

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

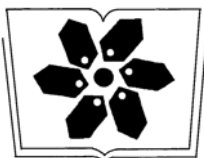
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第1期 Vol.34 No.1 **2014**

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 34 卷 第 1 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目次

卷首语: 复杂与永续..... (I)

前沿理论与学科综述

城市复合生态及生态空间管理 王如松, 李 锋, 韩宝龙, 等 (1)

海洋生态系统固碳能力估算方法研究进展 石洪华, 王晓丽, 郑 伟, 等 (12)

城市生态系统灵敏度模型评述 姚 亮, 王如松, 尹 科, 等 (23)

城市生活垃圾代谢的研究进展..... 周传斌, 徐琬莹, 曹爱新 (33)

个体与基础生态

胶州湾生物-物理耦合模型参数灵敏度分析 石洪华, 沈程程, 李 芬, 等 (41)

渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性 周 然, 覃雪波, 彭士涛, 等 (50)

生物扰动对沉积物中污染物环境行为的影响研究进展 覃雪波, 孙红文, 彭士涛, 等 (59)

种群、群落和生态系统

密云水库上游流域生态系统服务功能空间特征及其与居民福祉的关系 ... 王大尚, 李屹峰, 郑 华, 等 (70)

长岛自然保护区生态系统维护的条件价值评估 郑 伟, 沈程程, 乔明阳, 等 (82)

海岛陆地生态系统固碳估算方法 王晓丽, 王 媛, 石洪华, 等 (88)

景观、区域和全球生态

区域生态文明建设水平综合评估指标 刘某承, 苏 宁, 伦 飞, 等 (97)

基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价 杨建强, 朱永贵, 宋文鹏, 等 (105)

1985 年以来黄河三角洲孤东海岸演变与生态损益分析 刘大海, 陈小英, 徐 伟, 等 (115)

基于复合生态系统理论的海洋生态监控区区划指标框架研究 徐惠民, 丁德文, 石洪华, 等 (122)

我国环境功能评价与区划方案 王金南, 许开鹏, 迟妍妍, 等 (129)

资源与产业生态

生态产业园的复合生态效率及评价指标体系 刘晶茹, 吕 彬, 张 娜, 等 (136)

我国农业生态效率的时空差异..... 程翠云, 任景明, 王如松 (142)

内蒙古半干旱生态脆弱矿区生态修复耦合机理与产业模式 陈玉碧, 黄锦楼, 徐华清, 等 (149)

基于物质流分析方法的生态海岛建设研究——以长海县为例 陈东景, 郑 伟, 郭惠丽, 等 (154)

再生(污)水灌溉生态风险与可持续利用 陈卫平, 吕斯丹, 张炜铃, 等 (163)

基于流域单元的海湾农业非点源污染负荷估算——以莱州湾为例..... 麻德明, 石洪华, 丰爱平 (173)

集约用海对海洋生态环境影响的评价方法 罗先香,朱永贵,张龙军,等 (182)

城乡与社会生态

基于生态系统服务的城市生态基础设施:现状、问题与展望..... 李 锋,王如松,赵 丹 (190)

北京城区道路系统路网空间特征及其与 LST 和 NDVI 的相关性 郭 振,胡 聃,李元征,等 (201)

基于复合生态功能的城市土地共轭生态管理 尹 科,王如松,姚 亮,等 (210)

重庆市森林生态系统服务功能价值评估 肖 强,肖 洋,欧阳志云,等 (216)

渤海湾港口生态风险评估 彭士涛,覃雪波,周 然,等 (224)

达标污水离岸排海末端处置技术研究综述 彭士涛,王心海 (231)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 238 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 28 * 2014-01



封面图说: 北京奥林匹克公园——在高楼林立的大城市中,办公楼、居民区、学校、路网系统、公园以及各种水泥、沥青硬路面和树木、绿草地、土面、水面等等组成了复杂多样的城市生态景观,居住着密集的人口并由于人们不断的、强烈的干预,使这个城市生态系统显得尤其复杂而又多变。因此,系统复杂性及灵敏度是困扰城市生态系统研究和管理的重要因素,建立灵敏度模型是致力于解决城市规划管理中的复杂性问题的有效方法,网状思维与生物控制论观是其核心,也是灵敏度模型的思想基础。图为北京中轴线北端被高楼簇拥着的奥林匹克公园的仰山和龙型水系。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201305020908

郭振, 胡聘, 李元征, 秦文翠. 北京城区道路系统路网空间特征及其与 LST 和 NDVI 的相关性. 生态学报, 2014, 34(1): 201-209.

Guo Z, Hu D, Li Y Z, Qin W C. Spatial features of road network in Beijing built up area and its relations with LST and NDVI. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 201-209.

北京城区道路系统路网空间特征 及其与 LST 和 NDVI 的相关性

郭 振¹, 胡 聘^{1,*}, 李元征¹, 秦文翠^{1,2}

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

2. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715)

摘要: 城市道路系统是人类活动最为频繁的场所之一, 研究路网空间特征与相关环境指标的关系, 可为定量分析城市建设过程对城市生态环境的影响以及为城市基础设施规划管理提供方法。对北京市五环内各级道路抽样调查及面向对象的高分辨率遥感影像识别, 建立道路空间信息数据库, 运用 TM 影像反演获得地表温度 (LST) 及归一化植被指数 (NDVI), 研究 4 种不同分析网格下城市路网特征与两者的空间相关性。结果表明, 在较大分析网格下 (4×4), 路网空间指标与 LST_{mean} 及 $NDVI_{mean}$ 相关性显著; 中等网格下, 除 LST 与 NDVI 的平均值外, 路网空间指标还可与两者最小值建立相关性; 在较小窗口下 (32×32), 除平均值与最小值, 还可建立特定道路指标与 LST_{max} 及 $NDVI_{max}$ 的联系; 各路网指标中, 单位面积道路总长与 LST 及 NDVI 相关性最强; 加权道路结点数在 8×8 和 32×32 网格分析中, 与 NDVI 的相关性高于该指标未加权值, 而结点指标均不适合与 LST_{max} 建立联系; 在各分析网格下, 4 项道路指标均与 $NDVI_{mean}$ 呈极显著负相关, 表明道路绿地建设规模还不足以对 NDVI 的强度及分布产生较大影响。

关键词: 城市道路网; 空间特征; 地表温度 (LST); 归一化植被指数 (NDVI)

