

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第12期 Vol.32 No.12 2012

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 (SHENTAI XUEBAO)

第32卷 第12期 2012年6月 (半月刊)

目 次

河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例	孙永光, 赵冬至, 吴 涛, 等 (3645)
鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征	张全军, 于秀波, 钱建鑫, 等 (3656)
青岛市湿地生态网络评价与构建	傅 强, 宋 军, 毛 锋, 等 (3670)
大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例	叶 春, 李春华, 王秋光, 等 (3681)
绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态	王书敏, 何 强, 张峻华, 等 (3691)
坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响	何先进, 吴鹏飞, 崔丽巍, 等 (3701)
枣园桃蛀果蛾寄生蜂种类及其与寄主的关系	姚艳霞, 赵文霞, 常聚普, 等 (3714)
基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价	邹丽丽, 陈晓翔, 何 莹, 等 (3722)
温度、盐度和 pH 对马氏珠母贝稚贝清滤率的联合效应	朱晓闻, 王 辉, 刘 进, 等 (3729)
鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险	赵丽平, 杨贵明, 赵同科, 等 (3737)
黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系	张俊华, 李国栋, 南忠仁 (3745)
DEM 棚格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响	邱临静, 郑粉莉, Yin Runsheng (3754)
粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响	郭冠华, 陈颖彪, 魏建兵, 等 (3764)
基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例	陈 杰, 梁国付, 丁圣彦 (3773)
城市能源利用碳足迹分析——以厦门市为例	林剑艺, 孟凡鑫, 崔胜辉, 等 (3782)
高寒牧区村域生态足迹——以甘南州合作市为例	王录仓, 高 静 (3795)
太湖湖滨带生态系统健康评价	李春华, 叶 春, 赵晓峰, 等 (3806)
秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量	党坤良, 陈俊娴, 孙飞翔, 等 (3816)
盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响	尤 佳, 王文瑞, 卢 金, 等 (3825)
海南霸王岭山地原始林与伐后林中木质藤本对支持木的选择	刘晋仙, 陶建平, 何 泽, 等 (3834)
闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应	王振兴, 朱锦懋, 王 健, 等 (3841)
基于形态及分子标记的濒危植物夏蜡梅自然居群的遗传变异研究	金则新, 顾婧婧, 李钧敏 (3849)
不同径级油松径向生长对气候的响应	姜庆彪, 赵秀海, 高露双, 等 (3859)
珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布	袁春明, 孟广涛, 方向京, 等 (3866)
巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较	胡红玲, 张 健, 万雪琴, 等 (3873)
银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响	黄激激, 胡庭兴, 张念念, 等 (3883)
基于氘示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究	孙守家, 孟 平, 张劲松, 等 (3892)
石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性	张显强, 曾建军, 谌金吾, 等 (3902)
含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响	陈 琳, 谷 洁, 高 华, 等 (3912)
钝叶柃不同性别花的花部形态与传粉特征比较	王 苗, 邓洪平, 丁 博, 等 (3921)
我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性	何奇瑾, 周广胜 (3931)
烯效唑干拌种对小麦氮素积累和运转及籽粒蛋白质品质的影响	樊高琼, 杨恩年, 郑 亭, 等 (3940)
专论与综述	
中国产业共生发展模式的国际比较及对策	石 磊, 刘果果, 郭思平 (3950)
研究简报	
吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化	张国坤, 卢京花, 宋开山, 等 (3958)
杨树人工林生态系统通量贡献区分析	金 莹, 张志强, 方显瑞, 等 (3966)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-06



封面图说: 鸳鸯——在分类上属雁形目, 鸭科。英文名为 Mandarin Duck(即“中国官鸭”)。鸳指雄鸟, 鸯指雌鸟, 故鸳鸯属合成词。常常栖息于山地河谷、溪流、湖泊、水田等处, 雌雄偶居, 以植物性食物为主, 也食昆虫等小动物。繁殖期 4—9 月间, 雌雄配对后迁至营巢区。巢往往置于树洞中, 用干草和绒羽铺垫, 每窝产卵 7—12 枚。江西省婺源鸳鸯湖是亚洲最大的野生鸳鸯越冬栖息地。鸳鸯是一种美丽的禽鸟, 中国传统文化又赋予它很多美好的寓意, 因此, 在许多文学艺术作品中经常用以表达爱情。

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

DOI: 10.5846/stxb201107181068

郭冠华,陈颖彪,魏建兵,吴志峰,容晓臻.粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响.生态学报,2012,32(12):3764-3772.

Guo G H, Chen Y B, Wei J B, Wu Z F, Rong X Z. Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3764-3772.

粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响

郭冠华¹,陈颖彪^{1,*},魏建兵²,吴志峰^{1,2},容晓臻¹

(1. 广州大学地理科学学院,广州 510006;2. 广东省生态环境与土壤研究所,广州 510650)

摘要:尺度是景观格局和生态过程研究中的关键问题。综合目前城市热岛效应研究来看,景观格局指数的引入极大推进了热岛格局的定量研究,然而其尺度效应仍未得到重视。由于热岛空间格局与形成过程的复杂性和人类认识的局限性,对其尺度问题有待深入讨论。基于 Landsat TM 影像反演地表温度,采用均值-标准差分类方法划分热力等级,对珠三角城市热岛格局特征的粒度效应进行了研究。结果显示:随粒度增加,弱势热力斑块类型下降,向相邻斑块转移;景观指数在类型水平和景观水平均受空间粒度影响明显,“临界粒度”现象明显;总体而言,粒度 150 m 是城市热岛格局特征的临界粒度,对热岛格局进行景观指数计算的适宜粒度范围为 30—150 m;不同景观指数粒度效应曲线有所差异,其中斑块密度和平均分维数在两个水平指数上都有较强的规律性;根据各景观指数变化特征,研究区尺度域主要在(30 m,150 m),表明在该尺度范围内构建的热岛效应预测模型可经简单推绎后使用。分析热岛格局随空间粒度变化特征对了解热岛格局的形成机制及进行尺度推绎具有重要意义。

