

滇池流域建设用地景观格局与滇池水质关系分析

张洪, 雷冬梅, 黎海林, 陈震

(云南财经大学 城市与环境学院, 云南 昆明 650221)

摘要: 运用灰色关联度分析法, 研究了高原湖滨区滇池流域建设用地的景观格局指数与滇池水体的 TN, TP 浓度变化之间的关系。结果表明, 1988—2008 年, 滇池草海与外海 TN, TP 浓度呈不断上升的趋势; 滇池流域建设用地斑块的团聚程度和整合性升高, 建设用地斑块间距离变小, 大面积的建设用地增多, 且建设用地斑块形状趋于复杂, 具有不规则的特征; 滇池流域建设用地对水质的影响与其景观空间格局关系密切, 特别是聚合度和面积加权的平均斑块分维数。要保证该地区迅速发展的城市化背景下的水环境安全, 滇池流域土地利用调整的基本方向是在湖滨带地区, 保留足够的生态用地, 避免建设用地的过度整合及大面积建设用地的形成。

关键词: 建设用地; 景观; 水质; 滇池流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0103-05

中图分类号: X143

Relationship Between Landscape Pattern of Construction Land in Dianchi Lake Basin and Water Quality in Dianchi Lake

ZHANG Hong, LEI Dong-mei, LI Hai-lin, CHEN Zhen

(School of Urban and Environment, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming, Yunnan 650221, China)

Abstract: Grey correlation coefficient analysis was employed to explore the relationship between landscape pattern indices of construction land in Dianchi Lake basin and water TN, TP concentrations in Dianchi Lake. The results showed that the concentration of TN and TP in Caohai and Waihai of Dianchi Lake had been increasing obviously during 1988—2008; In Dianchi Lake basin, the agglomeration and integration level and size of construction land patches increased constantly while the distance between the land use patches decreased, the shape of the land use patch tends to be more complex and irregularly; the impacts of construction land use on water quality were closely related with the spatial land use pattern, especially the degree of polymerization and the mean area-weighted of fractal dimension. To guarantee the water safety for the rapid development of urbanization in Dianchi Lake basin, the basic land-use adjustments to retain sufficient ecological land in the lakeside area, to avoid the excessively integration of construction land and the formation of big size of construction land patches was proposed.

Keywords: construction land; landscape; water quality; Dianchi Lake basin

滇池流域是云南省城市化水平最高的区域, 是典型的高原湖滨区, 日趋严重的滇池水环境恶化与富营养化问题, 严重制约着湖滨地区社会经济的可持续发展。高原湖滨区与我国东部平原湖滨区相比较, 其汇水面小, 水量供给系数低, 水量交换系数小, 湖泊换水周期长, 其湖泊生态系统更为脆弱。城镇化进程对水体造成的影响更加突出与严重, 甚至威胁到整个区域的水环境安全。因此, 研究滇池水质的影响因素, 对维护流域水环境安全及区域可持续发展都具有重要的现实意义。研究表明^[1-2], 建设用地与水体污染物

浓度存在显著正相关关系, 因为建设用地的扩张改变了滨湖地区的土地利用方式, 增加不透水层面积, 破坏了原有水系格局和交换的能力, 降低了水环境容量和对污染物的稀释、净化和吸纳能力^[3]。建设用地对水体的污染不仅与社会经济水平、城镇用地面积、不透水地面比例有关, 还与城镇空间格局有关^[4]。目前对全流域土地利用格局与水质关系的研究已经展开^[5-6], 但是, 对城镇空间格局与水质变化之间关系的研究还较少。且一些国内研究都集中于东部地区^[7-8], 对高原湖滨区关注较少。

收稿日期: 2012-08-22

修回日期: 2012-11-09

资助项目: 国家自然科学基金项目“生态视角下云南高原湖滨城市土地集约利用模式与管理机制研究”(70863014)

