

凌焕然, 王伟, 樊正球, 王祥荣. 近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益. 生态学报 2011, 31(19): 5607-5615.

Ling H R, Wang W, Fan Z Q, Wang X R. Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5607-5615.

# 近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益

凌焕然, 王伟, 樊正球, 王祥荣\*

(复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433)

**摘要:**基于 CITYgreen 模型, 通过对 1987、2000、2004 和 2008 年 4a 的 TM 影像分析, 从上海城市空间大尺度(上海市外环内整体)、中尺度(上海市外环内各行政区)和小尺度(上海市外环内各镇及街道)计算绿地年固碳和空气污染物去除两项生态效益, 其中大尺度绿地的生态效益为: 1987 年为 16722.58 万元, 2000 年为 8546.36 万元, 2004 年为 8161.48 万元, 2008 年为 968.47 万元。继而利用基础统计学以及 ArcGIS 地统计分析扩展模块对生态效益进行分析, 得出结论: (1) 大尺度上分析, 1987 年至 2008 年, 由于受到城市建设用地拓展的影响, 城市绿地生态效益总体上呈下降趋势; (2) 中尺度上分析, 不同行政区绿地生态效益的浮动范围与变化趋势均不相同, 中心城区外围的浦东区、宝山区、普陀区等一直处于较高水平且变动幅度较大, 而中心城区一直处于较低状态; (3) 小尺度上分析, 基于克里格插值的曲面拟合分析表明中心城区部分区域出现回升。旨在通过模型拟合分析, 完善上海市绿地生态效益研究, 并为特大型城市绿地规划建设提供科学依据。

**关键词:**生态效益; CITYgreen 模型; ArcGIS 地统计分析; 上海市

## Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years

LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, WANG Xiangrong\*

Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China

**Abstract:** Green space plays a great role in improving environment, maintaining the balance of ecosystem and promoting low-carbon city construction. So the study on ecological effect of green space becomes significant to green space planning & construction and ecosystem service enhancement. Models based on ArcGIS and ArcVIEW platforms like CITYgreen and i-tree have been widely applied in ecological effect study, especially CITYgreen model application in Shenyang, built-up area of Beijing, Beijing Olympic park, Nanjing, Shanghai Outer Ring Green Belt, Hangzhou and Shenzhen. Based on CITYgreen Model and the TM image analysis of 1987, 2000, 2004 and 2008, in three spatial scales including large scale (the whole area within Outer Ring Rd. of Shanghai), middle scale (districts within Outer Ring Rd. of Shanghai) and small scale (towns & sub-districts within Outer Ring Rd. of Shanghai), the annual carbon storage and air pollution removal ecological effect were calculated, with the large scale results: 167.2 million yuan in 1987, 85.5 million yuan in 2000, 81.6 million yuan in 2004 and 9.7 million yuan in 2008. Then the comparative analysis was done with basic statistics and the Geostatistical Analyst of ArcGIS. The results showed that: (1) In large scale, from 1987 to 2008, overall ecological benefit declined because of the encroachment of urban construction. Although many measures to green space construction have been taken in Shanghai City, the situation within the Outer Ring Rd. still calls for much more efforts; (2) In middle scale, two parts of analysis were done including all the 14 districts and the central 6 districts and the results showed that ecological effect of different districts have different range and variation trend; ecological effect of the outer districts keeps on

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAJ10B1); 上海市建交委科技项目“上海市郊森林生态管护与工程示范研究”资助

收稿日期: 2011-06-15; 修订日期: 2011-07-12

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: rxrwang@fudan.edu.cn

<http://www.ecologica.cn>

higher level but changes heavily and the central were always in a low state. Although some measures about building green space have been brought up, the amount of the study area is still decreasing. In addition, most of the increased green space focuses on landscape and recreation function, which leads to the loss of ecological benefit; (3) In small scale, based on Kriging, with surface fitting analysis, the central area had a brief rally during the overall decline trend, especially in the period of 2000 to 2004, due to the green-built measures conducted by Shanghai Municipal Government. Besides, stain chart shows the ecological effect change of every towns and sub-districts, which complements the result of large and middle scale result. There exist differences and connection among study in three spatial scales and from three scales, results of different aspects were presented, which means a lot to the detailed green space planning and construction. Through all the data analysis, this study on ecological effect of green space in Shanghai will get perfection and some scientific basis which will be provided as well for green space planning of large cities like Shanghai. Of course, there are still much more scientific issues to be solved, like the accurate carbon storage of urban green space and the relative questions about carbon sink forest in urban area have become the hottest issue in this field. The results of this study can be the stepping stone of scientific researches in future.