关键词:城市热岛;粒度效应;格局分析;珠江三角洲

Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis

GUO Guanhua¹, CHEN Yingbiao^{1,*}, WEI Jianbing², WU Zhifeng^{1,2}, RONG Xiaozhen¹

1 School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China

2 Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Sciences, Guangzhou 510650, China

Abstract: Scaling is essential issue in understanding and predicting landscape pattern and ecological process in ecological research. As a significant indicator and ecological parameter affected by urbanization in urban ecosystem, landscape pattern and ecological process of urban heat island (UHI) and its relationship between others ecological factors are scale-dependent. The latest studies demonstrated that landscape metrics provides an effective method in quantifying UHI pattern. However, issues concerning UHI are highly complex and variable. The study of impacts of changing scale on UHI should be strengthened. A common objective of scale related research in UHI is to find the underlying mechanisms by use of the selected scales. The purpose of this study is to identify the scale characteristics and scale domain of UHI pattern, and provide basic information for pattern analysis and scaling in UHI research.

In this paper, taking Pearl River Delta as an example region, we obtained land surface temperature (LST) from Landsat TM by mono - window algorithm. Then mean-standard deviation method was employed to transform LST into thematic map of thermal categories. The basic spatial unit is 30m. By the scale with pixels on side of the grid cell, 2、3、4、5、6、7、8、9、10、15、20、25、30、35、40、45、50、60 and 70 basic cells were assembled using software ArcGIS. Several landscape metrics, including patch density (PD), Percentage of Landscape (PLAND), Largest Patch Index (LPI) and Shannon's Diversity Index (SHDI), were computed to detect the UHI pattern in different spatial scales. The scale effects of

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41171446,41171399);中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室开放研究基金资助(A0710,2010KF0006SA);教育部人文社科规划基金资助项目(11YJAZH016)

收稿日期:2011-07-18; 修订日期:2012-03-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenyingb@21cn.com

spatial grain sizes were analyzed under class and landscape levels.

The results demonstrated that as the spatial grain size increased, dominance of high thermal class decreased and transformed dramatically into neighbor thermal class. Scale effects appear significantly in class and landscape levels. The responding characteristics were varied by specific thermal class and landscape metrics. PD and FRAC_MN in both class and landscape levels were easier to predicted, indicating these two metrics could be treated as good methods of scaling in UHI pattern. Thresholds of grain size were obvious, such as grain size 150m of PD, PLAND, CLUMPY and CONTAG in the region. The appropriate grain extent (30—150m) was detected for calculating landscape metrics of UHI pattern. According to scale inflexions and response curves discussed in the paper, scale domains of landscape matrices were confirmed. Generally, from 30m to 150m was the scale domain to UHI pattern. That means that related ecological model of UHI can be scaled across this scale extent by ordinary transformation method. This study may offer useful information of UHI mechanism and scaling of UHI spatial model in future research.

Key Words: urban heat island; effects of grain size; pattern analysis; Zhujiang Delta

全球变暖和城市化带来的生态环境问题日益突出。其中,城市热岛分布特征及其成因引起人们的广泛关注^[1-5]。城市扩张造成热辐射强的硬质地表不断扩大,城市的高层建筑影响着空气的正常流动,人口密集和生产集中造成大气污染物浓度的升高,所有这些都对区域气候产生了明显的影响。开展因持续城市化所造成的生态环境效应研究对区域可持续发展显得愈加重要^[6-7]。热岛效应是较早被广泛关注的城市环境效应之一,它可作为表征城市景观格局演变所产生的生态过程及环境效应的综合体现。随着遥感技术和GIS分析方法的发展,利用遥感数据获取地表温度进行城市热岛研究已是被广泛采用的方式。尽管关于地表温度和热岛效应的研究已有大量成果报道,但往往限于热格局的定性描述和地表温度与土地利用类型的简单相关分析层面^[8],如何在中小尺度上定量分析和刻画城市热岛格局成为将热红外数据应用于城市气候研究的重要主题^[9]。

即使景观格局指数未能深入反映研究对象的生态学过程,但它高度浓缩了景观格局信息,能有效定量反映格局的结构组成和配置特征,它对景观格局特征的定量描述能力是毋庸置疑的^[10-11]。陈云浩^[12-13]借鉴景观生态学的研究方法提出“热力景观”概念,并研究了上海市热环境格局的时空变化状况。Weng 通过粒度变换分析美国印第安纳波利斯地表温度与 NDVI 及植被盖度的相关性,研究发现它们的负相关关系均在 120 m 尺度上达到最大值,显示操作尺度的存在^[14]。其后 Weng 进一步利用景观指数分析了该研究区土地利用格局与地表温度分布之间的互动关系^[15]。Liu 运用景观指数方法研究了不同季节土地利用格局对地表温度的影响,同时指出,引入景观指数分析方法将会推进城市热岛空间格局定量研究^[16]。城市热岛受尺度等因素影响,在时空分布上具有多重性^[17],其尺度效应仍未得到足够重视。尺度效应是导致景观现象复杂化的重要因素之一^[18]。基于单一尺度的分析结果往往只能提供整体景观特征的部分信息^[19],只有在连续的尺度序列上对其进行考察和研究,才能把握热岛格局的内在规律。尺度域是指大多数格局和过程发生的尺度范围^[20]。同一尺度域内格局及过程相似,推绎比较容易,当跨越多个尺度域时,由于过程在不同尺度上起作用,尺度推绎会变得复杂甚至不可能^[21-22]。因此尺度效应分析对准确揭示热岛形成过程及其格局特征有重要意义。本文利用 Landsat TM 遥感数据获取珠三角核心区城市地表温度,运用空间转移矩阵模型探讨随粒度变化热力斑块类型的面积转移情况,并分析区域热岛格局特征在类型和景观两个尺度水平上的粒度效应,分析城市热岛格局随尺度变化的规律性和依赖性,识别其尺度域特征,是定量城市热岛格局的前提工作。本研究可为日后热岛格局景观指数计算的适宜粒度选择及热岛景观格局尺度推绎提供参考。