作者简介: 张洪(1958—), 男(汉族), 四川省成都市人, 教授, 硕士生导师, 主要从事城市土地管理和 GIS 应用研究。E-mail: zhanghong0957@126.com。

本研究以典型高原湖滨区——滇池流域为研究对象,采用灰色关联分析方法,研究滇池流域建设用地景观格局与滇池水质的关系,目的在于:(1)证实建设用地对水质的影响与其空间格局有关。(2)基于建设用地与水质的关系,从景观格局角度,提出滇池流域土地利用的调整方向。以期为该地区迅速发展的城市化背景下水环境安全的保障提供建议。

1 研究区概况

滇池流域位于云贵高原中部,地理位置为东经 $102^{\circ}29'$ — $103^{\circ}01'$,北纬 $24^{\circ}29'$ — $25^{\circ}28'$,地处长江、珠江和红河三大水系分水岭地带,属北亚热带湿润季风气候,范围包括昆明市盘龙、五华、西山、官渡四区及呈贡、晋宁、嵩明等县市区部份地区,流域面积为 $2\,840.7\text{ km}^2$ 。整个流域为南北长、东西窄的湖盆地,地形可分为山地丘陵、淤积平原和滇池水域 3 个层次。滇池是该流域主要的水域组成部分,面积为 250 km^2 ,具有水源地、防洪、旅游、航运、水产养殖、调节气候等功能。滇池水体环境污染是滇池流域的最主要环境问题,能直观反映出滇池流域的整体环境质量,其主要污染物是 N 和 P。

2 研究方法

2.1 数据来源

滇池水体的水质监测数据 1988—2008 年(TN, TP)主要来自于云南省环境保护局的监测数据。滇池流域遥感数据为 1988—2008 年的 Landsat-5

(TM)遥感卫星图片。

2.2 滇池流域城镇建设用地的提取

建设用地主要包括城镇居住与商业用地、教育科研用地、农村居民地、交通道路、工业用地等类型。其明显特征是地表被非渗水面全部或部分覆盖。遥感影像中同时满足以下条件的像元,被分类为城镇建设用地:NDBI 值 >0 ;MNDWI 值 >-0.37 ;NDVI 值 <0.1 ,且 5 波段像元值 <100 。

2.3 景观指数的选取

不同的土地利用类型空间格局可能对水质变化产生不同的影响,其景观格局可通过景观指数来衡量。采用 Fragstats 3.3 景观计算软件,可以在 3 个级别上(斑块、类型、景观)计算景观指数。但由于很多指标之间是高度相关,而且本研究主要以分析景观结构为主,所选指标主要是为反映景观最基本的结构信息,因此具体选用了斑块个数(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、连通度指数(COHES)、聚合度(AI)、平均斑块分维数(FRAC_MN)、面积加权的平均斑块分维数(FRAC_AM)、平均欧氏邻近距离(ENN_MN)、面积加权的平均形状指数(SHAPE_AM)等指数进行分析。本研究选取的景观指数及其生态意义详见表 1。

在指数计算过程中,先在 ENVI 软件中将遥感影像转成标准格式,导入 Fragstats 3.3 软件,通过文本文件建立影像属性文件并修改扩展名,在 run parameters 界面中的属性栏中添加影像数据文件,选择要计算的指数,执行指数计算即可获取相应指数的量值。

表 1 景观格局指数及其生态意义描述

编号	景观指数	生态意义
1	斑块个数(NP)	景观异质度
2	斑块密度(PD)	景观破碎化程度
3	最大斑块指数(LPI)	景观优势度
4	连通度指数(COHES)	同类像元间的连通程度
5	聚合度(AI)	同类斑块类型的团聚程度
6	平均斑块分维数(FRAC_MN)	斑块的复杂程度
7	面积加权的平均斑块分维数(FRAC_AM)	斑块的复杂程度
8	平均欧氏邻近距离(ENN_MN)	度量景观的空间格局,同类斑块间的距离程度,距离近干扰大,距离远,干扰小
9	面积加权的平均形状指数(SHAPE_AM)	度量斑块形状复杂性与规则程度