**Key Words:** ecological effect; citygreen model; geostatistical analyst of ArcGIS; Shanghai

绿地在改善城市生态环境、维持城市生态系统平衡、促进低碳城市建设中发挥着极其重要的作用。因此城市绿地生态效益的研究对于指导城市绿地规划建设、提高绿地生态服务功能具有重要的意义。

Costanza 于 1997 年首次对全球生态系统进行分类, 计算其生态服务功能。而后借助 3S 技术的发展, 基于 ArcGIS 和 ArcVIEW 平台的 CITYgreen 和 i-tree 等模型被广泛地应用于生态效益研究<sup>[1-3]</sup>; 其中 CITYgreen 模型应用最为广泛, 并于 2002 年被何兴元等人率先引入国内。迄今该模型已成功应用于沈阳市、北京市建成区、北京市奥林匹克公园、南京市、上海市外环林带、杭州市以及深圳市的城市绿地生态效益研究; 其中杭州市和深圳市案例完全基于 TM 遥感影像的分析, 前者结合土地利用变化, 后者结合景观功能分区对各景观功能区的生态效益变化进行了比较<sup>[4-9]</sup>。然而, 国内基于 CITYgreen 模型的研究依然存在很多不足之处, 对生态效益结果的分析尚不够深入, 且缺少不同尺度的时空变化分析。本研究从 3 个不同空间尺度——大尺度(上海市外环内整体)、中尺度(上海市外环内各行政区)和小尺度(上海市外环内各镇及街道)进行城市绿地生态效益模型运算: 大尺度的研究可以代表特大型城市总体, 反映城市的城市化进程、总体绿量以及生态效益变化; 中尺度的研究以各行政区来划分, 不同的行政区有不同的功能属性以及城市发展进程, 在大尺度的研究基础上产生区域生态效益的分解; 小尺度的研究是进一步深化, 在行政区尺度上再具体到镇及街道, 利用更加密集的数据点来拟合近 20a 来的绿地生态效益变化, 为前两个尺度的研究提供佐证。通过不同的数据与模型分析手段, 阐释近二十年研究区域绿地生态效益的变化。

## 1 研究区概况

上海市位于 120°51′—122°12′E, 30°40′—31°53′N, 总面积 6340.5 km<sup>2</sup>(不包括海域), 地势平坦。年平均温度为 15.2—15.9℃, 最冷月(1月)的平均气温为 3.1—3.9℃, 最热月(7月)平均气温为 27.2—27.8℃, 年平均降水量为 1048—1138 mm。区域自然植被属于中亚热带常绿阔叶林带, 崇明等部分属北亚热带的地区也出现常绿、落叶阔叶混交林地的过渡性植被。由于受到人类活动的影响, 上海地区的自然植被遭受到严重破坏, 目前仅存于金山三岛保护区内。城市绿地多是人工林或半自然林, 与城市化进程及人为培育管护密切相关。据《上海经济年鉴统计》(2008年), 上海市人均公共绿地面积达 12 m<sup>2</sup>。

本研究选择上海市外环线以内作为研究区域, 总面积 668.1 km<sup>2</sup>, 行政上包括嘉定区(部分)、宝山区(部分)、普陀区(部分)、闸北区、长宁区(部分)、徐汇区(部分)、闵行区(部分)、卢湾区、静安区、黄浦区、虹口区、杨浦区、原浦东区(部分)和原南汇区(部分)共 14 个区。图 1 是研究区域 3 个尺度的示意。

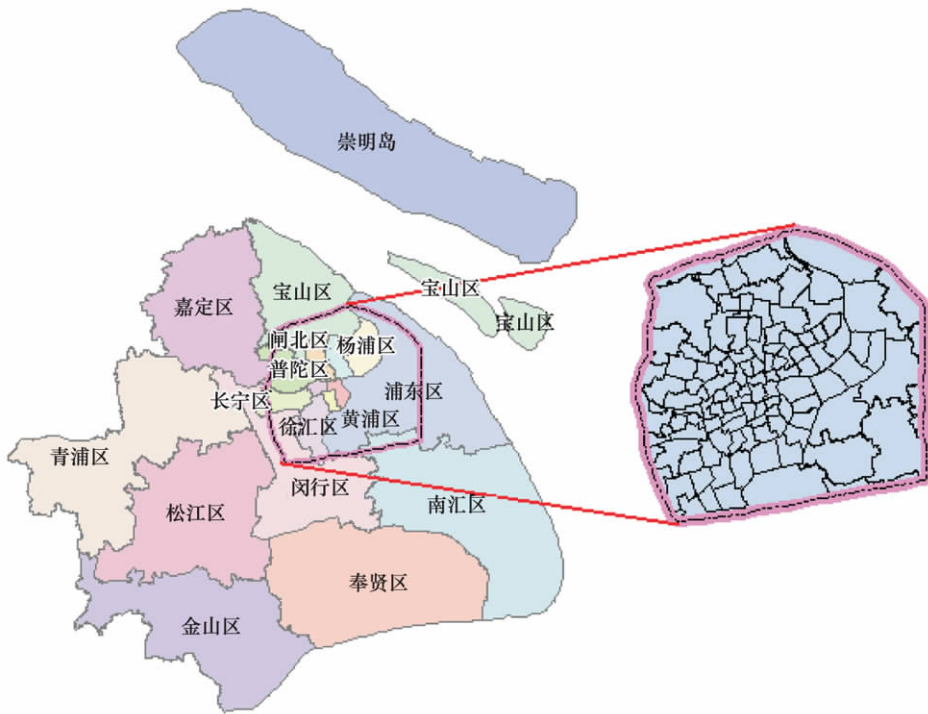


图1 上海市行政区划

Fig.1 Administrative map of Shanghai

## 2 材料与方法

### 2.1 数据源及其信息提取

本研究的原始数据源包括: 上海市 1987、2000、2004、2008 年 TM 影像; 上海市 2007 年 2 m 分辨率卫星照片; 上海市外环线行政区划图(2008 年); GoogleEarth。(由于遥感影像获取困难等原因、并未能完全按照等间隔取点, 第 1 个时间间隔为 13a, 之后间隔 4a。)