1 研究方法

1.1 地表温度反演

珠江三角洲是华南地区经济发展最快的区域,也是城市最为密集的地区之一。自改革开放以来,珠江三

角洲经济高速发展,城市建筑用地一直呈快速扩张态势,由土地利用转换导致的热岛效应现象十分显著^[1,5,23]。考虑到遥感数据的时效性和可获得性,选取2006年11月10日Landsat TM(轨道号为122/44)遥感影像为数据源,从影像中裁剪珠三角中部核心区域,东西长150 km,南北宽120 km(图1)。研究区包括广州市中南部、东莞市全部、深圳市西部、佛山市中东部和中上市中北部和江门市西北部,基本上包括了珠江三角洲主要的城市群空间分布位置,对城市热岛格局研究具有较强代表性。

首先以广东省1:50000地形图为基准,对影像进行重投影和几何精校正,均方根误差控制在0.5个像元以内。然后对各波段像元值进行辐射定标,得到像元反射

率。最后利用单窗算法^[24]对处理后的TM影像进行地表温度反演。其中,为充分利用由植被盖度得到的地表比辐射率信息,并使地表温度数据能在更加细微的尺度上反映研究区热岛格局特征,对TM6重采样至30 m分辨率后代入进行栅格计算,得到的地表温度分布图分辨率同样为30 m。利用表现城市热岛效应分布特征能力较强的均值-标准差法^[25-26]对地表温度分布图划分等级,共划分为5级,分别为高温区、次高温区、中温区、次中温区和低温区,最终形成热力等级分类图(图1)。

1.2 粒度效应研究方法

1.2.1 粒度变换方法

粒度效应研究是对景观格局镶嵌图进行尺度上推(粗粒化),分别计算不同粒度下的景观格局指数,从中分析指数值随粒度变化特征^[27-29]。在ArcGIS软件的ArcToolbox下,运行Resample命令将原始热力等级分类图(栅格大小为30 m)通过聚合栅格像元的方式形成不同粒度大小的分类图。由于聚合后的像元都是正方形的,为便于说明,以聚合形成的矩形一边上的原始像元个数来表示粒度大小。考虑研究区范围及计算量,同时兼顾各水平上的采样粒度,本研究粗粒化粒度水平分别为1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、15、20、25、30、35、40、45、50、60、70。上述粒度大小对应的实际像元大小为边数与30 m的乘积。

1.2.2 空间信息转移

转移矩阵能定量分析不同时间和空间位置上班块类型的转出和转入信息,被广泛应用于土地利用/覆被变化研究中。本研究引入转移矩阵模型,分析热力等级分类图在不同粒度之间的信息转移情况。选取4、9和35粒度代表低、中、高3种粒度水平,在ArcGIS中将各粒度下的分类图转换为矢量数据后进行叠加分析,统计各热力等级面积转移情况。

1.2.3 景观格局指数选取与计算

景观格局指数有很多,但它们之间存在相关性和信息重复^[30]。参考前人研究成果^[27-29,31-32],在类型水平上,针对热力等级斑块的面积、形状、分布特征和连通性等选取斑块密度(PD)、斑块面积百分比(PLAND)、最大斑块指数(LPI)、平均分维数(FRAC_MN)、聚集度指数(CLUMPY)和分离度指数(DIVISION)共6个指标。在景观水平上,选取斑块密度、平均分维数、最大斑块指数、和蔓延度指数(CONTAG)、凝聚度指数(COHESION)、分离度指数、香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)共8个指标,从景观格局的形状、分布状态和多样性等方面研究热力等级景观水平特征的尺度效应。上述景观指数通过Fragstats 3.3计算得到。

2 结果与分析

2.1 面积转移特征

在ArcGIS中对粒度4、9和35分类图进行叠加分析,得到不同热力等级类型在两个空间粒度上的面积转

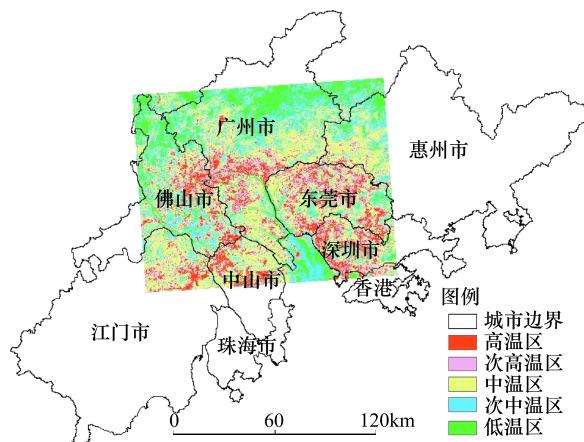


图1 研究区位置及遥感反演地表温度等级分布

Fig. 1 Location of study area and distribution of LST

移矩阵(表1、表2)。从两表中可以看出,随粒度的增大,各热力等级类型之间的面积转换剧烈。根据它们在不同空间粒度上的变化特征,可将其分为3类:增加型、减少型和稳定型。

表1 粒度从4到9时各热力等级类型之间的面积转移矩阵/km²

Table 1 Transforming matrix of area ratios of heat rank form gain 4 to 9

粒度4 Grain size 4	粒度9 Grain size 9					面积比例 Ratio of area/%	
	高温区 High temperature	次高温区 Sub-high temperature	中温区 Medium temperature	次中温区 Sub-medium temperature	低温区 Low temperature	粒度4 Grain size 4	粒度9 Grain size 9
高温区	1398.06	816.84	169.88	18.43	2.87	13.83	10.13
次高温区	289.51	1417.81	960.15	70.25	8.44	15.78	16.91
中温区	69.40	653.90	4373.36	1098.89	98.94	36.18	35.57
次中温区	5.14	42.17	601.21	2146.34	590.58	19.46	22.31
低温区	1.34	11.22	83.85	547.98	1923.53	14.76	15.08