Spatial features of road network in Beijing built up area and its relations with LST and NDVI

GUO Zhen¹, HU Dan^{1,*}, LI Yuanzheng¹, QIN Wencui^{1,2}

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

2 School of Geographical Sciences, Southwest China University, Beibei Chongqing 400715, China

Abstract: The rapid urbanization process has greatly changed the spatial pattern of cities, especially artificial facilities. As an important municipal infrastructure, urban road systems occupy more than 1/4 of the built-up area. It supports an open space for material flow, energy flow and information flow, and its developing speed and distribution are far ahead of other urban infrastructure. Urban roads are also a kind of typical impervious surface. Compared with natural green space, the building materials like cement and asphalt make urban road system a different thermal characteristic, and in terms of spatial distribution, those traits may eventually result in the significant impact on the pattern of urban thermal environment. Many studies involved in urban underlying surfaces and their relationship with urban heat island (UHI), while the relationship between the spatial structure of urban roads and UHI has not been reported. More information about the interactive impact between the spatial structure of urban roads and urban environment needed to be quantitatively assessed during the process of rapid urbanization, which could provide some scientific guidance for urban infrastructure planning and management

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41171442, 70873121); 城市与区域生态国家重点实验室资助项目 (SKLURE2008-1-01)

收稿日期: 2013-05-02; **修订日期:** 2013-09-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hudan@rcees.ac.cn

toward a sound and eco-friendly development.

In this paper, through field survey (by using Laser distance meters and GPS to collect valid information from different sections of 238 roads within the study area) and high resolution remote sensing data (Quick Bird data source) recognition based on the object-oriented method, a spatial database of urban roads within 5th ring road Beijing was established, which included the length, width and intersection nodes of different classes of urban roads. A thermal infrared inversion of Landsat TM was conducted for retrieving LST and NDVI, which are the two common indicators to characterize thermal environment and vegetation information. Then a correlation analysis between the road system characteristics and LST and NDVI was carried out.

The results showed that there was a significant correlation among parameters of road system, LST_{mean} and $NDVI_{mean}$ in larger grids (4×4). Meanwhile, LST_{min} and $NDVI_{min}$ were related with parameters of road net in moderate grids (8×8 , 16×16). In terms of small grid (32×32), besides the mean and maximum value of LST and NDVI, the correlations were observed between certain road indicators and LST_{max} and $NDVI_{max}$;

The total length of roads is the best variable described the change of LST and NDVI among all the parameters. When the number of nodes was weighted for area, the correlation coefficients with NDVI in 8×8 and 32×32 grids were increased. At all levels of analysis grids, all four road indicators presented a significantly negative correlation with $NDVI_{mean}$, which implied that the area of urban road green space was too small to play an important roles on the intensity and spatial distribution of NDVI. The factual of linkages among various spatial attributes of urban road networks to the intensity, quantity, and distribution of LST and NDVI may help develop a new approach to quickly identify the overall UHI spatial patterns and further study the relations between urban thermal environments and human activities.

Key Words: urban road network; spatial pattern characteristics; LST; NDVI

随着人类活动的加剧,道路作为承担交通运输功能的载体,已成为陆地生态系统中最为重要的人造景观之一。纵横交错的道路网络构成了当今社会经济发展的中枢,其分布范围之广、发展速度之快,均是其他人工设施无法比拟的^[1-2]。道路系统在为人类社会带来巨大效益的同时,对生态系统及环境的各种负面影响也在日渐显现。作为网状人工构筑物,道路贯穿于各类景观中,不但阻碍了原有相邻斑块间的生态过程、增加了景观破碎度,也对周边生态系统产生大量物质流、能量流和信息流的输入^[3-4]。研究表明,道路及其承载的交通流所产生的环境影响,范围往往数十倍于道路自身宽度,而这一影响至少涉及到全球陆地面积的 15%—20%^[5-6]。在我国,受道路网络影响的国土面积也占到了 18% 以上^[7-8],而这些影响长期被人们所忽视。随着人们对道路建设产生的生态环境效应的日渐关注,道路生态学也随之成为生态学中重要的前沿领域^[9]。20 世纪 90 年代末随着 GIS 技术的兴起,道路生态学的研究重点开始由局部的环境污染、野生动物公路伤害等研究逐步转向道路网络、道路影响域等相关领域^[10]。

城市道路作为重要的市政基础设施,其面积一般占建成区面积 1/4 以上,是城市中人类活动最为频繁、剧烈的场所。较其它非城市化区域,城市道路路网密度更大,拓扑结构更为复杂^[11]。城市道路的发展在一定程度上挤占了城市生态用地空间。同时,其又是典型的硬化地表类型,柏油、混凝土等路面材料改变了原先下垫面的热力学属性,影响气地之间自然的水、热及相关物质、元素交换。城市道路及两旁的高大建筑形成了城市环境中典型的街道峡谷群,对于降低风速以及在静稳天气条件下颗粒污染物的产生均有一定的促进作用^[12-13]。而目前定量分析城市道路与城市生态环境因子变化关系,尤其是从路网空间特征角度开展的研究并不多见。近几年研究表明,北京地区热岛效应稳定存在,并有加剧的趋势^[14-16]。随着能源密集型、污染型企业基本迁出城区,城市道路建设及交通流的生态影响显得更为突出。本研究以北京为例,通过面向对象的遥感解译及实地测量,建立道路系统空间数据库,利用 Landsat TM 反演获得 LST 及 NDVI 空间数据,通过建立不同大小的分析网格,研究道路长度、面积、结点

数等路网要素空间特征与 LST、NDVI 的相关性,以期为进一步研究城市人工设施建设对城市生态环境的影响以及为规划部门生态用地空间优化配置提供科学依据。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

北京是中国建成区面积最大的城市,2012 年北京全市常住人口 2069.3 万人,人均 GDP 达 13797 美元^[17]。北京城市道路建设发展迅猛,每年路网加密工程稳步推进。2000 年至 2010 年,城八区道路总里程由 2470 km 增长到 6355 km,道路面积由 350.2 hm² 增长到 939.5 hm²,分别较 10a 前提高了 2.57 倍和 2.68 倍,路网密度达到人均 2.8 m²,北京城区路网以环形为主,先后建设了二至六环快速路,其它道路多以此为依托,形成与经纬线平行的网状结构,由中心向外的辐射状道路将内外环路连通起来。本研究区边界为五环路外接矩形(116°12′—116°32′ E, 39°45′—40°1′ N),面积为 859 km²。

