

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

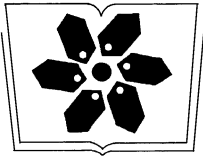
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因素..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd²⁺ 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd ²⁺ 的生物吸附特性	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例	张勃,刘秀丽 (6251)
专论与综述	
孤立湿地研究进展	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



封面图说: 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

赵丹,李锋,王如松. 基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例. 生态学报, 2011, 31(20): 6242-6250.

Zhao D, Li F, Wang R S. Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6242-6250.

基于生态绿当量的城市土地利用结构优化 ——以宁国市为例

赵 丹, 李 锋*, 王如松

(城市与区域生态国家重点实验室 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 基于生态绿当量的概念, 探讨了城市生态用地合理性的生态标准, 构建了土地利用结构优化模型。并在此基础上, 以安徽省宁国市为例对该研究区不同空间范围下生态用地的结构及其优化方法进行实例分析。分析结果表明: 宁国市域和城乡结合部均达到最佳绿地覆盖率的要求, 而城区综合绿当量仅为 0.66, 需要进行用地调整。市域、城乡结合部和城区 3 个空间范围下的绿容率(GPR)分别为: 4.89、4.22 和 2.77, 可见城区绿化结构简单, 树种单一, 乔木和水体景观缺乏。同时, 城区人口密集, 但绿地生态系统服务功能较低, 人均绿地率(ELP)仅为 41.7 hm²/人。由此提出宁国市城区土地利用结构的优化调整方案, 通过整个城市中心增绿、外围拓展; 路林结合, 蓝、绿交融, 城乡一体, 构筑内外环抱的多功能、多效益、完整的城市发展生态网架, 保障城市长远的生态安全, 促进良好的城市生态环境的形成。

关键词: 生态用地; 生态系统服务; 绿当量; 城市

Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent: a case study in Ningguo City, China

ZHAO Dan, LI Feng*, WANG Rusong

State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Urban land is a social-economic-natural complex ecosystem, with physical, ecological, social and economic attributes. It is the carrier of human socio-economic activities, and the basis to provide the ecological services. Urban land for ecosystem services is the minimum space to guarantee the basic ecosystem services, which play an important role to protect the socio-economic sustainable development of the city and the quality of residents' life. It is not only related with the geographical location, types of natural resources, climate, soil, geology and other natural conditions of the city, but also depended on the urban development level, development orientation and the life quality demands of urban citizens. The construction of urban land for ecosystem services is the basis for urban sustainable development and the natural and artificial ecological unit of the city. Based on the idea of ecological green equivalent, this paper explored the ecological standard to judge if the urban ecological land was reasonable, and established a mathematic model of ecological optimization of land use structure.

The land use structure was applied and verified with Ningguo city in Anhui Province as a case. The nature landscape structure of Ningguo is composed of a number of mountains and waters. Based on ecological green equivalent, this article evaluated the current status of natural ecosystems' structure in different space scale. The results showed that green equivalent of region, urban-rural fringe and downtown in Ningguo city were 1.51, 1.19 and 0.66, respectively; green plot

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70803050, 30970507); 国家自然科学基金重点项目(71033005); 国家“十一五”科技支撑计划课题(2009BAD2B03, 2007BAC28B04, 2008BAJ10B05)

收稿日期: 2011-06-20; 修订日期: 2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lifeng@cees.ac.cn

ratio were 4.89, 4.22 and 2.77, respectively, respectively and ecological land per capita were 4898.9, 563.3 and 41.7 hm^2 per capita, respectively. Lacking of green space in the downtown stressed the ecosystem services of urban land. Therefore, urban land for ecosystem services will be planned from different space scales, including the construction of buffer zone in the city and regional area, eco-city construction of main urban areas, the ecological restoration and multifunctional design of the urban green spaces. The suitable human settlement for habitat and fitting socio-economic environment for employment will be created.