表2 粒度从9到35时各热力等级类型之间的面积转移矩阵/km²

Table 2 Transforming matrix of area ratios of heat rank form gain 9 to 35

粒度9 Grain size 9	粒度35 Grain size 35					面积比例 Ratio of area/%	
	高温区 High temperature	次高温区 Sub-high temperature	中温区 Medium temperature	次中温区 Sub-medium temperature	低温区 Low temperature	粒度9 Grain size 9	粒度35 Grain size 35
高温区	462.92	947.29	310.26	40.13	2.85	10.13	4.14
次高温区 T	195.41	1353.84	1204.71	175.18	12.81	16.91	18.47
中温区	54.31	794.49	3756.31	1445.19	138.15	35.57	36.69
次中温区	6.15	97.43	942.53	2154.42	681.36	22.31	26.73
低温区	2.25	20.27	170.57	836.41	1594.86	15.08	13.97

次中温区属于增加型。粒度自4到9再增至35,次中温区面积比例依次为19.46%、22.31%和26.73%。次中温区面积的增加主要来源于中温区和低温区,如在粒度从4增至9的过程中,中温区有1098.89 km²转出次中温区,占转换后面积的28.31%。

高温区属于减少型,在本研究的粒度4、9和35下,其面积比例依次是13.83%、10.13%和4.14%。随粒度的增大,高温区面积主要流向次高温区和中温区。高温区在整个景观格局内属弱势斑块,总体面积比例和个体斑块面积都相对较小,在粒度粗化过程中不断被次高温区和中温区斑块类型吞并,导致斑块面积急剧下降。

次高温区、中温区和低温区属于稳定型,随粒度增大面积波动较小。在4、9和35三个粒度下,次高温区面积比例略有增加,增幅分别是0.13%和1.65%;中温区属于研究区热环境格局中的优势类型,随粒度增加面积变化不大;低温区比例依次是14.76%、15.08%和13.97%。

2.2 热岛格局类型水平的粒度效应

热环境格局类型特征的粒度效应如图2所示。从图上可以看出,随着粒度的增加,研究区内各景观指数值变化明显,并且不同景观指数和不同热力等级类型均表现出不同的变化趋势。当粒度增加至一定程度,景观指数变化曲线会出现明显拐点,这种尺度转折点往往预示着“临界粒度”的存在。当研究区粒度从1增至70时,类型水平的粒度效应表现出以下规律:

(1) 斑块密度指单位面积内斑块的个数,是斑块类型破碎化程度的简单度量方法。随着粒度的增加,各等级类型斑块均呈单调下降趋势(次高温区除外),且分段特征明显,在粒度3、6和15处出现明显拐点。当粒度从1增至3时,除次高温区外各类型斑块密度值急剧下降,其中低温区降幅最大。在粒度3至6之间,各热力等级斑块的曲线均呈弧状下降,而6至15粒度之间,斑块密度值下降幅度进一步减少,在更大的粒度上指数值逐渐趋于零。在所有等级类型中,高温区的斑块密度值一直保持最小,并且从前面对的空间信息转移分

析可知,高温区随粒度变化面积一直保持在较低水平,斑块面积比例小,破碎化程度相对较低。

(2)从粒度1至5,各等级类型斑块面积百分比曲线平直。但在粒度5和粒度10处出现拐点。当空间粒度大于5,按变化趋势可分为3类:次高温区、中温区和低温区斑块类

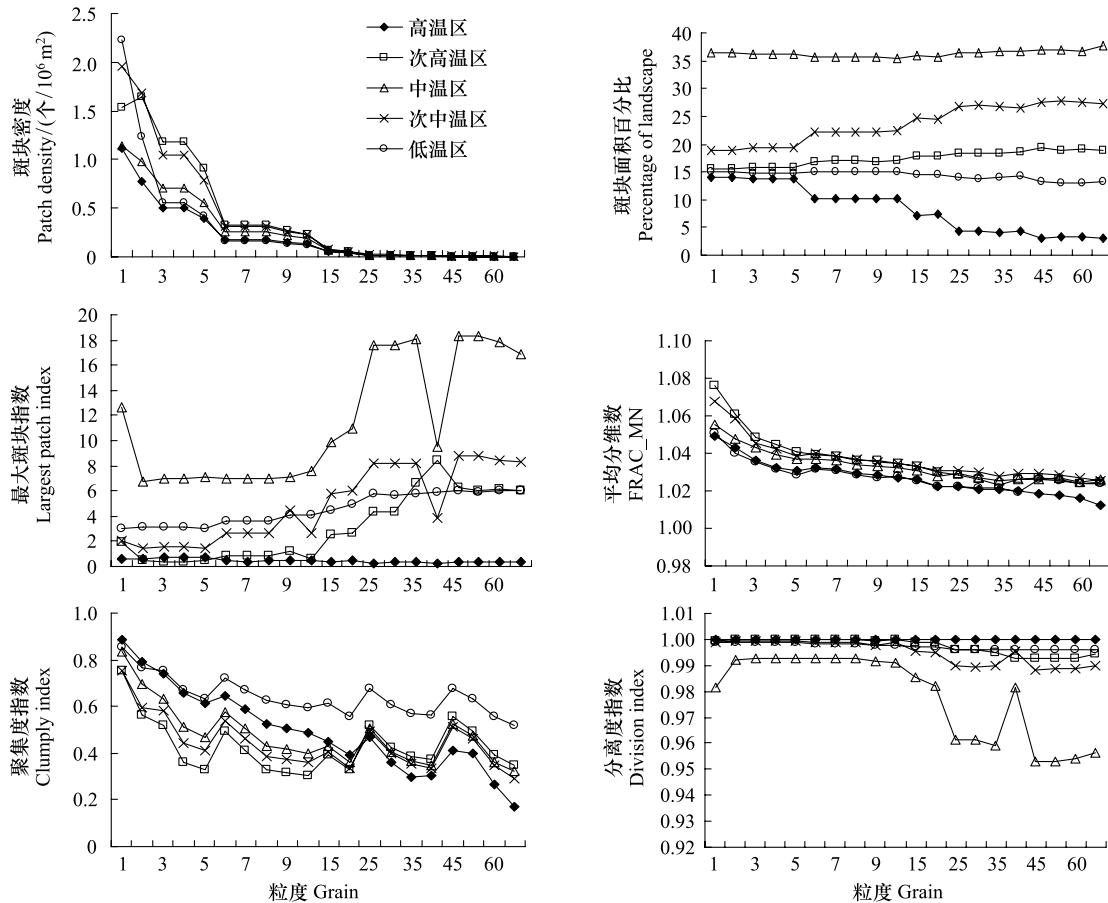


图2 类型水平上不同热力等级类型景观指数的粒度变化曲线

Fig. 2 Curve of landscape metrics in response to changing grain size for different thermal categories at class level