利用 ERDAS 软件的 indices 模块, 计算 1987、2000、2004、2008 年 4 个年份 TM 影像的 NDVI 指数; 在 ERDAS 中利用 Classifier 模块对影像进行监督分类, 并结合 NDVI 指数、2007 年上海市 2 m 分辨率的卫星照片以及 GoogleEarth 地图进行人工目视判读, 最后将土地覆盖类型分为建成区、林地、农田、水域、未利用地和滩涂 6 类。

后续 CITYgreen 模型计算生态效益主要考虑林地的作用, 由于影像分类的偏差, 春夏季的农田会干扰林地类型的分类, 运算结果会偏高于实际值, 所以需要进一步消除林地分类的误差。利用 ERDAS 中 sieve、clump、eliminate 3 个模块进行后处理, 结合土地利用现状图以及 GoogleEarth 地图, 对同谱异物、同物异谱所产生的分类错误进行手动调整, 并最终输出为 grid 格式。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 CITYgreen 模型

CITYgreen 5.2 在之前版本的基础上, 增加了直接分析遥感影像和航片的功能, 支持对某一范围内的城市绿地进行跟踪监测<sup>[11]</sup>。模型可分为小尺度矢量数据分析和大尺度栅格数据分析, 本研究选取栅格数据分析方法, 计算绿地固碳和空气污染物去除两项生态效益。

#### (1) 固碳生态效益

此项计算结果包括植被碳储存量和年碳固定率, 由植被覆盖率和植被固碳系数决定。

碳储存量与年固定率的计算公式为:

<http://www.ecologica.cn>

$$Cv = Ar \times Gc \times Cf \tag{1}$$

式中,  $Cv$  为碳储存量(ton),  $Ar$  表示研究区域面积( $km^2$ ),  $Gc$  表示绿地覆盖率,  $Cf$  表示碳储存系数;

$$Cr = Ar \times Gc \times Crf \tag{2}$$

式中,  $Cr$  表示年碳固定率,  $Ar$  表示研究区域面积( $km^2$ ),  $Gc$  表示绿地覆盖率,  $Crf$  表示碳固定系数。

(2) 空气污染物去除生态效益

此项计算原理最早来源于 USDA 林务局的 David Nowak 的研究, 计算内容包括研究区域树木对  $NO_2$ 、 $SO_2$ 、 $O_3$ 、 $CO$  以及  $PM_{10}$  5 项指标的年吸收量, 进而得到年空气污染物去除生态效益。

$$C = LA \times Vd \times Et \tag{3}$$

式中,  $C$  为空气污染去除量(t),  $LA$  表示叶面积( $m^2$ ),  $Vd$  表示沉降率,  $Et$  表示暴露时间(h)。

2.2.2 ARCGIS 地统计分析模块——基于克里格插值的曲面拟合

克里格插值又称空间局部插值法, 是以变异函数理论和结构分析为基础, 在有限区域内对区域化变量进行线性无偏、最优估计的一种方法<sup>[11-12]</sup>, 是地统计的重要内容。通过利用半变异函数和协方差函数对变量的分布进行分析, 若其两两距离均小于变程, 表现出较强的空间相关性<sup>[13]</sup>, 便可用于内插或外推, 即可利用克里格差值进行表面趋势分析。

3 不同尺度下城市绿地生态效益变化特征分析

3.1 大尺度的城市绿地生态效益变化特征

按照中国造林成本, 碳削减为 251.40 元/吨<sup>[14]</sup>, 再乘以固碳量, 即可得到年固碳生态效益。在 CITYgreen 模型中运算得出上海市外环内 1987 年、2000 年、2004 年和 2008 年城市绿地年固碳和空气污染物去除生态效益如下图 2(以折线拟合):

由上图可以看出, 外环内城市绿地空气污染物去除生态效益 > 年固碳生态效益, 生态效益总体上呈下降趋势: 1987 年至 2000 年的生态效益由 16722.557 万元降至 8546.361 万元, 年平均递减率为 628.938 万元/a; 2000 年至 2004 年的生态效益由 8546.361 万元降至 8161.479 万元, 年平均递减率为 96.220 万元/a; 2004 年至 2008 年的生态效益由 8161.479 万元降至 968.473 万元, 年平均递减率为 1798.252 万元/a。下面从土地利用变化和绿地规划建设两个方面阐释:

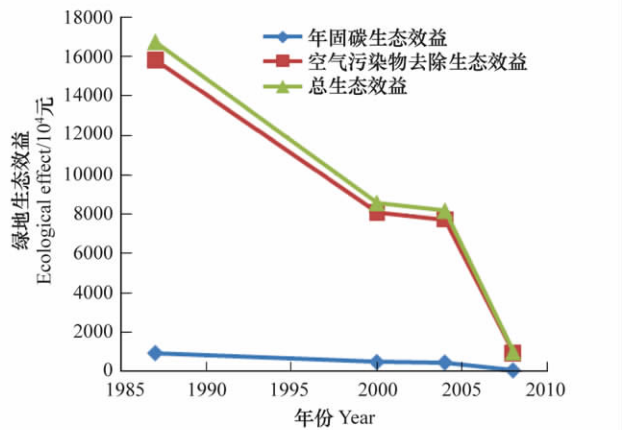


图 2 上海市外环内 1987 年、2000 年、2004 年、2008 年绿地生态效益变化

Fig. 2 Ecological effect changes of green space within Outer Ring Rd. of Shanghai in 1987, 2000, 2004 and 2008

(1) 在前文 1987、2000、2004 年和 2008 年共 4 个年份影像解译的基础上, 将土地利用从 6 类并为城市建设用地、城市绿地、水体和其他 4 类进行了分析(图 3)。

由图 3 土地利用分类可以看出, 1987 年至 2008 年城市绿地面积依次递减, 城市建设用地增加, 侵占了城市绿地的空间。

(2) 20 世纪八九十年代, 上海市还没有开展系统的城市绿地规划建设研究, 整体上对城市绿地的保护程度还不够高, 且市民保护绿地空间的意识也没有被充分唤醒, 绿地生态效益下降趋势较大; 2000 年至 2004 年间, 市政府先后启动了多项绿地建设, 2000 年启动中心城区 19 块大型绿地建设, 2002 年完成中心城区 23 块大型绿地建设, 面积共 530hm<sup>2</sup>, 绿地建设力度明显加大。但是由于外环内总体上绿地面积仍然在减小, 所以城市绿地生态效益仍然呈下降趋势, 只是年平均递减率有所减小。

3.2 中尺度的城市绿地生态效益变化特征

图 4 是外环线内的所有 14 个行政区 4 个年份的绿地生态效益变化(以折线拟合), 分析表明: (1) 不同行

政区的绿地生态效益浮动范围以及变化程度均不相同, 各个行政区的绿地生态效益总体上均呈下降趋势; (2) 原浦东区的绿地生态效益最高, 宝山区次之。对于外环内的原浦东区和宝山区部分, 一方面, 行政面积相对较大; 另一方面, 城市化水平相对较低, 人口密度也较低, 因此人为干扰因素少, 植被覆盖率较高; (3) 静安区绿地生态效益较低, 卢湾区最低。静安区和卢湾区均是老上海居住集中区, 有很多历史文物保护单位, 也有多处商业集中区, 植被覆盖率相比于其他行政区小很多, 因此绿地生态效益最低; (4) 原浦东区的绿地生态效益变化幅度最大, 宝山区次之。浦东区近 20a 快速城市化造成绿地大面积减少, 所以降幅最大。宝山区外环内部分近些年涌现了大批地产投资, 也占用了大面积的城市绿地。

图 5 中的 6 个区完全位于外环线以内(以下简称“中心城区”), 从图 5 中的数据分布作出如下分析: (1) 中心城区的绿地生态效益依次顺序为杨浦区>闸北区>虹口区>黄浦区>静安区>卢湾区。这些行政区的绿地生态效益 2000 年至 2004 年间均有小幅度回升。在大尺度研究上已经阐述, 上海市在 2000 年至 2004 年大力推进中心城区“增绿、建绿”工作, 增加了绿地面积, 加强了城市绿地的管理与管护, 重新构建城市道路系、水系的“绿网”, 所以出现了绿地生态效益回升的现象; (2) 黄浦区和静安区的变化幅度最小。黄浦区和静安区一直位于市中心, 在 20 世纪 80 年代已经达到比较高的城市化水平, 所以绿地覆盖变化不大; (3) 1987 年黄浦区、静安区和卢湾区绿地生态效益基本上在相同水平, 之后至 2004 年, 卢湾区绿地生态效益低于其他两者, 说明此时期内卢湾区城市化进程更快。

由图 4 和图 5 分析, 中心城区的绿地生态效益有所改善, 外围行政区的绿地面积下降幅度很大。虽然政府加大了绿地建设, 但是总体上绿地面积仍然呈下降趋势; 此外, 中心城区的绿地建设因为更多注重其景观功能, 往往忽略了绿地生态效益的发挥, 群落结构配置不够合理, 大面积的草坪或者乔-草型群落较多, 乔-灌-草型群落结构很少, 群落生态效益未能充分发挥<sup>[15]</sup>。

### 3.3 小尺度的城市绿地生态效益变化特征

上海市外环线内涉及的镇及街道总共 118 个。小尺度绿地生态效益分析在大尺度和中尺度的研究基础上, 加入斑块和曲面拟合的分析方法, 利用 ArcGIS 地统计分析模块进行斑块个体演变、斑块间对比以及斑块总体拟合的分析, 阐释近年来绿地生态效益变化轨迹及原因。