2.4 统计分析方法

利用统计分析软件 SPSS 进行各水质监测数据与城镇建设用地景观指数之间的灰色关联度分析。

3 结果与分析

3.1 滇池水质特征

1988—2008 年滇池草海与外海水质状况详见表

2。从表 2 可以看出,随着时间的推移,滇池水体质量呈恶化趋势,与 1988 年相比,草海 2008 年 TN 和 TP 分别上升了 58.02% 与 203.17%;外海 2008 年 TN 和 TP 分别上升了 82.71% 与 5.00%;总体而言,外海的水质优于草海。

3.2 滇池流域城镇建设用地景观格局特征

1988—2008 年滇池流域土地利用现状如附图 2

所示,其城镇建设用地景观格局特征分析结果详见表3。利用 ArcGIS 地理信息系统软件中的面积统计功能,由附图2可知,1988年滇池流域建设用地面积为129.8 km²,占整个流域面积的4.6%,而到2008年,建设用地面积为397.1 km²,占整个流域面积的14.0%。从表3可以看出,变化较大的景观格局指标有 AI, COHESION, LPI, ENN-MN, SHAPE-AM 等5个指标,其余指标变化幅度较小。AI 表示建设用地的斑块聚合度,其值从1988年的70.5%上升至2008年的82.5%,说明同类拼块类型的团聚程度越来越高;LPI 表示建设用地中最大拼块占整个景观面积的比例,该值从1988年的2%上升至2008年的9.5%,说明建设用地的面积越来越多,人类的城镇化活动不断加强;COHESION 表示斑块的整合性,从1988年的96.25%上升至2008年的99.4%,说明滇池流域建设用地的整合性进一步加大;ENN-MN 从1988年的118 m 下降至2008年的108 m,说明建设用地斑块间的距离变小,逐渐呈团聚分布;SHAPE-AM 从1988

年的9 上升至2008年的27,说明建设用地斑块形状越来越复杂,呈现不规则的特征。

表2 1988—2008年滇池草海与外海水质状况 mg/L

流域	项目	1988年	1993年	1998年	2003年	2008年
草海	TN	9.72	5.44	7.56	12.30	15.36
	TP	0.41	0.88	0.55	1.15	1.24
外海	TN	1.33	1.42	1.96	2.05	2.43
	TP	0.12	0.15	0.29	0.155	0.126

PD, FRAC_MN, FRAC_AM 这3个指标变化幅度较小。PD 表示建设用地景观破碎化程度,1988—2008年该值变动很小,维持在 6.1×10^{-2} 个/hm²的水平,说明建设用地斑块没有发生破碎化现象。FRAC_MN 和 FRAC_AM 都表示斑块的复杂程度,前者从1988年的1.037 2 上升至2008年的1.04,后者从1988年的1.205 上升至2008年的1.3,说明20 a期间滇池流域建设用地的复杂程度没有发生较显著的变化。

表3 1988—2008期间滇池流域城镇建设用地景观格局特征

景观指数	1988年	1993年	1998年	2003年	2008年
NP/个	17 600	17 800	18 000	17 800	17 600
AI/%	70.5	72.5	74.5	78.5	82.5
PD/(个·10 ⁻² hm ⁻²)	6.1	6.15	6.2	6.15	6.1
LPI/%	2.00	3.25	4.50	7.0	9.50
COHESION/%	96.25	97.35	98.45	98.93	99.40
ENN_MN/m	118	114	110	109	108
FRAC_MN	1.037 2	1.037 7	1.038 2	1.039 1	1.040 0
FRAC_AM	1.205 0	1.237 5	1.270 0	1.285 0	1.300 0
SHAPE_AM	9	13	17	22	27

