.01	357.64		2025	0.70	182.63	1.87	658.80
	2035	0.44	114.80	1.17	414.11		2035	0.74	193.07	1.97	696.45
	2045	0.47	122.62	1.25	442.33		2045	0.78	203.50	2.08	734.09
	2055	0.51	133.06	1.36	479.99		2055	0.80	208.72	2.13	752.92
4	2005	0.39	101.75	1.04	367.05	8	2005	0.69	180.02	1.84	649.52
	2015	0.43	112.19	1.15	404.69		2015	0.76	198.28	2.03	715.41
	2025	0.47	122.62	1.25	442.34		2025	0.82	213.94	2.19	771.89
	2035	0.51	133.06	1.36	479.99		2035	0.87	226.98	2.32	818.96
	2045	0.56	146.10	1.49	527.04		2045	0.91	237.42	2.43	856.61
	2055	0.60	156.54	1.60	564.69		2055	0.94	245.25	2.51	884.85

表 3 样地减污净气生态服务价值

Tab. 3 Eco-service value of pollution-reduction and air-purification of sample plots

样地 Sample plot	年份 Year	净化 O ₃		净化 SO ₂		净化 NO ₂		净化 PM ₁₀		净化 NO	
		Purify O ₃		Purify SO ₂		Purify NO ₂		Purify PM ₁₀		Purify NO	
		量 Volume/t	生态服 务价值 Eco-service value/ (yuan·a ⁻¹)	量 Volume/t	生态服 务价值 Eco-service value/ (yuan·a ⁻¹)	量 Volume/t	生态服 务价值 Eco-service value/ (yuan·a ⁻¹)	量 Volume/t	生态服 务价值 Eco-service value/ (yuan·a ⁻¹)	量 Volume/t	生态服 务价值 Eco-service value/ (yuan·a ⁻¹)
1	2005	0.21	4.41	0.07	0.35	0.11	2.31	0.19	2.73	0.02	0.07
	2015	0.24	5.11	0.08	0.42	0.12	2.66	0.22	3.15	0.03	0.07
	2025	0.27	5.81	0.09	0.49	0.14	3.01	0.25	3.57	0.03	0.07
	2035	0.30	6.44	0.10	0.56	0.16	3.36	0.28	3.99	0.03	0.07
	2045	0.33	7.14	0.11	0.56	0.17	3.71	0.31	4.41	0.04	0.14
	2055	0.37	7.91	0.12	0.63	0.19	4.06	0.34	4.9	0.04	0.14
2	2005	0.24	5.25	0.08	0.42	0.13	2.73	0.23	3.22	0.03	0.07
	2015	0.28	6.09	0.09	0.49	0.15	3.15	0.26	3.78	0.03	0.07
	2025	0.32	6.86	0.11	0.56	0.17	3.57	0.30	4.27	0.04	0.14
	2035	0.36	7.63	0.12	0.63	0.18	3.99	0.33	4.76	0.04	0.14
	2045	0.39	8.47	0.13	0.70	0.20	4.34	0.36	5.25	0.04	0.14
	2055	0.43	9.24	0.14	0.77	0.22	4.76	0.40	5.74	0.05	0.14

