

城市绿地系统的生态服务功能评价、规划与预测研究

——以扬州市为例

李 锋, 王如松

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要:城市绿地是城市自然生态系统的重要组成部分, 具有重要的生态服务功能。以扬州市为例, 依据社会-经济-自然复合生态系统理论和生态规划原则, 参照国内外有关标准进行了规划, 构建了“内环绿带、近郊绿带和外围大环境绿色屏障”三环绿带的布局结构, 并从绿化覆盖率、人均绿地、人均公共绿地、绿地结构、绿地均匀度、本地种优势度 6 个指标分阶段进行了具体规划, 应用多边形综合指标法对规划结果进行了评价与预测。结果表明, 2000 年扬州市区绿地系统生态服务功能一般, 2005 年也一般, 2010 较好, 2020 年优良。为了达到规划的预期目标, 扬州市必须通过法律、经济、行政、社会、技术等手段加强后期的实施、监督与管理, 从生态学角度提出了绿地系统建设的生态对策。城市生态建设应多元化而不应仅“唯绿地论”, 城市绿地建设应体现城市特色, 同时考虑其建设成本和维护管理费用等问题。

关键词:城市; 绿地; 指标; 生态服务功能; 扬州

Evaluation, planning and prediction of ecosystem services of urban green space: A case study of Yangzhou City

LI Feng, WANG Ru-Song (Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Science, Beijing 100085, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1929~1936.

Abstract: City is a kind of social-economic-natural complex ecosystem, dominated by human activities. Urban green space is an important constituent part of urban natural ecosystem. It has important ecosystem services. Ecosystem services of urban green space are that green space can provide physical and mental products, environment, resource, and ecological commonwealth, maintaining human activities and people's body and mind health. They include purifying environment, adjusting micro-climate, keeping water, circulating nutrition, sustaining biodiversity, landscaping, preventing and reducing natural disaster, providing amenity, culture, education and society functions. Ecosystem service is one of focus issues of urban ecosystem research. The studies of ecosystem services of urban green space in overseas countries are mainly about urban forest and they focus on urban environment improvement, biodiversity maintenance, amenity values, and ecosystem management, while in China they focus on urban environment improvement, evaluation of urban green quantity and quality, value estimation, and evaluating indicator system.

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(39930040)

收稿日期:2002-10-24; **修订日期:**2003-06-03

作者简介:李 锋(1973~), 男, 内蒙古人, 博士生, 主要从事城市生态学、生态规划及生态服务功能等研究。E-mail: lifengxus@163.com

Foundation item: The National Natural Science Foundation of China(No. 39930040)

Received date:2002-10-24; **Accepted date:**2003-06-03

Biography: Li Feng, Ph. D. candidate, Research field: urban ecology, ecological planning, and ecosystem services. E-mail: lifengxus@163.com

Taking Yangzhou city as a case study, according to social-economic-natural complex ecosystem theory and ecological planning principles, referring to international standards, ecosystem services of urban green space were planned. Based on green space status, topography, natural environment and people's demand for ecosystem services, three ring greenbelts were planned. They are composed of inner, outskirts, and outer greenbelt. Six indicators were planned at different phases in details including greening coverage ratio, mean green space per person, public green space per person, green space structure, green space distribution, and native species dominance. The planning results were evaluated and predicted at different phases using Polygon Synthesis Indicator method. The results indicate that the synthesis index of ecosystem services of green space of Yangzhou urban area was 0.272 in 2000, so the ecosystem service belonged to class Ⅲ and was general. The synthesis index will be 0.391 in 2005, so the ecosystem service also belonged to class Ⅲ and was general. It will be 0.586 in 2010, so the ecosystem service will belong to class Ⅱ and will be better. It will reach to 0.777 in 2020, so the ecosystem service will belong to class Ⅰ and will be excellent. Ecosystem services of urban green space depend on scientific ecological planning and appropriate ecological management. In order to gain the anticipative planning aim, implement, supervision and management after planning must be strengthened by using legal, economic, administrative, social, and technological means. Some countermeasures were advanced from ecological viewpoint for urban greening of Yangzhou city: from ground greening to roof and vertical greening; from local greening to regional greening; from occupying green space to resuming these spaces for greening; from monotone green space to various green space; from green space structure to green space function; from external greening to internal culture; from landscaping design to ecological design. It should be pointed out that urban ecological construction can be carried out by various approaches not only by greening. During the construction of urban green space, urban characteristics should be embodied, at the same time, the development, maintenance and management costs also should be taken into account.