#### (1) 基于空间分布的绿地生态效益斑块变化分析

在 ArcGIS 中将 1987、2000、2004 和 2008 年各街道的绿地生态效益导入属性表, 生成如下评价图(图 6)。由图 6 中 4 个年份绿地生态效益空间分布格局可以看出: ①斑块绿地生态效益总体上呈下降趋势; ②中

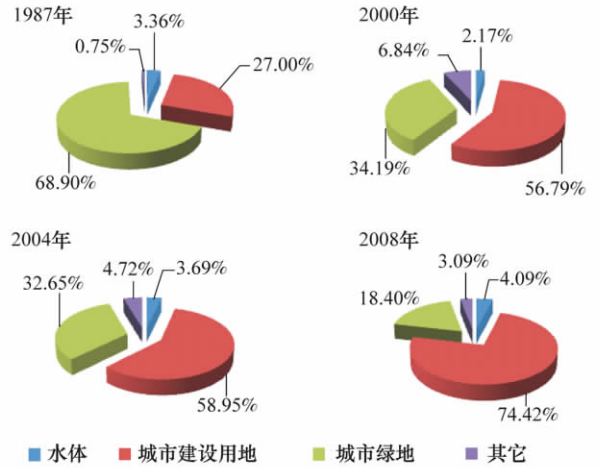


图 3 上海市外环内土地利用分类

Fig. 3 Land-use classification within Outer Ring Rd. of Shanghai

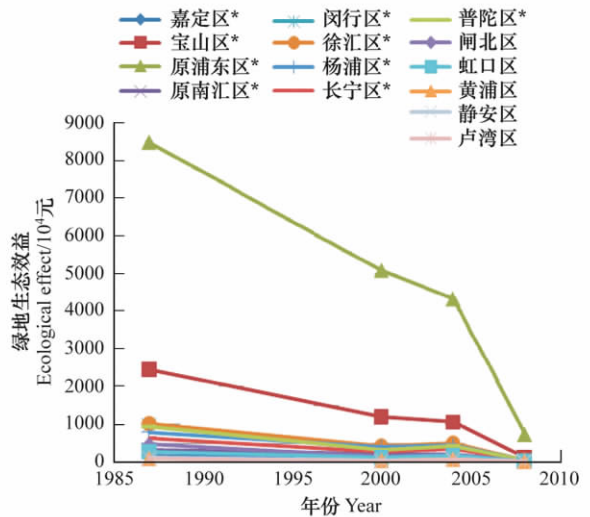


图 4 上海市外环内各行政区 1987 年、2000 年、2004 年、2008 年 4 个年份的绿地生态效益变化

Fig. 4 Ecological effect changes of green space of districts within Outer Ring Rd. of Shanghai in 1987, 2000, 2004 and 2008

心城区绿地生态效益一直处于较低水平,变化不大;浦东区、宝山区和杨浦区的绿地生态效益一直处于较高水平,但逐年下降的趋势明显;③黄色区域发生巨大变化:1987年至2000年扩展较为明显;2000年至2004年黄色区域呈收敛的趋势,普陀区长征镇、真如镇,长宁区新泾镇以及闸北区彭浦镇的绿地生态效益明显增加;2004年至2008年,黄色区域又扩展迅速,说明很多镇及街道绿地生态效益继续下降,包括宝山区顾村镇、杨行镇、大场镇等,普陀区长征镇、桃浦镇、长风新村街道等,长宁区新泾镇,闵行区虹桥镇、古美街道,徐汇区梅陇镇、康健新村街道等,原浦东区周家渡街道、花木镇、浦兴街道、金厂新村街道等,杨浦区新江湾城街道、五角场镇街道、五角场街道、殷行街道以及闸北区彭浦镇;④宝山区的大场镇由1987年至2008年的变化幅度最大;浦东区的高桥镇、金桥镇、花木镇、北蔡镇、张江镇以

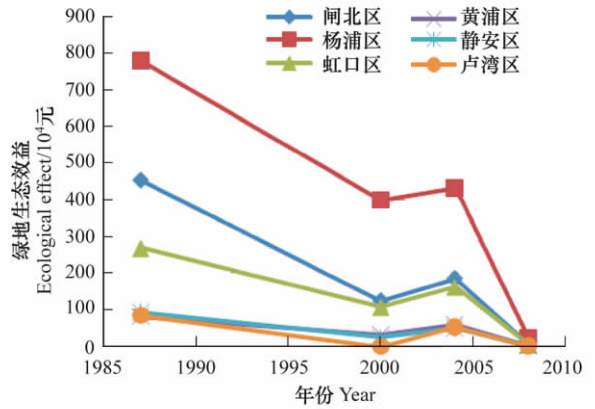


图5 上海市外环内中心城区1987年、2000年、2004年、2008年的城市绿地生态效益变化

Fig. 5 Ecological effect changes of green space of central districts within Outer Ring Rd. of Shanghai in 1987, 2000, 2004 and 2008