In order to maintain good urban landscape structure and improved ecosystem services, the natural ecological framework should consist of the key functional areas of water, mountains, urban forests, large-scale urban green space, green wedges, large ecological buffer zones and small ecological corridors. The space network of urban land for ecosystem services of diverse structure and multi-function can be established, including point, line and surface green structure. Through the ecosystem services evaluation, sensitive analysis of the spatial structure, also combining with socio-economic development status, the future urban land use of Ningguo can be divided into two types: ecosystem services area and urban-rural development area. Considering the demand for ecosystem services, the proportion of urban land for ecosystem services should be increased and the Green Line and Blue Line should be strictly controlled as well. This study will provide a scientific method and decision-making basis for strengthening of the ecosystem services of urban areas.

Key Words: urban land; ecosystem services; ecological green equivalent; city

城市的土地是一个典型的社会-经济-自然复合生态系统,具有物理属性、生态属性、社会属性和经济属性,为城市提供生产、生活、流通、还原和调控的服务功能^[1-2]。由于城市人口的不断增加,特别是近百年来的成倍增长,越来越加重了土地的负载,而快速的城市化、工业化进程也使大量农田和生态用地被占用,导致土地生态服务衰退^[3-4],人地矛盾日益尖锐。因此,研究土地利用结构的合理性及优化调整方法对于实现土地资源持续利用,提高城市生态系统服务具有至关重要的作用,成为学术界的热点^[5-6]。

然而,目前该领域的研究多侧重于土地利用的经济产出合理性,对生态系统服务方面的研究不够^[7-8],并且缺乏不同空间范围的对比研究。因此,本文通过建立基于生态绿当量的土地利用结构优化模型,从生态系统服务的角度对不同空间范围下城市土地利用结构的优化进行定量研究,以期在城市土地资源合理利用与调控提供科学依据。

1 生态绿当量与土地利用结构优化

1.1 生态绿当量的概念

森林是地球陆地最大的生态系统,具有涵养水源、保持水土、调节气候、防风固沙和净化空气等众多生态服务功能^[9]。而城市扩张和土地开发建设中,不可避免地破坏了森林的生态系统服务,进而影响城市发展的可持续性^[10-11]。因此,有些学者基于对森林遭受破坏或削弱的生态服务功能进行补偿,提出“生态绿当量”的概念^[12]。生态绿当量定义为其他绿色植被的绿量相对于等量森林面积的绿量的比率,其主体可以为草地、园地、耕地等其他绿色植被。

1.2 基于生态绿当量的土地重分类

根据生态绿当量的原理,传统的土地利用方式可划分为以下三类^[8, 13]:

(1)具有绿当量的用地 包括农地、园地、林地、草地、其他农用地、部分未利用地和城市绿地,其生态系统服务作用机理与森林相似,可以量化;

(2)隐含绿当量的用地 主要指水域,包括沼泽、苇地、滩涂、坑塘、养殖水面和水库水面等,其具有调节大气组分、净化空气、维持景观、生物多样性保护等功能,但只能定性研究,不可量化;

(3)不具备绿当量的用地 主要指城市建设用地,包括商服用地、工矿用地、交通用地和部分未利用地,

其绿当量为零。

表 1 基于生态绿当量的土地重分类

Table 1 Land reclassification based on ecological green equivalent		
生态绿当量概念 Concept of ecological green equivalent	地类名称 Names of land use types	合并地类 Land use types after merger
具有绿当量的用地	农地	水田
	园地	园地
	林地	林地
	草地	牧草地, 荒草地
	其他农用地	耕地(除水田)及农用地中其他农用地
	部分未利用地	未利用地中稀疏植被地
	城市绿地	城市七种类型绿地总和
隐含绿当量的用地	水体	沼泽/苇地/滩涂/坑塘/养殖水面/水库水面等
不具有绿当量的用地	建设用地	商服用地/工矿用地/交通用地/部分未利用地