1.2 数据来源

道路的路幅类型及宽度数据来自空间抽样调查,实地调查中使用激光测距仪(Leica D5)及 GPS(Trimble JUNO SB),共采集 238 条(快速路 34 条、主干道 53 条、次干道 75 条、支路 44 条、胡同路 32 条)五环内不同区段、不同建造年代的有效道路信息。道路空间数据由 2009 年 QuickBird 影像数据进行面向对象方法的提取,以及对公开出版的北京城区专题地图的数字化获得。路网结点数据通过 ArcGIS 软件平台对线状道路进行交集运算获得,并通过拓扑分析去除了错误的伪结点及因数据来源不同形成的重复节点。LST 及 NDVI 数据采用 2010 年 8 月 TM 遥感影像反演计算获得,影像覆盖整个研究区,平均云量 0%。

2 研究方法

2.1 城市道路信息提取

城市土地利用与覆被类型复杂,空间异质性高,对于低等级城市道路,低分辨率与同谱异物现象几乎成为信息提取的瓶颈^[18]。本研究以高分辨率遥感影像为数据源,通过道路横断面调查及数据分析,建立不同级别道路的路宽、路幅、路面材质等特征信

息库,利用 Envi 4.8 EX 面向对象特征提取模块综合利用地物的光谱、纹理、形状和位置等特征^[19],多次识别并优化调整道路特征信息,最终建立对象提取规则集,并利用 ArcGIS 完成栅格数据矢量化、空间分析等相关操作。对于因树木及建筑遮挡造成的难以提取的道路信息,按道路类型采取实地测量方法加以补充。

2.2 地表温度反演

目前基于 TM 影像进行地表温度的反演,较成熟的算法主要有:辐射传导方程法、基于影像的反演算法、单窗算法和单通道算法^[20-23]。基于影像的反演算法认为,当研究区范围较小且无云的条件下,大气的影响程度在空间上可以近似地认为是一致的,因而不需卫星过境的实时大气剖面数据或采用大气模型进行大气校正。在实时大气参数不可得时,基于影像算法的反演精度在以上条件下与单窗算法接近,而反演过程要比单窗算法和单通道算法等简便得多^[24]。

该方法反演模型的建立大致分为三步:1)影像热红外波段 DN 值转化辐射强度值 L_λ ;2) L_λ 转化辐射亮温 T_B ;3) 通过 T_B 及比辐射率获得 LST。根据普朗克公式的反函数,代入 TM 影像红外波段平均波长、普朗克常数、波尔兹曼常数、光速以及绝对零度,求得 LST 并将单位转换为摄氏度,简化公式如下:

$$LST = \frac{T_B}{1 + 1.6554 \times 10^{-3} \times T_B \times \ln \varepsilon} - 273.15 \quad (3)$$

式中,LST 单位为℃; T_B 为辐射亮温; ε 为比辐射率。

TM 影像的 LST 相关反演算法都共同涉及到地表比辐射率这一关键参数^[25],Sobrino 等研究了 NDVI 与比辐射率的相关性^[23],并提出了两者的转换公式:

$$\varepsilon = \begin{cases} 0.973 & \text{NDVI} < 0.2 \\ 0.004P_v + 0.986 & 0.2 \leq \text{NDVI} \leq 0.5 \\ 0.99 & \text{NDVI} > 0.5 \end{cases} \quad (4)$$

式中, P_v 表示植被覆盖度,其计算公式为:

$$P_v = \left(\frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \right)^2 \quad (5)$$

式中,NDVI_{min} 为最小 NDVI 值;NDVI_{max} 为最大 NDVI 值。

2.3 分析网格的建立

根据不同数据源空间分辨率之间的差异以及尺

度效应分析的需要,结合研究区路网密度的实际情况,利用 ArcGIS 为研究区分别建立了 4×4、8×8、16×16、32×32 共 4 种不同尺度的分析网格,边长从 7.38 km 到 0.92 km 不等,并对网格由东北到西南方向进行编号,通过对各网格内的地表温度、道路类型、面积、总长,各级道路结点类型及数量进行逐一统计,输出对应指标的栅格数据。对于热环境强度的度量,平均温是最常采用的温度指标,而最小温度在描述热岛强度上更为明显,最大温度则可表征热岛对环境和人类健康的最大压力。因此,本研究选择以上 3 个温度指标以及 NDVI 最大值、最小值及平均值,与对应分析单元的各项路网指标进行了相关性分析。

3 结果与分析

3.1 各级道路长度及横断面结构分析

结果显示,研究区内快速路 384.8 km、主干道 562.3 km、次干道 776.9 km、支路 1646.1 km、胡同 212.4 km,合计路网里程 3582.5 km,路网密度 5.37 km / km²。不同等级道路的路幅类型及宽度统计如表 1 所示。随着道路等级的提高,总路宽呈现明显增加。主要位于二环以内老城区的胡同路平均路宽 4.73 m,成为研究区最窄的道路类型,快速路以 67.57 m 成为总路宽最大的类型。在路幅结构上,由无人行道与车行道之分的单幅胡同路到以绿化带或交通设施做间隔的四幅快速路,横断面结构复杂程度逐级增大。

表 1 北京五环内各级道路横断面统计调查
Table 1 Statistical survey of different road types within Beijing 5th ring road

道路类别 Road types	横断面结构及宽度/m Cross sectional structure and width					总路宽/m Total width
胡同 Hutongs	4.73 ± 0.99m					4.73 ± 0.99
支路 Branch roads	2.79 ± 1.18p	7.11 ± 1.94m				12.54 ± 3.13
次干道 Secondary roads	4.01 ± 1.20p	15.6 ± 4.53m				23.61 ± 4.39
主干道 Arterial roads	3.97 ± 1.00p	5.75 ± 1.54d	2.60 ± 1.27g	13.04 ± 3.02m	3.46 ± 1.38g	48.13 ± 6.71
快速路 Expressways	4.53 ± 1.05p	11.62 ± 2.56d	2.91 ± 1.12g	16.36 ± 2.78m	3.09 ± 1.31g	67.57 ± 9.43

m: 主车行道, p: 人行道, d: 表示辅路或机动非机动车混用车道, g: 表示绿化带

道路总宽由人行道、绿化带、辅路及主路四部分相加组成,其分布型检验结果如表 2。各级道路类型 W 检验 P 值均大于 0.05,不能拒绝检验假设。因此可认为该四级道路各自总路宽服从正态分布。根据表 1 各级道路的统计平均路宽与该等级道路的总里程,计算获得研究区道路面积 93 km²,其中快速路 26 km²、主干道 27.1 km²、次干道 18.3 km²、支路 20.6 km²、胡同 1 km²。