Key words:city;green space;indicator;ecosystem services;Yangzhou City
文章编号:1000-0933(2003)09-1929-08 中图分类号:Q14,Q146,S73,X2 文献标识码:A

城市是一类以人类活动为中心的社会-经济-自然复合生态系统^[1~3]。城市绿地是以土壤为基质、以植被为主体、以人类干扰为特征,并与微生物和动物群落协同共生的人工生态系统。其结构包括乔木、灌木、草本植物、动物、微生物以及土壤、水文、微气候等物理环境。城市绿地是城市自然生态系统的重要组成部分,具有重要的生态服务功能。城市绿地的生态服务功能是指绿地系统为维持城市人类活动和居民身心健康提供物质产品、环境资源、生态公益和美学价值的功能。它在一定的时空范围内为人类社会提供的产出构成生态服务功效,主要包括:①净化环境。包括净化空气、水体、土壤、吸收 CO₂ 生产 O₂、杀死细菌、阻滞尘土、降低噪声等;②调节小气候。调节空气的温度和湿度,改变风速风向;③涵养水源。包括雨水渗透、保持水土等;④土壤活化和养分循环;⑤维持生物多样性;⑥景观功能。如组织城市的空间格局和美化景观等;⑦休闲、文化和教育功能;⑧社会功能。维护人们的身心健康,加强人们的沟通,稳定人际关系;⑨防护和减灾功能。抵御大风、地震等自然灾害。

生态服务功能是当前城市生态系统研究的热点之一^[3]。城市的扩展蔓延和强烈的人类活动明显影响着生态系统的服务功能,导致城市自然生态系统的服务功能不断降低。据 Krenter 等^[4]在美国 San Antonio 地区的研究结果表明,在 1976~1991 年间,每年生态系统服务功能降低 15.4%(相当于每公顷土地减少 23.22 美元)。目前关于城市绿地生态系统服务功能的研究主要集中在森林、草地和农田生态系统。国外城市绿地主要是关于城市森林方面的研究,重点集中在改善城市环境质量^[5~8]、维持生物多样性^[9~13]、提供休闲娱乐^[14~17]、城市生态系统管理^[17,18]等方面。国内关于城市绿地服务功能系统的全面的研究不多,主要集中在改善城市环境质量^[19~21]、城市绿化三维量及绿当量^[22~25]、价值评估和指标体系^[26~29]的研究上。

城市绿地也有负面影响,Benjamin 等^[30]研究表明许多种植物可以释放单萜等光化学反应物质,种植不当会对环境造成污染。有些树种释放在空气中的花粉对一些人能造成过敏反应。但是城市绿地正面的生态服务功能远远大于其负面影响。

随着城市化进程的加速和城市环境问题的加剧,人们已越来越认识到加强绿地生态建设,改善城市生态环境质量的重要性。许多国家已将城市绿化制定为城市可持续发展战略的一个重要内容^[31,32]。城市绿地生态服务功能的强弱取决于绿地的数量、组成结构、分布特征以及管理水平等。本文以扬州为例,对城市绿地生态服务功能进行了评价、规划和预测,并从生态学角度对扬州城市绿地系统建设提出了对策。

1 研究背景及区域概况

为借鉴国内外特别是苏锡常地区的发展经验和教训,摸索一条既保证社会经济快速发展又为城乡居民提供舒适干净环境的可持续发展之路,根据国家环保局生态示范区试点建设精神,受扬州市人民政府委托,由中国科学院生态环境研究中心牵头,编制了扬州生态市建设规划。城市生态系统服务功能的大小是生态规划的重要依据,包括绿地、水、土、能源和生物地球化学循环的生态系统服务功能,可以为城市规划提供生态学基础。绿地系统生态服务功能的评价和规划是生态城市建设规划非常重要的部分。