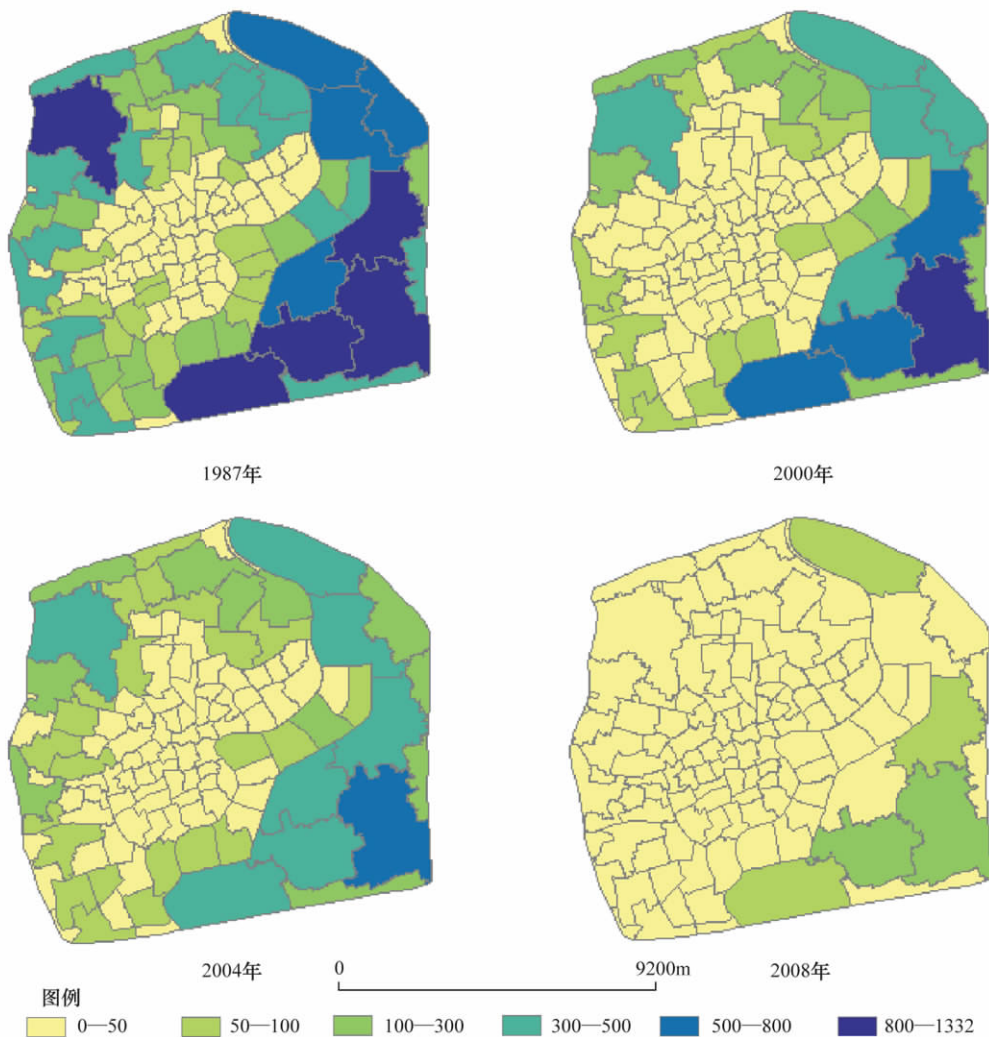


图6 上海市外环内街道绿地生态效益空间分布格局

Fig. 6 Spatial pattern of ecological effect of green space of towns and sub-districts within Outer Ring Rd. of Shanghai

及三林镇生态效益逐年下降。

## (2) 基于普通克里格插值的区域绿地生态效益拟合及分析

克里格插值又称空间局部插值法,是以变异函数理论和结构分析为基础,在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计的一种方法<sup>[11-12]</sup>,是地统计学的重要研究内容。将数据导入相应模块,得到图7。

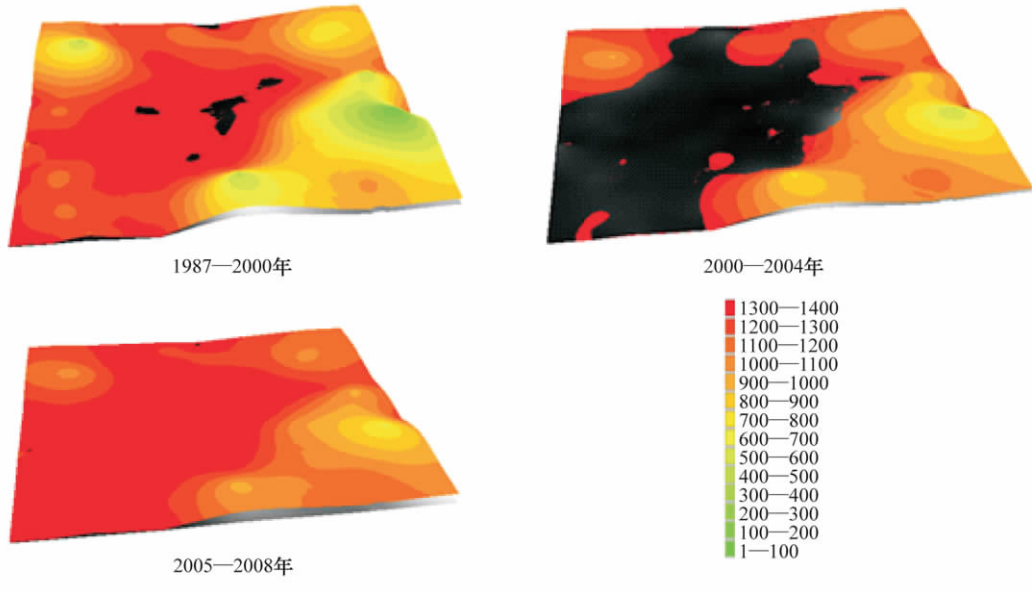


图7 上海市外环内不同年份绿地生态效益比较

Fig. 7 Comparison of ecological effect of green space within Outer Ring Rd. of Shanghai