注:各景观指数的生态意义详见表1。下同。

3.3 滇池流域建设用地景观指数与水质的灰色关联度分析

滇池流域建设用地景观格局指数与水质的灰色关联分析结果详见表4。从表4可以看出:(1)滇池水质的两个监测点,即草海与外海,相同指标与流域建设用地景观指数的灰色关联分析结果存在差异。以TP为例,对草海而言,影响最大的是SHAPE_AM 指标(关联度为0.80),最小的是ENN_MN 指标(关联度为0.58);而在外海,影响最大的是FRAC_AM 指标(关联度为0.87),最小的是LPI 指标(关联度为0.71)。(2)不同水质监测指标,即TP和TN,在同一监测区域与流域建设用地景观指数的灰色关联分析结果也存在差异。以草海为例,对TP影响最大的是SHAPE_AM 指标(关联度为0.80),最小的是ENN_MN 指标(关联度为0.58);而对TN影响最大的是

AI 指标(关联度为0.87),最小的是LPI 指标(关联度为0.57)。(3)综合草海与外海两个监测点及两个监测指标的分析结果,对滇池水质影响的景观指标排序为:AI>FRAC_AM>NP, FRAC_MN, PD, COHESION>ENN_MN>SHAPE_AM>LPI。其中,影响水质最大的景观指标是AI,关联度达到0.80,影响最小的景观指标是LPI,关联度只有0.64。

4 结果讨论

4.1 滇池流域建设用地对滇池水质的影响

1988—2008年滇池外海与草海水体的TN和TP浓度持续升高,水质进一步恶化;建设用地斑块的团聚程度和整合性升高,建设用地斑块间距离变小,建设用地面积增多,且建设用地斑块形状趋于复杂,具有不规则的特征。其主要原因是滇池流域城镇化进

程的加快。近 30 a 来,随着昆明市主城扩张和滇池流域城镇化发展,滇池水质呈迅速下降趋势,从 20 世纪 70 年代的 III 类水质下降为现在的劣 V 类水质。从 20 世纪 90 年代初开始,昆明市主城区建设用地急剧扩张(本研究结果显示,与 1998 年建设用地为 181.9 km² 相比,2008 年建设用地达到 397.1 km²,增加了 118%),加上主城郊区农业活动剧烈,生产过程中大量使用化肥,对滇池草海水质迅速恶化有重要的影响。已有研究表明^[9],滇池流域城镇村工矿建设用地显著提高了流域总磷量的排放。灰色关联分析结果表明,滇池流域建设用地对水质的影响,与其景观空间格局关系密切,特别是 AI 和 FRAC_AM;并且由于水质监测点及监测指标的不同,景观指标与其的关联度存在差异。关于建设用地对水质的影响机理,一般认为,城市化过程中树木植被的减少降低了蒸发量和截流量,增加了河流沉积量,房屋、街道的建设降低了地表渗透和地下水位,增加了地表径流量和下游潜在洪水的威胁。随着城镇化建设的发展、人口的增多以及城市道路路面的不透水性,使得人类生产和生活中所产生的大量垃圾、污水随雨水流入河流和湖

泊,导致水体营养盐急剧增多,水质恶化^[10-11]。城镇地表径流携带 N、P 等污染物质和杂物进入河流或湖泊污染地表水和地下水^[12-13],从而导致湖泊水体污染。Sonzogni 等人^[14]的研究表明,来源于农田和城市用地的总悬浮颗粒物(TSS),TP 和 TN 含量是林地和撂荒地的 10~100 倍。不仅如此,商业用地、工矿用地、城市居民地和交通道路等土地利用类型是城市土地利用类型中最重要的几种污染源^[15]。本研究认为水质的恶化与建设用地斑块的聚合程度及复杂程度有很大的关联性,建设用地团聚程度越大,形状越复杂,增加了水质恶化的威胁。这与相关研究的结果类似。例如,孙芹芹等^[7]对福建省九龙江流域城镇建设用地与河流水质关系研究后发现,城镇建设用地对水质的影响不仅与其在流域内的面积比例有关,而且与其空间格局关系密切,特别是最大斑块指数和景观形状指数。而 Conway^[16]的研究表明,研究区域水体质量对城镇建设用地中不透水地面的面积变化非常敏感,不透水地面百分比超过 2.4% 后即开始对水体质量造成影响,并认为城镇建设用地面积比例与水质之间具有更强的相关性。