续表 3 Continued

样地 Sample plot	年份 Year	净化 O ₃ Purify O ₃		净化 SO ₂ Purify SO ₂		净化 NO ₂ Purify NO ₂		净化 PM 10 Purify PM 10		净化 NO Purify NO			
		量 Volume/t	生态服 务价值 Eco-service value/ (yuan · a ⁻¹)	量 Volume/t	生态服 务价值 Eco-service value/ (yuan · a ⁻¹)	量 Volume/t	生态服 务价值 Eco-service value/ (yuan · a ⁻¹)	量 Volume/t	生态服 务价值 Eco-service value/ (yuan · a ⁻¹)	量 Volume/t	生态服 务价值 Eco-service value/ (yuan · a ⁻¹)	量 Volume/t	生态服 务价值 Eco-service value/ (yuan · a ⁻¹)
3	2005	0.28	5.95	0.09	0.49	0.14	3.08	0.26	3.71	0.03	0.07		
	2015	0.32	6.86	0.11	0.56	0.17	3.57	0.30	4.27	0.04	0.14		
	2025	0.34	7.28	0.11	0.63	0.18	3.78	0.32	4.55	0.04	0.14		
	2035	0.37	8.05	0.13	0.63	0.19	4.13	0.35	4.97	0.04	0.14		
	2045	0.41	8.75	0.14	0.70	0.21	4.55	0.38	5.39	0.05	0.14		
	2055	0.51	10.92	0.17	0.91	0.26	5.67	0.47	6.79	0.06	0.14		
4	2005	0.28	6.09	0.09	0.49	0.15	3.15	0.26	3.78	0.03	0.07		
	2015	0.31	6.72	0.10	0.56	0.16	3.50	0.29	4.13	0.03	0.07		
	2025	0.34	7.35	0.11	0.63	0.18	3.78	0.32	4.55	0.04	0.14		
	2035	0.37	7.98	0.13	0.63	0.19	4.13	0.35	4.97	0.04	0.14		
	2045	0.40	8.68	0.14	0.70	0.21	4.48	0.37	5.39	0.04	0.14		
	2055	0.44	9.38	0.15	0.77	0.23	4.83	0.40	5.81	0.05	0.14		
5	2005	0.28	5.95	0.09	0.49	0.14	3.08	0.26	3.71	0.03	0.07		
	2015	0.34	7.42	0.12	0.63	0.18	3.85	0.32	4.55	0.04	0.14		
	2025	0.41	8.75	0.14	0.7	0.21	4.55	0.38	5.39	0.05	0.14		
	2035	0.46	9.87	0.15	0.84	0.24	5.11	0.43	6.16	0.05	0.14		
	2045	0.50	10.85	0.17	0.91	0.26	5.60	0.47	6.72	0.06	0.14		
	2055	0.55	11.83	0.18	0.98	0.28	6.09	0.51	7.35	0.06	0.21		
6	2005	0.21	4.41	0.07	0.35	0.11	2.31	0.19	2.73	0.02	0.07		
	2015	0.26	5.60	0.09	0.49	0.13	2.87	0.24	3.43	0.03	0.07		
	2025	0.30	6.58	0.10	0.56	0.16	3.36	0.28	4.06	0.03	0.07		
	2035	0.35	7.56	0.12	0.63	0.18	3.92	0.33	4.69	0.04	0.14		
	2045	0.40	8.54	0.13	0.70	0.21	4.41	0.37	5.32	0.04	0.14		
	2055	0.45	9.59	0.15	0.77	0.23	4.97	0.41	5.95	0.05	0.14		
7	2005	0.44	9.52	0.15	0.77	0.23	4.9	0.41	5.88	0.05	0.14		
	2015	0.48	10.29	0.16	0.84	0.25	5.32	0.44	6.37	0.05	0.14		
	2025	0.51	10.92	0.17	0.91	0.26	5.67	0.47	6.79	0.06	0.14		
	2035	0.54	11.48	0.18	0.91	0.28	5.95	0.50	7.14	0.06	0.21		
	2045	0.56	12.11	0.19	0.98	0.29	6.3	0.52	7.49	0.06	0.21		
	2055	0.58	12.46	0.19	1.05	0.30	6.44	0.54	7.70	0.06	0.21		
8	2005	0.50	10.78	0.17	0.91	0.26	5.60	0.47	6.72	0.06	0.14		
	2015	0.55	11.90	0.19	0.98	0.29	6.16	0.51	7.35	0.06	0.21		
	2025	0.59	12.74	0.20	1.05	0.31	6.58	0.55	7.91	0.07	0.21		
	2035	0.63	13.51	0.21	1.12	0.33	7.00	0.58	8.40	0.07	0.21		
	2045	0.66	14.14	0.22	1.19	0.34	7.35	0.61	8.75	0.07	0.21		
	2055	0.68	14.70	0.23	1.19	0.35	7.63	0.63	9.10	0.08	0.21		

表 4 8 个样地平均固碳释氧生态服务价值与平均减污净气生态服务价值

Tab. 4 Mean eco-service value of carbon-fixation and oxygen-release and the mean eco-service value of pollution-reduction and air purification of eight sample plots