图7是基于微尺度绿地生态效益数据拟合的曲面叠加图,黑色区域表示上层数据小于下层数据。具体分析说明:(1)1987年与2000年相比,中心城区出现小面积黑色区域,说明至2000年中心城区部分区域的绿地生态效益增加;(2)2000年与2004年相比,中心城区黑色区域持续增大,说明其间中心城区的绿地生态效益明显增大;(3)2004年与2008年相比,几乎未出现黑色区域,说明2004年至2008年,绿地生态效益整体均下降。

## 4 结论与讨论

本研究利用CITYgreen模型,从3个城市空间尺度上计算了上海市外环内城市绿地生态效益,通过不同角度与分析方法,定性与定量地分析了绿地生态效益变化。得出如下结论:

(1)大尺度上,1987年至2008年,城市绿地受到城市建设用地的侵占,直接影响了其生态效益发挥,城市绿地生态效益总体上呈下降趋势;而2000年至2004年,由于上海市实施了一系列中心城区“增绿、建绿”措施,区域内部分地区的绿地生态效益出现回升的现象;

(2)中尺度上,不同行政区绿地生态效益的浮动范围与变化趋势均不相同。其中外围行政区的绿地生态效益较高,但下降幅度也较大;中心城区近些年绿地生态效益变化较小;虽然近些年中心城区加大了绿地建设力度,但是区域总体的绿地面积依然呈下降趋势,且补充的绿地由于群落配置不够合理等原因,区域绿地生态效益持续下降;

(3)小尺度上,利用ArcGIS地统计分析扩展模块对各镇及街道作斑块分析,以点状生态效益值拟合整个区域绿地生态效益的曲面,通过曲面叠加比较整个研究区域不同年份间的变化:1987年均高于2000年,2004年中心城区部分高于2000年,2004年完全高于2008年。

由此看来,3个不同城市空间尺度的研究可以揭示不同的结果:上海市外环内近20a来的绿地生态效益变化由于受城市化进程的影响,总体呈下降趋势;不同的行政区由于功能布局以及发展进程的不同,绿地生态效益变化呈现不同的状态;中心城区的绿地生态效益处于较低水平,由于土地资源有限,亟须通过增大单位面

积的生态效益来提升总体水平;外围区域由于高强度的发展与建设,很多绿地生态效益大幅度降低甚至丧失,是快速城市化带来的负面效应。但3个不同城市空间尺度的研究结果亦存在联系,大尺度的研究结果是由中尺度和小尺度的结果统计汇总而成,小尺度的研究通过更加密集的数据点,对前两个尺度研究进行分解,为其研究结果提供佐证。本研究旨在通过研究上海市外环内不同尺度的生态效益变化规律揭示此区域的状况,并为整个上海市以及上海同类型特大型城市提供借鉴,为城市绿地规划、低碳城市建设提供科学依据。

上海市外环内区域随着快速城市化发展,总体绿地生态效益明显下降,如何在现有建设基础上增加绿地生态效益、改善区域生态环境质量成为城市生态建设的难题。城市绿地生态效益的研究还有很多值得探讨,尤其是绿地碳汇效应是目前学术界研究的热点,城市碳汇林的规划、构建与碳汇效应测评标准等研究仍然不够充分。本研究对不同城市空间尺度绿地的生态效益进行了初步探索,其研究思路、方法及结论可以作为后续研究的基础,以便继续深入地展开城市绿地研究工作。

目前看来,CITYgreen模型在国内使用还具有一定的局限性,模型的很多参数均是美国本土的参数,再加上遥感影像分类的误差,测算的城市绿地生态效益会与实际值有一定偏差。但是模型为绿地生态效益研究提供了快捷的途径,结合遥感影像资料分析可以快速有效地进行大范围研究,为区域决策提供科学基础。城市绿地生态效益的研究工作仍需继续深入下去,可以通过模型校正或者适用模型探索,更加准确地研究绿地生态效益变化,更好地指导绿地规划与建设乃至城市功能分区。