3.2 路网结点分析

研究区内由不同等级道路产生的路网结点类型及数量如表 3 所示,其中 3 结点表示“T”型路口、“Y”型路口以及在容限(2 m)内的错位“Y”型路口;4 结点表示“十”型路口、非直角的“X”型路口以及在容限内的错位“十”型路口。对于五叉路口及以上的复杂道路结点,其比例仅占总结点数量的 3%,表 3 中未予列出。

表 3 所示,研究区道路 3 结点、4 结点共计 6927 个,其中快速路与快速路的 4 结点数量为 24,为最少的道路结点类型,而支路与支路之间的 3 结点数成为研究区最常见的结点类型,数量达到 1405 个。随着道路等级的提高,道路结点呈现下降趋势。针对不同类型的结点对应不同复杂程度的立交设施以及在道路系统中重要程度不同的实际情况,建立了面积加权结点数指标,即对与结点相连两条道路总宽的乘积作为权重赋给该结点,对于“丁”字路口赋值为相交道路总宽乘积的 1/2,结果如图 1 所示。

表 2 各级道路路宽正态分布检验(W 检验)
Table 2 Normal distribution test for different road types (Shapiro-Wilk)

道路类型 Road types	统计量 Statistic	自由度 df	显著度 Sig.
快速路 Expressways	0.978	32	0.745
主干道 Arterial roads	0.980	53	0.530
次干道 Secondary roads	0.978	75	0.212
支路 Branch roads	0.960	44	0.127

表 3 研究区路网结点构成统计

Table 3 Net node compositions at different intersections in the studied area

	快速路		主干道		次干道		支路		合计 Total
	Expressways		Arterial roads		Secondary roads		Branch roads		
	3 结点	4 结点	3 结点	4 结点	3 结点	4 结点	3 结点	4 结点	
	3-node	4-node	3-node	4-node	3-node	4-node	3-node	4-node	
快速路 Expressways	34	24							58
主干道 Arterial roads	51	124	49	100					324
次干道 Secondary roads	134	111	170	301	159	185			1060
支路 Branch roads	414	79	820	304	932	737	1405	793	5484
合计 Total	635	337	1039	705	1091	922	1405	793	6927

面积权重结点能够更为直观的表达不同规模交叉路口在空间上的分布。图 1 所示,较高等级的结点主要分布于快速路与快速路以及快速路与主干道交叉形成的大型交通枢纽。针对路网密度,以天安门为中心向八个方向进行网格统计。图 2 结果表明,二环中心区域由于故宫的存在,形成一个明显的

路网低密度区,二环与四环之间则为路网集中分布区域,四环以外,尤以南五环附近的道路密度较四环以内下降明显。不同规模的城市森林公园及水体形成了大小不一的低密度路网区域,镶嵌于研究区道路系统景观之中。结点密度的空间分布格局与路网密度趋势一致。

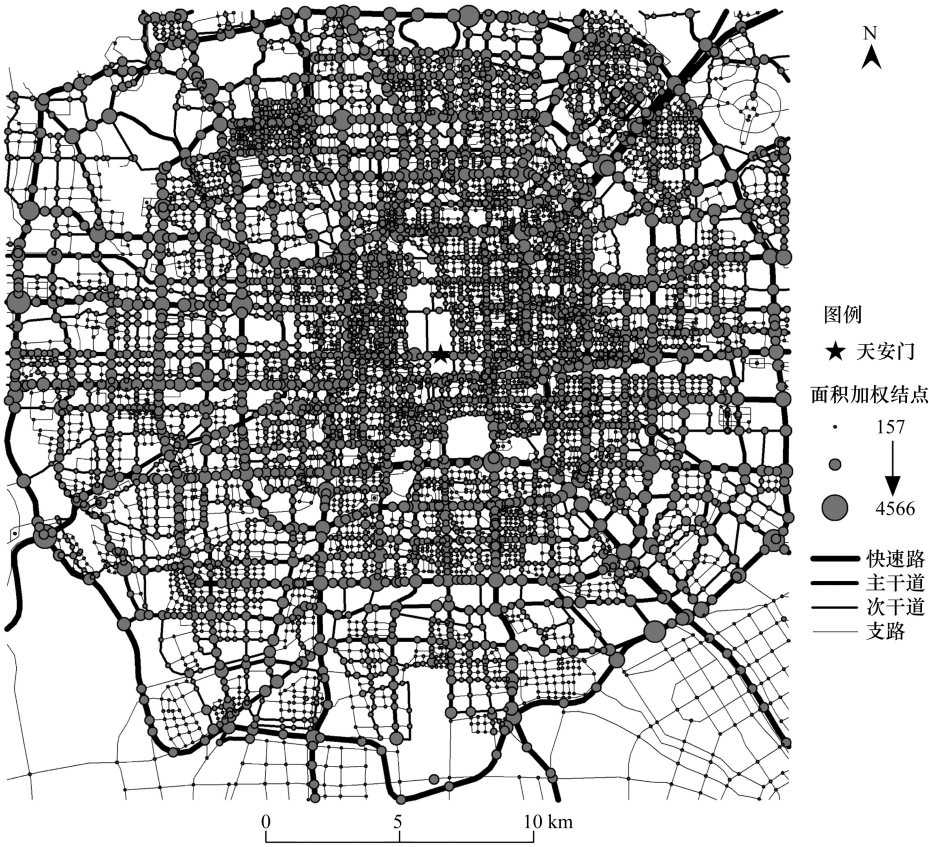


图 1 研究区道路加权结点空间分布

Fig.1 Spatial distribution of area weighted nodes in the studied area

3.3 不同分析网格下 LST 与 NDVI 空间特征

通过对 TM 影像相关波段综合运算,反演获得研究区 LST 以及 NDVI 数据,其中 NDVI 被标准化至0—255

范围表示。研究区 LST_{min} 、 LST_{max} 分别为 17.26℃ 和 41.44℃, LST_{mean} 为 $(30.44 \pm 2.06)^\circ C$; $NDVI_{min}$ 、 $NDVI_{max}$ 分别为 95 和 205, $NDVI_{mean}$ 为 (144 ± 17) 。