年份 Year	减污净气 Pollution-reduction and air-purification				固碳释氧 Carbon-fixation and oxygen-release			
	总值 Total		平均值 Mean		总值 Total		平均值 Mean	
2005	116.97		14.62		3 524.08		503.44	
2015	133.98		16.75		4 039.49		577.07	
2025	148.26		18.53		4 470.83		638.69	
2035	162.33		20.29		4 891.60		698.80	
2045	175.84		21.98		5 322.87		760.41	
2055	192.22		24.03		5 796.28		828.04	

yuan · a⁻¹

表 5 深圳梧桐山林地固碳释氧与减污净气生态服务价值

Tab.5 Eco-service value of carbon-fixation and oxygen-release and pollution-reduction and air-purification of

项目 Item	Wutong Mountain woodland						10 ⁴ yuan
	年份 Year						
	2005	2015	2025	2035	2045	2055	
减污净气 Pollution-reduction and air-purification	451.88	517.60	572.77	627.12	679.31	742.59	
固碳释氧 Carbon-fixation and oxygen-release	15 559.32	17 834.93	19 739.35	21 597.11	23 501.23	25 591.40	

4 结论与讨论

本研究结果表明：梧桐山林地 2005 ,2015 , 2025 2035 2045 和 2055 年的固碳释氧生态效益依次为 15 559.32 ,17 834.93 ,19 739.35 ,21 597.11 , 23 501.23 和 25 591.40 万元；减污净气生态效益依次为 451.88 ,517.60 ,572.77 ,627.12 ,679.31 和 742.59 万元，验证了林地具有显著的生态服务价值。

城市林地生态系统服务价值的研究对生态环境建设与经济发展有重要影响。林地生态服务功能目前已被人们所认知，但多停留在定性描述上，新的、先进的、有效的定量评估方法却相对较少。Citygreen 模型建立在 GIS 平台上且利用高清晰分辨率的遥感影像快速量化，故可高效率实现植被信息的自动提取、更新和管理，以及生态服务价值计算与预测，而基于样地数据与遥感数据相结合进行分析预测，更增加了结果的准确性与方法上的创新性。但 Citygreen 模型与其他软件模型一样，未提供研究结果的检验方法。

借鉴国外前沿的生态评估预测模型进行林地生态服务价值的定量研究是很有意义的尝试。但引进国外软件与模型毕竟受到地域环境的影响，因此建立符合我国情况的生态评价模型与相关数据库，为生态服务价值研究及城市发展的管理与规划提供平台是今后的研究方向。此外，如何准确获取我国的暴雨时程分配和水文、土壤类型等环境参数还需探讨。

参 考 文 献

陈仲新,张新时.2000.中国生态系统效益的价值.科学通报,45(1): 17 - 22.

董仕勇,陈珍传,张究春.2005.深圳梧桐山蕨类植物区系.热带亚热带植物学报,13(4):358 - 362.

胡志斌,何兴元,陈 玮.2003.基于 Citygreen 模型的城市森林管理信息系统的构建与应用.生态学杂志,14(12):2108 - 2112.

金光炎.2006.频率分析中特大洪水处理的新思考.水文,26(3):27 - 32.

闵庆文,谢高地,胡 鹏,等.2004.青海草地生态系统服务功能的价值评估.资源科学,26(3):56 - 61.

彭立华,陈 爽,刘云霞.2007. Citygreen 模型在南京城市绿地固碳与削减径流效益评估中的应用.应用生态学报,18(6): 1293 - 1298.

任志远,李 晶.2003.陕南秦巴山区植被生态功能的价值测评.地理学报,58(4):503 - 511.

杨小波,吴庆书.2002.城市生态学.北京:科学出版社,129 - 133.

张 侃,张建英,陈英旭.2006.基于 Citygreen 模型土地利用变化的杭州市绿地生态服务价值评价.应用生态学报,17(10): 1918 - 1922.

中国科学院北京植物研究所.1975.中国高等植物图鉴.北京:科学出版社.

Akbari H S , Rose L S , Taha H. 1999. Characterizing the fabric of the urban environment : a case study of Sacramento , California. Berkeley : Lawrence Livermore Laboratory 23 - 27.

Bolund P , Sven H. 1999. Analysis ecosystem services in urban areas. Ecological Economics , 29 : 293 - 301.

(责任编辑 于静娴)