#### References:

- [ 1 ] Hu Z B , He X Y , Chen W , Li Y H , Li H M . Structure and ecological benefits of urban forest in Shenyang build-up area . *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2003 , 14 ( 12 ) : 2108-2112 .
- [ 2 ] Leonard P . Understanding i-TREE Part 1: Urban Forest Effects model ( UFORE ) . *Arbor Age* , 2006 , 26 ( 8 ) : 30-31 .
- [ 3 ] Ma N , He X Y , Shi X F , Chen W . Assessment of urban forest economic benefits based on i-Tree model: research progress . *Chinese Journal of Ecology* , 2011 , 30 ( 4 ) : 810-817 .
- [ 4 ] Liu C F , He X Y , Chen W , Zhao G L , Li L , Xu W D . Ecological benefit evaluation of urban forests in Shenyang City based on QuickBird image and CITYgreen model . *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2008 , 19 ( 9 ) : 1865-1870 .
- [ 5 ] Hu H . The application of CITYgreen in urban green-land ecological benefits analysis in Beijing . Beijing: Beijing Forestry University , 2008 .
- [ 6 ] Li W . The Application of CITYgreen in Urban green-Land Ecological Benefits Evaluation . Beijing: Beijing Forestry University , 2007 .
- [ 7 ] Zheng Z L . Study on ecological benefits of urban forests based on CITY green model . Shanghai: Shanghai Normal University , 2006 .
- [ 8 ] Peng L H , Chen S , Liu Y X , Wang J . Application of CITYgreen model in benefit assessment in Nanjing urban greenbelt in carbon fixation and runoff reduction . *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2007 , 18 ( 6 ) : 1293-1298 .
- [ 9 ] Zhang K , Zhang J Y , Chen Y X , Zhu Y M . Urban greenbelt eco-service value of Hangzhou City under effects of land use change: an evaluation with CITYgreen model . *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2006 , 17 ( 10 ) : 1918-1922 .
- [ 10 ] Chen L , Li P W , Li G C , Su D , Yuan X Z . Application of CITYGREEN model in air purification , carbon fixation and oxygen release by greenbelt system in Shenzhen City . *Acta Ecologica Sinica* , 2009 , 29 ( 1 ) : 272-282 .
- [ 11 ] Zhang Z Q , Shi X Z , Yu D S , Wang S H , Xu S X . Spatial prediction of soil organic matter and total nitrogen in the hilly red soil region , China . *Acta Ecologica Sinica* , 2010 , 30 ( 19 ) : 5338-5345 .
- [ 12 ] Geostatistical Analyst Tutorial . ( 2011-05-08 ) [ 2011-06-12 ] . <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/geostatistical-analyst-tutorial.pdf> .
- [ 13 ] Wang Q , You P D , Dong X G , Cao Z F . Analysis of special variability of insitu permeation test's results . *Journal of Shihezi University( Natural Sciences)* , 2008 , 26 ( 5 ) : 608-611 .
- [ 14 ] Xiao H , Ouyang Z Y , Zhao J Z , Wang X K . Forest ecosystem services and their ecological valuation: a case study of tropical forest in Jianfengling of Hainan island . *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2000 , 11 ( 4 ) : 481-484 .
- [ 15 ] Zhang H , Wang X R , Chen T , Sun D X . Assessment of structural complexity and ecological management policy for urban green space: a case study of Shenzhen special economic zone . *Journal of Fudan University( Natural Science)* , 2006 , 45 ( 6 ) : 719-725 .

#### 参考文献:

- [ 1 ] 胡志斌,何兴元,陈玮,李月辉,李海梅.沈阳市城市森林结构与效益分析.应用生态学报,2003,14(12):2108-2112.



- [3] 马宁,何兴元,石险峰,陈玮. 基于 i-Tree 模型的城市森林经济效益评估. 生态学杂志,2011,30(4): 810-817.
- [4] 刘常富,何兴元,陈玮,赵桂玲,李玲,徐文铎. 基于 QuickBird 和 CITYgreen 的沈阳城市森林效益评价. 应用生态学报,2008,19(9): 1865-1870.
- [5] 胡赫. 基于 CITYgreen 模型的北京市建成区绿地生态效益分析. 北京: 北京林业大学,2008.
- [6] 李薇. CITYgreen 软件在城市绿地生态效益评价中的应用. 北京: 北京林业大学,2007.
- [7] 郑中霖. 基于 CITYgreen 模型的城市森林生态效益评价研究. 上海: 上海师范大学,2006.
- [8] 彭立华,陈爽,刘云霞,王进. 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,2007,18(6): 1293-1298.
- [9] 张侃,张建英,陈英旭,朱荫湄. 基于土地利用变化的杭州市绿地生态服务价值 CITYgreen 模型评价. 应用生态学报,2006,17(10): 1918-1922.
- [10] 陈莉,李佩武,李贵才,苏笛,袁雪竹. 应用 CITYGREEN 模型评估深圳市绿地净化空气与固碳释氧效益. 生态学报,2009,29(1): 272-282.
- [11] 张忠启,史学正,于东升,王世航,徐胜祥. 红壤区土壤有机质和全氮含量的空间预测方法. 生态学报,2010,30(19): 5338-5345.
- [13] 王琴,尤平达,董新光,曹振锋. 原位渗水试验数据结果的空间变异性分析. 石河子大学学报(自然科学版),2008,26(5): 608-611.
- [14] 肖寒,欧阳志云,赵景柱,王效科. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例. 应用生态学报,2000,11(4): 481-484.
- [15] 张浩,王祥荣,陈涛,孙达祥. 城市绿地群落结构完善度评价及生态管理对策: 以深圳经济特区为例. 复旦学报(自然科学版),2006,45(6): 719-725.