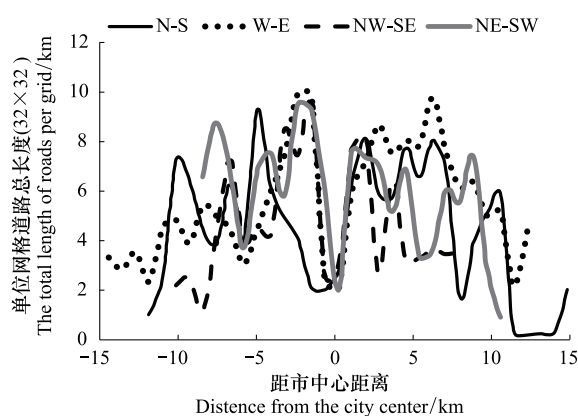
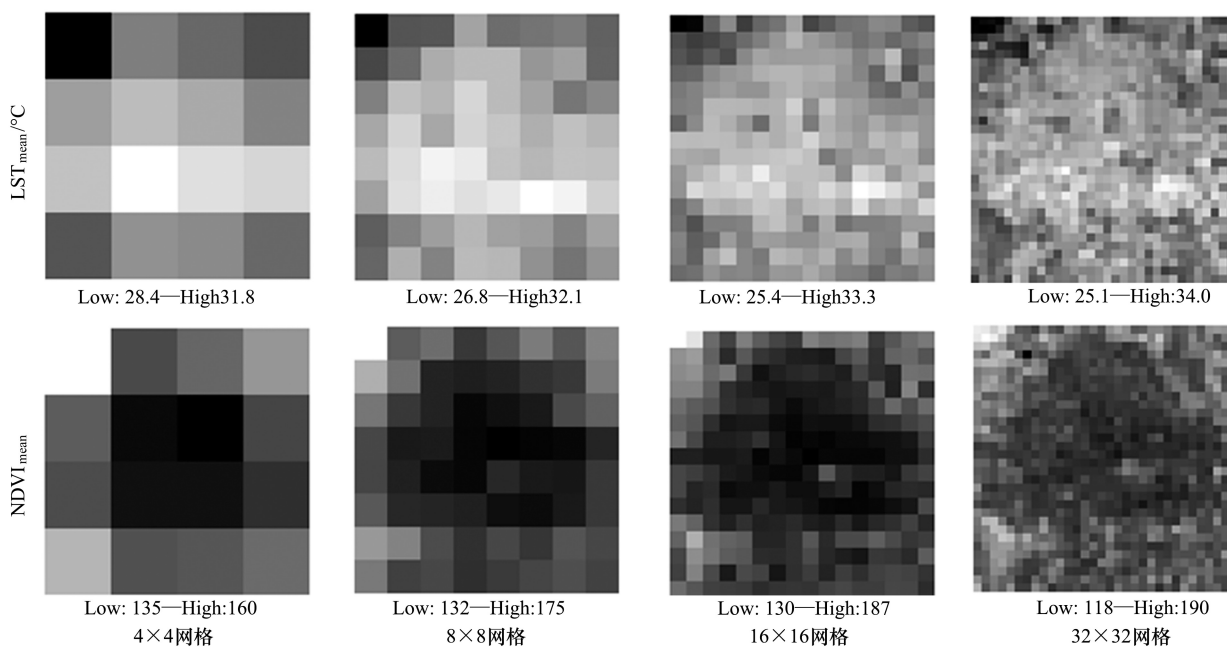


图2 不同方向路网密度的变化

Fig.2 The distribution of road network density in different directions

图3 不同分析单元下 LST_{mean} 与 $NDVI_{mean}$ 空间统计Fig.3 Spatial statistics of LST_{mean} and $NDVI_{mean}$ at different analytical units

3.4 路网空间特征与 LST 、 $NDVI$ 相关性分析

将不同分析网格内道路的总长、面积、结点数以及加权结点数 4 项道路路网指标分别与对应网格的 LST 、 $NDVI$ 最大值、最小值及平均值进行相关性统计分析,结果如表 4。

3.4.1 同一分析网格下路网指标与 LST 、 $NDVI$ 相关性分析

4×4 网格分析中,4 项道路指标均与 $NDVI_{mean}$ 具有极显著负相关关系,且道路长度 > 道路结点数 > 加权结点数 > 道路面积,而与 $NDVI_{max}$ 、 $NDVI_{min}$ 无相

如图 3,北京城区 LST_{mean} 分布总体呈南高北低的格局, LST_{mean} 高值区域主要分布于研究区东西中央线以南。随着分析网格的缩小,较明显的两个 LST_{mean} 高值区域分布于西南二环与三环以及东南二环与三环区域。 $NDVI_{mean}$ 较高的区域主要分布于五环以外,最高值位于西北五环香山附近,低值区则位于二环以内以及国贸、中央商务区。

随着分析单元的增大, LST_{mean} 数值分布从 25.1—34.0℃ 范围缩小至 28.4—31.8℃。同样, $NDVI_{mean}$ 也由 118—190 缩小至 135—160。对于非平均化的统计结果,随着分析网格的增大,区间表现为单侧阈值不变,另一侧阈值向平均值移动的趋势。

相关性。道路长度与 LST_{mean} 呈现显著正相关,其它路网指标均与 LST 无相关性。

8×8 网格分析中,各项道路指标与 3 项 $NDVI$ 指标均表现出极显著负相关,且 $NDVI_{mean} > NDVI_{max} > NDVI_{min}$ 。对于 $NDVI_{mean}$ 的相关性与 4×4 网格相应分析结果一致。对于 $NDVI_{max}$ 及 $NDVI_{min}$ 的相关性表现为:加权结点数 > 道路结点数 > 道路长度 > 道路面积,加权结点数与 $NDVI$ 的相关性高于未加权道路结点数。各路网指标与 LST_{mean} 呈现极显著正相关,且道路长度 > 道路面积 > 道路结点数 > 加权结点