型曲线基本保持平稳,只有低温区曲线在粒度大于15后稍微下降;次高温区在粒度大于5后呈缓慢上升趋势;高温区在粒度6至10内曲线平直,粒度大于10时开始下降后曲线趋于平缓。

(3)在斑块类型水平上,最大斑块指数描述的是最大斑块的面积占整个景观面积的比例,表征斑块类型的优势度。在各粒度水平下,高温区始终保持在最低水平,说明在整个景观中它处于弱势斑块类型。随着粒度的增加,同样处于低水平状态的次高温区在粒度10上开始上扬,在粒度40处最大斑块指数跃至第二,仅次于一直保持优势斑块类型的中温区。中温区在粒度2处急降后在粒度2至9之间保持平稳,当粒度大于9时优势度进一步加强,但在粒度40处出现剧降的特异值,且与次高温区和次中温区有较好的对应。

(4)平均分维数从自相似性的角度衡量斑块类型形状的复杂性。随粒度增加,各等级类型曲线都呈现出下降趋势,且曲线形状十分相似,表示各类斑块形状随粒度增加都趋于规整。在粒度1至5上,平均分维数下降幅度较大,当粒度大于5时,降幅趋缓。

(5)聚集度指数反映斑块的聚集与分散状态。该特征曲线表明,随粒度的增加,各斑块类型曲线特征相似,聚散波动变化。总体上指数值基本大于0.2,表明在各粒度下所有类型斑块分布都较为集中。在粒度1处各类型呈聚集分布,当粒度增至5时,聚集度快速下降,斑块类型趋于零散分布,在粒度6处指数值上扬,其后在粒度6、25和45上均表现出较强的聚集度。高温斑块聚集度指数变幅最大,粒度1上其聚集度指数最高,但当空间粒度增至70时,指数值下降至最小。

(6) 随研究粒度的增大,高温区、次高温区和低温区分离度指数表现平直,并一直接近于1,反映研究区内这3种热力等级类型受粒度影响很小。在各粒度下中温区的分离度指数较小。在粒度1至10之间,次中温区粒度接近1,中温区曲线表现平直(粒度1至2处除外),当粒度大于10,中温区大幅下降,但在粒度40处出现较高值。

综合分析上述6个类型水平景观指数随粒度变化状况。除分离度指数外,其它指数在粒度5处均出现尺度转折点,临界现象十分明显,大于或小于临界粒度时景观指数变化十分明显,暗示着热岛格局特征这种粒度周围会发生剧烈变化,进行格局分析及预测模型推绎时应尽量避开这些地方,以避免造成偏差。各景观指数是在不同角度描述热岛格局,它们各自的临界粒度及尺度域特征也不一样。斑块密度、斑块面积百分比、平均分维数和聚集度指数在粒度5处曲线都出现明显变化,大于粒度5后曲线特征与较小粒度时差别很大。根据具有尺度转折点的景观指数的变化特征,可以划分出指数值随粒度变化的尺度域。如斑块密度主要尺度域为:(1,3)、(3,6),聚集度指数主要尺度域为:(1,5)、(6,20)。总体而言,(1,5)是热岛格局类型水平景观指数的尺度域,表明在30—150 m内构建的热岛格局预测模型可以在该尺度域内经简单转换后进行推绎。

2.3 热岛格局景观水平的粒度效应

从景观面积、形状、复杂性、连通性和分布特征角度,选取8个指标考察热环境格局在景观水平上对粒度变化的响应情况,如图3所示。

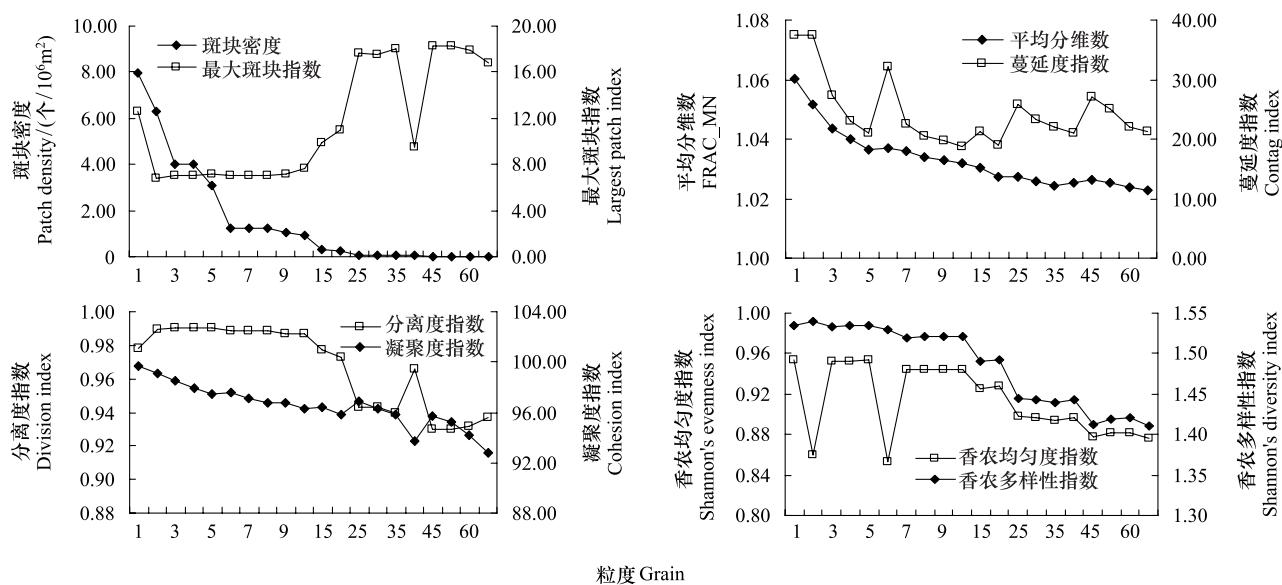


图3 景观水平景观指数的粒度变化曲线

Fig.3 Curve of landscape metrics in response to changing grain size at landscape level