1.3 基于生态绿当量的土地结构优化

城市基本生态用地是保障城市社会经济持续发展和居民生活质量所必需的供给、支持、流通、调节、孕育等基本生态服务功能的最小用地^[14]。旨在改善和提高城市中人群的生活质量,保护重要的生态系统和生物栖息地,维持和改善城市中各种自然和人工生态单元,将城市生态系统稳定在一定的功能水平。城市生态用地不但与城市所处的地理位置、自然资源种类、气候、土壤、地质等自然条件有关,而且取决于城市的发展水平、发展定位和城市中人群对生活质量的的要求^[15]。然而,当人类过分追求土地经济效益时,往往导致原有的土地生态平衡被打破,进而影响到城市生态系统服务和生态安全。将生态绿当量的原理引入土地利用结构的生态优化,就可以根据当地的自然资源和生态环境现状,确定该城市的最低生态标准,保障城市基本生态用地。不仅可以在少林的城市通过城市绿地、水体等具有绿当量的用地类型来弥补森林生态服务功能的不足,也可以充分挖掘这些用地类型的生态潜力,改善当地的生态环境,达到城市自然、经济、社会协调发展的目标。

2 生态绿当量测算方法

2.1 数据来源与处理

基于生态绿当量的概念,利用 ArcGIS 技术(ArcGIS9.3)从城市土地利用现状图(比例尺 1:10 000, 2005 年)中提取出市域、城乡结合部和主城区 3 个空间范围下生态绿当量的相关要素,并结合《全国土地分类(试行)》,计算得到重分类后的各土地利用类型的面积,以适应本研究所需。

2.2 计算各类生态系统的作用分值

(1) 指标选取与其量化分值

城市土地利用方式的变化,不仅改变了城市下垫面构型,还改变了生态系统的过程和功能,对城市及区域气候、土壤、水体及生物等的影响更为深刻。因此,指标的选取应具有典型性、代表性和系统性,综合考虑其对自然、经济和社会子系统的调节和保护功能。表 2 从大气、水、土壤、自然灾害和生物等 5 个方面,列举了生态系统所发挥的 17 种生态环境功能。并引用日本专家通过调查法得到的评分分值^[16],再结合研究城市的实际情况,针对不同生态系统的服务,赋予不同的功能分值(表 2)。

(2) 计算各类生态系统的生态服务分值

表 2 中的功能分值已经考虑了各项环境子功能的权重,其生态服务总分值可以将各子功能的分值(或称指标量值)累加求和:

$$P = \sum_{i=1}^{17} F_i$$

式中, P 为生态服务总分值; F 为指标量值; i 为指标体系的指标数。

由此得出林地的生态功能服务价值分值为 171.66,相同面积及全年满种的情况下,水田为 127.71,其他

农地为 113.87, 园地为 124.41, 牧草地 121.86, 城市绿地 100.7, 水域 142.56。

表 2 生态系统各种环境保护功能评分分值表

Table 2 The scores of different ecological system by environmental protection features

功能 Function	林地 Forest	水田 Paddy field	其他农地 Other farmland	园地 Garden	牧草地 Grassland	城市绿地 Urban green space	水域 Water area
大气组成改善-1	9.51	7.22	6.50	6.30	7.40	5.90	4.50
大气组成改善-2	10.00	5.10	5.10	7.30	5.48	4.80	5.10
大气净化-1	9.13	6.23	5.80	6.58	5.33	4.30	6.54
大气净化-2	8.91	6.50	5.90	6.69	5.34	4.21	6.43
气候缓和	9.45	6.20	5.40	6.46	4.90	3.98	9.32
防噪声	9.45	4.10	4.00	5.83	3.70	3.21	4.30
洪水防止	9.78	7.80	5.90	5.60	6.31	3.60	9.87
水源涵养	9.80	7.40	5.30	5.01	6.20	4.20	10.00
水质净化	9.45	7.30	6.70	5.83	6.43	4.65	9.80
防止土砂崩溃	9.58	8.13	5.40	7.15	7.18	3.67	8.50
防止表面侵蚀	9.78	8.75	5.30	6.78	7.73	6.32	6.70
防止地地下沉	5.83	8.05	5.25	6.01	6.21	5.21	8.20
污染物净化	8.40	8.01	8.10	6.30	7.40	5.67	8.90
防止发生灾害	9.73	7.92	7.30	7.98	7.60	6.32	8.12
提供避难地	8.58	7.01	9.50	9.23	6.75	7.85	3.10
维持景观	9.12	7.40	7.01	7.74	7.93	9.74	9.89
维持娱乐空间	8.23	3.73	4.70	6.78	8.70	9.12	7.86
生物多样性保护	10.00	4.90	4.60	5.01	5.10	3.44	8.65
防止有害动植物	6.95	6.01	6.11	5.83	6.17	4.51	6.78