表 4 滇池流域建设用地景观指数与水质灰色关联分析

项目	NP	AI	FRAC_MN	PD	COHESION	FRAC_AM	LPI	ENN_MN	SHAPE_AM
TP 草海	0.59	0.61	0.59	0.59	0.59	0.60	0.64	0.58	0.80
TP 外海	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.71	0.84	0.76
TN 草海	0.85	0.87	0.85	0.85	0.85	0.85	0.57	0.85	0.67
TN 外海	0.82	0.84	0.82	0.82	0.82	0.83	0.63	0.80	0.75
关联度	0.78	0.80	0.78	0.78	0.78	0.79	0.64	0.77	0.75
关联序	3	1	3	3	3	2	9	7	8

4.2 滇池流域土地利用方向调整建议

本研究结果表明,滇池流域建设用地与滇池水环境主要污染指标之间存在关联,进一步说明土地利用类型的变化对滇池水环境变化具有明显的影响。已有的相关研究也佐证了这一论点。在流域尺度上,土地利用类型及其空间分布影响着水体水质污染状况^[17],即土地利用的空间异质性。在对于土地利用与土地覆盖类型的空间布局是否会对水质产生影响的研究上,现在国际上仍在进行着探讨,一些研究者^[18-19]认为,在流域内部靠近河流处的土地利用类型对河流水质的影响要显著于流域上部的土地利用类型。但是另外一些研究者^[20]则认为,在大流域里因为水文环境的多样性使得流域上部的土地利用类型与靠近河流处的土地利用类型在对河流水质的影响上,它们的重要性是一样的。郑丙辉等^[21]研究表明,滇池流域城镇用地的增加,大都发生在湖滨带地区,

而这个地区是湖泊重要的缓冲区,对湖泊生态环境防护有重要意义。在城镇用地比例高的区域和交通干线附近,大气污染、水污染严重,固体废物容易进入湖泊。城镇用地的大幅增加,在增加非点源污染负荷的同时,破坏了湖泊缓冲保护区。使得残留在地面的非点源污染物更易于被汇集到河道,进入湖泊,直接导致自然生态系统不堪重负而失去自我调节能力。综上分析,为了保证滇池流域的水环境安全,要特别注重滇池湖滨带地区的土地利用格局调整,保留足够的生态用地,注意控制建设用地的聚合和整合,控制大面积大范围范围的建设用地形成,增加建设用地地块间的距离,将有助于降低滇池水质污染的风险。滇池湖滨带为滇池水域的变化带和保护滇池水域的过渡带,是滇池水体不可分割的水陆交错地带,其具体范围是正常高水位 1 887.4 m 水位线向陆地延伸 100 m 至湖内 1 885.5 m 之间的地带。然而,20 世纪 60 年

代以来,原有湖滨湿地被改作耕地、鱼塘,湖滨大量农用地被蚕食用于建设建筑物,使其散失了固有的阻截、消纳污染物的生态功能。因此,实施湖滨生态湿地建设工程和土地利用结构调整,对进一步改善滇池湖泊水质将发挥着重要的作用。

5 结论

(1) 由于城镇化进程的加快,1988—2008年滇池外海与草海水质进一步恶化;建设用地的团聚程度和整合性升高,形状趋于复杂,同类斑块间距离变小,大面积的建设用地增多。