从图3可以看出,随着研究粒度的增大,斑块密度、平均分维数、凝聚度指数和香农多样性指数均呈单调下降趋势。其中,斑块密度变化幅度较大,从粒度1开始,斑块密度急速下降,至粒度3出现转折,下降幅度减缓,粒度6后下降幅度进一步趋缓,当粒度大于25时,指数值很小,并且基本上无变化。从粒度响应曲线中可以明显看出斑块密度在粒度3、6和15处有明显尺度转换点。平均分维数在粒度1至5之间降幅较大,其后单调缓慢下降。凝聚度指数和香农多样性指数分别在粒度1至20、粒度1至10之间缓慢下降,二者在两粒度区间内受粒度变化的影响较小,当粒度持续增大,曲线呈波动下降态势。随粒度增加,像元不断分割、融合斑块,在这个过程中斑块面积较小,优势度较低的斑块被其它优势斑块吞并或重新组合,由此造成景观多样性大幅下降,景观连通性在斑块重新组合的过程中持续降低。

图3显示最大斑块指数、蔓延度指数、分离度指数和香农均匀度指数受粒度变化影响较大,曲线特征基本无规律性。最大斑块指数在粒度1至2上快速下降,后至粒度9处曲线基本保持平直,随空间粒度持续增大,

景观优势度快速上升,当粒度增至13后,除了在粒度16处出现谷值外,景观优势度基本不变。蔓延度指数在粒度2至5之间呈快速下降态势,其后跳跃波动变化,在粒度6、25和45处出现较高数值。在粒度2至10间,分离度指数平直,说明在该粒度范围内指数值基本不受空间粒度的影响,当粒度大于10时,指数值呈波动下降,对粒度变化响应敏感。香农均匀度指数在粒度2和6处均出现谷值,与香农多样性曲线特征差别明显,表明在这两个粒度附近指数值不同于香农多样性指数,受粒度变化影响很大。当粒度大于7,香农均匀度指数呈下降趋势,曲线特征与香农多样性指数相似。

上述分析表明各景观指数存在明显的“临界粒度”。如斑块密度的临界粒度为粒度3和6,与类型水平上的斑块密度尺度效应特征有很好的一致性。又如平均分维数在粒度5处出现不明显的尺度转折点,这跟类型水平上的指数的粒度响应特征十分吻合。根据各粒度转折点,可以将不同景观指数粒度效应曲线划分出不同尺度域。景观水平上的斑块密度和平均分维数尺度域与类型水平上一致。最大斑块指数和分离度指数尺度域主要为(2,10),这两种指数在上述尺度域内基本不受粒度变化影响,可预测性较强,在该尺度域内构建的预测模型可以经简单转换后进行推绎。凝聚度指数尺度域位于1至35之间,在该尺度区间内曲线单调变化。香农多样性指数尺度域为(1,10),香农均匀度指数尺度域是(10,70),且在该尺度域内曲线特征与香农多样性指数有很强的相关性。

3 结论与讨论

上述研究结果表明珠三角热岛格局特征受空间粒度变化影响明显,对区域热环境系统的描述依赖于特定的时空范围和组织水平的选择。研究表明,热力景观类型之间的面积转移情况与粒度密切相关,随空间粒度的增大,弱势斑块类型面积锐减,面积流向次高温区等相邻优势斑块。两个尺度水平上的景观指数受空间粒度变化影响十分明显,不同景观指数和不同等级类型均表现出不同的变化趋势。斑块密度、最大斑块指数和香农均匀度指数变化最大,表征景观复杂程度和自相似性的平均分维数变化规律性较强,表明分维数在尺度推绎中的优势^[22]。同一热力类型在不同指数上表现差异较大,规律不易把握,也反映单一景观指数用于格局分析的局限性^[28]。与土地覆被的粒度效应相似,“临界粒度”现象在热岛格局内也普遍存在,如斑块密度在两个尺度上都出现3和6粒度处的明显转折点。总体而言,粒度5(实际粒度为150 m)是热岛格局的临界粒度。对热环境格局进行景观指数计算的适宜粒度范围为30—150 m,可用于景观格局尺度推绎的尺度域为(30,150 m)。该尺度域内指数粒度曲线单调变化,空间尺度对热岛格局的影响具有较强规律性,对热岛格局预测模型做简单变换(如线性变换)后能用于推绎。

城市热岛格局的发生与演变过程异常复杂,要对其进行景观格局描述及建立预测模型时都要考虑尺度问题,加上人类认识的局限性,要通过人类观测、试验和模拟所有尺度上的热岛分布特征及其内在规律是不可能的,因此,通过尺度效应分析热岛格局在连续尺度序列上的格局特征,获取其尺度域分布规律,最后根据这些规律建立相应的热岛格局尺度推绎模型,对区域热岛研究有重要的理论和应用意义。本文是在前人对土地覆被景观格局粒度研究的基础上探讨城市热岛格局特征对空间粒度的响应,研究发现热岛格局的随粒度变化特征与土地覆被特征有一定的相似性,如斑块密度两个景观水平上的粒度响应曲线存在梯级状转折,与赵文武^[33]、申卫军^[27]和Wu^[32]的研究结果基本接近。由于地表温度记录的是地表覆盖物的热辐射能量,因此土地覆被性质会直接影响地表温度及热岛格局,热岛格局的粒度变化特征同样具有一般景观研究的规律,如多尺度相关^[14,34]和尺度依赖性^[35-36],因此城市热岛格局的结构和功能也可以通过多尺度信息分析及尺度推绎来开展研究。

References:

- [1] Chen X L, Zhao H M, Li P X, Yin Z Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 104(2): 133-146.
- [2] Zhou L M, Dickinson R E, Tian Y H, Fang J Y, Li Q X, Kaufmann R K, Tucker C J, Myneni R B. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(26): 9540-9544.