评价意义:10 为极大;7.5 为较大;5 为极小;大气组分改善-1 表示吸收 CO₂ 的生态服务功能;大气组分改善-2 表示制造 O₂ 的生态服务功能;大气净化-1 表示吸尘滞尘的生态服务功能;大气净化-2 表示洗后有毒气体的生态服务功能

(3) 计算各类生态系统的平均生态绿当量

根据上述不同土地生态环境功能分值计算,假定林地的绿当量为 1,在全年满种的前提下,定义 $X = F_i / F_{林}$,式中, x 为第 i 类地表绿色覆被生态系统的生态绿当量, F_i 为第 i 类地表绿色覆被生态系统的生态服务总分值, $F_{林}$ 为林地生态系统的生态服务总分值。

可以得到各生态系统的绿当量:林地为 1.00,水田为 0.74,其他农地为 0.66,园地为 0.73,牧草地 0.71,城市绿地 0.59,水域 0.83。但实际上由于地区之间的气候差异,同一时间各个地区、各种用地的绿当量是不同的,同一地区不同时间的各种用地的绿当量也是不同的。考虑到各地区作物的不同生长期^①与熟制^②,以上所要计算的各生态系统的绿当量结果还需要乘以一个相对于全年满种的生长期系数^[11],宁国市为一年两熟的地区,取得全年满种的生长期系数为 0.67。由此调整得到的耕地与草地的全年平均绿当量分别为:水田 0.49,其他农地 0.44,园地 0.55,牧草地 0.53,其他类型用地绿当量与前面计算结果相同。

3 基于生态绿当量的土地利用结构现状评价

3.1 生态绿当量

设城市总面积为 $S_{总}$,城市最佳绿地覆盖率为 R ,按照最佳绿地覆盖率计算得到的城市林地面积为 $S_{林}$,城市实际林地面积为 $S_{实}$, i 类用地的面积为 S_i ,绿当量为 g_i , i 代表用地的类型 ($i=1,2,3,4,\dots$),则得到以下模型:

① 相对于全年满种的生长期系数=作物生长期长度(月)/12

② 区域熟制与作物生长期长度采用专家建议值

(1) $S_{林} = S_{总} \times R$, 其对应的绿当量为 $\bar{x} = 1$;

(2) 城市实际林地绿当量 $x_{林} = \frac{S_{实}}{S_{林}} \times 100\%$;

(3) 计算得到城市的总绿当量 $x = x_{林} + \sum_{i=1}^n [\frac{S_i \times g_i}{S_{林}} \times 100\%]$, $n=6$;

(4) 比较 x 和 \bar{x} 的大小, 从而衡量城市生态是否满足要求。若 $x \geq \bar{x}$, 则达标, 若 $x < \bar{x}$, 则需要进行林地、耕地、草地等的结构调整, 重新进行反馈计算, 使之达标。

其中城市绿地覆盖率采用张健等人的方法进行计算^[17]:

$$R = (P \times S_i) / (W \times S_{总}) \times 100\%$$

式中, $S_{总}$ 为区域土地总面积 (hm^2), P 为一年内日最大降水量 (t/hm^2), $S_i = S_{总} - (\text{城市、工矿、交通、水田、水面占地面积})$ (hm^2), W 为森林土壤单位面积饱和蓄水能力 (t/hm^2)。

3.2 绿容率

传统的绿地指标一般用绿化覆盖率、绿地率、人均绿地、人均公共绿地和人均公园面积来表示, 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还与其植物种类、体量、生物量、结构和空间分布等有很大关系^[18]。因此, 判断一个城市绿化水平的高低。首先要看该城市拥有绿地的数量; 其次要看该城市绿地的质量; 第三要看该城市的绿化效果, 即自然环境与人工环境的协调程度。绿色容积率 (GPR) 是指一个地块面积与所有植物的单面叶面积总和之比, 是一个立体的绿化效果衡量指标, 它的强弱反映了生物生产力和生态服务功能, 因此将其作为城市绿色空间的控制指标^[19]。