扬州地处江苏省中部,长江下游北岸、江淮平原南端,京杭大运河纵穿腹地。地处北亚热带湿润气候区,区内气候温和,年平均气温为 14.8℃左右,全年日照时数平均为 2176.7h,年平均相对湿度为 78%,年平均降雨量 1030 mm。扬州境内河湖众多,水网密布,全市水域面积约占 33.8%。扬州市区面积为 148 km²,其中建成区面积为 48 km²。人口为 53.6 万人,人口密度为 3621 人/km²。2000 年市区国内生产总值 137 亿元,人均国内生产总值 25999 元^[33]。

2 研究方法

2.1 数据来源

扬州市各类绿地面积、绿化覆盖率、人均绿地和人均公共绿地面积数据来源于《扬州统计年鉴 2001》。绿地结构和本地种优势度通过实地调查估算得到。绿地均匀度由 Romme 的相对均匀度计算公式得到。计算公式为:

$$E = (H/H_{\max}) \times 100\%$$

式中, E 为相对均匀度指数, H 为修正了的 Simpson 指数, H_{\max} 为绿地最大可能均匀度。 H 和 H_{\max} 的计算公式为:

$$H = -\log\left[\sum_{i=1}^T p(i)^2\right]$$

$$H_{\max} = \log(T)$$

式中, $p(i)$ 为绿地类型 i 占扬州市绿地总面积的比例, T 为扬州市绿地类型的总数。

2.2 数据处理与评价方法

利用公式(4)对各类指标的数值进行标准化处理^[34]:

$$I_{ij} = X_{ij}/R_i$$

式中, I_{ij} 为第 i 个指标在第 j 阶段的指数, X_{ij} 为第 i 个指标在第 j 阶段的值, R_i 为第 i 个指标的参考值。

利用多边形综合指标法对规划结果进行分析与预测^[34]。方法如下:以 i 个指标作为 i 条轴,每条轴的长度为 1,画出一个正 i 边形,在每一条轴上标出每一个指标在不同阶段的值,把每一个阶段的点连起来就形成一个新的 i 边形。这样一共有 j 个 i 边形分别代表扬州市区在不同阶段(2000 年、2005 年、2010 年和 2020 年)绿地生态服务功能的大小。利用每个多边形的面积除以半径为 1 的正 i 边形的面积,就可以计算出每个阶段的绿地生态服务功能的综合指数,数值在 0 到 1 之间,数值越大表示服务功能越强。计算公式如下:

$$I_{cj} = S_j/S_i$$

式中, I_{cj} 为第 j 阶段的综合指数; S_j 为第 j 阶段的多边形面积; S_i 为半径为 1 的正 i 边形的面积。

参照国内外综合指数分级方法,设计一个四级分类标准来评价城市绿地生态服务功能的强弱(表 1)。

表 1 城市绿地生态服务功能大小分级标准

Table 1 Classifying criterion for ecosystem services of urban green space

定性评价 Qualitative evaluation	综合指数值 Synthesis index value	等级 Class
生态服务功能优良 Excellent ecosystem services	≥ 0.75	I
生态服务功能较好 Better ecosystem services	$0.5 \sim 0.75$	II
生态服务功能一般 General ecosystem services	$0.25 \sim 0.5$	III
生态服务功能很差 Worse ecosystem services	≤ 0.25	IV

3 扬州市绿地系统生态服务功能现状评价、规划与预测

3.1 扬州市绿地生态服务功能现状评价

2000 年扬州市区绿地面积为 1751 hm²,其中公共绿地占 20%,建成区绿化覆盖率为 36%,人均绿地 33.1 m²,人均公共绿地 8.1 m²^[33],通过实地调查和估算,绿地结构为 0.3,本地种优势度为 0.9,绿地均匀度仅为 0.2。扬州城市绿地存在的问题主要是(1)绿地分布不均匀,主要集中在瘦西湖风景区,老城区绿地很少;(2)城乡结合部绿化普遍较差;(3)道路绿化、居住区绿化、防护绿地等各项指标与国家园林城市标准有不少差距;(4)城市绿化树种较为有限,景观单调;(5)没有形成点、线、面、楔相结合的网络化的绿色空间系统。2000 年扬州市区绿地系统的生态服务功能综合指数为 0.272,属于 III 级,生态服务功能一般,与国内外先进城市相比也有较大差距。为了创建生态城市 and 为居民创造一个适宜的人居环境,必须进行科学的合理的城市绿地规划。