数。除道路面积与 LST_{min} 具有显著正相关外,其它路网指标与 LST_{min} 、 LST_{max} 均不存在相关性。

表 4 不同分析单元下四种道路路网指标与 LST 及 NDVI 相关性分析

Table 4 Correlation analysis between four kind of road features and LST/NDVI at different analytical units

		道路长度 Road length		道路面积 Road area		道路结点数 Road nodes		面积加权道路结点数 Area weighted nodes	
		LST	NDVI	LST	NDVI	LST	NDVI	LST	NDVI
4×4 (16)	平均 Mean	0.514 *	- 0.748 **	0.461	- 0.661 **	0.446	- 0.720 **	0.437	- 0.705 **
	最大 Max	- 0.38	- 0.400	- 0.343	- 0.307	- 0.464	- 0.459	- 0.455	- 0.425
	最小 Min	0.02	- 0.377	0.172	- 0.375	- 0.029	- 0.453	0.014	- 0.465
8×8 (64)	Mean	0.535 **	- 0.714 **	0.491 **	- 0.653 **	0.447 **	- 0.667 **	0.444 **	- 0.667 **
	Max	- 0.109	- 0.504 **	- 0.083	- 0.456 **	- 0.221	- 0.533 **	- 0.213	- 0.539 **
	Min	0.211	- 0.391 **	0.279 *	- 0.380 **	0.191	- 0.391 **	0.210	- 0.409 **
16×16 (256)	Mean	0.506 **	- 0.667 **	0.427 **	- 0.566 **	0.426 **	- 0.616 **	0.417 **	- 0.613 **
	Max	0.038	- 0.552 **	0.027	- 0.453 **	- 0.080	- 0.586 **	- 0.086	- 0.578 **
	Min	0.334 **	- 0.426 **	0.299 **	0.398 **	0.325 **	- 0.392 **	0.326 **	- 0.408 **
32×32 (1024)	Mean	0.426 **	- 0.576 **	0.345 **	- 0.466 **	0.366 **	- 0.533 **	0.362 **	- 0.534 **
	Max	0.101 **	- 0.505 **	0.101 **	- 0.363 **	0.017	- 0.537 **	0.017	- 0.522 **
	Min	0.433 **	- 0.385 **	0.309 **	- 0.365 **	0.433 **	- 0.342 **	0.416 **	- 0.363 **

* 表示相关性显著水平为 $P < 0.05$; ** 表示相关性显著水平为 $P < 0.01$

16×16 网格分析中,4 项路网指标均与 LST_{mean} 、 LST_{min} 呈现极显著正相关,对于 LST_{mean} ,相关性 与 8×8 网格相应分析结果一致。对于 LST_{min} 表现为:道路长度 > 加权结点数 > 道路结点数 > 道路面积, LST_{max} 与各道路指标未呈现相关性。对于 $NDVI_{mean}$, 相关性与 4×4、8×8 网格相应分析结果一致。对于 $NDVI_{max}$ 表现为:道路结点数 > 加权结点数 > 道路长度 > 道路面积。对于 $NDVI_{min}$ 表现为:道路长度 > 加权道路结点数 > 道路面积 > 道路结点数。

32×32 网格分析中,各项道路指标均与 $NDVI$ 呈现极显著负相关性。除道路结点数及加权结点数未与 LST_{max} 建立相关性外,其它道路指标均与 LST 表现出极显著正相关。对于 LST_{mean} 和 LST_{min} ,正相关性由强至弱依次表现为:道路长度 ≥ 道路结点数 > 加权结点数 > 道路面积。对于 $NDVI_{mean}$,负相关性表现为:道路长度 > 加权结点数 > 道路结点数 > 道路面积。对于 $NDVI_{max}$ 表现为:道路结点数 > 加权结点数 > 道路长度 > 道路面积。对于 $NDVI_{min}$ 表现为:道路长度 > 道路面积 > 加权结点数 > 道路结点数。

3.4.2 同一路网指标与 LST、NDVI 相关性分析

随着分析网格的缩小,4 项道路指标与 LST 的正相关指数以及与 $NDVI$ 的负相关指数逐渐降低,在 4×4 网格分析中所呈现的相关性为 4 种分析网格下最高值。在不同分析网格下,道路长度与 LST_{mean} 及

$NDVI_{mean}$ 的相关性均强于其它道路指标。较大分析网格下,仅有道路长度与 LST_{mean} 存在显著正相关性,随着分析网格的缩小,各项道路指标均与 LST_{mean} 呈现显著正相关,且 LST_{min} 在 16×16 与 32×32 网格分析中与各项道路指标呈现显著正相关。对于 LST_{max} ,仅在 32×32 分析网格下与道路长度、道路面积两项指标呈现相关性。在 8×8 到 32×32 三个不同分析网格下,4 项道路指标均与 $NDVI_{max}$ 、 $NDVI_{min}$ 和 $NDVI_{mean}$ 呈现极显著的负相关性,在 4×4 分析网格下,4 项道路指标与 $NDVI_{mean}$ 表现出极显著的负相关性。加权结点数对于 $NDVI_{min}$ 相关性在不同分析网格下均高于未加权道路结点数。

4 结论与讨论

城市道路系统的前期建设及后期承载的交通流整个生命周期过程中均与人类活动强度密切相关。研究以北京中心城区为研究区,分析了城市道路网格空间特征,并从地表温度和植被指数两个遥感常用指标入手,将道路路网空间特征与两者进行相关性分析,结果表明城市道路路网特征在 4 种不同分析窗口下均存在与 LST 及 $NDVI$ 特定指标的相关性,即在相对较大的分析窗口下,与 LST_{mean} 及 $NDVI_{mean}$ 相关性显著,在相对较小的分析窗口下,可以建立特定道路指标与 LST_{max} 及 $NDVI_{max}$ 的联系,而

在中等分析窗口下,除采用 LST_{mean} 、 $NDVI_{mean}$ 外,还可以选择两者的最小值指标建立与道路指标的空间相关性。各路网指标中,单位面积道路总长与 LST 及 $NDVI$ 空间相关性最强,而道路结点、加权道路结点两个指标不适合建立与 LST_{max} 的关系。

城市地表温度是城市表层能量平衡的中心,是影响城市气候的重要因素。目前对于城市地表温度、热岛效应及内部热斑块格局的研究主要途径为通过热红外遥感反演,这往往需要进行大量遥感数据处理及建立复杂的反演模型。以上研究结论可以为研究城市热环境、生态用地空间格局及其动态变化提供一个快速而有效的解决方案,即通过城市道路系统路网空间特征信息分析 LST 、 $NDVI$ 强弱及其空间分布格局。