表 3 常见植物的绿色容积率表

Table 3 Green plot ratio of plants

植被类型 Vegetation types	绿色容积率 Green plot ratio
草坪	1
花园或小灌木	3
农田作物	4
以乔木为主的高密度植物群落	6
湿地	6

计算方法如下: 根据城市土地利用现状图分别提取城区、城乡结合部及市域范围内具有绿量的用地类型, 并用 ArcGIS 软件计算各土地利用类型的面积。按照上表中不同植被类型的绿容率, 得出研究区内的总绿量 ($G_{总}$), $GPR = G_{总}/S_{总}$ 。

3.3 人均生态用地

由于城市化进程的加剧, 导致建设用地扩张, 由于土地总面积有限, 使得直接利益低下的大量的生态用地被建设用地占用, 具有重要生态服务功能的生态用地不仅数量大幅度减少而且质量也明显降低, 这不仅破坏了生态系统的平衡, 也导致人类生存环境的恶化, 从而导致了经济、社会、生态发展的不协调^[20]。生态用地不仅包括农业用地、林业用地和城市绿地等绿色空间, 也包括河流、湖泊、湿地等蓝色空间和一些未利用地和裸地, 因此, 单独强调人均绿地率是不能够完全地反映城市人均生态系统服务功能的强弱, 本规划引入“人均生态用地”的概念进行评估。

根据城市土地利用图(2005年)分别计算出市域、城乡结合部和城区范围内的生态用地面积, 由统计年鉴和当地调查数据得出其人口数量, 由此可得:

$$ELP = EL / P$$

式中, ELP 为人均生态用地, EL 为城市生态用地, 等于全部具有生态绿当量的土地面积之和, P 为人口数量。

4 应用实例——宁国市土地利用结构优化与方案

4.1 研究区概况

宁国市位于安徽省东南部,东邻苏杭,西靠黄山,连接皖浙两省七个县市,交通发达,皖赣铁路、104 国道贯穿市境。全市土地总面积为 2487 km²,山地 543 km²,占全县总面积 22.2%。丘陵 1554 km²,占全县总面积 63.5%,平坝 350 km²,占全县总面积 14.3%。最高海拔 1587 m,最低海拔 40 m,一般 300—500 m,总人口 38.1 万人。宁国市属于皖南山地丘陵区,属亚热带季风气候,年均气温 15.4℃,年降水量 1400 mm。

表 4 宁国市土地利用现状(2005)

Table 4 The land use status of Ningguo city (2005)

不同范围 Different rang	面积 Area/hm ²							
	总面积 Total area	林地 Forest	水田 Paddy field	其他农地 Other farmland	园地 Garden	牧草地 Grassland	水域 Water area	城市绿地 Urban green space
市域	242965.84	166087.36	13316.64	7594.24	16074.1	79.57	7736.64	378
城乡结合部	20298.78	10087.79	3488.21	939.66	354.64	0	1049.76	331
城区	1825.8	155.35	518.78	99.62	15.32	0	215.62	312

4.2 宁国市土地利用结构优化及方案

根据宁国市气象、农业等部门提供降雨、土壤、气候的资料和土地利用图,并结合林业部门的相关规划确定区域最佳森林覆盖率。取一年内日最大降水量 1923 t/hm²,森林土壤单位面积饱和蓄水能力 2500 t/hm²。同时,利用 ArcGIS 提取不同范围内(市域、城乡结合部、城区)的土地利用类型的面积,根据上文叙述的绿当量计算方法,得到最佳绿地覆盖率要求下的绿地面积。并利用不同土地利用类型的生态绿当量系数,计算的出宁国市的实际当量林地面积。