3.2 扬州市绿地生态服务功能规划

扬州市绿地生态服务功能规划基于以下几方面的原则:(1)植物地带性原则;(2)生物多样性与主导性原则;(3)群落配置层次性原则;(4)生态系统稳定性原则;(5)生态科学性与功能综合性原则;(6)经济合理性原则;(7)地域文化性原则;(8)可持续发展原则。

在对扬州市绿地生态系统辩识的基础上,按照社会-经济-自然复合生态系统理论和生态规划的方法,对扬州市绿地系统进行了规划。根据绿地现状、地形、自然环境和生态服务功能的需求,构建了“内环绿带、近郊绿带和外围大环境绿色屏障”三环绿带的规划布局结构。并从以下几个方面进行了规划:(1)蜀冈-瘦西湖景区绿地建设;(2)森林公园建设;(3)滨河绿色廊道建设;(4)道路及广场绿化;(5)居住区绿化;(6)立体空间绿化;(7)都市农业建设;(8)城郊生态缓冲带建设;(9)归江河网生态功能保护区建设。各种类型的绿地、绿带和立体空间绿化将形成网络化的绿色空间系统。

传统的绿地指标一般用绿化覆盖率、绿地率、人均绿地和人均公共绿地面积来表示,这些指标在一定程度上只反映了一个城市绿地面积的多少。而实际上,绿地生态服务功能的大小除了面积外,还与它的体量、生物量、结构、均匀度和本地种优势度等有很大的关系。从碳氧平衡的角度考虑,每人需要有 15 m² 绿地,加上工业耗氧,必须保证人均 60 m² 的绿地。国外学者认为,考虑到热岛效应和碳氧平衡,合理的城市绿化覆盖率应为 50%左右^[21]。考虑到数据的可获得性,参考国内外有关指标,结合扬州实际情况制定了绿化规划指标(表 2)。

表 2 扬州市区绿地系统生态服务功能规划指标体系

Table 2 Planning indicator system for ecosystem services of green space of Yangzhou City

指 标 Indicator	年 Year				参考值 Reference value
	2000	2005	2010	2020	
绿化覆盖率 Greening coverage ratio(%)	36	38	40	45	50
人均绿地 Mean green space per person (m ²)	33.1	40	50	60	60
人均公共绿地 Public green space per person (m ²)	8.1	10	12	15	20
绿地结构 Green space structure	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0
绿地均匀度 Green space distribution	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
本地种优势度 Local species dominance	0.9	0.91	0.93	0.95	1.0

3.3 扬州市绿地生态服务功能预测

对表 2 各类指标每个阶段的数据进行标准化处理,计算出每个阶段的综合指数(表 3),然后利用多边形图示法(图 1)进行比较分析。结果表明,2005 年扬州市绿地系统的生态服务功能综合指数为 0.391,属于Ⅲ级,生态服务功能一般;2010 年综合指数为 0.586,属于Ⅱ级,生态服务功能较好;2020 年综合指数为 0.777,属于Ⅰ级,生态服务功能优良(图 1)。可见通过生态规划,扬州市绿地系统的生态服务功能有了明显提高。到 2020 年,扬州市将拥有绿色空间适宜、结构合理、分布均匀、可持续发展的绿地生态系统。

表 3 扬州市区绿地系统生态服务功能评价指数

Table 3 Evaluating index for ecosystem services of green space of Yangzhou City

指 标 Indicator	年 Year			
	2000	2005	2010	2020
绿化覆盖率 Greening coverage ratio(I ₁)	0.720	0.760	0.800	0.900
人均绿地 Mean green land/ per person (I ₂)	0.552	0.667	0.833	1.000
人均公共绿地 Public green land/per person (I ₃)	0.405	0.500	0.600	0.750
绿地结构 Green land structure(I ₄)	0.300	0.500	0.700	0.900
绿地均匀度 Green land distribution(I ₅)	0.200	0.400	0.600	0.800
本地种优势度 Sustainable ability(I ₆)	0.900	0.910	0.930	0.950
综合指数 Comprehensive index(I _c)	0.272	0.391	0.586	0.777