另外,市政四级道路级配比例的结果表明,研究区过多的强调快速路和主干道的建设,导致同一路网密度下,单位面积道路面积的上升。过宽的道路容易导致土地资源的浪费,挤占城市生态用地的空间。路网空间特征与 $NDVI$ 的相关性显示,在各分析网格下的路网空间指标与 $NDVI_{mean}$ 均具有极显著负相关关系,同时也表明目前道路绿地建设规模还不足以对 $NDVI$ 的强度及分布上产生较大影响。中国城市的道路系统建设规模和道路密度逐年增长,2011 年建成区城市道路总里程及面积分别达到了 294443 km 和 5213.22 km²^[26]。快速增长不仅导致物质资源压力及对生态环境的胁迫,也间接促使机动车规模的扩大以及排放的增加,城市交通及相关环境影响日益加剧。道路生态学与城市生态学的交叉是学科发展的必然趋势也是解决当下城市日益突出的生态环境问题的时代要求,道路生态学及其影响域在城市领域的应用可为城市道路建设所产生的生态环境问题提供识别及解决方案,为进一步建设生态友好型城市道路系统提供新思路及量化指标。

References:

- [1] Forman R T T, Alexander L E. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of ecology and systematics*, 1998; 207- C2.
- [2] Forman R T T, Sperling D, Bissonette J A, Clevenger A P, Cutshall C D, Dale V H. *Road ecology: science and solutions*. Island Press, 2002; 3-397.
- [3] Forman R T T, Hersperger A M. Road ecology and road density in different landscapes, with international planning and mitigation solutions//Trends in addressing transportation related wildlife mortality, 1996; 1-22.
- [4] Spellerberg I F. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography*, 1998, 7(5): 317-333.
- [5] Wang Y, Cui P, Li H F. Research Progress on Road Landscape Ecology. *World Sci-tech R & D*, 2006, 28(2): 90-95.
- [6] Spellerberg I F. *Ecological effects of roads*. New Hampshire: Science Publishers Enfield, 2002.
- [7] Li S C, Xu Y Q, Zhou Q F, Wang L. Statistical Analysis on the Relationship between Road Network and Ecosystem Fragmentation in China. *Progress in Geography*, 2004, 23(5): 78-85.
- [8] Liu S L, Wen M X, Cui B S, Dong S K. Effects of road networks on regional ecosystems in Southwest mountain area: A case study in Jinhong of Longitudinal Range-Gorge Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 3018-3024.
- [9] Zong Y G, Zhou S Y, Peng P, Liu C, Guo R H, Cheng H C. Perspective of road ecology development. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2396-2405.
- [10] Ding H, Jin Y H, Cui J G, Zhao L S, Piao Z J. Review on ranges of ecological road-effect zones. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2008, 25(6): 810-816.
- [11] Li T A. Study on the Fragmentation of China's Landscape by Roads and Urban Areas [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2010.
- [12] Bukowiecki N, Lienemann P, Hill M, Furger M, Richard A, Amato F. PM₁₀ emission factors for non-exhaust particles generated by road traffic in an urban street canyon and along a freeway in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 2010, 44(19): 2330-2340.
- [13] Kauhaniemi M, Kukkonen J, Härkönen J, Nikmo J, Kangas L, Omstedt G. Evaluation of a road dust suspension model for predicting the concentrations of PM₁₀ in a street canyon. *Atmospheric Environment*, 2011, 45(22): 3646-3654.
- [14] Zhang G Z, Xu X D, Wang J Z, Yang Y Q. A study of characteristics and evolution of urban heat island over Beijing and its surrounding area. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2002, 13(S1): 43-50.
- [15] Zhou J, Chen Y H, Li J, Weng Q H, Yi W B. A volume model for urban heat island based on remote sensing imagery and its application: A case study in Beijing. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(5): 734-742.
- [16] Zhang Z M, He G J, Xiao R B, Wang W, Ouyang Z Y. Study of Urban Heat Island of Beijing City Based on RS and GIS. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2007, 29(1): 107-110.
- [17] Beijing Municipal Bureau of Statistics. The statistical communique of national economic and social development in Beijing. [2013-02-07]. http://www.bjstats.gov.cn/xwgb/tjgh/ndgh/201302/t20130207_243837.htm.
- [18] Tang J, Wu L M, Zuo X Q. Object-oriented road information extraction from high resolution satellite imagery. *Science of*

- Surveying and Mapping, 2011, 36(5): 98-99.
- [19] Geneletti D, Gorte B. A method for object-oriented land cover classification combining Landsat TM data and aerial photographs. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(6): 1273-1286.
- [20] Artis D A, Carnahan W H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 1982, 12(4): 313-329.
- [21] Qin Z H, Karnieli A, Berliner P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(18): 3719-3746.
- [22] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984—2012), 2003, 108(D22).
- [23] Sobrino J A, Jiménez-Muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 90(4): 434-440.
- [24] Ding F, Xu H Y. Comparison of three algorithms for retrieving land surface temperature from Landsat TM thermal infrared band. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, 2008, 24(1): 91-96.
- [25] Qin Z H, Li W J, Xu B, Chen Z X, Liu J. The estimation of land surface emissivity for Landsat TM6. *Remote Sensing For Land & Resources*, 2004, 3(1): 28-32.
- [26] Ministry of Housing and Urban-Rural Development of China. *China Urban Construction Statistical Yearbook*. Beijing: China Planning Press, 2011.
- 与发展, 2006, 28(2): 90-95.
- [7] 李双成, 许月卿, 周巧富, 王磊. 中国道路网与生态系统破碎化关系统计分析. *地理科学进展*, 2004, 23(5): 78-85.
- [8] 刘世梁, 温敏霞, 崔保山, 董世魁. 道路网络扩展对区域生态系统的影响——以景洪市纵向岭谷区为例. *生态学报*, 2006, 26(9): 3018-3024.
- [9] 宗跃光, 周尚意, 彭萍, 刘超, 郭瑞华, 陈红春. 道路生态学研究进展. *生态学报*, 2003, 23(11): 2396-2405.
- [10] 丁宏, 金永焕, 崔建国, 赵林森, 朴正吉. 道路的生态学影响域范围研究进展. *浙江林学院学报*, 2008, 25(6): 810-816.
- [11] 李太安. 道路和城市化对中国景观破碎效应初步研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2010.
- [14] 张光智, 徐祥德, 王继志, 杨元琴. 北京及周边地区城市尺度热岛特征及其演变. *应用气象学报*, 2002, 13(S1): 43-50.
- [15] 周纪, 陈云浩, 李京, 翁齐浩, 易文斌. 基于遥感影像的城市热岛容量模型及其应用——以北京地区为例. *遥感学报*, 2008, 12(5): 734-742.
- [16] 张兆明, 何国金, 肖荣波, 王威, 欧阳志云. 基于 RS 与 GIS 的北京市热岛研究. *地球科学与环境学报*, 2007, 29(1): 107-110.
- [17] 北京市统计局. 北京市 2012 年国民经济和社会发展统计公报. [2013-02-07]. http://www.bjstats.gov.cn/xwgb/tjgb/ndgb/201302/t20130207_243837.htm.
- [18] 唐静, 吴俐民, 左小清. 面向对象的高分辨率卫星影像道路信息提取. *测绘科学*, 2011, 36(5): 98-99.
- [24] 丁凤, 徐涵秋. 基于 Landsat TM 的 3 种地表温度反演算法比较分析. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 24(1): 91-96.
- [25] 覃志豪, 李文娟, 徐斌, 陈仲新, 刘佳. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计. *国土资源遥感*, 2004, 3(1): 28-32.
- [26] 中华人民共和国住房和城乡建设部. *中国城市建设统计年鉴*. 北京: 中国计划出版社, 2011.