(1) 市域范围

$$S_{\text{总}} = 242965.84 \text{ hm}^2$$

$$R = (P \times S_1) / (W \times S_{\text{总}}) \times 100\%$$

$$= (1923 \text{ t/hm}^2 \times (242965.84 - (8040.56 + 226.53 + 17348.58 + 7736.64)) / (2500 \text{ t/hm}^2 \times 242965.84) \times 100\%$$

$$= 49.11\%$$

$$S_{\text{林}} = S_{\text{总}} \times R = 242965.84 \times 49.11\% = 119312.02 \text{ hm}^2$$

$$S_{\text{实}} = 166087.36 \times 1 + 13316.64 \times 0.5 + 7594.24 \times 0.42 + 16074.10 \times 0.725 + 79.57 \times 0.49 = 187627.97 \text{ hm}^2$$

$$X_{\text{林}} = (S_{\text{实}} / S_{\text{林}}) = 187627.97 / 124168.59 = 1.51 > 1, \text{ 满足要求。}$$

(2) 城乡结合区范围

$$S_{\text{总}} = 20298.78 \text{ hm}^2$$

$$R = (P \times S_1) / (W \times S_{\text{总}}) \times 100\%$$

$$= (1923 \text{ t/hm}^2 \times (20298.78 - (1771.73 + 272.86 + 63.55 + 3493.42 + 1047.86)) / (2500 \text{ t/hm}^2 \times 20298.78) \times 100\%$$

$$= 51.7\%$$

$$S_{\text{林}} = S_{\text{总}} \times R = 20298.78 \times 51.7\% = 10499.08 \text{ hm}^2$$

$$S_{\text{实}} = 10087.79 \times 1 + 3488.21 \times 0.5 + 939.66 \times 0.42 + 354.64 \times 0.725 = 12483.67 \text{ hm}^2$$

$$X_{\text{林}} = (S_{\text{实}} / S_{\text{林}}) = 12483.67 / 10499.08 = 1.19 > 1, \text{ 满足要求。}$$

3) 城区范围

$$S_{\text{总}} = 1825.85 \text{ hm}^2$$

$$R = (P \times S_1) / (W \times S_{\text{总}}) \times 100\%$$

$$= (1923 / \text{hm}^2 \times (1825.85 - (708.17 + 53.98 + 30.55 + 215.62)) / (2500 \text{ t} / \text{hm}^2 \times 1825.85)) \times 100\%$$

$$= 34.4\%$$

$$S_{\text{林}} = S_{\text{总}} \times R = 1825.85 \times 34.4\% = 628.84 \text{ hm}^2$$

$$S_{\text{实}} = 155.35 \times 1 + 518.78 \times 0.5 + 99.62 \times 0.42 + 15.32 \times 0.725 + 312 \times 0.587 = 415.65 \text{ hm}^2$$

$$X_{\text{林}} = (S_{\text{实}} / S_{\text{林}}) = 415.65 / 628.84 = 0.66 < 1, \text{ 不满足要求。}$$

具体结果见表 5 所示。

表 5 宁国市生态绿当量计算结果

Table 5 The results of ecological green equality of Ningguo city

	最佳绿地 覆盖率 R/%	最佳绿地覆盖率 下林地面积 S _林 /hm ²	城市实际 林地面积 S _实 /hm ²	绿当量比率 x/ \bar{x}	绿容率 GPR	人均绿地率 ELP/(hm ² /人)
市域	49.11	119312	187628	1.51	4.89	4898.9
城乡结合部	51.70	10499	12484	1.19	4.22	563.3
城区	34.41	629	416	0.66	2.77	41.7

可以看出,市域和城乡结合部 $x \geq \bar{x}$, 达到最佳绿地覆盖率要求,但城区 $x < \bar{x}$, 需要进行用地调整。而城区的绿容率(GPR)为 2.77, 说明其主要以草坪和小灌木为主, 乔木和水体景观缺乏。同时, 城区的人均绿地率(ELP)远远小于市域和城乡结合部, 与其人口密集, 土地开发利用强度较大直接相关。因此, 有必要控制城区建设用地的比例, 提高城市绿地的面积或增加城市绿地质量。

根据对宁国市城市生态用地现状的评价, 其存在的问题如下:

- (1) 城区外围林地覆盖率高, 但城区绿地匮乏, 网络体系不够完善, 城市内外绿色体系联系不强。
- (2) 水体景观利用不足, 滨河绿化只是简单考虑防洪要求, 缺乏亲水性, 生态服务功能较低;
- (3) 道路绿化体系不完整, 大多城区道路缺乏路侧绿地、绿化结构简单、树种单一;
- (4) 各种资源的管理与利用分散割据现象严重, 区域联合尚待加强。城乡间缺乏生态廊道, 不利于城市景观和小气候改善;
- (5) 附属绿地中居民区绿地建设滞后, 除了“凤凰城”等新建居民区, 其他老城区居民区绿化率低;