4 扬州市绿地系统建设的生态对策

绿是生命之道,城市之魂。城市绿化不只是一种花香鸟语、绿茵林茂的形态绿,而且是一种乔木、灌木、草本植物合理布局、结构、功能、过程和谐的系统绿,是一种技术、体制、行为配套,竞争、共生、自生功能完善的机制绿。城市绿地生态服务功能的强弱一半来自其生态规划的合理性,包括绿地的数量、组成结构、分布特征、与周边人工景观和区域生态系统的联系等,另一半来自生态管理的适宜性,包括生态工程技术的引进,管理体制、方法和手段,管理人员和普通市民的素质和能力等。为了达到规划的预期目标,扬州市必须通过法律、经济、行政、社会、技术等手段加强后期的实施、监督与管理。本文只从生态学的角度提出以下对策:

- (1)从绿面到绿体 从传统的平面绿化到立体绿化,包括屋顶花园、中空花园、立面绿化、阳台绿化、底层公园等,对扬州老城区来说是一个改善人居环境的有效手段,可以缓减“热岛效应”;
- (2)从局部到区域 从扬州建成区、市区绿化扩大到区域绿化,构建区域性的绿地生态系统网络,形成绿心(各类公园)、绿楔(瘦西湖风景名胜区)、绿带(各种绿色廊道)和蓝色空间(河流、湖泊、湿地)相互连接的城市绿色空间网络;
- (3)从占地到造地 采用经济、法律和行政等手段恢复被占绿地的部分生态服务功能,改善局地小气候和创造适宜的人居环境;
- (4)从单列数据到生态数据 改变扬州市绿化形式和植物配植的单调景观,改善小区的水泥景观、维持绿地的生物多样性,景观多样性和文化多样性;

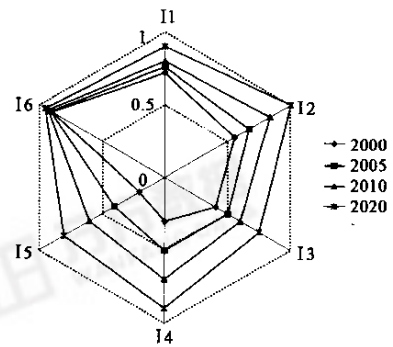


图 1 扬州市绿地生态服务功能综合指数变化图

Fig.1 Variation of ecosystem services of green space of Yangzhou City

- (5)从结构到功能 从形态和景观功能到自然及社会生态服务(自净再生、绿色生产、休闲养生、人际交流、示范工程)功能;通过科学的植物配置和合理的绿地布局,提高扬州市绿地对人的生态服务功能;
- (6)从形态到神态 扬州是著名的历史文化名城和旅游城市,城市绿化已不再是单纯的绿地增加,而应是城市功能的完善和文化的体现,扬州城市绿化应注重人文景观和人们休闲、生活的需求,体现扬州“古、瘦、秀”的特色和扬州文化内涵;
- (7)从园林设计到生态设计 扬州园林独具特色,在保护和继承优秀传统文化的同时要充分利用小区的景观资源和生态资产,应用自然生态和人类生态的边缘效应原理和整体、协同、循环、自生原理进行设计,谋求生态和经济效应的统一。

5 结论与讨论

- (1)参照国内外有关指标在评价的基础上对扬州市绿地系统进行了生态规划,并应用多边形综合指标法对规划结果分阶段进行了分析与预测,结果较符合实际。从生态学角度提出了扬州市绿地系统建设的生态对策,为扬州市生态市建设提供战略依据。
- (2)多边形综合指标法是一种较好的方法,它不需要专家定权,只要确定了指标的参考值就可以按公式计算;多边形法在计算综合指标时具有多维指标的几何意义(计算多边形面积及比值),不象加权平均法那样将多维指标求和压缩成一维指标。
- (3)国家建设部于 2002 年 9 月公布了“城市绿地分类标准”,“人均公共绿地”由“人均公园面积”代替。扬州生态市的建设规划是基于 2000 年的数据,所以本文研究仍然采用“人均公共绿地”这一指标。由于部分数据不可获得,本文用于计算扬州市绿地生态服务功能的指标体系还不够全面,以后需要进一步完善。
- (4)城市绿地虽然具有重要的生态服务功能,但是城市生态建设应当多元化而不应仅“唯绿地论”。特别现在不少城市相互模仿千篇一律地发展绿地,缺乏自己的特色。城市绿地建设应考虑其建设成本和维护管理费用,避免盲目地大面积种植草坪。陈自新等^[21]研究表明,由乔、灌、草组成复层结构的绿地,其综合生态效益为纯草坪的 5 倍,而养护管理投入只有纯草坪的 1/3。
- (5)随着人们对绿地生态服务功能认识的不断深化,城市绿地的内涵也在发展变化之中。城市绿地的范围除了传统的园林绿地外,还包括城市森林、立体空间绿化、都市农田和水域湿地等在内的绿色开敞空间。
- (6)城市绿地生态服务功能是一项重要的研究课题,包括服务功能的评价指标体系、定量和定性评估、定位和空间转移、可持续利用、以及它与生态安全的关系和如何纳入绿色 GDP 核算体系等,这些都需要进一步研究。