参考文献:

- [5] 王云, 崔鹏, 李海峰. 道路景观生态学研究进展. *世界科技研究*

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.1 Jan., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Foreword: Complexity and Sustainability	(I)
Frontiers and Comprehensive Review	
Urban eco-complex and eco-space management	WANG Rusong, LI Feng, HAN Baolong, et al (1)
Review of carbon sequestration assessment method in the marine ecosystem .....	.....
.....	SHI Honghua, WANG Xiaoli, ZHENG Wei, et al (12)
A review of sensitivity model for urban ecosystems	YAO Liang, WANG Rusong, YIN Ke, et al (23)
Urban ecological metabolism of municipal solid waste: a review	ZHOU Chuanbin, XU Wanying, CAO Aixin (33)
Autecology & Fundamentals	
Parameter sensitivity analysis of a coupled biological-physical model in Jiaozhou Bay .....	.....
.....	SHI Honghua, SHEN Chengcheng, LI Fen, et al (41)
Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay .....	.....
.....	ZHOU Ran, QIN Xuebo, PENG Shitao, et al (50)
Review of the impacts of bioturbation on the environmental behavior of contaminant in sediment .....	.....
.....	QIN Xuebo, SUN Hongwen, PENG Shitao, et al (59)
Population, Community and Ecosystem	
Ecosystem services' spatial characteristics and their relationships with residents' well-being in Miyun Reservoir watershed .....	.....
.....	WANG Dashang, LI Yifeng, ZHENG Hua, et al (70)
Contingent valuation of preserving ecosystem of Changdao Island Nature Reserve .....	.....
.....	ZHENG Wei, SHEN Chengcheng, QIAO Mingyang, et al (82)
Discussion of carbon sequestration estimates in the island terrestrial ecosystems .....	.....
.....	WANG Xiaoli, WANG Ai, SHI Honghua, et al (88)
Landscape, Regional and Global Ecology	
An integrated indicator on regional ecological civilization construction	LIU Moucheng, SU Ning, LUN Fei, et al (97)
The eco-environmental evaluation based on habitat quality and ecological response of Laizhou Bay .....	.....
.....	YANG Jianqiang, ZHU Yonggui, SONG Wenpeng, et al (105)
Analysis of the evolution and value of coastal ecosystem services at Gudong Coast in the Yellow River Delta since 1985 .....	.....
.....	LIU Dahai, CHEN Xiaoying, XU Wei, et al (115)
Research of index system framework in marine ecology monitoring & regulation areas division based on complex ecosystem of nature-human-society	XU Huimin, DING Dewen, SHI Honghua, et al (122)
The environmental function assessment and zoning scheme in China	WANG Jinnan, XU Kaipeng, CHI Yanyan, et al (129)
Resource and Industrial Ecology	
Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency .....	.....
.....	LIU Jingru, LÜ Bin, ZHANG Na, et al (136)
Spatial-temporal distribution of agricultural eco-efficiency in China	CHENG Cuiyun, REN Jingming, WANG Rusong (142)
The coupling mechanism and industrialization mode of ecological restoration in the weak semi arid mining area of Inner Mongolia .....	.....
.....	CHEN Yubi, HUANG Jinlou, XU Huaqing, et al (149)
Evaluation of ecological marine islands construction based on material flow analysis: a case study of Changhai County .....	.....
.....	CHEN Dongjing, ZHENG Wei, GUO Huili, et al (154)
Ecological risks and sustainable utilization of reclaimed water and wastewater irrigation .....	.....
.....	CHEN Weiping, LÜ Sidan, ZHANG Weiling, et al (163)

Estimation of agricultural non-point source pollution based on watershed unit: a case study of Laizhou Bay	
.....	MA Deming, SHI Honghua, FENG Aiping (173)
The evaluation method in the impact of intensive sea use on the marine ecological environment	
.....	LUO Xianxiang, ZHU Yonggui, ZHANG Longjun, et al (182)
Urban, Rural and Social Ecology	
Urban ecological infrastructure based on ecosystem services;status,problems and perspectives	
.....	LI Feng, WANG Rusong, ZHAO Dan (190)
Spatial features of road network in Beijing built up area and its relations with LST and NDVI	
.....	GUO Zhen,HU Dan,LI Yuanzheng,et al (201)
The conjugate ecological management model for urban land administration based on the land complex ecological function	
.....	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (210)
Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing	
.....	XIAO Qiang, XIAO Yang,OUYANG Zhiyun, et al (216)
Ecological risk evaluation of port in Bohai Bay	PENG Shitao, QIN Xuebo, ZHOU Ran, et al (224)
Research review of the tail disposal technology of the standard sewage offshore outfall	PENG Shitao,WANG Xinhai (231)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 34 卷 第 1 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 1 (January, 2014)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 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	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	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	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 90.00 元