基于生态绿当量的评价及实际调研分析, 城区内应增加绿地或水体 213 hm², 因此需对宁国市土地利用结构进行优化调整。以市域西北部牛头山和东北部的燕山、板桥自然保护区以及大型湿地为生态源地, 以小型绿地、农田和湿地为斑块, 通过沿水系、林带、文化遗产线路等线性元素建立的生态廊道、文化遗产廊道和游憩廊道, 形成了山、水、城、林融为一体, 点、线、面结合, 大、中、小配套, 门类齐全, 分布合理, 功能显著, 独具特色的城市绿色空间体系。通过整个城市中心增绿、外围拓展; 路林结合, 蓝、绿交融, 城乡一体, 构筑内外环抱的多功能、多效益、完整的城市发展生态网架, 保障城市长远的生态安全, 促进良好的城市生态环境的形成。具体优化方案如下:

- (1) 以现有水库(独山水库, 百亩冲水库, 冲口水库)为基础, 规划修建城市湿地公园, 作为城市绿色空间斑块的节点和城市亲水景观的重要组成部分。
- (2) 对现有城市公园绿地进行改建、扩建, 以滨水绿地为纽带, 并结合文物古迹保护、危旧房改造、工厂搬迁、中小学合并、道路拓宽、大型公建的开发建设等开辟其他的公园绿地, 增加乔灌草复合的生态绿地建设, 提高城市绿容率。
- (3) 根据宁国市现有的重要生态廊道及连接各区域绿地的原则, 连通和建立河流生态廊道、道路生态廊道、生态隔离带、高压线廊道及楔形绿地等, 从而形成网络状的生态系统。
- (4) 城市各水系之间的交点, 道路之间的交点, 道路与水系之间的交点, 以及大型城市绿地和湿地公园共同形成宁国市的生态节点网络。

5 结论与讨论

(1) 利用生态绿当量的概念,选取城市绿地覆盖率、绿容率和人均生态用地 3 个指标,对城市生态用地现状进行评估。较之前学者只考虑绿地的总面积,本文综合考虑具有生态系统服务的土地利用类型的类型、面积、结构和质量等因素,充分挖掘了各类生态用地的生态系统服务功能。但在计算土地功能分值方面,还有待进一步深入研究;

(2) 从市域、城乡结合部和城区 3 个范围对宁国市生态用地进行评价,避免了均一化计算,对有效信息的掩盖,更清晰了土地利用结构优化的目标和方法,提高了城市土地利用规划工作的科学性和可操作性;

(3) 土地结构优化配置,点、线、面结合进行绿韵和红脉的共轭规划。城市红线为城市中商业、居住及其它政府社团用地的界限。规划和界定时应符合如下规定:

① 在红线内由于建筑密度较大,构建以道路绿地为主的绿色网络;

② 红线与绿线平面穿插,与相同面积的带状绿地相比,块状绿地有时可凭借集聚效应更充分发挥绿化的生态作用。在红线区域范围内穿插块状绿化,不仅有助于绿化的合理配置,也利于突破通常的带状绿地布局形式,形成线面结合的生动形态;

③ 绿地中局部点缀红线,在一些绿化率较高的地区可有意识地将某些标志建筑置于绿地中,以大片绿地和背景来烘托标志物,形成红绿交错的景观。

通过土地利用结构的合理分布,使其生态系统服务功能显著增强,进而构建独具特色的城市绿色空间体系。

References:

- [1] Ma S J, Wang R S. The social-economic-natural complex ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1984, 4(1): 1-9.
- [2] Wang R S, Chi J, Ouyang Z Y. *Eco-Integration for Sustainable Development of Middle and Small Sized Towns*. Beijing: China Meteorological Press, 2001.
- [3] Zhao D, Li F, Wang R S. Effects of ground surface hardening on plant eco-physiological processes in urban landscapes. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(14): 3923-3932.
- [4] Li F, Wang R S. Evaluation, planning and prediction of ecosystem services of urban green space; a case study of Yangzhou City. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1929-1936.
- [5] Daily G C, Polasky S, Goldstein J, Kareiva P M, Mooney H A, Pejchar L, Ricketts T H, Salzman J, Shallenberge R. Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 21-28.
- [6] Takebayashi H, Moriyama M. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 2007, 42(8): 2971-2979.
- [7] Luo Z J, Zhang J. Ecological green equivalent and its application to land use structure optimization — a case study of Xinjian County. *Acta Agriculture Universitatis Jiangxiensis*, 2007, 29(5): 851-856.
- [8] 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): 493-498.
- [9] Jim C Y. Managing urban trees and their soil envelopes in a contiguously developed city environment. *Environmental Management*, 2001, 28(6): 819-832.
- [10] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, Lacey R E. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. *Ecological Economics*, 2001, 39(3): 333-346.
- [11] Hardin P J, Jensen R R. The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures: a Terre Haute case study. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2007, 6(2): 63-72.
- [12] Ni L, Zhou Y, Liu Y, Yu W. A case study of Qianjiang city: land utilization structure optimization based on ecological green equivalent. *Resource and Industries*, 2008, 10(4): 50-53.
- [13] Forman R T T, Godron M. *Landscape Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
- [14] Deng H B, Chen C D, Liu X, Wu G. Conception and function classification of regional ecological land. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1519-1524.

- [15] Deng X W, Sun Y C, Han S J. General principles of urban ecological land classification and planning. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(10): 2003-2006.
- [16] Treweek J. Ecology and environmental impact assessment. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33: 191-199.
- [17] Zhang J, Gong Y B, Chen L W. A quantitative discussion on forest coverage of the optimum forest protective effect. *Scientia Silvae Sinicae*, 1996, 32(4): 317-324.
- [18] Li F, Hu D, Liu X S, Wang R S, Yang W R, Paulussen J. Comprehensive urban planning and management at multiple scales based on ecological principles: a case study in Beijing, China. *The International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2008, 15(6): 524-533.
- [19] Li F, Wang R S, Liu X S. Urban forest in China: development patterns, influencing factors and research prospects. *The International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2005, 12(2): 197-204.
- [20] Pellet J, Guisan A, Perrin N. A concentric analysis of the impact of urbanization on the threatened European tree frog in an agricultural landscape. *Conservation Biology*, 2004, 18(6): 1599-1606.

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, 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.
- [3] 赵丹, 李锋, 王如松. 城市地表硬化对植物生理生态的影响研究进展. *生态学报*, 2010, 30(14): 3923-3932.
- [4] 李锋, 王如松. 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. *生态学报*, 2003, 23(9): 1929-1936.
- [7] 罗志军, 张军. 生态绿当量及其在土地利用结构优化中的应用——以江西省新建县为例. *江西农业大学学报*, 2007, 29(5): 851-856.
- [8] 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): 493-498.
- [12] 倪琳, 周勇, 刘义, 余维. 基于生态绿当量的土地利用结构优化研究——以湖北省潜江市为例. *资源与产业*, 2008, 10(4): 50-53.
- [14] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 吴钢. 区域生态用地的概念及分类. *生态学报*, 2009, 29(3): 1519-1524.
- [15] 邓小文, 孙贻超, 韩士杰. 城市生态用地分类及其规划的一般原则. *应用生态学报*, 2005, 16(10): 2003-2006.
- [16] 毛文永. 生态环境影响评价概论. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [17] 张健, 宫渊波, 陈林武. 最佳防护效益森林覆盖率定量探讨. *林业科学*, 1996, 32(4): 317-324.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 20 October ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)

Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)

Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)

Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)

Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)

Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)

Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security; a case study of Jiansanjiang land reclamation area LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)

Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)

Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)

Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)

Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)

Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts LAN Wenlu (5970)

Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)

Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)

Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute WANG Yating, FAN Lianlian (5992)

Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)

Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)

Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)

Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)

Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)

Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)

Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City	CHANG Hsiaoifei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 2011

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China
Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

广告经营
许 可 证 京海工商广字第 8013 号



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元