References:

[1] Ma S J and Wang R S. Social-economic-natural complex ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*,1984,**4**(1):1~9.

[2] Wang R S. The frontiers of urban ecological research in industrial transformation. *Acta Ecological Sinica*,2000,**20**(5):830~840.

[3] Wang R S,Chi J,Ouyang Z Y. *Eco-integration for sustainable development of middle and small sized towns*. Beijing:Meteorologic press,2001. 29~36.

[4] Krenter U P,Heather G H,Marty D M,*et al.* Change in ecosystem service values in the San Antonio area,Texas. *Ecological Economics*,2001,**39**(3):333~346.

[5] Avissar R. Potential effects of vegetation on the urban thermal environment. *Atmosphere Environment*,1996,**30**(3):437~448.

[6] Gomez F,Tamarit N,Jabaloyes J. Green zones,bioclimatic studies and human comfort in the future development of urban planning. *Landscape and Urban Planning*,2001,**55**:151~161.

[7] Bolund P and Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*,1999,**29**:293~301.

[8] Attwells P and resources and urban planting-case studies from Denmark. *Landscape and Urban Planning*,2000,**52**:145~163.

- [9] Savard J-PL, Clergeaub P, Mennechez G. Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning*, 2000, **48**:131~142.
- [10] Mortberg U and Wallentinus HG. Red-listed forest bird species in an urban environment-assessment of green space corridors. *Landscape and Urban Planning*, 2000, **50**:215~226.
- [11] Miyashita T, Shinkai A, Chida T. The effects of forest fragmentation on web spider communities in urban areas. *Biological conservation*, 1998, **86**:357~364.
- [12] Lofvenhaft K, Bjorn C, Ihse M. Biotope patterns in urban areas; a conceptual model integrating biodiversity issues in spatial planning. *Landscape and Urban Planning*, 2002, **58**:223~240.
- [13] Jim CY and Liu HT. Species diversity of three major urban forest types in Guangzhou city, China. *Forest Ecology and Management*, 2001, **146**:99~114.
- [14] Erkip FB. The distribution of urban public services; the case of parks and recreational services in Ankara. *Cities*, 1997, **14**(6):353~361.
- [15] Tyrvaianen L and Vaananen H. The economic value of urban forest amenities; an application of the contingent valuation method. *Landscape and Urban Planning*, 1998, **43**:105~118.
- [16] Tyrvaianen L. The amenity value of the urban forest; an application of the hedonic pricing method. *Landscape and Urban Planning*, 1997, **37**:211~222.
- [17] Kennedy J J and Quigley TM. Evolution of USDA forest service organizational culture and adaption issues in embracing an ecosystem management paradigm. *Landscape and Urban Planning*, 1998, **40**:113~122.
- [18] Mehta D and Pathak P. Financing of urban services in India; a case for appropriate pricing and cost recovery. *Habitat Intl.*, 1998, **22**(4):487~502.
- [19] Zhang H, Wang X R. Three-dimensional ecological characters of urban green space and its ecological function. *China Environmental Science*, 2001, **21**(2):1~5.
- [20] Zhu N, Li M, Chai Y X. Ecological functions of green land system in Harbin. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, **13**(9):1117~1120.
- [21] Chen Z X, Su X H, Liu S Z, et al. Study of ecological services of urban green space of Beijing (3). *Chinese gardens*, 1998, **14**(57):53~56.
- [22] Zhou J H. Theory and practice on database of three-dimensional vegetation quantity. *Acta Geographica Sinia*, 2001, **56**(1):14~23.
- [23] Huang X L, Zhang G Q, Jia J Z. Study of green indices of urban living environment (6). *Chinese gardens*, 1998, **14**(60):57~60.
- [24] Ye W H, Wei B, Tong C. Measurement and application of urban ecological compensation. *China Environmental Science*, 1998, **18**(4):298~301.
- [25] Liu Y F, Ming D P, Yang J Y. Optimization of land use structure based on ecological green equivalent. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2002, **27**(5):493~515.
- [26] Yan S Y, Wang X R. Advances of research on ecosystem services. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, **21**(5):61~68.
- [27] Wu Y, Su Z X. Present state of Chinese city green areas and estimation of its 39 value in ecology and economy. *Journal of Science Teachers College(Natural Science)*, 2002, **23**(2):184~188.
- [28] Xia L H, Song M. Study of city ecosystem services in economically developed region. *Journal of Guangzhou University(Natural Science)*, 2002, **1**(3):71~74.
- [29] Liu B Y, Jiang Y F. Study of evaluating index system of planning of urban green space of China. *Journal of Urban Planning Collection*, 2002, **2**:27~29.
- [30] Benjamin M T, Sudol M, Bloch L, et al. Low-emitting urban forests; a taxonomic methodology for assigning isoprene and monoterpene emission parks. *Atmosphere Environment*, 1996, **30**(9):1437~1452.
- [31] Jeffrey 万方数据 M and Ralph J A. Integrating urbanization into landscape-level ecological assessments. *Ecosystems*, 2001, **4**(1):3~18.