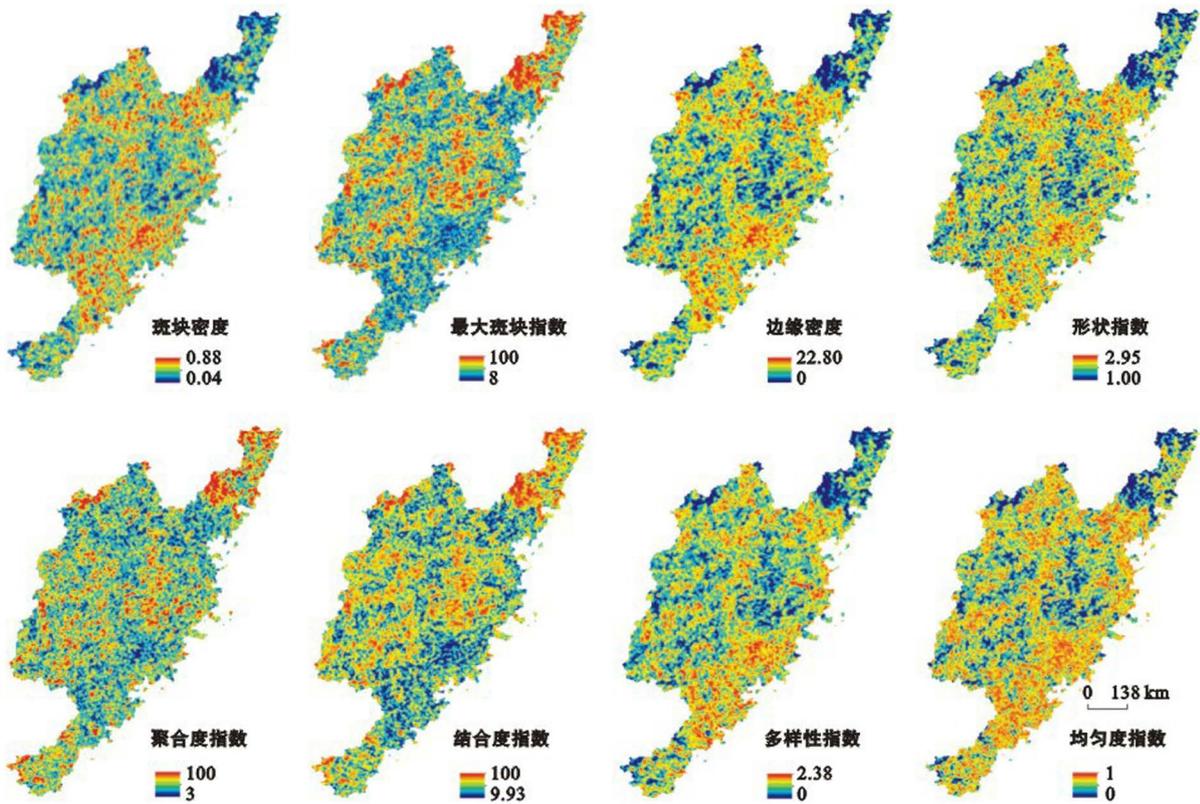
(2) 滇池流域建设用地对水质的影响不仅与其景观空间格局关系密切,而且由于水质监测点及监测指标的不同存在差异;滇池水质的恶化与滇池流域建设用地斑块的聚合程度及复杂程度有很大的关联性。

(3) 随着城市化进程的进一步加快,应在滇池流域中保留足够量的生态用地,特别是在湖滨带地区,节约集约利用建设用地,这是滇池流域土地利用调整的基本方向。避免建设用地的过度整合,及大面积建设用地的形成。