- [3] Sun Q Q, Wu Z F, Tan J J. Spatio-temporal changes of urban thermal environment with thermal centroid in Guangzhou. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(4) : 620-623.
- [4] Xiao R B, Ouyang Z Y, Zheng H, Li W F, Schienke E W, Wang X K. Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(2) : 250-256.
- [5] Rao S, Zhang H Y, Jin T T, Dou H Y. The spatial character of regional heat island in Pearl River Delta using MODIS remote sensing data. *Geographical Research*, 2010, 29(1) : 127-136.
- [6] Vitousek PM, Mooney H A, Lubchenco J, Melillo J M. Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 1997, 277(5325) : 494-499.
- [7] Owen TW, Carls on T N, Gillies R R. An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(9) : 1663-1681.
- [8] Voogt J A, Oke T R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(3) : 370-384.
- [9] Weng Q H. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2009, 64(4) : 335-344.
- [10] Turner M G, Gardner R H. Quantitative Methods in Landscape Ecology: The Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity. New York: Springer Verlag, 1991.
- [11] Li H B, Wu J G. Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*, 2004, 19(4) : 389-399.
- [12] Chen Y H, Li X B, Shi P J, He C Y. Study on spatial pattern of urban heat environment in Shanghai city. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(3) : 317-323.
- [13] Chen Y H, Shi P J, Li X B. Research on spatial thermal environment in Shanghai city based on remote sensing and GIS. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002, 31(2) : 139-144.
- [14] Weng Q H, Lu D S, Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89(4) : 467-483.
- [15] Weng Q H, Liu H, Lu D S. Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of Indianapolis, United States. *Urban Ecosystems*, 2007, 10(2) : 203-219.
- [16] Liu H, Weng Q H. Seasonal variations in the relationship between landscape pattern and land surface temperature in Indianapolis, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, 144(1/3) : 199-219.
- [17] Arnfield A J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 2003, 23(1) : 1-26.
- [18] Li S J, Zeng H, Xia J, Zhang L. Current situation and some intending problems of landscape spatial dynamic model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4) : 701-706.
- [19] Wu J G, Loucks O L. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *The Quarterly Review of Biology*, 1995, 70(4) : 439-466.
- [20] Wu J G, Hobbs R J. Key Topics in Landscape Ecology. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 119-120.
- [21] Wu J G. Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1999, 25(4) : 367-380.
- [22] Li S C, Cai Y L. Some scaling issues of geography. *Geographical Research*, 2005, 24(1) : 11-18.
- [23] Qian L X, Ding S Y. Influence of land cover change on land surface temperature in Zhujiang delta. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(5) : 761-770.
- [24] Qin Z H, Zhang M H, Karnieli A, Pedro B. Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from landsat TM 6 data. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(4) : 456-466.
- [25] Chen S L, Wang T X. Comparison analyses of equal interval method and mean-standard deviation method used to delimitate urban heat island. *Journal of Geo-Information Science*, 2009, 11(2) : 145-150.
- [26] Wang T X, Chen S L, Yan G J. Estimation of land surface parameters and spatio-temporal characteristics of urban heat island. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(5) : 697-702.
- [27] Shen W J, Wu J G, Lin Y B, Ren H, Li Q F. Effects of changing grain size on landscape pattern analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12) : 2506-2519.
- [28] Gong J Z, Xia B C, Li N, Guo L. Effects of spatial grain size on landscape pattern of land-cover types in the rapidly urbanized region. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7) : 2198-2206.
- [29] Wu J G. Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2009: 121-125.
- [30] Bu R C, Hu Y M, Chang Y, Li X Z, He H S. A correlation analysis on landscape metrics. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10) : 2764-2775.
- [31] Bu R C, Li X Z, Hu Y M, Chang Y, He H S. Scaling effects on landscape pattern indices. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12) :

2181-2186.

- [32] Wu J G. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. *Landscape Ecology*, 2004, 19(2): 125-138.
- [33] Zhao W W, Fu B J, Chen L D. The effects of grain change on landscape indices. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(3): 326-333.
- [34] Qi Y, Wu J G. Effects of changing spatial resolution on the results of landscape pattern analysis using spatial autocorrelation indices. *Landscape Ecology*, 1996, 11(1): 39-49.
- [35] Jelinski D E, Wu J G. The modifiable areal unit problem and implications for landscape ecology. *Landscape Ecology*, 1996, 11(3): 129-140.
- [36] Bian L, Stephen J. Walsh. Scale dependencies of vegetation and topography in a mountainous environment of Montana. *The Professional Geographer*, 1993, 45(1): 1-11.

参考文献:

- [3] 孙芹芹, 吴志峰, 谭建军. 基于热力重心的广州城市热环境时空变化分析. *地理科学*, 2010, 30(4): 620-623.
- [5] 饶胜, 张惠远, 金陶陶, 窦浩洋. 基于 MODIS 的珠江三角洲地区区域热岛的分布特征. *地理研究*, 2010, 29(1): 127-136.
- [12] 陈云浩, 李晓兵, 史培军, 何春阳. 上海城市热环境的空间格局分析. *地理科学*, 2002, 22(3): 317-323.
- [13] 陈云浩, 史培军, 李晓兵. 基于遥感和 GIS 的上海城市空间热环境研究. *测绘学报*, 2002, 31(2): 139-144.
- [18] 李书娟, 曾辉, 夏洁, 张磊. 景观空间动态模型研究现状和应重点解决的问题. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 701-706.
- [22] 李双成, 蔡运龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨. *地理研究*, 2005, 24(1): 11-18.
- [23] 钱乐祥, 丁圣彦. 珠江三角洲土地覆盖变化对地表温度的影响. *地理学报*, 2005, 60(5): 761-770.
- [24] 翟志豪, Zhang M H, Karniel A, Berliner P. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法. *地理学报*, 2001, 56(4): 456-466.
- [25] 陈松林, 王天星. 等间距法和均值-标准差法界定城市热岛的对比研究. *地球信息科学学报*, 2009, 11(2): 145-150.
- [26] 王天星, 陈松林, 阎广建. 地表参数反演及城市热岛时空演变分析. *地理科学*, 2009, 29(5): 697-702.
- [27] 申卫军, 邬建国, 林永标, 任海, 李勤奋. 空间粒度变化对景观格局分析的影响. *生态学报*, 2003, 23(12): 2506-2519.
- [28] 龚建周, 夏北成, 李楠, 郭沫. 快速城市化地区土地覆盖景观特征的粒度效应. *生态学报*, 2006, 26(7): 2198-2206.
- [29] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2009: 121-125.
- [30] 布仁仓, 胡远满, 常禹, 李秀珍, 贺红士. 景观指数之间的相关分析. *生态学报*, 2005, 25(10): 2764-2775.
- [31] 布仁仓, 李秀珍, 胡远满, 常禹, 贺红士. 尺度分析对景观格局指标的影响. *应用生态学报*, 2003, 14 (12): 2181-2186.
- [33] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 景观指数的粒度变化效应. *第四纪研究*, 2003, 23(3): 326-333.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32 ,No. 12 June ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China	SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, WU Tao, et al (3645)
Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland	ZHANG Quanjun, YU Xiubo, QIAN Jianxin, et al (3656)
Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City	FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, et al (3670)
Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu	YE Chun, LI Chunhua, WANG Qiuguang, et al (3681)
The concentrations distribution and composition of nitrogen and phosphor in stormwater runoff from green roofs	WANG Shumin, HE Qiang, ZHANG Junhua, et al (3691)
Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna	HE Xianjin, WU Pengfei, CUI Liwei, et al (3701)
Investigation of populations of parasitic wasps parasitizing <i>Carposina sasakii</i> Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) in jujube orchards in China, with respect to the wasp-host relationship	YAO Yanxia, ZHAO Wenxia, CHANG Jupu, et al (3714)
Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model	ZOU Lili, CHEN Xiaoxiang, HE Ying, et al (3722)
Combined effects of temperature, salinity and pH on the clearance rate of juveniles of <i>Pinctada martensii</i> (Dunker)	ZHU Xiaowen, WANG Hui, LIU Jin, et al (3729)
Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system	ZHAO Liping, YANG Guiming, ZHAO Tongke, et al (3737)
Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe river	ZHANG Junhua, LI Guodong, NAN Zhongren (3745)
Effects of DEM resolution and watershed subdivision on hydrological simulation in the Xingzi watershed	QIU Linjing, ZHENG Fenli, YIN Runsheng (3754)
Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis	GUO Guanhua, CHEN Yingbiao, WEI Jianbing, et al (3764)
Landscape connectivity analysis for the forest landscape restoration; a case study of Gongyi City	CHEN Jie, LIANG Guofu, DING Shengyan (3773)
Carbon footprint analysis on urban energy use: a case study of Xiamen, China	LIN Jianyi, MENG Fanxin, CUI Shenghui, et al (3782)
The ecological footprint of alpine pastures at the village-level; a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China	WANG Lucang, GAO Jing (3795)
The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu	LI Chunhua, YE Chun, ZHAO Xiaofeng, et al (3806)
The biomass of <i>Bashania fargesii</i> in giant pandas habitat in Qinling Mountains	DANG Kunliang, CHEN Junxian, SUN Feixiang, et al (3816)
Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte <i>Limonium aureum</i> (L.) Hill	YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, et al (3825)
Liana-host tree associations in the tropical montane primary forest and post-harvest forest of Bawangling, Hainan Island, China	LIU Jinxian, TAO Jianping, HE Zeet al (3834)
The response of photosynthetic characters and biomass allocation of <i>P. bournei</i> young trees to different light regimes	WANG Zhenxing, ZHU Jinmao, WANG Jian, et al (3841)
Genetic variation among populations of the endangered <i>Sinocalycanthus chinensis</i> based on morphological traits and ISSR profiles	JIN Zexin, GU Jingjing, LI Junmin (3849)
Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter	JIANG Qingbiao, ZHAO Xiupei, GAO Lushuang, et al (3859)
Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant <i>Alcimandra cathcartii</i>	YUAN Chunning, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al (3866)
The water consumption and water use efficiency of the seedlings of <i>Eucalyptus grandis</i> and other five tree species in Sichuan Province	HU Hongling, ZHANG Jian, WAN Xueqin, et al (3873)
Effects of leaf litter of <i>Cinnamomum septentrionale</i> on growth and resistance physiology of <i>Brassica rapa</i> in the decomposition process of litter	HUANG Weiwei, HU Tingxing, ZHANG Niannian, et al (3883)
Water transport velocity and efficiency in <i>Quercus variabilis</i> detected with deuterium tracer and thermal dissipation technique	SUN Shoujia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3892)
The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification	ZHANG Xianqiang, ZENG Jianjun, CHEN Jinwu, et al (3902)
Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community	CHEN Lin, GU Jie, GAO Hua, et al (3912)
Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in <i>Eurya obtusifolia</i>	WANG Qian, DENG Hongping, DING Bo, et al (3921)
Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China	HE Qijin, ZHOU Guangsheng (3931)
Effects of uniconazole dry seed dressing on nitrogen accumulation and translocation and kernel protein quality in wheat	FAN Gaoqiong, YANG Enmian, ZHENG Ting, et al (3940)
Review and Monograph	
International comparison and policy recommendation on the development model of industrial symbiosis in China	SHI Lei, LIU Guoguo, GUO Siping (3950)
Scientific Note	
The Change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years	ZHANG Guokun, LU Jinghua, SONG Kaishan, et al (3958)
Footprint analysis of turbulent flux over a poplar plantation in Northern China	JIN Ying, ZHANG Zhiqiang, FANG Xianrui, et al (3966)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 12 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 12 (June, 2012)

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:1000717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 1000717, China

印 刷 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

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

订 购 国 外 发 行
全国各 地邮局
中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 1000717, China
Tel: (010) 64034563
E-mail: journal@cspg.net

广 告 经 营 许 可 证
京海工商广字第 8013 号

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

ISSN 1000-0933
12>

9 771000093125

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