[32] Holling C S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social system. *Ecosystems*, 2001, **4**(5): 390~405.

[33] Yangzhou statistical bureau. *Yangzhou statistical yearbook* 2000. 2001. 231~236.

[34] Wang R S, Ren H Z, Ouyang Z Y. *China water vision*. Beijing: China Meteorological Press, 2000. 79~82.

参考文献:

[1] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. *生态学报*, 1984, **4**(1): 1~9.

[2] 王如松. 转型期城市生态学前沿研究进展. *生态学报*, 2000, **20**(5): 830~840.

[3] 王如松, 迟计, 欧阳志云. 中小城镇可持续发展的生态整合方法. 北京: 气象出版社, 2001. 29~36.

[19] 张浩, 王祥荣. 城市绿地的三维生态特征及其生态功能. *中国环境科学*, 2001, **21**(2): 1~5.

[20] 祝宁, 李敏, 柴一新. 哈尔滨市绿地系统生态功能分析. *应用生态学报*, 2002, **13**(9): 1117~1120.

[21] 陈自新, 苏雪痕, 刘少宗, 等. 北京城市园林绿化生态效益的研究 (3). *中国园林*, 1998, **14**(57): 53~56.

[22] 周坚华. 城市绿量测算模式及信息系统. *地理学报*, 2001, **56**(1): 14~23.

[23] 黄晓鸾, 张国强, 贾建中. 城市生存环境绿色量值群的研究 (6). *中国园林*, 1998, **14**(60): 57~60.

[24] 叶文虎, 魏斌, 仝川. 城市生态补偿能力衡量和应用. *中国环境科学*, 1998, **18**(4): 298~301.

[25] 刘艳芳, 明冬萍, 杨建宇. 基于生态绿当量的土地利用结构优化. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2002, **27**(5): 493~515.

[26] 阎水玉, 王祥荣. 生态系统服务研究进展. *生态学杂志*, 2002, **21**(5): 61~68.

[27] 吴勇, 苏智先. 中国城市绿地现状及其生态经济价值评价. *四川师范学院学报(自然科学版)*, 2002, **23**(2): 184~188.

[28] 夏利华, 宋梦. 经济发达地区城市生态服务功能的研究. *广州大学学报(自然科学版)*, 2002, **1**(3): 71~74.

[29] 刘滨谊, 姜允芳. 中国城市绿地系统规划评价指标体系的研究. *城市规划汇刊*, 2002, **2**: 27~29.

[33] 扬州市统计局. *扬州统计年鉴* 2000. 2001. 231~236.