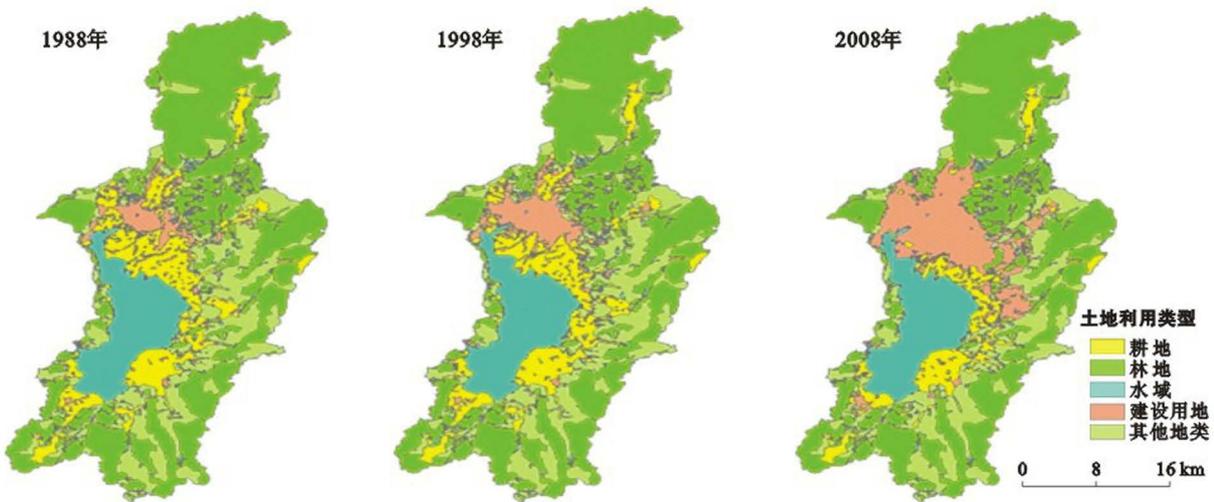
(4) 今后的研究应选取更高分辨率的影像数据和更多时期的水质监测数据,从不同水文季节、不同城镇建设用地类型等角度更深入地分析建设用地对水质影响的机制。

[参 考 文 献]

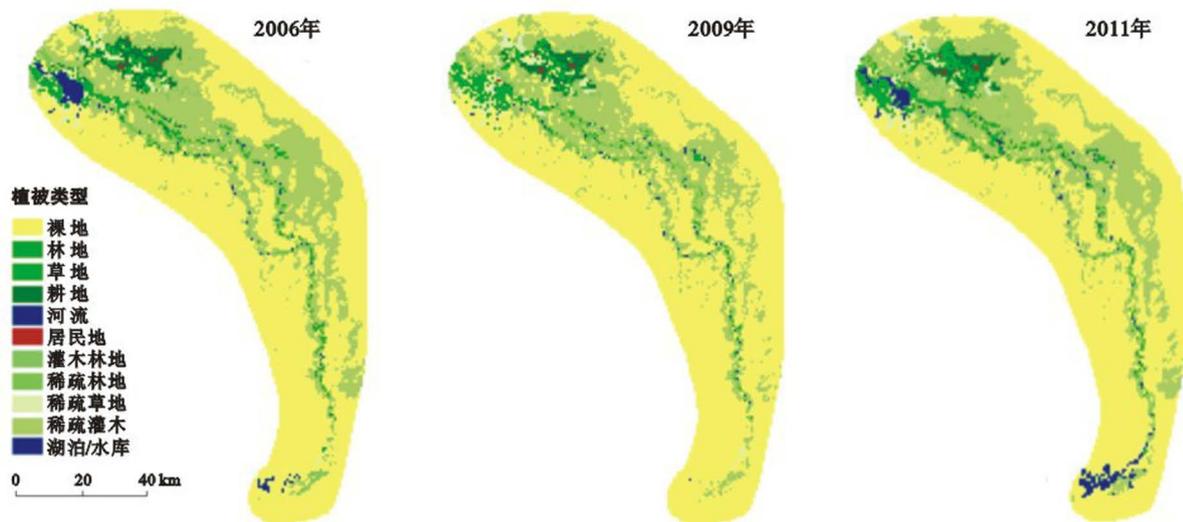
- [1] 郭青海,马克明,张易. 城市土地利用异质性对湖泊水质的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 776-787.
- [2] Ha H J, Stenstrom M K. Identification of land-use with water quality data in stormwater using a neural network [J]. Water Research, 2003, 37(17): 4222-4230.
- [3] 孙伟,陈雯,段学军,等. 基于生态—经济重要性的滨湖城市土地开发适宜性分区研究:以无锡市为例[J]. 湖泊科学, 2007, 19(2): 190-196.
- [4] Morse C, Huryn A, Cronan C. Impervious surface areas as a predictor of the effects of urbanization on stream insect communities in Maine, USA [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2003, 89(1): 95-127.
- [5] 刘伟,苏睿先,陈振楼. 上海郊区中心小城镇半城市化特征及其对水环境的影响实例研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(8): 252-255.
- [6] 史培军,袁艺,陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1041-1049.
- [7] 孙芹芹,黄金良,洪华生,等. 九龙江流域城镇建设用地与河流水质关系研究[J]. 环境科学, 2011, 23(10): 2849-2854.
- [8] Xi Junyu, Cho Namng. Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban-rural transects: A case study of Guangzhou, China [J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 79(1): 96-109.
- [9] 张洪,黎海林,陈震. 滇池流域土地利用动态变化及对流域水环境的影响分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 92-96.
- [10] Preston C D, Sheail J, Armitage P, et al. The long-term impact of urbanization on aquatic plants: Cambridge and the River Cam [J]. The Science of the Total Environment, 2003, 314(1): 67-87.
- [11] 杨柳,马克明,郭青海,等. 城市化对水体非点源污染的影响[J]. 环境科学, 2004, 25(6): 32-39.
- [12] 罗为检,王克林,罗明. 土地利用及其格局变化的环境生态效应研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 150-152.
- [13] Schröder J J, Scholefield D, Cabral F, et al. The effects of nutrient losses from agriculture on ground and surface water quality: The position of science in developing indicators for regulation [J]. Environmental Science & Policy, 2004, 7(1): 15-23.
- [14] Sonzogni W C, Chesters G, Coote D R, et al. Pollution from land runoff [J]. Environmental Science and Technology, 1980, 14(2): 148-153.
- [15] Tong S T Y, Chen Wenli. Modeling the relationship between land-use and surface water quality [J]. Journal of Environmental Management, 2002, 66(4): 377-393.
- [16] Conway T. Impervious surface as an indicator of pH and specific conductance in the urbanizing coastal zone of New Jersey, USA [J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85(2): 308-316.
- [17] Schoonover J E, Lockaby B G. Land cover impacts on stream nutrients and fecal coliform in the lower Piedmont of West Georgia [J]. Journal of Hydrology, 2006, 331(3/4): 371-382.
- [18] Osborne L L, Wiley M J. Empirical relationship between land use cover and stream water quality in an agricultural watershed [J]. Journal of Environmental Management, 1988, 26(1): 9-27.
- [19] Wilkin D C, Jacks on, R V. Nonpoint water quality contributions from land use [J]. Journal of Environmental System, 1983, 13: 127-136.
- [20] Omernik J M, Abernathy A R, Male L M. Stream nutrient levels and proximity of agricultural and forest land to streams: Some relationships [J]. Journal of Soil & Water Conservation, 1981, 36(4): 227-231.
- [21] 郑丙辉,鄧永宽,郑凡东,等. 滇池流域生态环境动态变化研究[J]. 环境科学研究, 2002, 15(2): 16-18, 33.



附图1 海峡西岸经济区景观格局指数空间分布特征



附图2 滇池流域1988—2008年土地利用变化



附图3 塔里木河下游2006—2011年植被类型变化